

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “GABRIEL RENÉ MORENO”

**ESCUELA DE INGENIERÍA
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y TECNOLOGÍA.**



**“PROPUESTA DE ELABORACION DE UN PROCEDIMIENTO
TECNICO PARA LA INSPECCION CON ENSAYOS NO
DESTRUCTIVOS A MOTORES DE FONDO, PARA EVITAR
FALLOS DURANTE LA PERFORACION”.**

Realizado por: Ing. Bill Baigorria Acuña

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAGISTER EN
PERFORACIÓN Y TERMINACIÓN DE POZOS PETROLEROS**

Tutor: MSC, Daniel Sarmiento Solíz

Santa Cruz de la Sierra, OCTUBRE del 2023

DEDICATORIA

Esta tesis es inicio de nuevos logros en mi vida por esta razón la dedico primeramente a Dios por darme la salud y la vida.

A mi esposa que siempre estuvo apoyándome con su ánimo y consejo supo guiarme para salir adelante y cumplir nuevas metas, a mis hijos y a mis padres

AGRADECIMIENTOS

Mi gratitud y reconocimiento al Instituto para la excelencia en los negocios del gas, energía e hidrocarburos Unidad de Postgrado de la Universidad Autónoma Gabriel Rene Moreno que a través de sus docentes fue un pilar fundamental para adquirir los conocimientos que serán la base de mi carrera profesional.

En general quisiera agradecer a todas y cada una de las personas que han vivido conmigo la realización de este trabajo.

RESUMEN

El presente trabajo de tesis tiene como propósito la elaboración de un procedimiento técnico para la inspección con ensayos no destructivos a motores de fondo para evitar fallos durante la perforación. El trabajo de tesis está basado en los diferentes estándares de inspección como también en las normas aplicadas según la ASTM, orientadas hacia la elaboración de una guía que será implementada, siendo el objetivo principal detectar diversas fallas y anomalías en el proceso de inspección con ensayos no destructivos, contribuyendo de esta manera al mejoramiento del nivel de calidad y productividad.

En primera instancia se desarrolló una investigación interna de los métodos de inspección con ensayos no destructivos, equipos y materiales utilizados, una vez analizados estos datos se procedió a determinar el tipo y orden de los ensayos a desarrollarse en los motores de fondo de pozo, comenzando por el ensayo de inspección visual con el propósito de detectar las diferentes fallas existentes en los acabados superficiales, grietas, porosidades, etc. Todos los ensayos realizados se sustentan en normas en las que se describe los parámetros correspondientes para los diferentes ensayos realizados.

Posteriormente se realizó la inspección dimensional de conexiones para verificar desgastes y tolerancia de los diámetros mínimos permitidos según la norma a ser aplicada.

Luego se desarrollaron los ensayos destructivos pertinentes de acuerdo a lo especificado en el presente trabajo, todos y cada uno respaldados por su respectiva Norma ASTM. La inspección con partículas magnéticas del cuerpo y de las conexiones para encontrar defectos como fisura, defectos mecánicos y de servicio

Finalmente se presente un procedimiento detallado en un diagrama de flujo con los pasos a seguir y la toma de decisiones para la aceptación de la inspección o reparación garantizando así el correcto funcionamiento del motor de fondo en el momento de su utilización.

ABSTRACT

The purpose of this thesis work is the development of a technical procedure for inspection with non-destructive testing of bottom motors to avoid failures during drilling. The thesis work is based on the different inspection standards with also on the standards applied according to the ASTM, oriented towards the elaboration of a guide that will be implemented, being the main objective to detect various failures and anomalies in the inspection process with non-destructive tests, thus contributing to the improvement of the level of quality and productivity.

In the first instance, an internal investigation of the inspection methods was developed with non-destructive tests, equipment and materials used, once these data were analyzed, the type and order of the tests to be developed in the downhole engines was determined, starting with the inspection test.

visual with the purpose of detecting the different existing failures in the surface finishes, cracks, porosities, etc. All the tests carried out are based on standards in which the corresponding parameters for the different tests carried out are described.

Subsequently, the dimensional inspection of connections was carried out to verify wear and tolerance of the minimum diameters allowed according to the standard to be applied.

Then the pertinent destructive tests were developed according to what was specified in the present work, each and every one supported by their respective ASTM Standard. Magnetic particle inspection of the body and connections to find defects such as cracks, mechanical and service defects.

Finally, a detailed procedure is presented in a flow chart with the steps to follow and decision making for the acceptance of the inspection or repair, thus guaranteeing the correct functioning of the bottom motor at the time of its use.

Contenido

CAPITULO I.....	9
INTRODUCCIÓN.....	9
1.1. ANTECEDENTES	10
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	11
1.3. OBJETIVOS.....	12
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	12
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
1.4. JUSTIFICACIÓN	13
1.4.1. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA.....	14
1.4.2. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA	14
1.4.3. JUSTIFICACIÓN SOCIAL AMBIENTAL	14
1.5. DELIMITACIÓN Y ALCANCE.....	15
1.5.1. LÍMITES TEMPORALES	15
1.5.2. LIMITES TÉCNICOS	15
1.6. METODOLOGÍA	15
1.6.1. Tipo de investigación	15
1.6.2. Diseño de la investigación	16
1.6.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	16
1.6.3.2. La Observación.....	16
1.6.4. Instrumentos de procesamiento de la información	16
1.6.4 CRUADRO METODOLOGICO	17
1.7. MARCO TEORICO.....	18
1.7.1. MARCO COMCEPTUAL.....	18
1.7.2. MARCO LEGAL.....	20
CAPITULO II	21
HISTORIA DEL MAGNETISMO	21
2.1. LOS IMANES NATURALES.....	22
2.2 LOS IMANES ARTIFICIALES	22
2.3. LOS POLOS MAGNÉTICOS	23
2.4. LA ATRACCIÓN Y LA REPULSIÓN.....	25
2.5. LOS CAMPOS MAGNÉTICOS	28
CAPITULO III.....	31
TEORÍA MOLECULAR DEL MAGNETISMO.....	31
3.1. LA RELUCTANCIA Y LA PERMEABILIDAD.....	32
3.2. LA INDUCCIÓN MAGNÉTICA	33

CAPITULO IV	35
PRINCIPIOS DEL ELECTROMAGNETISMO	35
4.1. REGLA DE LA MANO IZQUIERDA PARA LA CORRIENTE	37
4.2. EL CAMPO MAGNÉTICO ALREDEDOR DE UNA BOBINA	37
4.3. REGLA DE LA MANO IZQUIERDA EN LA BOBINA	39
4.4. LOS AMPERIOS VUELTAS	39
4.5. LA CURVA DE HISTÉRESIS	41
4.6. USO DE LOS ELECTROIMANES	43
4.7. LOS CIRCUITOS MAGNÉTICOS	44
4.8. EL BLINDAJE MAGNETICO	45
CAPITULO V	47
TEORÍA DE FUGAS DE CAMPO	47
5.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS	47
5.2. ORIGEN DE LAS FUGAS DE CAMPO ASOCIADAS CON LOS DEFECTOS	48
5.3. MÉTODOS PARA LA MAGNETIZACIÓN	50
5.4. SENSORES PARA LAS FUGAS DE FLUJO DE FLUJO	51
5.4.1. LAS PARTÍCULAS MAGNÉTICAS	52
5.4.2. LOS SENSORES MAGNETOGRAFICOS	52
5.4.3. LOS MÉTODOS MAGNETOMETRICOS DE DETECCIÓN	53
5.4.3.1 EL SENSOR INDUCTIVO DE BOBINA	53
5.4.3.2. LAS SONDAS HALL EFFECT	54
CAPITULO VI PROPUESTA	56
6.1 REQUERIMIENTOS DE INSPECCIÓN	56
6.2. INSPECCIÓN VISUAL DEL CUERPO	56
6.2.1. PROPÓSITO	56
6.2.2 EQUIPO DE INSPECCIÓN	56
6.2.3. PREPARACIÓN	57
6.2.4. PROCEDIMIENTO Y CRITERIOS DE ACEPTACIÓN	57
6.3. INSPECCIÓN VISUAL DE CONEXIONES	58
6.3.1. PROPÓSITO	58
6.3.2. EQUIPO DE INSPECCIÓN	58
6.3.3. PREPARACIÓN	59
6.3.4. PROCEDIMIENTO Y CRITERIOS DE ACEPTACIÓN	59
6.3.5. CONEXIONES API	60
6.4. INSPECCIÓN DIMENSIONAL	61
6.4.1. PROPÓSITO	61

6.4.2. EQUIPOS DE INSPECCIÓN.....	61
6.4.3. PREPARACIÓN	62
6.4.4. PROCEDIMIENTO Y CRITERIOS DE ACEPTACIÓN	62
6.5. INSPECCIÓN DEL CUERPO CON PARTÍCULAS MAGNÉTICAS.....	63
6.5.1. ALCANCE	63
6.5.2. EQUIPOS DE INSPECCIÓN:	64
6.5.4. PROCEDIMIENTO Y CRITERIOS DE ACEPTACIÓN	65
6.6. INSPECCIÓN DE CONEXIONES CON LUZ NEGRA	66
6.6.1. ALCANCE	66
6.6.2. EQUIPOS PARA INSPECCIÓN	66
6.6.3. PREPARACIÓN	67
6.6.4. PROCEDIMIENTOS Y CRITERIOS DE ACEPTACIÓN	67
6.7. FLUJOGRAMA DE INSPECCION DE MOTORES.....	69
CAPITULO VII.....	70
EVALUACIÓN ECONÓMICA	70
7.1. CALCULO DE LA RENTABILIDAD ECONÓMICA EN EL EMPLEO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS:.....	71
CONCLUSIONES.....	74
RECOMENDACIONES.....	75
BIBLIOGRAFIA.....	76

FIGURAS

Figura 1. <i>Orientación de los dominios Magnéticos.</i>	23
Figura 2. Los Polos Norte y Sur.	24
Figura 3. Los Polos Magnéticos.	24
Figura 4. Las Líneas de Fuerza.	25
Figura 5. La Atracción y Repulsión.	25
Figura 6. Las líneas magnéticas del imán.	26
Figura 7. Los polos magnéticos y geográficos.	27
Figura 8A Las líneas de Fuerza. Figura 8B. Las Líneas de campo.	29
Figura 9. Dominios Magnéticos.	31
Figura 10. Magnetización de tachuelas.	33
Figura 11. Campo magnético producido por corriente.	35
Figura 12. Campo magnético en diferentes puntos.....	36
Figura 13. Regla de la mano izquierda para la corriente.	37
Figura 14. Campo magnético alrededor de una bobina.	37
Figura 15. Estructura del campo alrededor de una bobina.	38
Figura 16. Regla de la mano izquierda en la bobina.....	39
Figura 17. Curva de Histéresis.	41
Figura 18. Curva de Histéresis con poco magnetismo.....	42
Figura 19. Curva de Histéresis con alto magnetismo.....	43
Figura 20. Timbre eléctrico.	44
Figura 21. Inducción magnética.	45
Figura 22. Intensidad del campo magnético.	48
Figura 23. Fugas de campo.	49
Figura 24. Métodos de magnetizaciónl.....	51
Figura 25. Campo magnético de una bobina inductiva.....	54
Figura 26. Las sondas Hall efectt.....	55

TABLAS

Tabla 1. Costos de equipo y herramientas por día.	71
Tabla 2. Costos de inspección con END a motores de fondo de pozo desarmados.....	71
Tabla 3. Costos para pesca de Motor de fono en pozo.....	72
Tabla 4. Costos de operación direccional.	72
Tabla 5. Costo perdida de motor de fondo dentro del pozo	73

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

Los Ensayos No Destructivos (END) son exámenes o pruebas que son utilizados para detectar discontinuidades internas y/o superficiales o para determinar propiedades selectas en materiales, soldaduras, partes y componentes; usando técnicas que no alteran el estado físico o constitución química, dañen o destruyan los mismos. Dentro los ensayos no destructivos están incluidos la inspección por radiografía, inspección por partículas magnéticas secas y húmedas, inspección por líquidos penetrantes, inspección visual y también inspección por ultrasonido.

Los Ensayos No Destructivos a motores de fondo son de vital importancia porque estos ensayos no alteran las propiedades del material dándonos como resultado que la herramienta esté en buenas condiciones antes de ser bajado al pozo, se ha comprobado que al realizar los ensayos no destructivos a un motor de fondo se minimiza el riesgo de evitar fallas del mismo por eso es importante que el inspector que realice dichos ensayos sea un inspector Nivel II certificado según la técnica de inspección que vaya a emplear.

1.1. ANTECEDENTES

Los Ensayos No Destructivos han sido practicados por muchas décadas. Se tiene registro desde el año 1868 cuando se comenzó a trabajar con los campos magnéticos. Uno de los métodos más utilizados por esos años fue la detección de grietas superficiales en ruedas y ejes de ferrocarril. Sin embargo, con el desarrollo de los procesos de producción, la detección de discontinuidades ya no era suficiente. No se podía contar con información cuantitativa del tamaño de la discontinuidad para ser utilizarla como fuente de información con la finalidad de realizar cálculos matemáticos y poder predecir así la vida mecánica de un componente. Todas estas necesidades, condujeron a la aparición de la Evaluación No Destructiva (NDE) como nueva disciplina.

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

A continuación, podemos ver una serie de fechas relacionadas con los acontecimientos históricos, avances y aplicaciones de algunos ensayos no destructivos.

- 1868 Se realizó el primer intento de trabajar con los campos magnéticos
- 1879 David Hughes estableció un campo de prueba y el estudio de las corrientes Eddy
- 1895 Wilhem Röntgen estudia el tubo de rayos catódicos
- 1895 Wilhem Röntgen realiza el descubrimiento de los Rayos X
- 1900 Inicio de los Ensayos No Destructivos por la técnica con líquidos penetrantes
- 1911 ASTM establece el comité de la técnica de Partículas Magnéticas
- 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 UT en la industria

La globalización en los mercados mundiales ha marcado el desarrollo de los Ensayos No Destructivos, los cuales ya tienen 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), etc.

Se conoce como ensayo no destructivo a cualquier tipo de prueba practicada a un material y que esta no altere de forma permanente sus propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales.

Se optó como práctica recomendada realizar la inspección con ensayos No Destructivos a Motores de Fondo antes de ser bajado al pozo como también realizar la inspección después de 40 horas de trabajo continuo, de esta manera tenemos un riesgo mínimo de que el Motor de Fondo pueda fallar durante la perforación.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Inspección con Ensayos No Destructivos es un servicio que agrupa una serie de actividades cuya ejecución permite alcanzar un mayor grado de confiabilidad en los equipos, máquinas, construcciones civiles e instalaciones. Además, nos permite eliminar condiciones inseguras que podrían afectar a las personas. Se puede definir como el conjunto de actividades que se realiza a un sistema, equipo o componente para asegurar que continúe desempeñando las funciones deseadas dentro de un contexto operacional determinado.

La Inspección con Ensayos No Destructivos en una empresa incide en:

- Costos de producción.
- Calidad del producto.
- Capacidad operacional.
- Capacidad de respuesta de la empresa como ente organizado e integrado: por ejemplo, cuando genera e implanta soluciones innovadoras y manejar oportuna y eficazmente situaciones de cambio.
- Seguridad e higiene industrial.
- Calidad de vida de los trabajadores de la empresa.
- Imagen y seguridad ambiental de la compañía.

Al realizar los Ensayos No Destructivos a una pieza o herramientas antes de bajar al pozo de perforación nos aseguramos que no falle al momento de realizar su trabajo, de esta manera minimizamos el riesgo de tener de realizar una pesca de herramienta o en el peor de los casos tener que realizar un desvío de pozo por perdidas de piezas o herramientas magnetizados son considerados imanes artificiales, debido a que estos no ocurren en un estado natural.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Proponer un procedimiento técnico de inspección con ensayos no destructivos a motores de fondo a través de un método de mantenimiento adecuado de los motores de fondo del pozo expresado en un diagrama de flujo para la prevención de fallos durante la perforación

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar una revisión bibliográfica a las normas internaciones y buenas prácticas de la industria aplicado a inspección de motores de fondo para la identificación de las normas aplicables y su utilización en el desarrollo de la propuesta
- Elaborar un procedimiento adecuado para la Inspección de Motores de Fondo de Pozo en base a las Especificaciones API Spec 7-G2. Para la prevención de fallas del equipo durante su utilización en la perforación de pozos
- Describir el método de procedimiento que se necesita para la construcción del Motor de Fondo de Pozo mediante ilustraciones para una mejor comprensión del lector.

1.4. JUSTIFICACIÓN

Los ensayos no destructivos son una práctica que día a día va tomando más fuerza; ya que su utilidad en áreas de calidad, consultoría y mantenimiento se hace cada vez más importante y redundando siempre en el mejoramiento de la productividad y de la economía de las empresas que hacen uso de los ensayos no destructivos como parte de su filosofía.

Las empresas que ofrecen servicios de este tipo se sitúan en el mercado de Bolivia como las más importantes por el monitoreo de condiciones, que otorgan información valiosa para la continuidad operacional de los activos principales relacionados con los procesos productivos de cada industria.

Los beneficios que aporta el empleo de este tipo de servicio son muy variados, se puede observar que aplicar correctamente los ensayos no destructivos y combinarlos con un buen análisis estadístico contribuye a mejorar el control del proceso de una parte, componente o servicio. Estos también ayudan a mejorar la productividad de un pozo de perforación, al prevenir paros imprevistos por falla de un componente crítico; además de ayudar a programar los planes de mantenimiento, lo que reduce el tiempo y el costo de reparación. Debido a que no se alteran las propiedades del material y por lo tanto no existen desperdicios, con el empleo de los END, sólo hay pérdidas cuando se detectan piezas defectuosas. También resulta importante mencionar que estos métodos, cuando se aplican como parte de la inspección preventiva reducen notablemente los costos de reparación o reproceso, pero sobre todo ayudan a ahorrar tiempo y recursos que de otra forma se desperdiciarán en una pieza que finalmente puede tener un costo de producción muy superior al presupuestado. Actualmente en los países desarrollados, la combinación de la inspección no destructiva con otras actividades del programa de aseguramiento de la calidad, nos ayudan a mantener un nivel de calidad uniforme del producto final, lo que mejora la competitividad de los productos en el mercado nacional e internacional.

Otro beneficio que normalmente no se contempla, es que al emplear a los END como herramienta auxiliar del mantenimiento petrolero, se tiene una mejor evaluación de las partes y componentes de una herramienta en servicio; lo que permite optimizar la planeación del mantenimiento correctivo. La aplicación de los END en la industria evita pérdidas del orden de 2% del PIB. Actualmente en la fabricación de bienes de capital de servicio especializado, la aplicación de los ensayos no destructivos puede ser requerida

por contrato o por los códigos y regulaciones nacionales o internacionales aplicables al producto, por lo que la empresa que cuente con un sistema de inspección no destructiva podría cumplir de una manera más fácil con los requisitos de calidad más estrictos.

1.4.1. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA

Los requisitos para el aseguramiento de calidad y la mejora continua en la industria petrolera, hacen necesaria la disponibilidad de personal idóneo, es decir capacitado, entrenado, calificado y certificado por una organización que garantice los Ensayos No Destructivos. De esta manera poder establecer las condiciones generales y específicas, así como los requisitos para una buena inspección y mantenimiento de un Motor de Fondo de Pozo.

Al elaborar un procedimiento de Inspección con Ensayos No Destructivos a los Motores de Fondo de Pozo, nos permite minimizar el mal funcionamiento de la herramienta dentro del pozo, de esta manera evitamos los riesgos de pesca en el pozo, evitar tener algún accidente al momento de subir y/o bajar las herramientas al pozo, cumplir con el programa de perforación del pozo, tener pérdidas por paradas del equipo, tener que realizar un desvío del pozo al no poder recuperar la herramienta dentro del pozo.

1.4.2. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA

Los ensayos No Destructivos se utiliza como acción preventiva y esto os ayuda e evitar interrupciones debido a la falla de un componente, nos permite asegurar un buen funcionamiento del Motor de Fondo de Pozo asegurando la calidad de la herramienta, ahorrar en costo por día del equipo de perforación cumpliendo el programa de perforación, evitar realizar una pesca de herramientas por un mal funcionamiento de la herramienta y evitar realizar un desvío de pozo incrementando considerablemente el costo final de la perforación del pozo, prevenir accidentes y salvaguardar la integridad humana incidiendo directamente en los gastos totales de perforación del pozo.

1.4.3. JUSTIFICACIÓN SOCIAL AMBIENTAL

La Industria Petrolera viene haciendo una importante inversión en la mitigación prevención y control de aspectos ambientales, por esta razón en la presente elaboración del programa de Inspección para Motores de Fondo se está optando por la técnica de Ensayo No Destructivo más adecuada para evitar fallas o mal funcionamiento de la herramienta dentro de pozo.

Todas las actividades deberán ser planeadas y ejecutadas tomando en cuenta la seguridad del personal, salud y protección del medio ambiente acordes a OHSAS 18001 e ISO 14001.

1.5. DELIMITACIÓN Y ALCANCE

1.5.1. LÍMITES TEMPORALES

Los Ensayos No Destructivos se realizarán una vez desarmada la herramienta y por lo general se tarda entre 5-8 horas en realizar dicha inspección, luego se procede a ensamblar el motor de fondo con todas las piezas aceptadas. La herramienta es enviada al pozo y debe cumplir las 80 horas de trabajo continuo, después de herramienta debe ser enviada a la base de Santa Cruz para su inspección con Ensayos No Destructivos y su mantenimiento correspondiente.

1.5.2. LIMITES TÉCNICOS

Los Ensayos No Destructivos deberán cumplir con los lineamientos de las normas o especificaciones API, del Estándar DS-1 de TH Hill que están regidos por el ASNT. Los equipos utilizados deberán estar calibrados por una empresa acreditada, no tener más de 6 meses desde su última calibración y los equipos deben tener un adhesivo en el cual indica el número de serie del equipo, la fecha de calibración, la persona y la empresa donde se realizó dicha calibración.

El inspector que realizara los Ensayos No Destructivos deberá ser mínimo Nivel II en la técnica de Partículas Magnéticas y tener su certificado vigente que acredite la técnica que está utilizando

1.6. METODOLOGÍA

1.6.1. Tipo de investigación

De acuerdo a los objetivos planteados el presente trabajo corresponde al tipo de investigación descriptivo porque se utiliza el método teórico en base a la revisión bibliográfica y exploratorio porque no se dispone de estudios previos y esto permite conocer de primera mano la información única y novedosa.

1.6.2. Diseño de la investigación

Por lo mencionado anteriormente el presente trabajo corresponde a una investigación no experimental, ya que la información requerida es tomada directamente de un análisis exhaustivo del tema

Del lugar donde se realiza el estudio con la colaboración del personal que trabaja dentro del mismo. Implica observar, recolectar datos para luego realizar una descripción sin influir sobre ellos.

1.6.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

1.6.3.1. Técnicas de recolección de datos

Las técnicas de investigación constituyen el conjunto de mecanismos, medios o recursos dirigidos a recolectar, conservar, analizar y transmitir los datos de los fenómenos sobre los cuales se investiga.

1.6.3.2. La Observación

Es la forma más sistematizada y lógica para el registro visual y verificable de lo que se pretende conocer; es decir, es captar de la manera más objetiva posible, lo que ocurre en el mundo real, ya sea para describirlo, analizarlo o explicarlo (Campos & Martínez, 2012).

1.6.4. Instrumentos de procesamiento de la información

- Material de oficina
- Ordenador
- Microsoft Office Word
- Microsoft Office Excel
- Microsoft Office Visio

1.6.3.2. Análisis de datos

Para el desarrollo de este trabajo de grado se tomó en cuenta fuentes de información primaria y secundaria.

Para el desarrollo de la presente investigación se propone el siguiente cuadro metodológico indicando las acciones a seguir para lograr alcanzar el objetivo general.

1.6.4 CRUADRO METODOLOGICO

OBJETIVOS	ACIONES
<p>Realizar una revisión bibliográfica a las normas internaciones y buenas prácticas de la industria aplicado a inspección de motores de fondo para la identificación de las normas aplicables y su utilización en el desarrollo de la propuesta</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar las Normas • Interpretar las normas • Identificar los puntos o requerimientos para la inspección de motores de fondo. <p>ISO 10424-1, Industrias del Petróleo y Gas Natural – Equipo de Perforación Rotario – Parte 1: Elementos del conjunto de perforación</p> <p>ISO 11961, Industrias del Petróleo y Gas Natural – Tubería de Perforación de Acero API RP 7A1 Pruebas al Compuesto (grasa) para Roscas en Conexiones Rotarias con Hombro.</p> <p>ISO 10407 especifica la inspección requerida para cada nivel de inspección (Tablas B.1 hasta B.15)</p>
<p>Elaborar un procedimiento adecuado para la Inspección de Motores de Fondo de Pozo en base a las Especificaciones API Spec 7-G2. Para la garantizarían de su correcto funcionamiento durante una perforación</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Estudiar los principios de funcionamiento de los ensayos no destructivos END y otros fenómenos que intervienen en la inspección de motores de fondo • Describir mediante ilustraciones graficas los principios de funcionamiento del END, Magnetismos y otros • Desarrollar un flujograma para el procedimiento de inspección
<p>Describir el método de procedimiento que se necesita para la construcción del Motor de Fondo de Pozo mediante ilustraciones para una mejor comprensión del lector.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Analizar el flujograma de inspección propuesto • Definir criterios de aceptación o rechazo de la inspección • Comprender las necesidades de inspección del motor de fondo

1.7. MARCO TEORICO

1.7.1. MARCO COMCEPTUAL

1.7.1.1. LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS EN EL SECTOR AERONÁUTICO

Los END se definen como pruebas físicas y químicas expresadas en métodos que aplican un principio físico para determinar la presencia de discontinuidades en materiales en servicio de componentes de los subsistemas y sistemas de una aeronave e investigar sus propiedades, sin perjudicar la utilidad de los mismos.

Los objetivos de los END consideran tres aspectos:

DETECCIÓN: Detectar discontinuidades en los componentes de los subsistemas y sistemas de una aeronave sin destrucción de los mismos.

EVALUACIÓN: Determinar la ubicación, orientación, forma, tamaño y tipo de discontinuidades

CALIFICACIÓN: Establecer la calidad de un material, basándose en el estudio de los resultados y en la severidad de las discontinuidades y/o defectos de acuerdo a las normas de calidad y los objetivos del diseño. (Calderon Guerra Javier Zenobio, 2013)

1.7.1.2. ANÁLISIS DE COSTOS DE ULTRASONIDO

En el método de ultrasonido, se emplea la técnica de pulso - eco y se tienen tres tipos de ensayos claramente definidos:

- 1) Ensayo ejecutado solamente para detectar discontinuidades planas: (Laminaciones, fisuras, grietas, porosidades). En este caso, el costo básico involucra al operador (nivel variable según exigencia del cliente), el tipo de palpadores, bloques 77 calibración y acoplan térs a utilizar, el mantenimiento y reparación del equipo y la amortización del generador de ultrasonido.
- 2) Ensayo ejecutado solamente por la medición de espesores: El costo básico involucra al operador, el tipo del palpado, bloques de calibración y acoplarte a utilizar, mantenimiento y reparación del equipo, la amortización del equipo de medición de espesores.
- 3) Ensayo ejecutado para evaluar el tamaño (la profundidad) de las discontinuidades detectadas: A lo establecido como costo básico anteriormente, se debe añadir; el costo de la construcción de bloques de referencia, los cuales son específicos para cada caso. (Calderon Guerra Javier Zenobio, 2013)

1.7.1.3. Acerca de ASME

ASME es una organización sin fines de lucro que permite la colaboración, el intercambio de conocimientos, el enriquecimiento de la carrera, y el desarrollo de habilidades en todas las disciplinas de ingeniería. Fundada en 1880 por un pequeño grupo de líderes industriales, ASME ha crecido por décadas hasta incluir a más de 120.000 miembros en más de 140 países en todo el mundo. La asociación incluye una amplia diversidad de disciplinas técnicas que representan a todas las facetas de las comunidades técnicas. (Magnetic Particle Examination, 2001)

1.7.1.4. La Misión de ASME

Servir a nuestras diversas comunidades globales mediante el avance, la difusión y la aplicación de los conocimientos de ingeniería con el fin de mejorar la calidad de vida y comunicar nuestra pasión por la ingeniería. (Magnetic Particle Examination, 2001)

1.7.1.5. La Visión de ASME

La Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos, será el recurso esencial para los ingenieros mecánicos y otros profesionales técnicos de todo el mundo para soluciones en beneficio de la humanidad. (Magnetic Particle Examination, 2001)

1.7.1.6. Códigos de prueba de desempeño

Los Códigos de Prueba de Desempeño (PTC, por sus siglas en inglés) de ASME proporcionan normas y procedimientos para la planificación, preparación, ejecución y presentación de informes de las pruebas de desempeño. Una prueba de rendimiento es una evaluación técnica; sus resultados indican qué tan bien el equipo lleva a cabo sus funciones. Los códigos de prueba de rendimiento se originaron como "códigos de prueba de energía" y pusieron énfasis en los equipos de conversión de energía. El primer código ASME era Normas para la realización de Pruebas de Calderas, publicada en 1884. Hoy, están disponibles casi 45 PTC que cubren los componentes individuales (por ejemplo, generadores de vapor, turbinas, compresores, intercambiadores de calor), sistemas (por ejemplo, la desulfuración de gases de combustión, celdas de combustible), y plantas completas (plantas de cogeneración). Además de los códigos de equipo, los complementos de los instrumentos y los sistemas cubren los sistemas de medición (por ejemplo, temperatura, presión, flujo) y las técnicas de análisis (análisis de incertidumbre) comunes a la mayoría de los códigos de PTC. (Magnetic Particle Examination, 2001)

1.7.2. MARCO LEGAL

Los siguientes documentos de referencia son indispensables para la aplicación de este documento. Para las referencias con fecha, aplica solo la edición citada. Para referencias sin fecha, aplica la edición más reciente del documento referenciado (incluyendo amendas).

1.7.2.1. ISO 10424-1,
Industrias del Petróleo y Gas Natural – Equipo de Perforación Rotario – Parte 1:
Elementos

Del conjunto de perforación

1.7.2.2. ISO 11961,
Industrias del Petróleo y Gas Natural – Tubería de Perforación de Acero API RP 7A1
Pruebas al Compuesto (grasa) para Roscas en Conexiones Rotarias con Hombro.

1.7.2.3. ISO 10407
Especifica la inspección requerida para cada nivel de inspección (Tablas B.1 hasta B.15) y procedimientos para la inspección y pruebas de elementos del conjunto de perforación usados. Como propósito de esta parte de ISO 10407, los elementos del conjunto de perforación incluyen el cuerpo de la tubería de perforación, las juntas, las conexiones rotarias con hombro, tubos “drill collars” (lastrabarrenas), Tubería de Perforación Pesada (HWDP), y los extremos de elementos del conjunto de perforación que se unen a ellos. Esta parte de ISO 10407 ha sido preparada para mencionar las prácticas y tecnologías comúnmente utilizadas en la inspección.

CAPITULO II

HISTORIA DEL MAGNETISMO

Los imanes y los electroimanes tienen muchos usos. Todos los motores y los generadores eléctricos requieren un campo magnético para su operación con la excepción de un par de tipos especiales, todos usan electroimanes. Cuando los electroimanes grandes son montados en el aparejo de izar de las grúas estos son usados para levantar las partes pesadas de hierro a acero, estos imanes pueden levantar varias toneladas de metal y son usados en las fundiciones, talleres de maquinados y en las acerías para levantar y descargar los vagones de ferrocarril o mover el metal a varios lugares de estos talleres.

Los imanes son encontrados prácticamente en todas las aplicaciones electrónicas por ejemplo una radio de mesa pequeña contiene por lo menos un imán, un televisor de color puede tener más de una docena de imanes; muchos audífonos y altavoces tienen electroimanes y las variaciones de intensidad del campo magnético hacen que el diafragma del audífono o el cono del altavoz que vibren generando las ondas del sonido las cuales causan que las voces o la música sean emitidas.

Las propiedades del magnetismo eran ya conocidas por los griegos como 700 años d.c. fue descubierto que ciertos tipos de minerales poseían los poderes de atraer a las piezas de hierro que se encontraban en su proximidad. Este descubrimiento sucedió en una provincia llamada Magnesia y este mineral fue llamado magnetita por el lugar del descubrimiento. El tipo de magnetita que exhibe estas propiedades magnéticas es comúnmente conocido como un imán natural, cualquier material que exhibe estas propiedades magnéticas es llamado Imán.

Los primeros usos del magnetismo fueron registrados por los chinos quienes se cree que usaron las piezas suspendidas de magnetita como brújulas hace 2000 años, las brújulas fueron usadas también por los navegantes europeos y no fue hasta cerca del año 1200 d.c. que Cristóbal Colón se interesó en las propiedades magnéticas de las brújulas y el hizo algunas observaciones importantes acerca de la precisión de las brújulas durante su viaje a las Américas en el año 1492. No obstante, el primer estudio verdadero acerca de las propiedades magnéticas no fue intentado hasta el año 1600 cuando William Gilbert un físico inglés publicó un reporte de sus experimentos con los imanes.

Un cuidadoso y profundo estudio de los imanes y sus acciones enseña que todos los materiales son afectados de alguna forma cuando son acercados a un imán fuerte.

Mediante las pruebas de todas las sustancias conocidas, se ha encontrado que el hierro y el acero son afectados fuertemente, el cobalto y el níquel son afectados hasta cierto punto, mientras que los demás materiales son afectados ligeramente. El hierro y el acero son llamados magnéticos o sustancias ferro-magnéticas, el prefijo “ferro” fue tomado de la palabra latina “ferrum” que significa hierro.

El efecto del magnetismo en el hierro es tan grande en comparación con el cobalto y el níquel, que el hierro es el único elemento magnético que por sí solo tiene un importante valor comercial. No obstante, ciertas combinaciones o aleaciones de hierro, cobalto y níquel son usadas comúnmente debido a ciertas ventajas para una aplicación u otra.

2.1. LOS IMANES NATURALES

Cualquier imán es encontrado en un estado natural es conocido como un imán natural, los depósitos de minerales magnéticos (magnetita) han sido descubiertos en varios lugares, uno de los más grandes está en Labrador. Los pedazos de minerales magnéticos son llamados imanes naturales porque estos exhiben las propiedades del magnetismo sin necesidad de ningún tratamiento especial. La tierra por sí misma está considerada como un gran imán natural porque posee las mismas propiedades que los imanes pequeños.

2.2 LOS IMANES ARTIFICIALES

Debido a las irregularidades en los tamaños, formas e intensidades, los imanes naturales tienen muy poco valor comercial, cuando las piezas de acero son colocadas en un campo magnético, estas se convierten en imanes. Mediante un tratamiento apropiado llamado envejecimiento (aging), se puede hacer que estas piezas mantengan su magnetismo casi indefinidamente. Cuando las piezas de acero son magnetizadas y tratadas apropiadamente estas son llamadas imanes permanentes.

Casi todas las clases de acero y ciertos tipos de cerámicas pueden ser convertidos en imanes permanentes, pero algunos tipos de aleaciones mencionadas anteriormente pueden ser magnetizadas mucho más intensamente que los aceros ordinarios. Las aleaciones más populares para fabricar los imanes permanentes son las aleaciones de hierro puro, níquel y cobalto llamadas ALNICO. Mediante la combinación de diferentes porcentajes de estos metales, varias propiedades magnéticas son introducidas en estas aleaciones una vez procesadas en un campo magnético. Los imanes permanentes fabricados de ALNICO son utilizados comúnmente en los equipos de televisión, en los

radares y en los instrumentos de medición electrónicos. Los imanes de cerámicas tienen un amplio uso en los altavoces y en los instrumentos electrónicos.

Cuando la pieza de hierro blando está en contacto con un imán permanente, esta pieza de hierro blando es magnetizada tan intensamente como la pieza de acero. No obstante, cuando el imán permanente es removido el pedazo de hierro pierde prácticamente todo su magnetismo, por eso una pieza de hierro especialmente de hierro blando es llamado un imán temporal. Todos los tipos de aceros y hierros magnetizados son considerados imanes artificiales, debido a que estos no ocurren en un estado natural.

Durante el proceso original del acero el material es elevado a temperaturas superiores al punto de Curie del material. En este punto todos los dominios magnéticos en el material están orientados al azar, para poder magnetizar el material es necesario alinear los dominios magnéticos de tal manera que se creen los polos magnéticos. La orientación al azar y la subsiguiente alineación se enseña en la **figura 1**.

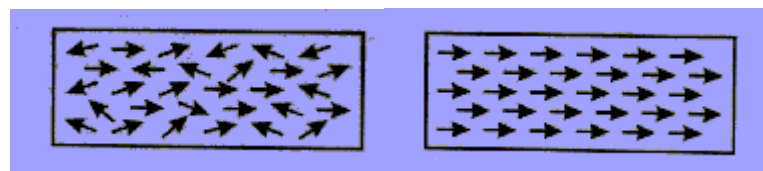


Figura 1. *Orientación de los dominios Magnéticos.*

2.3. LOS POLOS MAGNÉTICOS

Cuando una barra imantada es suspendida o está sujeta en un pivote, esta gira generalmente a la dirección norte y sur, con el mismo extremo siempre apuntando hacia el polo norte. Para ilustrar esta acción en la figura 2 la barra imantada está suspendida de un cordón para que pueda girar libremente sin tener en cuenta la dirección en que está apuntando, cuando el imán es soltado termina parando con sus extremos aproximadamente apuntando hacia el norte y hacia el sur. Estos son los extremos marcados con “N” que apunta hacia la dirección geográfica norte y el polo marcado con “S” que apunta aproximadamente hacia la dirección geográfica sur.

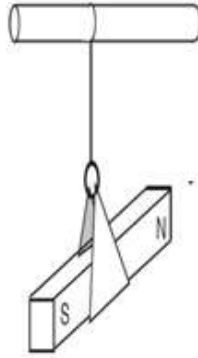


Figura 2. *Los Polos Norte y Sur.*

Cada extremo de la barra imantada tiene una concentración de fuerza magnética. Esta concentración de fuerza es conocida como el Polo Magnético, la presencia de los polos puede ser demostrada sumergiendo los extremos del imán en un montón de virutas de hierro. Cuando el imán es extraído las virutas quedan pegadas en cada uno de sus extremos como se enseña en la figura 3



Figura 3. *Los Polos Magnéticos.*

Los polos magnéticos de una barra imantada son llamados de acuerdo a la dirección a la cual están apuntando cuando el imán está suspendido. Cuando el extremo de la barra imantada que apunta hacia el norte es llamado Polo Norte y cuando el extremo apunta hacia el sur es llamado Polo Sur. Siempre que un imán permanente tenga sus extremos marcados con N y S, estas letras indican sus polos norte y sur.

Se asume que las líneas de fuerza salen por el polo norte y entra por el polo sur. Si se dibujan completamente, cada línea forma un circuito cerrado que circula desde el Norte hasta el Sur por el exterior del imán y desde el Sur hasta el Norte por el interior del imán. Cuando las líneas de fuerza salen del material en cualquier punto que no sea su extremo debido a una discontinuidad en la parte, unos polos norte y sur adicionales son creados. Esto se conoce como fuga de campo. Las fugas de campo son líneas de fuerza que han sido forzadas afuera del material hacia el exterior y que viaja desde el polo norte hacia el polo sur como se observa en la figura 4, debido a la propiedad de las líneas magnéticas de fuerza la cual dice que estas no se cruzarán entre ellas.

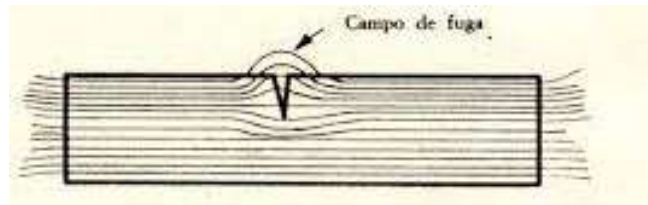


Figura 4. *Las Líneas de Fuerza.*

2.4. LA ATRACCIÓN Y LA REPULSIÓN

La figura 5 enseña como un imán está suspendido de un cordón y está en libertad para girar, y el segundo imán está siendo aguantado con la mano. Ambos imanes están marcados con una N en el extremo que apunta hacia el norte y una S en el extremo que apunta hacia el sur. Teniendo en consideración los efectos que pueden tener unos imanes hacia los otros, algunas de estas propiedades básicas del magnetismo pueden ser observados.

El segundo imán es aguantado con el polo N apuntando hacia el polo N del imán suspendido, como se enseña en la figura 5A. Si el imán de la mano es movido hacia el imán del cordón, el imán que está suspendido por el cordón gira separándose, como está indicado por la flecha.

Como los imanes no se tocan, esto es la fuerza invisible de los campos magnéticos que están causando esta acción. Si el polo S del imán está siendo aguantado es movido hacia el polo S del imán suspendido, esta gira separándose exactamente de la misma forma que lo hizo cuando los polos N estaban siendo acercados.

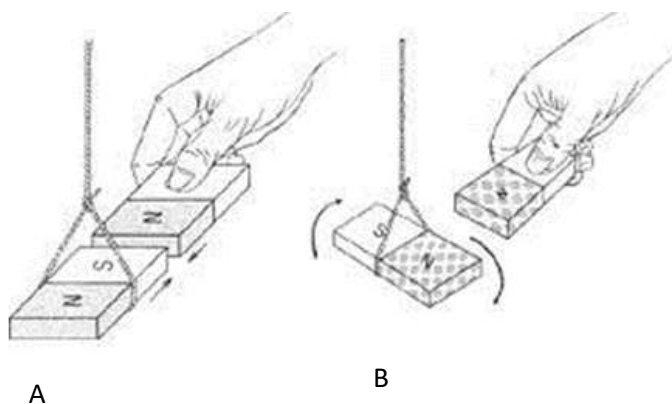


Figura 5. *La Atracción y Repulsión.*

A continuación, el imán que está siendo aguantado es girado para que el polo S apunte hacia el imán suspendido, como se enseña en la figura 5B. Otra vez, el imán que está siendo aguantado es movido hacia el imán suspendido del cordón. Ahora, el polo N

del imán suspendido gira hacia el polo sur del imán aguantado, como está indicado por la flecha.

- ✓ LOS POLOS CON LA MISMA POLARIDAD SE REPELEN
- ✓ LOS POLOS DE DIFERENTES POLARIDADES SE ATRAEN

Las razones de esta atracción y expulsión pueden ser demostrados usando el método de la figura 6A, dos imanes son puestos en línea con sus polos N a una pulgada de separación, una plancha de cristal es puesta sobre los imanes y las partículas de hierro son polvoreadas sobre el cristal.

Cuando el cristal es golpeado cuidadosamente las partículas se colocan formando líneas que se curvan alejándose de los extremos de cada imán, como se enseña en la figura 6A, dando la vuelta a uno de los imanes como se enseña en la figura 6B y acercando los polos N y S a una pulgada de separación, cuando las partículas son vueltas a polvorear en el cristal, estas se colocan en casi líneas rectas a través del espacio que está entre los polos N y S. Piense que estas líneas magnéticas siempre forman circuitos cerrados similares a los circuitos eléctricos excepto que ellas pasan a través de toda sustancia conocida y viajan desde el polo N por afuera alrededor hasta el polo S, y otra vez de vuelta por el interior del imán hasta el polo N. Con esto en mente la figura 6A enseña que las líneas magnéticas de cada imán dan vuelta hacia su propio polo S y no tienen nada que ver con aquellas del otro imán. De hecho, las líneas que están alrededor de un imán tienden a acumular las del otro afuera de su camino. En la otra mano en la figura 6B, las líneas atraviesan el espacio entre el polo N de un imán hasta el polo S del otro y un circuito magnético singular es completado por ambos imanes.

- ✓ Los polos con la misma polaridad se repelen
- ✓ Los polos de diferentes polaridades se atraen.

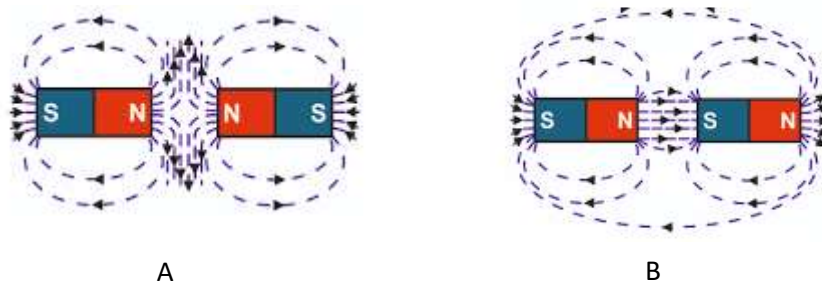


Figura 6. Las líneas magnéticas del imán.

Las razones de esta atracción y expulsión pueden ser demostrados usando el método de la figura 6A, dos imanes son puestos en línea con sus polos N a una pulgada de separación, una plancha de cristal es puesta sobre los imanes y las partículas de hierro son polvoreadas sobre el cristal.

Cuando el cristal es golpeado cuidadosamente las partículas se colocan formando líneas que se curvan alejándose de los extremos de cada imán, como se enseña en la figura 6A, dando la vuelta a uno de los imanes como se enseña en la figura 6B y acercando los polos N y S a una pulgada de separación, cuando las partículas son vueltas a polvorear en el cristal, estas se colocan en casi líneas rectas a través del espacio que está entre los polos N y S. Piense que estas líneas magnéticas siempre forman circuitos cerrados similares a los circuitos eléctricos excepto que ellas pasan a través de toda sustancia conocida y viajan desde el polo N por afuera alrededor hasta el polo S, y otra vez de vuelta por el interior del imán hasta el polo N. Con esto en mente la figura 6A enseña que las líneas magnéticas de cada imán dan vuelta hacia su propio polo S y no tienen nada que ver con aquellas del otro imán. De hecho, las líneas que están alrededor de un imán tienden a acumular las del otro afuera de su camino. En la otra mano en la figura 6B, las líneas atraviesan el espacio entre el polo N de un imán hasta el polo S del otro y un circuito magnético singular es completado por ambos imanes.

La acción de una brújula puede explicarse de la misma manera. La tierra es un imán inmenso, que produce un campo magnético como se enseña en la figura 7. Junto al polo geográfico Norte de la Tierra existe un polo magnético el cual se ha descubierto que atrae al polo norte de un imán permanente. También existe otro polo magnético junto al Polo Geográfico Sur de la Tierra y se ha descubierto que este polo atrae al polo sur de un imán permanente. Como es enseñado en la figura 6, un imán que está suspendido y es permitido que gire libremente se alineará por sí solo con los polos magnéticos de la Tierra y se convertirá en parte del circuito magnético de la Tierra.

Polo Sur Magnético

Polo Norte Geográfico



Figura 7. *Los polos magnéticos y geográficos.*

Debido a que los polos desiguales se atraen, el polo magnético que está junto al polo Norte Geográfico deberá ser un polo magnético sur, y el que está junto al Polo Sur Geográfico en realidad es un polo magnético norte, como es ilustrado en la figura 6, la brújula no apunta hacia los polos norte y sur verdaderos de la tierra si no que apunta hacia los polos magnéticos.

2.5. LOS CAMPOS MAGNÉTICOS

Cuando una pieza pequeña de hierro es colocada junto al extremo de imán fuerte este salta alrededor de un cuarto de pulgada o más hasta que se pega el imán. El hecho de que el hierro salte hasta el imán nos enseña muy claramente que el efecto magnético se extiende por cierta distancia alrededor del imán.

Por conveniencia un campo magnético es considerado que está compuesto de líneas magnéticas de fuerza o simplemente líneas magnéticas. No obstante, una línea de fuerza singular es raramente considerada cuando los campos magnéticos son analizados. En cambio, es más común usar el término Flujo Magnético cuando se refiere al número total de líneas magnéticas que forman el campo magnético. Un simple método, pero efectivo para hacer el campo magnético “visible” es mediante la colocación de una pieza ordinaria de cristal sobre el imán de barra y polvorear unas partículas de hierro sobre el cristal, el cristal no es un buen conductor de las líneas magnéticas, este no ofrece ninguna oposición al campo magnético. Entonces, las partículas de hierro son afectadas fácilmente por el campo magnético y se alinean en la forma como la enseñada en la figura 8A.

El campo magnético es ilustrado mucho más claramente en la figura 8B, este es un método acostumbrado para dibujar los campos magnéticos porque es mucho más simple dibujar un diagrama de este tipo y es posible detallar mucho mejor lo concerniente a las líneas de fuerza. Las líneas punteadas representan las líneas magnéticas de fuerza y las cabezas de flechas pequeñas representan la dirección de estas líneas imaginarias. Como se está viendo las líneas magnéticas de fuerza dejan el imán por el polo norte y entran por el polo sur.

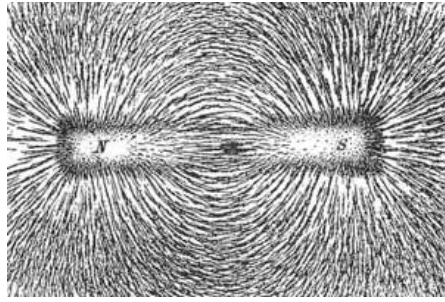


Figura 8A *Las líneas de Fuerza.*

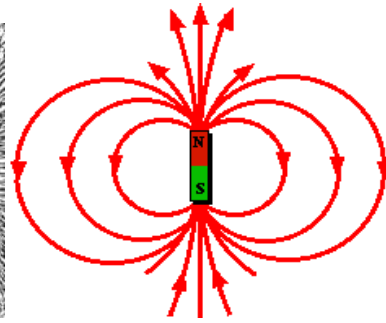


Figura 8B. *Las Líneas de campo.*

Pensando en estas líneas magnéticas, imagínese que son bandas de goma pequeñas y que están estiradas tensamente, las bandas de goma tratan de acortarse o contraerse y esto es exactamente lo que las líneas tratan de hacer, además las líneas de fuerza se amontonan hasta cierto punto y tratan de empujarse hacia los lados, pero nunca se tocan entre ellas. La figura 8C es un dibujo representativo que ilustra el campo magnético en tres dimensiones, eso es enteramente alrededor del imán, estas líneas magnéticas se extienden indefinidamente en el espacio, solamente aquellas que están junto al imán donde su efecto es lo suficientemente fuerte para ser de provecho son enseñadas. Esta área de influencia del espacio que está alrededor del imán es conocida como el Campo Magnético. La fuerza desconocida que causa el campo magnético es referida como La Fuerza Magneto Motriz (mmf) del imán.

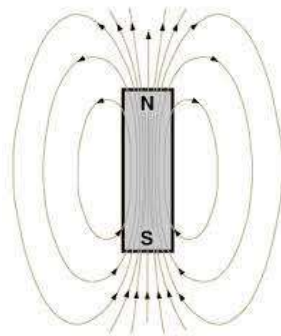


Figura 8C. *Líneas del campo magnético en 3D.*

Además de proveer con una forma conveniente para explicar la acción del campo magnético, las líneas de fuerza teóricas también nos proveen con los medios de medición. En la práctica los campos magnéticos tienen comparativamente un número grande de líneas y son de todos los tamaños y formas, entonces, estas son usualmente descritas que contienen un cierto número de líneas por centímetro cuadrado, lo que significa el número de líneas que pasan por cada centímetro cuadrado de una superficie

que está puesta perpendicularmente a través del campo magnético. Debido a que un número dado de líneas de fuerza pueden esparcirse sobre un campo comparativamente grande o pueden estar comprimidas en un campo relativamente pequeño, es necesario conocer los números de líneas que forman el flujo y el tamaño del área por la cual las líneas de fuerza están pasando. El número de líneas que pasan por un área determinada es conocido como la densidad del campo o la Densidad de Flujo. La densidad de flujo o la inducción está normalmente designada en unidades de “gaussios” y se refiere al flujo por unidad de área en ángulos rectos a la dirección del flujo. Un gaussio es igual a una línea de flujo por centímetro cuadrado.

La unidad estándar para medir el número de líneas magnéticas de fuerza o flujo magnético, para las concentraciones de densidad mayores, es el Weber abreviado Wb. Un Weber es igual a 100.000.000 o 10⁸ líneas de fuerza. El símbolo usado para representar el flujo magnético es la letra griega Phi (Φ). Como fue previamente mencionado, el número de líneas de fuerza que pasan por un área dada es también importante. La unidad estándar de medida para las líneas de fuerza por un área dada de densidad de flujo es el Tesla. Un Tesla es igual a un Weber por metro cuadrado, esto es 10⁸ líneas magnéticas de fuerza que pasan por un área que es de un metro por un metro. La letra capital B es usada frecuentemente para representar la densidad de flujo. La relación entre el Weber y el Tesla puede ser puesta en una sola fórmula como sigue a continuación:

$$B = \Phi / m^2$$

Dónde:

B = Densidad de flujo en teslas

Φ = Número de líneas de fuerza en Webers

m² = Sección de área transversal del camino magnético en metros cuadrados.

CAPITULO III

TEORÍA MOLECULAR DEL MAGNETISMO

Si un imán es partido en pedazos, las características del magnetismo no son perdidas como se enseña en la figura 9, cada pieza de la barra imantada original se convierte en un imán (más débil) independiente con sus propios polos N y S, esta situación como también otros principios del magnetismo pueden ser explicados por lo que sabemos acerca de la teoría molecular. Cada molécula que compone el material está considerada como un imán permanente extremadamente pequeño, estos son los dominios magnéticos después de haber sido expuestos a una fuerza magnética.

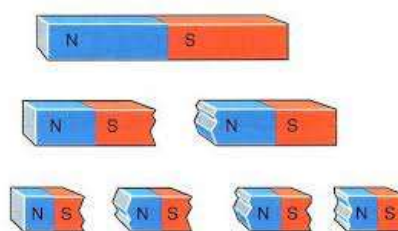


Figura 9 Imán partido en pedazos

Como enseña la figura 10 las moléculas de una parte de hierro o acero ordinario no están colocadas en un orden en particular tal como el metal que acaba de ser procesado o fabricado. Como las influencias magnéticas son forzadas prácticamente en todas las direcciones, los campos magnéticos se cancelan en el material. No obstante, como los polos desiguales se atraen, cuando el acero o hierro son puestos en un campo magnético fuerte, las moléculas cambian de dirección para alinear sus dominios magnéticos. Los campos magnéticos individuales se combinan para convertir toda la pieza de metal en un gran imán, con el polo norte en la derecha y el polo sur en la izquierda.

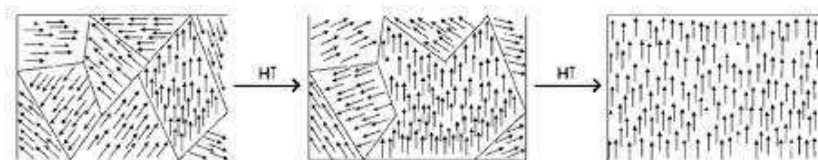


Figura 9. Dominios Magnéticos.

3.1. LA RELUCTANCIA Y LA PERMEABILIDAD

Debido a que la mayoría de las moléculas del hierro blando se voltean muy fácilmente ante la influencia de una fuerza magnetizadora, el efecto magnético es bastante fuerte. En algunos materiales muy pocas o ninguna de las moléculas son volteadas debido a la rigidez estructural del material. En otros materiales el campo magnético de cada molécula es muy pequeño, en cualquiera de los dos últimos casos el efecto magnético total es muy débil.

Las líneas magnéticas de fuerza pasan por todas las sustancias bajo condiciones normales, algunos materiales no las dejan pasar tan fácilmente como otros. Esta oposición que el material ofrece al pasaje de las líneas magnéticas es conocida como la Reluctancia. La reluctancia es una propiedad de cada material, como en realidad no existe ningún conductor de electricidad perfecto bajo condiciones normales, tampoco existe ningún conductor magnético perfecto. No obstante, el hierro blando tiene muy poca reluctancia y es un buen conductor de las líneas magnéticas en comparación con la mayoría de los otros materiales. La reluctancia describe la oposición ofrecida a las líneas magnéticas de fuerza. El término Permeabilidad describe la facilidad de pasaje de las líneas magnéticas de fuerza, entonces el material que tiene alta permeabilidad tiene baja reluctancia y viceversa. Este es el método usado en la mayoría de los comparadores de grados. Los arreglos de bobinas diferenciales e inclusive los de medidas absolutas pueden ser usados para tratar de determinar el grado de material mediante el uso de la permeabilidad de una parte de prueba. Cuando el estilo de bobinas diferenciales es usado para la determinación de los grados, el proceso requiere el balanceamiento de la bobina investigadora con la bobina de referencia. El material que es puesto en la bobina de referencia solamente necesita un conductor eléctrico, mientras que el material usado para la estandarización en la bobina de inspección deberá tener el mismo grado, espesor de pared y el mismo diámetro o tamaño del material que va a ser inspeccionado.

Las medidas de la permeabilidad son tomadas con la atmósfera, con permeabilidad de uno como referencia. El hierro por ejemplo tiene una permeabilidad de varios miles en comparación con la atmósfera debido a su facilidad para ser magnetizado. La letra griega μ (Φ) es frecuentemente usada para representar la permeabilidad.

La permeabilidad de un material magnético puede ser afectada por varios factores. Primero la cantidad de materiales diamagnéticos o paramagnéticos que han sido aleados

con el material cambiará sus propiedades. El tratamiento térmico y otros tipos de procesos también cambian la permeabilidad magnética del material. Finalmente, los esfuerzos de trabajo de un material endurecerán ciertas áreas de concentración de esfuerzos y cambiará la permeabilidad del material en áreas localizadas.

3.2. LA INDUCCIÓN MAGNÉTICA

Como fue mencionado anteriormente ciertos materiales pueden ser magnetizados cuando están bajo la influencia de los campos magnéticos, pero pierden su magnetismo tan pronto como el campo es removido. Los materiales de este tipo de imanes temporales y uno de los materiales usados comúnmente para los imanes temporales es el hierro blando.

Como está ilustrado en la figura 11 unas tachuelas de papel ordinarias pueden ser magnetizadas si son sometidas a la influencia de un campo magnético. Una tachuela es colocada en el extremo de un imán permanente y está se convierte en un imán pequeño. Un polo sur es creado en el extremo de la tachuela que está tocando el polo norte del imán permanente, y el extremo opuesto de la tachuela se convierte en el polo norte.

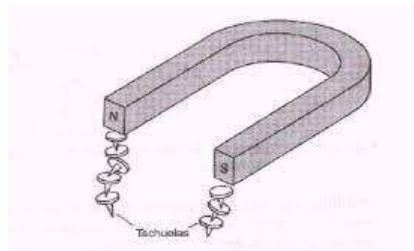


Figura 10. *Magnetización de tachuelas.*

Si otra tachuela puesta en contacto con la que está sostenida del imán permanente, esta segunda tachuela también se convierte en un imán temporal con sus propios polos norte y sur.

Una tercera tachuela es puesta en contacto con la segunda, se convierte en otro imán temporal, de hecho, si el imán original tiene la suficiente fuerza una línea larga de tachuelas podría ser formada de esta manera.

Este proceso de crear el magnetismo en un objeto que está bajo la influencia de un campo magnético es llamado la Inducción Magnética. Si el imán es removido de la primera tachuela los polos magnéticos de los extremos de las tachuelas desaparecerán y no habrá una fuerza que los una, y de toda la línea de tachuelas se separará instantáneamente.

El motivo de la inducción magnética es explicado mucho mejor mediante la teoría molecular. Las moléculas que componen el material de las tachuelas son convertidas muy fácilmente de un estado al azar en la figura 9A a un estado de alineamiento ilustrado en la figura 9B. No obstante, estas moléculas vuelven a su estado original tan pronto como el imán original es removido. Estas características distinguen a los imanes temporales de los permanentes, en los materiales como los aceros endurecidos las moléculas requieren una cantidad mucho más grande de fuerza magnética para alinearlas magnéticamente, pero a su vez que este alineamiento ha tomado lugar el acero tiende a mantener su magnetismo indefinidamente.

CAPITULO IV

PRINCIPIOS DEL ELECTROMAGNETISMO

Se ha descubierto que la corriente eléctrica genera un campo magnético muy similar al producido por los imanes permanentes. Esta acción es conocida como el electromagnetismo y es muy importante en muchos aparatos. Una de las características deseadas del electromagnetismo es la posibilidad de poder controlar la fuerza y la polaridad del campo magnético.

Para poder demostrar la existencia y las propiedades del campo magnético producido por una corriente eléctrica el experimento ilustrado en la figura 12 es usado.

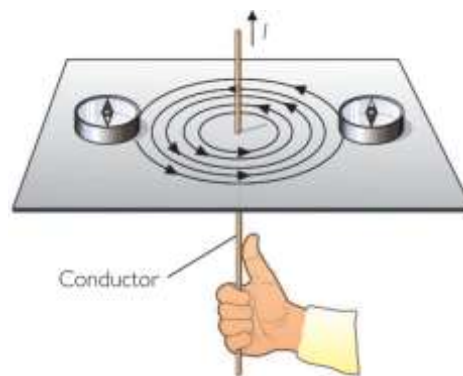


Figura 11. *Campo magnético producido por corriente.*

Un alambre es insertado por una plancha de cartón y conectado a una fuente eléctrica, el flujo de los electrones es de negativo hacia positivo por el alambre como es indicado por la flecha vertical. Las partículas de hierro polvoreadas sobre el cartón forman un patrón de anillos alrededor del alambre. Este patrón indica que un campo magnético circular es generado alrededor del alambre que conduce la corriente eléctrica.

Si las partículas de hierro son removidas y una brújula magnética es colocada sobre el cartón la naturaleza del campo magnético puede ser demostrada más a fondo.

Una brújula es removida de punto a punto en un círculo alrededor del cartón y el efecto de la posición de la aguja de la brújula es observada. La aguja de la brújula no apunta hacia el norte y sur esta cambia de dirección continuamente mientras que la brújula está siendo removida alrededor del alambre, como la aguja de la brújula se alinea normalmente con el campo magnético de la tierra, tiene que haber otro campo el cual está desviando el apuntador de esta manera.

Cuando la corriente no está pasando por el alambre la aguja apunta hacia el norte y sur, sin importar su posición en el cartón. Entonces es la corriente y no el alambre la que produce el campo magnético.

Similarmente a los efectos de la distancia en un imán permanente, la intensidad del campo magnético es mucho mayor junto al alambre y se reduce a medida que la distancia entre el alambre y la brújula es incrementada.

En las dos reglas básicas del magnetismo, si la aguja magnetizada de una brújula es puesta en un campo magnético su polo N se voltea alejándose del otro polo N mientras que su polo S es atraído hacia el otro polo N y el polo S es repelido por el polo sur del otro imán. El resultado es una doble acción tirando en un extremo y empujando por el otro. Esta doble acción hace que la aguja de la brújula se alinea con el campo magnético en la cual está expuesta.

Cuando la brújula es movida alrededor del alambre (ver **Figura 12**), los cambios de posiciones de la aguja trazan un círculo, por eso tenemos más pruebas concluyentes que el campo magnético que está alrededor del alambre tiene un patrón circular.

Elevando o bajando el cartón a lo largo del alambre no tiene ningún efecto a la acción de la brújula y continúa trazando un círculo mientras es posicionada alrededor del alambre. Así que el campo magnético alrededor de un alambre recto es uniforme a lo largo del alambre como está ilustrado en la figura 13. El campo magnético es similar en cualquier punto a lo largo del alambre.

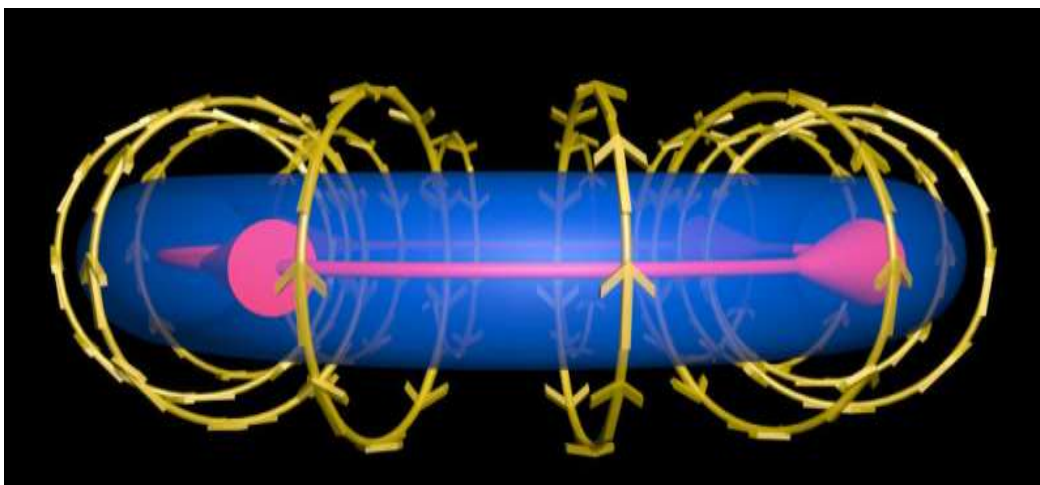


Figura 12. *Campo magnético en diferentes puntos.*

4.1. REGLA DE LA MANO IZQUIERDA PARA LA CORRIENTE

Las acciones anteriores nos enseñan que existe una relación definitiva entre la dirección del flujo del electrón y la dirección del campo magnético que es producido. El dedo pulgar y los dedos de la mano izquierda pueden ser usados de una forma conveniente para determinar esta relación como enseña la **Figura 13**.

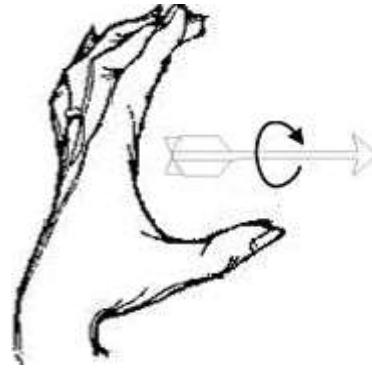


Figura 13. Regla de la mano izquierda para la corriente.

Aguantando el alambre con la mano izquierda, con el dedo pulgar apuntando en la dirección del flujo del electrón los dedos alrededor del alambre están apuntando en la misma dirección que el flujo magnético.

Esta es llamada la Regla de la Mano Izquierda para la Corriente y es muy provechosa porque si la dirección del flujo del electrón es conocida, la dirección del campo magnético puede ser encontrada, y si la dirección del campo magnético es conocida, la dirección del flujo del electrón puede ser determinada.

4.2. EL CAMPO MAGNÉTICO ALREDEDOR DE UNA BOBINA

En la Figura 15 un alambre es doblado para formar una vuelta. Usando la regla de corriente de la mano izquierda cuando el flujo del electrón está en la misma dirección que enseñan las flechas los dedos apuntan hacia la parte inferior de la vuelta sin importar en que parte de la vuelta la mano es puesta

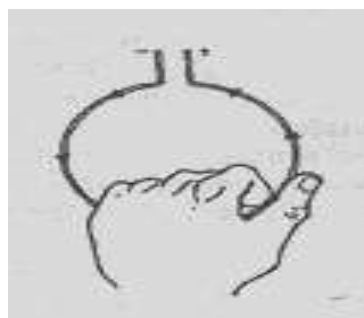


Figura 14. Campo magnético alrededor de una bobina.

Si el alambre es doblado varias vueltas o una “bobina” como en la Figura 16A, cada vuelta de la bobina es pasada a través de un agujero en el cartón para que la bobina de por sí esté formada en el cartón. Las partículas de hierro son polvoreadas en el cartón para demostrar la acción del campo magnético. Cuando la corriente es pasada por la bobina en la dirección de las flechas, las partículas se alinean en un patrón definido sobre el cartón.

Como enseña la **figura 15A**, esta tiene un campo magnético alrededor de cada vuelta en el punto donde la vuelta está pasando por el cartón. Estos campos son exactamente iguales a los ilustrados en la **Figura 12**, no obstante, cada uno de estos campos combinan con los que están a cada lado y un campo singular es formado alrededor de toda la longitud de la bobina. Notar la similitud entre los patrones formados alrededor de la bobina en el cartón y en la que está formado alrededor del imán permanente en la **Figura 8A**.

La estructura del campo que está alrededor de la bobina está indicada con un dibujo simplificado en la **figura 15B**, los campos circulares pequeños que están alrededor de cada vuelta están representados por las líneas punteadas con flechas, y el campo que está alrededor de toda bobina está indicado con las líneas sólidas flechadas. Las flechas que están dentro del conductor indican la dirección del flujo del electrón por la bobina. Debido a la dirección de las líneas que componen todo el campo la parte del extremo superior derecho de la bobina se convierte en el polo magnético norte y la parte del extremo inferior izquierdo en el polo magnético sur. Las líneas de flujo se extienden desde el polo N hacia el polo S por el exterior de la bobina, y desde el polo S hacia el polo N por el interior de la bobina. La bobina que conduce la corriente tiene las mismas características magnéticas que de los imanes permanentes descritos anteriormente. Si la dirección del electrón cambia, la dirección del campo magnético también cambiará.

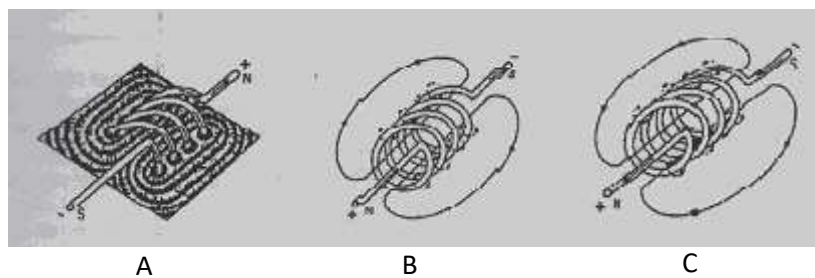


Figura 15. Estructura del campo alrededor de una bobina.

El efecto causado por la inversión de dirección de la corriente está ilustrado en la **Figura 15 C**. Los electrones se mueven por las vueltas en la dirección opuesta a la Figura 16B, como indican las flechas en el conductor. Como resultado los campos circulares pequeños representados por las líneas punteadas, las líneas flechadas son invertidas, y el campo total es representado con las líneas sólidas flechadas también es invertido. El extremo de la parte inferior izquierda de la bobina ahora se convierte en un polo N y el extremo superior derecho en el polo S.

4.3. REGLA DE LA MANO IZQUIERDA EN LA BOBINA

La relación entre la dirección del flujo del electrón y la polaridad del campo resultante está indicada por La Regla de la Mano Izquierda en la Bobina.

Con los dedos colocados alrededor de la bobina apuntando hacia la dirección del flujo del electrón, el dedo pulgar apunta hacia el polo norte del campo magnético.

Cuando la corriente existe en una bobina similar a la que fue enseñada en la **Figura 16**, la bobina tiene todas las características magnéticas de un imán permanente y es llamado electroimán. Si este electroimán es acercado a un imán permanente o a otro electroimán, los polos iguales y desiguales reaccionarán exactamente igual como fue explicado para los imanes permanentes, en adición, un incremento en la corriente de la bobina incrementará la fuerza del campo magnético y una reducción de corriente debilitará el campo magnético.

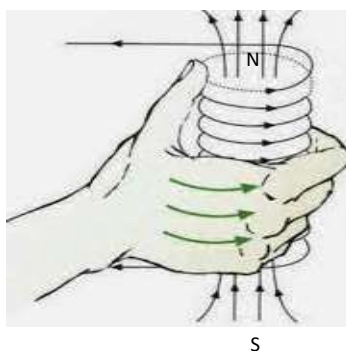


Figura 16. Regla de la mano izquierda en la bobina.

4.4. LOS AMPERIOS VUELTAS

Cuando el número de vueltas en una bobina es incrementado y la corriente es mantenida igual, la fuerza del campo magnético se incrementa. Cada vuelta de bobina genera su propio campo magnético. El cual se une a los demás campos de las otras vueltas para producir el campo total alrededor de toda bobina. A más vueltas, más campos

magnéticos se unen para reforzarse y como resultado, el campo magnético total será mucho más intenso.

Para poder comparar la fuerza magnética de diferentes bobinas y poder obtener unas bases para la medición de la fuerza magneto motriz de un electroimán, el número de vueltas de cable es multiplicado por la intensidad de amperios conducidos por el cable y el resultado es llamado Amperios-vueltas (NI). El amperio-vuelta es la unidad para medir la fuerza magneto motriz de una bobina. En una fórmula la fuerza magneto motriz en amperio-vueltas puede ser expresada como:

$$F = N * A$$

Dónde:

F = Fuerza magneto motriz en amperios – vueltas

N = Número de vueltas

A = Corriente en amperios.

Por ejemplo, una bobina con 10 vueltas y una corriente de 10 amperios tiene una F de 100 amperios-vueltas. Otra bobina con 50 vueltas tiene una F de 100 amperios-vueltas.

Como anteriormente fue declarado, el hierro y el acero tienen baja reluctancia y conducen muchas más líneas magnéticas de fuerza que el aire y otros materiales. Para incrementar el campo magnético de la bobina es una práctica común el insertar una pieza de hierro por el centro de la bobina. El hierro es llamado núcleo y su baja reluctancia permite el paso de muchas más líneas magnéticas de fuerza que el aire pudiera conducir. Este núcleo tiende a concentrar el campo magnético de la bobina.

El comportamiento magnético en una bobina que conduce la corriente eléctrica puede ser sumariado en las tres siguientes declaraciones:

1. Cuando la corriente pasa por una bobina de alambre, un campo magnético es generado en el interior y el exterior de la bobina, el cual exhibe todas las propiedades de un imán.

2. La fuerza del campo magnético varía con el número de vueltas y la corriente. Sin corriente el magnetismo no existe.
3. Un núcleo de hierro colocado en el interior de la bobina permite un gran incremento de la intensidad del campo magnético aportando con un circuito magnético que tiene menos reluctancia que el aire.

4.5. LA CURVA DE HISTÉRESIS

La curva de histéresis es una representación gráfica de la relación entre la fuerza magnetizadora (H) y la densidad de flujo (B) resultante del material. Por esta relación la curva es algunas veces referida como la curva B-H. Algunas veces, la curva B-H está representada como la magnetización del material y es llamada “La Curva Virgen”. La curva es formada por el incremento de la fuerza magnetizadora H hasta que la densidad de flujo B máximo es conseguido. En el punto de máxima densidad de flujo se dice que el material ha llegado a su punto de saturación. En este punto si existe un incremento en la fuerza magnetizadora, la densidad de flujo no se incrementará. Esto está indicado como el punto “a” en la Figura 18.

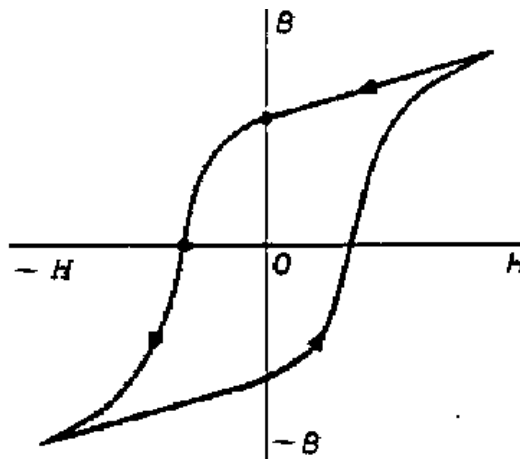


Figura 17. Curva de Histéresis.

Cuando la fuerza magnetizadora es eliminada la densidad de flujo se reduce al punto magnetismo residual en el material. Este punto es la densidad (B) remanente cuando la fuerza magnetizadora no está siendo aplicada. Esto está representado por el punto “b” de la Figura 18.

Cuando la fuerza magnetizadora está siendo aplicada en la dirección opuesta de la fuerza original, su primer efecto es la remoción del magnetismo residual del material. La intensidad de fuerza magnetizadora requerida para llegar a este punto es llamada la fuerza coerciva. Esta es el punto “c” de la figura 18. Cuando la fuerza magnetizadora opuesta está siendo aplicada el material llegará otra vez al punto de saturación, esto está ilustrado como el punto “d” de la curva y es el mismo punto que “a” solamente que es negativo o está en la dirección opuesta. Cuando esta fuerza magnetizadora es removida, una vez más, el material retiene cierta cantidad de densidad de flujo la cual está indicada como el punto “e”. Cuando la fuerza magnetizadora vuelve a la dirección original la densidad de flujo negativo es primero removido por la fuerza coerciva, punto “f” y entonces, como la fuerza magnetizadora se incrementa, el punto de saturación original es otra vez vuelto a alcanzar.

Este proceso completa toda la curva de histéresis. Cuando se utiliza la (CD) como fuerza magnetizadora es necesario invertir manualmente la corriente, mientras que cuando la (CA) es usada la curva completa de histéresis está siendo formada con cada ciclo de corriente. Por ejemplo, con 60 ciclos de corriente la curva es formada 60 veces por segundo. A pesar de que la curva está siendo formada 60 veces por segundo, es importante recordar que debido a que la corriente alterna está cambiando constantemente de dirección, la penetración del flujo magnético es muy débil. En otras palabras, la superficie del material puede estar saturada, no obstante, todo el espesor no estará saturado.

Las características de la curva nos aportan una gran cantidad de información acerca de las propiedades magnéticas del material que está representa. Una curva con un pico muy alto, pero la cual es muy delgada indica que es un material altamente permeable. Esto quiere decir que es un material que puede ser magnetizado muy fácilmente, pero cuando la fuerza magnetizadora es removida habrá poco magnetismo residual como se enseña en la Figura 19.

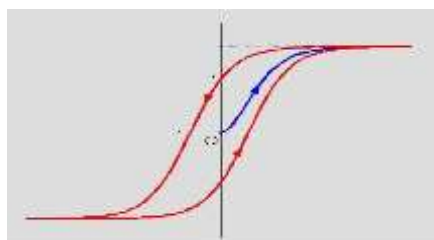


Figura 18. *Curva de Histéresis con poco magnetismo.*

Contrariamente, una curva con un pico más bajo y una apariencia muy ancha indica que es un material con alta reluctancia. Este es un material que requiere una gran cantidad de fuerza magnetizadora para poder ser magnetizado. Este material también retendrá una mayor cantidad de magnetismo residual después que la fuerza magnetizadora haya sido removida como enseña la Figura 20.

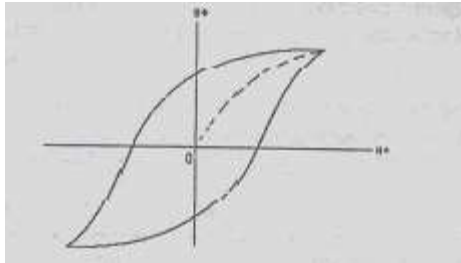


Figura 19. *Curva de Histéresis con alto magnetismo*

4.6. USO DE LOS ELECTROIMANES

Cuando es deseado producir un movimiento mecánico con la electricidad, algún tipo de electroimán es normalmente usado. En casi todos los casos la parte que se va a mover está fabricada de material magnético, la cual es puesta muy cerca del imán. El timbre de puerta es un buen ejemplo de uso de un electroimán para producir un movimiento mecánico. En la Figura 21 un timbre de esta clase es enseñado sin su cubierta para exponer sus partes principales. El timbre o campana está en la parte superior mientras que directamente debajo se encuentra la armadura, la cual tiene una bola pequeña o martillo unida en su parte superior.

La bobina de alambre del electroimán está enrollada en un núcleo de hierro cilíndrico, remachado en el centro de un armazón de hierro con patrón de “U” el cual está montado en la base principal del timbre. La armadura se extiende a través del extremo abierto de la “U” de este armazón y está sujeta en posición por un muelle el cual está remachado a ambos al armazón y a la armadura.

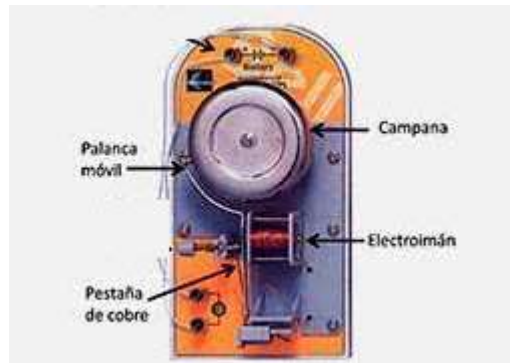


Figura 20. *Timbre eléctrico.*

El extremo superior del muelle es doblado para separarlo de la armadura y tiene un contacto el cual está en línea con otro contacto montado, pero aislado eléctricamente de la base principal. La tensión del muelle tiende a tirar la armadura hacia fuera del armazón y a aguantar los contactos juntos como se enseña en la Figura 21.

En el armazón existe un circuito eléctrico que va desde la posta de apretada derecha, a través de las vueltas de la bobina y sobre los contactos estacionarios. Mientras que el muelle mantiene los contactos juntos, el circuito continúa por el muelle hasta la posta de apretada izquierda.

Para simplificar el dibujo solamente unas vueltas han sido dibujadas en la bobina, pero en realidad se usan varios cientos de vueltas para llenar el rollo completo. La gran cantidad de vueltas provee con un mayor número de amperio-vueltas sin necesidad de mucha corriente, y así provee con una condición satisfactoria de operación.

El timbre de puerta es un ejemplo simple, éste ilustra un método común por el cual la corriente eléctrica en una bobina es convertida en energía magnética que atrae la armadura y causa un movimiento mecánico.

En vez de convertir la fuerza eléctrica en movimiento un campo magnético puede ser usado para convertir el movimiento mecánico en voltaje alterno o corriente alterna. Usando este principio, los voltajes de CA son generados (generador) para el uso en las casas y también en el equipo usado en la electrónica.

4.7. LOS CIRCUITOS MAGNÉTICOS

Los caminos tomados por las líneas magnéticas de fuerza pueden ser considerados de una forma muy parecida a los caminos de la corriente en un circuito eléctrico. En un circuito

eléctrico la presión o el voltaje sobrepasan la resistencia de un conductor y genera una corriente. En un circuito magnético las condiciones similares existen, pero en vez de voltaje o la fuerza electro motriz (emf), existe una fuerza Magneto motriz (mmf) la cual es la que genera las líneas magnéticas por todo el circuito.

La oposición que ofrece el circuito magnético a este flujo se conoce como la reluctancia. Eléctricamente casi todos los materiales tienen diferentes características de resistencia, unos ofrecen una oposición baja y otros ofrecen oposición alta a la corriente eléctrica. No obstante, con la excepción de los metales magnéticos la mayoría de las sustancias ofrecen casi la misma resistencia. El aire y otros materiales no magnéticos tienen una reluctancia alta.

Para comparar más a fondo un circuito magnético eléctrico, este tiene mmf en vez de voltaje; línea de fuerza o líneas de flujo en vez de corriente y reluctancia en vez de resistencia. Esta relación entre la mmf, flujo y reluctancia en el circuito magnético es muy similar a la relación entre el voltaje, corriente y resistencia en un circuito eléctrico. Así como la corriente es igual al voltaje dividido entre la resistencia, el flujo es igual a la fuerza magneto motriz dividido entre la reluctancia.

4.8. EL BLINDAJE MAGNETICO

Hasta ahora como todos saben, las líneas magnéticas pasan por todos los materiales a temperaturas normales. Ilustrando los campos magnéticos mediante el uso de las partículas de hierro, el imán es colocado bajo una plancha de cristal y las partículas de hierro son polvoreadas sobre la superficie del cristal, el cristal es un pobre conductor de las líneas magnéticas, el cristal no puede aislar las partículas de hierro de los efectos del campo magnético.

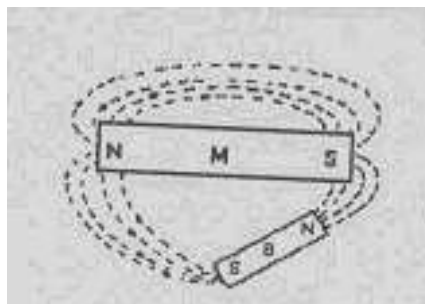


Figura 21. *Inducción magnética.*

En la Figura 22 cuando una barra de hierro blando (B) es colocada en el campo de un imán permanente (M), la inducción magnética hace que el hierro se convierta en un imán temporal con sus polos N y S, como se explica en la Figura 10. El hierro blando ofrece menos resistencia que en el espacio que rodea el pasaje de las líneas magnéticas, y las líneas de fuerza que salen del polo N del imán permanente siguen el camino de menor resistencia por el hierro de vuelta hacia el polo S del imán permanente. Así que el campo magnético es atraído hacia fuera de su forma natural por la pieza de hierro.

Esta habilidad que tiene un material magnético para distorsionar el campo puede ser usado para nuestra ventaja cuando sea necesario proteger algún objeto de los efectos de un imán. Se puede ver extraño el tener que usar un buen conductor de líneas magnéticas con el propósito del aislamiento, pero la razón es que la sustancia magnética lleva las líneas magnéticas mucho más fácilmente que el aire u otro material que en vez de pasar por el objeto que va a ser protegido, el campo es distorsionado y pasa alrededor del objeto por otro material magnético. Este arreglo es llamado Blindaje Magnético y, como está indicado en la Figura 23 las líneas magnéticas no pasan por el espacio interior del escudo.

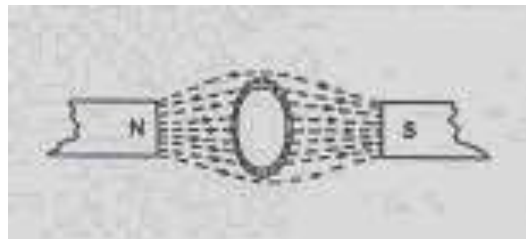


Figura 23 Blindaje Magnético

Este método es frecuentemente usado para proteger los relojes en contra de los efectos del magnetismo. El anillo de reloj está hecho de un material magnético y las líneas de fuerza pasan por este material magnético alrededor del mecanismo. Este previene que el mecanismo sea desbalanceado o sacado de sincronización por el campo magnético al que puede ser expuesto.

El blindaje magnético es muy importante para la unidad de EMI que tiene el sistema tipo Gamma. El flujo magnético puede interferir con el sistema de espesores si el blindaje no es usado.

CAPITULO V

TEORÍA DE FUGAS DE CAMPO

5.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS

El método para la detección de imperfecciones mediante las fugas de campos está basado en el hecho de que una discontinuidad superficial en la geometría o en las propiedades magnéticas del cuerpo producen unas perturbaciones localizadas en el campo magnético justamente afuera de la superficie del cuerpo. Así que en principio la presencia de una grieta, una inclusión no magnética o cualquier otra anomalía localizada en las propiedades magnéticas pueden ser detectadas mediante la investigación de la superficie de una parte para detectar fluctuaciones localizadas en el campo magnético.

La primera aplicación de este principio de detección de imperfecciones fue desarrollada por De Forest y Doane alrededor de 1930. Su método el cual hoy es conocido como las pruebas con partículas magnéticas, consiste en el uso de unos polvos finos de partículas de hierro los cuales son aplicados en las superficies de las partes magnetizadas. Estas partículas son atraídas por el gran campo magnético que está en la vecindad de la imperfección y tiende a adherirlas a la superficie de tales regiones, dando una indicación visible de las imperfecciones presentes. Las pruebas con partículas magnéticas adquirieron una gran aceptación en la década siguiente y es hoy todavía el método de inspección con partículas magnéticas más usado.

Las desventajas del método de partículas magnéticas tales como es el requerimiento de la inspección visual en las superficies que son fácilmente accesibles y la ausencia de un registro permanente y cuantitativo de la inspección, hicieron que los trabajadores considerarán otros métodos alternativos para la detección de fugas de campos de imperfecciones. Varias sugerencias para los métodos de detección electromagnéticos emergieron en el año 1930, pero la mayoría de estos dependían de las mediciones inductivas de las fugas de campo y por eso requerirían una alta frecuencia de corriente magnetizadora, la cual limitaría la detección de las imperfecciones que están junto a la superficie, o las bobinas que requerirían un movimiento a una velocidad constante sobre la superficie, lo cual era muy complicado para la tecnología de aquellos tiempos. Una excepción fue la patente emitida a Zuschlag en 1933 por un sensor electromagnético basado en la misma idea básica que fue implementada unos trece años después.

El primer sistema práctico automático para la medición electromagnética de las fugas de flujo de las imperfecciones fue diseñado por Hastings en 1946. Su sensor como el que fue diseñado por Zuschlag, fue un aparato activo similar en muchos aspectos al magnetómetro de flux gate. Con este sensor Hastings demostró que él podía detectar las imperfecciones de la superficie y junto a la superficie del diámetro interior de los tubos de acero, un trabajo de inspección que había sido hasta ese día virtualmente imposible. Él también notó una correlación empírica entre las amplitudes de las señales de las fugas de campo y las profundidades de las grietas de la superficie y sugirió que una investigación más profunda acerca de este tema podría conducir a otros métodos para medir profundidades de las grietas. Esa investigación resultó siendo el líder en el otoscopio de registros magnéticos altamente automatizado para la inspección de los tubos para cañones y otras aplicaciones de END del método de fugas de campos magnéticos.

5.2. ORIGEN DE LAS FUGAS DE CAMPO ASOCIADAS CON LOS DEFECTOS

Una explicación elemental del origen de las fugas de campo está ilustrada en la **Figura 22**. La figura superior enseña una varilla magnetizada uniformemente la cual es dibujada siendo compuesta por un gran número de imanes elementales alineados con la dirección de magnetización.

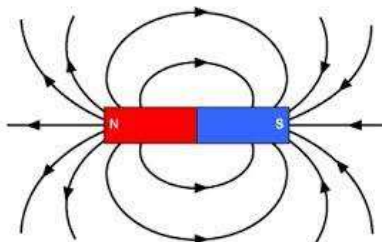


Figura 22. *Intensidad del campo magnético.*

En el interior del material cada polo está compensado exactamente por la presencia de un polo adyacente de polaridad opuesta y el resultado neto es que los polos interiores no contribuyen al campo magnético del exterior del material.

En las superficies, los polos magnéticos no están compensados y por eso producen un campo magnético alrededor de la región que rodea la parte. Esto está ilustrado en la figura 24 por las líneas de flujo que conectan los polos elementarios no compensados.

Ahora suponga que una ranura es cortada en la superficie de la varilla, como está ilustrado en la figura 25. Los polos de la superficie en la ranura ahora tampoco están compensados, y por eso producen un campo localizado en la proximidad de la ranura. Este campo magnético adicional el cual es representado por las líneas de flujo extra en la figura inferior es la fuga de campo asociada con la ranura.

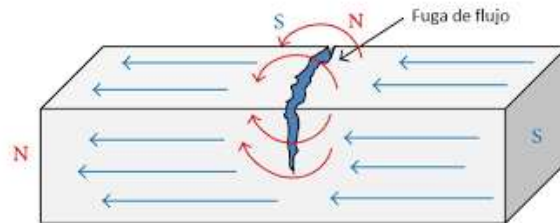


Figura 23. Fugas de campo.

Este simple dibujo es adecuado para una comprensión cualitativa del origen de las fugas de campos, no nos proporciona con una exacta descripción cuantitativa. La dificultad es la suposición que la magnetización permanece uniforme cuando una imperfección es introducida. En general, esto no pasa porque la presencia de una imperfección cambie el campo magnético en la proximidad de la imperfección y esto, en cambio da lugar a un cambio en la magnetización junto a la imperfección. En los términos del imán elemental usado en el dibujo de la Figura 1 quiere decir que las fuerzas y las orientaciones de los dipolos (imanes) elementales deberán permitirse que varíen de punto a punto en la proximidad de la imperfección. Como resultado una compensación exacta de los polos interiores puede ser destruida en la región que está junto a la imperfección por eso levanta otra fuente adicional de campo magnético.

Tales complicaciones de la estructura en el modelo de dipolo elemental pueden ser calculadas, y así poder derivar una exacta ecuación matemática para la fuga de campo. No obstante otra forma de efectuarlo mucho más simple y también equivalente es trabajando con las ecuaciones de la versión magneto estática de Maxwell.

En resumen, los puntos principales son que, en general existen dos fuentes distintas de fugas de campos magnéticos asociadas con las imperfecciones. Una distribución no compensada de los polos en la superficie de la imperfección y la otra es el volumen de la fuente relacionada con las variaciones en la permeabilidad del material próximo a la imperfección. Mientras que una u otra fuente puede dominar ciertos tipos de imperfecciones bajo ciertas condiciones de magnetización, una forma general para la

interpretación de los datos de las fugas de campo deberá incluir la consideración de ambas.

5.3. MÉTODOS PARA LA MAGNETIZACIÓN

Una de las primeras consideraciones para la aplicación experimental de los métodos de fugas de campos magnéticos es la generación de un campo magnético apropiado en el material. En materiales ferromagnéticos, la magnetización residual tiene normalmente una amplitud adecuada para la detección de las imperfecciones superficiales. No obstante, en la práctica la magnetización residual es raramente usada por las siguientes razones:

1. El uso de un campo magnetizador asegura que el material esté en un estado deseado el cual se espera que sea conocido y bien caracterizado.
2. Los métodos de campos aplicados proporcionan una mayor flexibilidad, por ejemplo, uno puede producir una alta o baja densidad de flujo en el material como sea deseado.

El control de la fuerza y la densidad de flujo puede ayudar a mejorar la detección de las imperfecciones y en la discriminación de los diferentes tipos de imperfecciones. Se ha descubierto experimentalmente que en el acero AISI 4340, un campo magnético bajo de inspección proporciona una buena sensibilidad para la detección de las grietas pequeñas de fatiga, mientras que un campo magnético alto proporciona una buena sensibilidad en la detección de inclusiones y anomalías geométricas, pero tiene poca sensibilidad para la detección de grietas de fatiga. Para la generación de un campo magnético en el material varias formas son disponibles.

El método seleccionado depende de tales factores como la geometría del material, la dirección deseada del campo magnético, la orientación esperada de las imperfecciones, si las imperfecciones están en la superficie o bajo la superficie. Los métodos de corriente alternan (CA) y la corriente directa (CD) pueden ser usados. Debido al efecto de piel los métodos de corriente alternan están restringidos a las regiones de la superficie y por ello no son muy efectivos para las imperfecciones bajo la superficie.

Un campo magnético puede ser generado en el material directa o indirectamente. En la magnetización directa la corriente es pasada directamente por la parte. Con la forma indirecta la magnetización es inducida colocando la parte en un campo magnético el cual es generado por un conductor de corriente o un imán permanente próximo. Esto puede

ser efectuado por ejemplo pasando un conductor por una parte hueca como un tubo o pasando la corriente eléctrica por un cable que está enrollado alrededor del material. La Figura 26 indica varios métodos para la magnetización de una parte directa o indirecta.

Los métodos de magnetización son tratados más detalladamente en varios libros de referencia como McMaster`s Nondestructive Testing Handbook, Magnetic Methods of Nondestructive Testings, Parts I and II, by Bezer and Magnetic Particle Inspection Fundamentals by Frank Dunn. Varios de estos artículos tratan del método para la detección de imperfecciones con las partículas magnéticas, los procedimientos de magnetización son también aplicables al método de fugas de campo magnéticos.

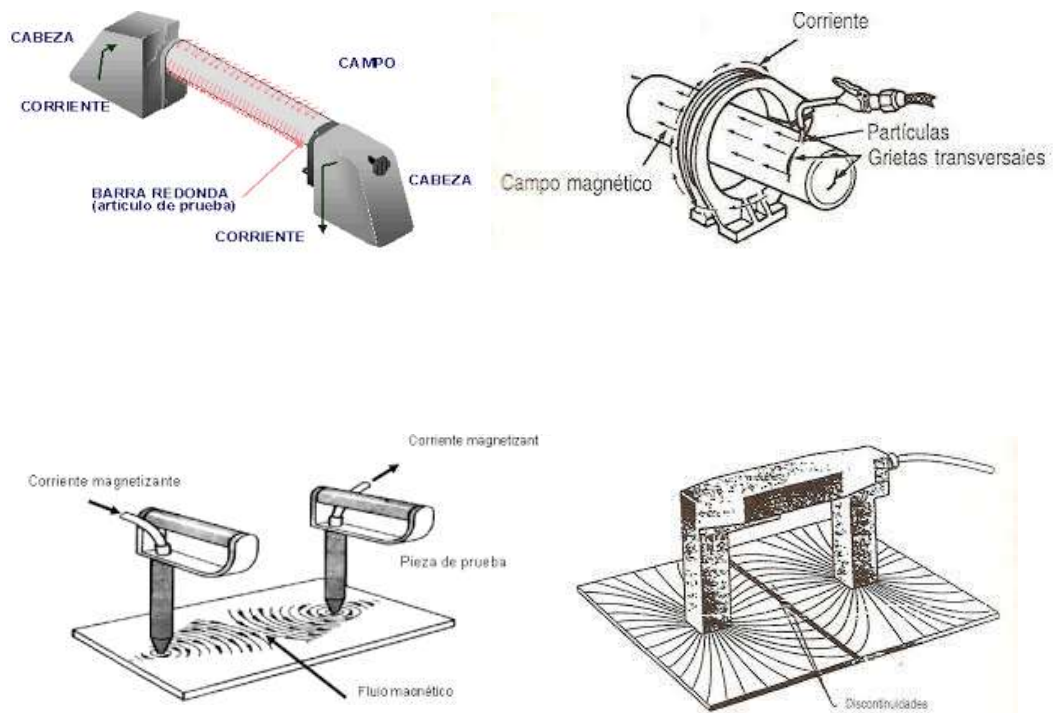


Figura 24. Métodos de magnetización.

5.4. SENSORES PARA LAS FUGAS DE FLUJO DE FLUJO

Los sensores usados para la detección de las perturbaciones o las disturbaciones en el flujo magnético, fugas de campo asociados con los defectos pueden ser divididos en tres grupos: las partículas magnéticas, la magnetografía y la magnetometría.

5.4.1. LAS PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

En contraste al uso de las sondas de magnetómetro para investigar las superficies magnetizadas de los materiales ferro-magnéticos, así facilitando la construcción de un mapa del campo magnético inducido en la superficie del material, el método de partículas magnéticas consiste en la aplicación de unos polvos de hierro de ciertos compuestos en la superficie de un material magnetizado, y entonces examinando la superficie para localizar las áreas de donde los polvos están acumulados. Dependiendo del tipo de imperfecciones que se están siendo buscadas y el tamaño, forma y la potabilidad de la parte de prueba, las partículas líquidas o secas pueden ser utilizadas. Las partículas secas son más efectivas para la detección de imperfecciones que están bajo la superficie y son más convenientes en las inspecciones de campo. El método líquido es normalmente superior para la detección de imperfecciones muy finas y de poca profundidad. A menudo las partículas son coloreadas para dar un color de contraste con la superficie que está siendo inspeccionada. Un inspector experimentado con buena visión ocular es requerido usualmente para efectuar la examinación de las indicaciones de imperfecciones superficiales.

Un factor crítico para obtener una inspección exitosa con el método de partículas magnetizadas es la selección apropiada del nivel de corriente del magnetizador. Con una fuerza magnetizadora pequeña el campo que está alrededor de las imperfecciones no tendrá la magnitud suficiente para poder aguantar las partículas en su lugar.

Si la corriente magnetizadora es muy alta, el campo producido será tan grande que hasta las áreas sin imperfecciones atraerán y aguantarán las partículas en toda la superficie cubriendo así las indicaciones de las imperfecciones genuinas. Para cada situación de inspección, el nivel de corriente óptimo es generalmente encontrado experimentalmente.

5.4.2. LOS SENSORES MAGNETOGRAFICOS

Esta técnica de medición de las fugas de campos asociadas con los defectos es más indirecta que aquellas discutidas anteriormente en que el flujo de dispersión de los efectos es registrado en una cinta magnética la cual es presionada en contra de la superficie de prueba. La cinta es entonces leída utilizando uno de los magnetómetros discutidos previamente y los flujos de dispersión registrados son convertidos electrónicamente en una señal de rastro. Una de las ventajas primarias de la magnetografía

es que el material altamente elástico de la cinta puede ser presionado en contacto íntimo con las superficies irregulares encontradas, como los cordones de soldadura. En adición, las áreas de pruebas necesitan ser magnetizadas por solamente una fracción de segundo para producir una señal registrable, lo más seguro es que la cinta usada como portador intermediario de la información distorsionará los datos del defecto, en tanto que la intensidad y la topografía de la imagen generalmente no concordarán con los parámetros respectivos del campo magnético original.

5.4.3. LOS MÉTODOS MAGNETOMETRICOS DE DETECCIÓN

Los métodos magnetométricos de inspección son utilizados generalmente para la investigación directa de un material, los cuales aportan con un mapa de las fugas de campo producidas por un defecto. Las formas magneto métricas más usadas envuelven el uso de un sensor de inducción de bobina, el sensor de Hall effect y el magnetómetro de Flux Gate

5.4.3.1 EL SENSOR INDUCTIVO DE BOBINA

El sensor inductivo de bobina de alambre está basado en la ley de Faraday la cual puede ser escrita como:

$$V = -N \frac{d\phi}{dt}$$

Donde:

V = Voltaje inducido en la bobina

N = Número de vueltas de la bobina

ϕ = Flujo magnético

Entonces para que una bobina inductiva pueda detectar las perturbaciones en un campo magnético estático, tiene que haber un movimiento relativo entre la bobina y el campo tal como los cambios de flujo en la bobina. Este tipo de operación es enseñado esquemáticamente en la Figura 25.

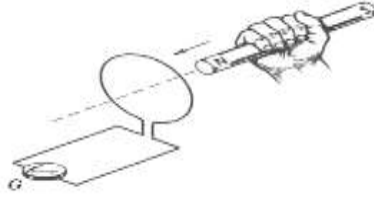


Figura 25. *Campo magnético de una bobina inductiva.*

La figura muestra una bobina conectada a un galvanómetro, si introducimos un imán recto en la bobina con su polo norte hacia la bobina ocurre que mientras el imán este en movimiento el galvanómetro se desvía, poniendo en manifiesto que esta pasado una corriente por la bobina. Si el imán se mueve alejándose de la bobina el galvanómetro se desvía nuevamente, pero en sentido contrario, lo que quiere decir que la corriente en la bobina ahora está en sentido contrario.

5.4.3.2. LAS SONDAS HALL EFFECT

Este sensor utiliza un elemento de Hall effect para convertir las perturbaciones de flujo en voltaje y tiene la ventaja sobre las bobinas inductivas de poder ser usado a velocidades muy baja de investigación. La sonda de Hall continúa dando lecturas, aunque la sonda no sea movida. El efecto Hall depende del hecho que los portadores de cargas de un aparato que conduce corriente son desviadas en un campo magnético. Como resultado el efecto Hall produce un voltaje a través del elemento sensor el cual es proporcional al producto de corriente y al campo magnético como es ilustrado en la figura 27.

Los sensores de efecto Hall son difíciles de fabricar, son algo delicados y requieren un aparato electrónico auxiliar mucho más complejo que para los sensores de bobina inductivos.

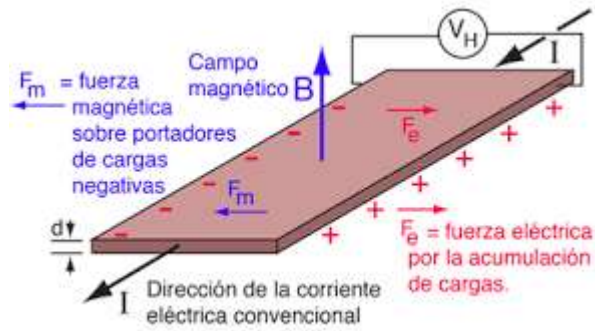


Figura 26. Las sondas Hall efect.

5.4.3.3. EL MAGNETOMETRO DE FLUX GATE

Este tipo de sensor, es un aparato que mide los campos magnéticos mediante la utilización de las características magnéticas no lineales de un núcleo de material ferromagnético como su elemento sensor. Estos fueron concebidos originalmente en los años 1930 y continúan siendo usados en una variedad de aplicaciones de exámenes no destructivos.

Una bobina de arrastre y una bobina sensor están enrolladas en un núcleo fácilmente saturable. Las características del núcleo y de las corrientes propulsoras son tales que los cambios de magnetización inducidos por las fugas de campo afectan al filtro de salida armónico de la bobina censorsa.

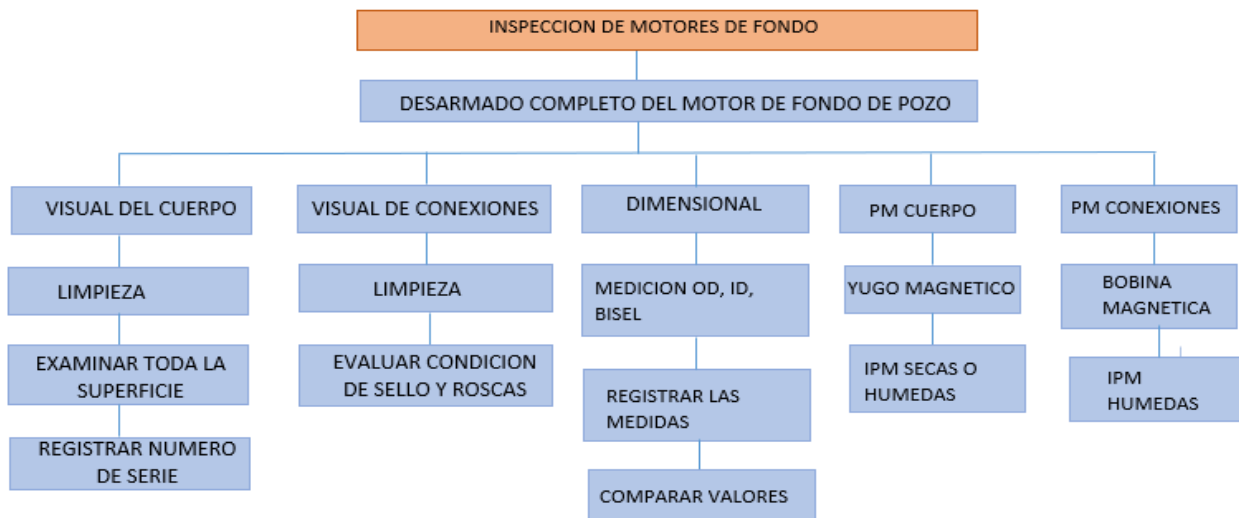
La detección de imperfecciones longitudinales es usada usando un campo residual o activo. La aplicación residual es considerada la más sensible para la detección de las imperfecciones naturales que son muy pequeñas y apretadas. Las unidades para los campos activos utilizan dos bobinas para simular un campo circular activo para los sensores que corren entre los polos creados por las bobinas.

CAPITULO VI PROPUESTA

6.1 REQUERIMIENTOS DE INSPECCIÓN

El Programa de Inspección de motores de fondo debe incluir los siguientes procedimientos de inspección:

- 1) Inspección visual del cuerpo
- 2) Inspección visual de conexiones
- 3) Inspección dimensional
- 4) Inspección del cuerpo con partículas magnéticas
- 5) Inspección de conexiones con luz negra.



6.2. INSPECCIÓN VISUAL DEL CUERPO

6.2.1. PROPÓSITO

Este procedimiento cubre la inspección visual de las superficies internas y externas de todas las piezas del motor de fondo de pozo para determinar su condición general.

6.2.2 EQUIPO DE INSPECCIÓN

Se necesita un marcador de pintura, medidor de profundidad, un medidor de espesor ultrasónico, un medidor de luz calibrado para verificar la iluminación y una luz que sea capaz de iluminar toda la superficie accesible interior del tubo, un lente óptico para ver todo el interior y el estado del elastómero del estator del motor de fondo. El

medidor de intensidad de luz debe tener una etiqueta que muestre su calibración en los seis meses pasados. La etiqueta deberá mostrar la fecha de calibración del equipo, fecha de la próxima calibración, así como la compañía e individuo que realizó la calibración.

6.2.3. PREPARACIÓN

- a) Todas las piezas deben tener un número de serie.
- b) La superficie externa deberá estar limpia de manera tal que se pueda ver la superficie del metal y no debe tener partículas en la superficie de más de 1/8 pulgadas en cualquier dimensión que puedan desprenderse con la uña.

6.2.4. PROCEDIMIENTO Y CRITERIOS DE ACEPTACIÓN

- a) La superficie externa debe ser examinada en su totalidad. Se debe medir las imperfecciones superficiales en caso de encontrarse que penetren la superficie normal de la pieza y restar la profundidad de la imperfección del espesor de pared adyacente promedio para determinar el espesor de pared restante por debajo de la imperfección. Las imperfecciones superficiales que causen que el espesor remanente sea mayor al 10% serán causa o motivo de rechazo. El espesor de pared adyacente promedio se podrá determinar al promediar las lecturas de los espesores de pared de dos lados opuestos de la imperfección. Cualquier metal que sobresalga de la superficie normal podrá ser removido para facilitar la medición de la profundidad de la penetración. Toda grieta o fisura visible será causa de rechazo.
- b) Se debe examinar todo el interior del elastómero del estator con un lente óptico para ver su estado, si tiene algún desprendimiento o si está dañado. El programa de inspección debe incluir criterios de aceptación para elastómero, fragmentación y cambio de textura (decoloración). Si no se especifican los criterios de aceptación, cualquier rasgadura, fragmentación o cambio en la textura (decoloración) del elemento elastómero será motivo de rechazo.
- c) El nivel de iluminación mínimo en la superficie de inspección debe ser 50 pies-candelas. El nivel de intensidad de luz en la superficie de inspección debe ser verificado:
 - Al principio de cada trabajo de inspección.
 - Cuando las instalaciones cambien de posición o intensidad.

- Haya cambio en la posición relativa de la superficie inspeccionada con respecto a la instalación de luz.
- Cuando el cliente o su representante lo pidan.
- Al terminar el trabajo de inspección.

Los requisitos no aplican a condiciones de luz solar directa. Si se requiere de ajustes al nivel de intensidad de luz en la superficie de inspección, todos los componentes inspeccionados desde la última verificación del nivel de intensidad deben ser re-inspeccionados.

- a) La superficie interior iluminada deberá examinarse visualmente desde cada extremo. Las picaduras en el interior no deberán exceder los 1/8” de profundidad medido o estimado visualmente y las picaduras no deben exceder 3/16”.

6.3. INSPECCIÓN VISUAL DE CONEXIONES

6.3.1. PROPÓSITO

Se debe realizar la inspección visual de las conexiones rotary usadas para evaluar la condición de los sellos o espejos, de las roscas o hilos para buscar evidencia de expansión en el box y alargamiento en el pin. También cubre la inspección visual de los aliviadores de tensión (stress relief features) tanto en el pin como en el box (caja) de las conexiones de los componentes del BHA.

6.3.2. EQUIPO DE INSPECCIÓN

- a) Se necesita un marcador de pintura, un calibre de profundidad, un medidor de espesor de ultrasonido, una luz blanca capaz de iluminar la totalidad de la superficie interna accesible de la herramienta, una regla metálica de 12 pulgadas graduada en incrementos de 1/64 pulgadas, una regla de metal recta, un perfilómetro (peine) endurecido y pulido, los calibres de Diámetro Externo y calibres de Diámetro Interno.
- b) También se necesitan un calibre de medidor de paso con su bloque estándar. El calibre de paso debe estar calibrado en los últimos seis meses y su bloque estándar deberá mostrar evidencia de su calibración en el último año. El perfil de rosca deberá mostrar evidencia de su calibración en los últimos tres años. La calibración deberá ser trazable al Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST) u algún organismo equivalente.

- c) También se requiere de un medidor para luz blanca calibrado para verificar la iluminación exterior. El medidor de intensidad de luz debe tener una etiqueta o calcomanía que muestre la calibración del equipo en los últimos seis meses. La etiqueta o calcomanía debe mostrar la fecha de calibración del equipo, la fecha de la próxima calibración como también la compañía y la persona que realizaron dicha calibración.

6.3.3. PREPARACIÓN

- a) Todas las piezas deben tener un número de serie.
- b) Todas las conexiones tienen que estar limpias de tal modo que cuando se pase un paño limpio por la superficie de la rosca o del hombro no se quede residuos de lodo o grasa.

6.3.4. PROCEDIMIENTO Y CRITERIOS DE ACEPTACIÓN

Todas las conexiones deberán cumplir con los siguientes requisitos:

- a) El nivel de iluminación mínimo en la superficie de inspección deberá ser 50 pies-candelas, el nivel de intensidad de luz debe ser verificado:
- Antes de realizar cada trabajo.
 - Cuando se cambie la posición de la superficie inspeccionada con respecto a la instalación de luz.
 - Cuando el cliente, representante o auditor designado lo requieran.
 - Al terminar el trabajo

En el caso de no cumplir algún punto arriba mencionado, todos los componentes que fueron inspeccionados desde la última verificación aceptable deben ser reinspeccionados.

- b) Grasas para Roscas y Protectores: Las conexiones que sean aceptadas deben ser cubiertas con Grasa API para conexiones en su totalidad es decir raíz, superficies de roscas, hombros y sellos. También se debe colocar los protectores para rosca y asegurarlos utilizando un torque entre 50 a 100 lb-pie. El protector tiene que estar limpio antes de ser colocado a la conexión aceptada. En caso de necesitar efectuar alguna inspección adicional a la rosca o al hombro antes de mover la tubería, la aplicación de grasa a las conexiones y los protectores pueden posponerse hasta terminar la inspección adicional.

6.3.5. CONEXIONES API

Además de los requisitos del párrafo 5.3.4, las conexiones API y Similares No-Patentadas deben llenar los requisitos siguientes:

- a) Ancho del Bisel: La circunferencia total del ancho de bisel tanto en el pin como en el box debe tener un bisel externo de aproximadamente 45° y de por lo menos $1/32''$ de ancho.
- b) Superficies de las Roscas: Las raíces de las roscas deberán estar libres de toda picadura. Las superficies de las roscas deben estar libres de imperfecciones que penetren por debajo de la raíz de las roscas, que ocupen más de $1-1/2''$ a lo largo de cualquier hilo de rosca o que excedan $1/16''$ de profundidad o $1/8''$ de diámetro. Cualquier protuberancia encontrada en la superficie de las roscas podrá ser removida utilizando una lima metálica o una rueda “suave” (no metálica) de pulir. El perfil de la rosca deberá ser inspeccionado después de realizar alguna remoción de cualquier protuberancia.
- c) Ensanchamiento del Box: Se debe colocar una regla recta metálica recta en el exterior a lo largo del eje longitudinal del box. Si se nota alguna separación entre la regla recta metálica y la superficie del box, se debe medir el diámetro exterior (OD) utilizando compases. Compare el “OD” junto al bisel, el “OD” (diámetro externo) debe ser medido a $2'' + 1/2''$ del bisel. Si el “OD” en el bisel es mayor por más de $1/32''$, la conexión deberá rechazarse.
- d) Superficies de los Sellos: Las superficies de los sellos deberán estar libres de metal levantado (sobresaliente). Cualquier picadura o interrupciones en la superficie de los sellos que se estima excedan $1/32''$ en profundidad o que lleguen a ocupar más del 20% del ancho del sello en cualquier lugar son causa de rechazo. No es permitido limar el sello de los hombros por ningún motivo.
- e) Refrenteo: En caso de necesitar refrentear, solo debe removerse suficiente metal para corregir el daño. El refrenteo está limitado solo a $1/32''$ por refrenteo y a $1/16''$ para refrenteos acumulativos. Si las marcas de limitación (benchmark) indican que el hombro ya ha sido refrentado más allá del máximo, la conexión deberá rechazarse.
- f) Perfil de la Rosca Pin: El perfil de roscas (peines) debe encajar sobre los flancos de las roscas de modo tal que no se vea luz alguna ni en los flancos ni en la raíz de la

rosca. Solo es permitido las separaciones estimadas no mayores a 1/16” en no más de dos crestas de roscas. Solo se permite el desgaste uniforme de los flancos estimado en menos de 0.010”. Sin embargo, cualquier separación de los flancos de la rosca tiene que ser verificada con un pasímetro de acuerdo con el párrafo 5.1.2.5. Paso del Pin: Si el perfil de roscas (peines) indica que el pin está estirado, no encaja bien entonces se tiene que medir el paso del pin sobre un intervalo de 2 pulgadas empezando en la primera rosca completa más cercana al sello. El estiramiento del pin no deberá exceder 0.006” en 2 pulgadas de longitud. Se deben tomar dos mediciones en el contorno de la rosca a $90^{\circ} \pm 10^{\circ}$ de separación. Si llega a exceder de 0.006” la conexión deberá ser rechazada.

- g) Superficies de Aliviadores de Esfuerzos en las Conexiones: La corrosión acumulada en estas superficies podrá ser removida utilizando ruedas de papel esmeril para determinar la condición de la superficie. Las picaduras que puedan ser medidas con un medidor de profundidad excedan a 1/32 pulgadas serán causa de rechazo.
- h) Picaduras en el Diámetro Interno del Pin: Realizar una inspección visual a la totalidad del diámetro interno (ID) del pin. Las picaduras que se midan o estimadas visualmente con profundidades mayores de 1/8 pulgadas deberán ser causa de rechazo.
- i) Plano de los Sellos: Verificar el plano de los sellos colocando una regla recta en todo el sello y rotando la regla recta al menos 180° a lo largo del plano del hombro. Cualquier separación visible es causa de rechazo tanto en el pin como en el box.

6.4. INSPECCIÓN DIMENSIONAL

6.4.1. PROPÓSITO

Este procedimiento cubre la inspección dimensional de las conexiones rotarias usadas.

6.4.2. EQUIPOS DE INSPECCIÓN

Se requiere de una regla metálica de 12” graduada en incrementos de 1/32” y 1/64”, una regla recta de metal, un perfilómetro (peines), calibres o compases para diámetros externos (OD) e internos (ID), un pasímetro (lead gauge) y su patrón de estandarización. El pasímetro (lead gauge) debe tener un adhesivo con su calibración dentro de los últimos seis meses, y el bloque estándar para el paso debe mostrar evidencia

de calibración dentro del año pasado. El perfilómetro (peines) debe mostrar evidencia de calibración en los pasados tres años.

6.4.3. PREPARACIÓN

- a) Todas las piezas deben tener un número de serie y deberán ser registrados en todos los reportes de inspección.
- b) Las conexiones tienen que estar limpias de modo tal que al pasar un trapo limpio por las superficies del hombro y de la rosca no se encuentren escamas, lodo o lubricante.

6.4.4. PROCEDIMIENTO Y CRITERIOS DE ACEPTACIÓN

Después de realizar la Inspección Visual de Conexiones se debe realizar la Inspección Dimensional cumpliendo los siguientes pasos:

- a) Diámetro Externo del Box (OD): El diámetro exterior de la conexión de la caja o box debe ser medido a 4 pulgadas, $\pm 1/4$ de pulgada desde el hombro. Se deben tomar al menos dos mediciones en intervalos de 90 ± 10 grados y deberá cumplir con los requisitos de la Tabla 7.37 Criterio de Aceptación para conexiones BHA usadas.
- b) Diámetro Interno del Pin: El diámetro interior (ID) del pin debe medirse por debajo de la última rosca más cercana al hombro $\pm 1/4$ pulgadas y no debe exceder los valores de la tabla 7.37 Criterio de Aceptación para conexiones BHA usadas.
- c) Diámetro del Abocardado del Box: El abocardado del box debe ser medido lo más cerca posible del hombro (pero excluyendo cualquier bisel interno o material doblado o laminado). El diámetro del abocardado no debe exceder la máxima dimensión especificada en la Tabla 7.37 Criterio de Aceptación para conexiones BHA usadas.
- d) Profundidad del Abocardado del Box: La profundidad del abocardado debe medirse (incluyendo cualquier bisel interno). La profundidad del abocardado no debe ser menor al valor que se muestra en la 7.37 Criterio de Aceptación para conexiones BHA usadas.
- e) Ranura del Aliviador de Esfuerzo en el Pin: Se deben medir el diámetro y el ancho de la ranura de alivio de tensión en el pin API (si está presente) y las mismas deben cumplir con los requisitos de la Tabla 7.37 Criterio de Aceptación para conexiones BHA usadas.

- f) Boreback (aliviador de esfuerzo del Box: Se debe medir el diámetro y la longitud del cilindro del boreback y las mediciones deben cumplir con los requisitos de la Tabla 7.37 Criterio de Aceptación para conexiones BHA usadas.
- g) Diámetro del Bisel: El diámetro del bisel debe medirse tanto en el pin como en el box y debe cumplir con los requisitos de la Tabla 7.37 Criterio de Aceptación para conexiones BHA usadas.
- h) Anchura del Sello de la Caja: Para tubería de perforación pesada (HWDP), se tiene que medir el ancho del sello en el punto más pequeño y debe ser igual o exceder el valor mínimo de la tabla 7.37 Criterio de Aceptación para conexiones BHA usadas.
- i) Longitud del Pin: Para las conexiones que cuentan con aliviador de esfuerzo en el pin, debe medirse el largo del pin de la conexión y el mismo debe cumplir con los requisitos de la Tabla 7.37 Criterio de Aceptación para conexiones BHA usadas.
- j) Largo de la conexión Pin: Para conexiones sin aliviador de esfuerzo en el pin, debe medirse el largo de la base del pin (la distancia desde el hombro del pin de 90° hasta la intersección del flanco de la primera rosca de profundidad completa con la base del pin). El largo de la base del pin no tiene que ser mayor que la profundidad del abocardado menos 1/16 pulgadas.
- k) Espacio para Llaves: El espacio para llaves del pin no debe tener menos de 7pulgadas y el box no debe ser menor a 10 pulgadas.
- l) Grasas para Rosca y Protectores: Todas las conexiones que sean aceptadas deben ser protegidas con una grasa especial API para conexiones en toda su superficie como ser raíz, flancos y el hombro, incluyendo el extremo del pin. Los protectores de roscas tienen que ser ajustados utilizando un torque de 50-100 lb-pie.

6.5. INSPECCIÓN DEL CUERPO CON PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

6.5.1. ALCANCE

Este procedimiento cubre la inspección de todas las superficies externas de todas las piezas desarmadas del motor de fondo para buscar fallas transversales y tridimensionales, utilizando ya sea el método de partículas secas con un campo activo de Corriente Alterna (CA) o el método húmedo con partículas fluorescentes con un campo activo de corriente directa (CD).

6.5.2. EQUIPOS DE INSPECCIÓN:

- a) Para realizar la inspección con partículas magnéticas secas: La superficie del tubo debe magnetizarse con un yugo de CA o una bobina de CA.
- b) Para la inspección con partículas magnéticas húmedas fluorescente:
 - La magnetización de la superficie externa puede hacerse con bobina de Corriente Directa, un Yugo con Corriente Alterna. No se puede utilizar ningún derivado de petróleo como medio, si exhiben fluorescencia natural bajo la luz negra.
 - Se aceptan medios acuosos siempre y cuando mojen la totalidad de la superficie sin dejar partes secas. Si ocurre un mojado incompleto, puede que sea necesaria una mejor limpieza, la preparación de un baño nuevo, o la adición de más agentes humectantes.
 - Otro Equipo. Se requiere un medidor de intensidad para luz ultravioleta o negra, un tubo centrifugo ASTM con su asiento y una fuente de luz negra. El medidor para la intensidad de la luz ultravioleta o negra debe tener adherida una etiqueta indicando su calibración durante los últimos seis meses. La etiqueta deberá mostrar la fecha de calibración del equipo, la fecha de la próxima calibración, la compañía y la persona que efectuó la calibración. Si se utiliza una bobina de Corriente Directa para la inspección, la bobina deberá tener la capacidad de inducir un campo magnético longitudinal de al menos 1200 amp-vueltas por pulgada de OD de conexión.
 - Si se utiliza un yugo de Corriente Alterna en cualquiera de los métodos anteriores, debe tener un adhesivo con la fecha de calibración del equipo, la fecha de la próxima calibración, la compañía y la persona que efectuó la calibración. Se tiene que demostrar que el yugo es capaz de levantar un peso de 10 libras. La pesa o bloque patrón estándar de diez libras utilizada para la prueba de levantamiento debe mostrar evidencia de certificación en los últimos 3 años y la certificación debe ser trazable al Instituto Nacional de Estándares y tecnología (NIST) u organismo equivalente.
 - La abertura máxima de las patas del yugo magnético durante la inspección no tiene que exceder la distancia entre los polos cuando todos los segmentos del yugo están perpendiculares a la agarradera.
 - El espaciamiento mínimo de las patas del yugo magnético durante la inspección debe ser al menos de 2 pulgadas.

- c) Un medidor para luz blanca o luz solar directa calibrado para verificar la iluminación. El medidor de la intensidad de luz debe tener una etiqueta adherida mostrando calibración en los últimos seis meses. La etiqueta debe mostrar la fecha de calibración del equipo, la fecha de la próxima calibración, así como la compañía y la persona que realizó la calibración.
- d) Los indicadores de campo para partículas magnéticas (MPFI) requeridos incluyen un magnetómetro de bolsillo, que pueden ser una laminilla indicadora de flujo magnético o un penetrómetro magnético (pie gage).

6.5.3. PREPARACIÓN

- a) Todas las piezas deben tener un número de serie.
- b) Las superficies externas deben limpiarse al grado de que la superficie del metal sea visible. Para la inspección con partículas magnéticas secas todas las superficies deben también estar secas al tacto y no manchar al pasar un paño limpio sobre la superficie.

6.5.4. PROCEDIMIENTO Y CRITERIOS DE ACEPTACIÓN

- a) Toda la superficie externa debe inspeccionarse utilizando un campo longitudinal. Cada pieza debe ser girada para permitir una inspección en los 360 grados. El campo debe estar activado continuamente durante la aplicación de las partículas magnéticas secas o húmedas.
- b) Se debe utilizar el indicador de campo de partículas magnéticas (MPFI) para verificar la magnitud y orientación del campo al comienzo del trabajo.
- c) Para la Inspección con Partículas Magnéticas Secas el nivel de iluminación mínima requerida en la superficie de inspección debe ser de 50 fc (bujías-pie). Este nivel de intensidad de la luz en la superficie de inspección deberá ser verificado:
 - Al principio de cada trabajo.
 - Cambio relativo en la posición de la superficie inspeccionada con respecto al aparato de luz.
 - Cuando el cliente, representante o auditor lo requieran.
 - Al terminar el trabajo.

Estos requisitos no aplican en condiciones de luz solar directa, en caso de requerir ajustes al nivel de intensidad de luz en la superficie de inspección, todos los componentes inspeccionados desde la última verificación aceptable deberán ser re-inspeccionados.

d) Para la inspección húmeda fluorescente:

- La concentración de las partículas magnéticas húmedas debe estar entre 0.1 a 0.4 ml / 100 ml medidos en el tubo centrifugo de 100 ml de ASTM, con un tiempo de asentamiento mínimo de 30 minutos para baños acuosos o de 1 hora para medios de base aceitosa.
- La intensidad de la luz negra deberá medirse con un medidor de intensidad para luz ultravioleta al encender la luz negra, cada 8 horas de trabajo y al terminar la inspección. La intensidad mínima requerida para realizar la inspección es de al menos 1000 microwatts/cm² y deberá ser medido a 15 pulgadas de la fuente de luz (foco) o a la distancia que se va a inspeccionar, la que sea mayor.
- La intensidad de luz visible ambiental tiene que ser medida en la superficie que se va a realizar la inspección con luz negra, no debe exceder 2 fc.

e) Si al inspeccionar se encuentra áreas con indicaciones dudosas, deberán relimpiarse y re-inspeccionarse.

f) Cualquier grieta o fisura es causa de rechazo, no se permite utilizar piedras blandas para para remover grietas.

6.6. INSPECCIÓN DE CONEXIONES CON LUZ NEGRA

6.6.1. ALCANCE

Este procedimiento cubre la inspección de conexiones ferromagnéticas para buscar fallas transversales superficiales usando la técnica de partículas magnéticas fluorescentes (luz negra) húmedas.

6.6.2. EQUIPOS PARA INSPECCIÓN

Medios para la preparación de partículas húmedas.

- No es permitido utilizar derivados de petróleo para la preparación de partículas húmedas como medio.
- Solo se aceptan medios acuosos siempre y cuando mojen la totalidad de la superficie a inspeccionar.

- a) Equipo de Luz Negra: Se necesita el equipo de luz negra y un medidor de intensidad para la luz negra. El medidor de intensidad de luz negra deberá tener adherida una etiqueta que demuestra su calibración durante los últimos seis meses, la fecha de calibración del equipo, la fecha de la próxima calibración, así como la compañía y la persona que efectuó la calibración.
- b) Se requiere un tubo centrifugo y el porta-tubo ASTM.
- c) Bobina: Se requiere una bobina de CD (corriente directa) con una capacidad para inducir un campo longitudinal de al menos 1200 amperios-vueltas por pulgada de diámetro externo (OD) de la conexión o pieza a inspeccionar.
- d) Los indicadores de campo para partículas magnéticas húmedas (MPFI) requeridos incluyen un magnetómetro de bolsillo puede ser una laminilla indicadora del flujo magnético (castrol strip) o un penetrómetro magnético (pie gauge).
- e) Un medidor de luz visible o luz blanca es requerido para verificar la iluminación. El medidor de intensidad de luz deberá tener una etiqueta adherida que muestre su calibración en los últimos seis meses, la fecha de calibración, la fecha de la próxima calibración, así como la compañía e individuo que realizó la calibración.
- f) Se debe utilizar un espejo con aumento para la inspección de las raíces de las roscas de la caja.
- g) De realizar la inspección durante el día es necesario utilizar lonas o cuartos para oscurecer el área de ser necesario.

6.6.3. PREPARACIÓN

Todas las superficies a inspeccionarse deben estar limpias y que no se detecten rastros de grasa cuando frotamos una toalla de papel blanco sobre la superficie. Las superficies a limpiar e inspeccionar incluyen todas las áreas maquinadas del pin y box, se debe incluir toda la superficie interna del pin desde el sello del pin, un mínimo de 1 pulgada más allá de la última rosca en cajas sin aliviador de esfuerzo, un mínimo de 1 pulgada más allá de la última marca de rosca en cajas con “boreback”, y las superficies externas del box desde el hombro de sellado al hombro de desvanecimiento.

6.6.4. PROCEDIMIENTOS Y CRITERIOS DE ACEPTACIÓN

- a) La concentración para poder realizar la inspección con partículas magnéticas húmedas deberá estar entre 0.1 a 0.4 ml / 100 ml utilizando el tubo centrifugo de

100 ml de ASTM, con un tiempo de asentamiento de al menos 30 minutos para baños base agua o de 1 hora para medios de base aceite.

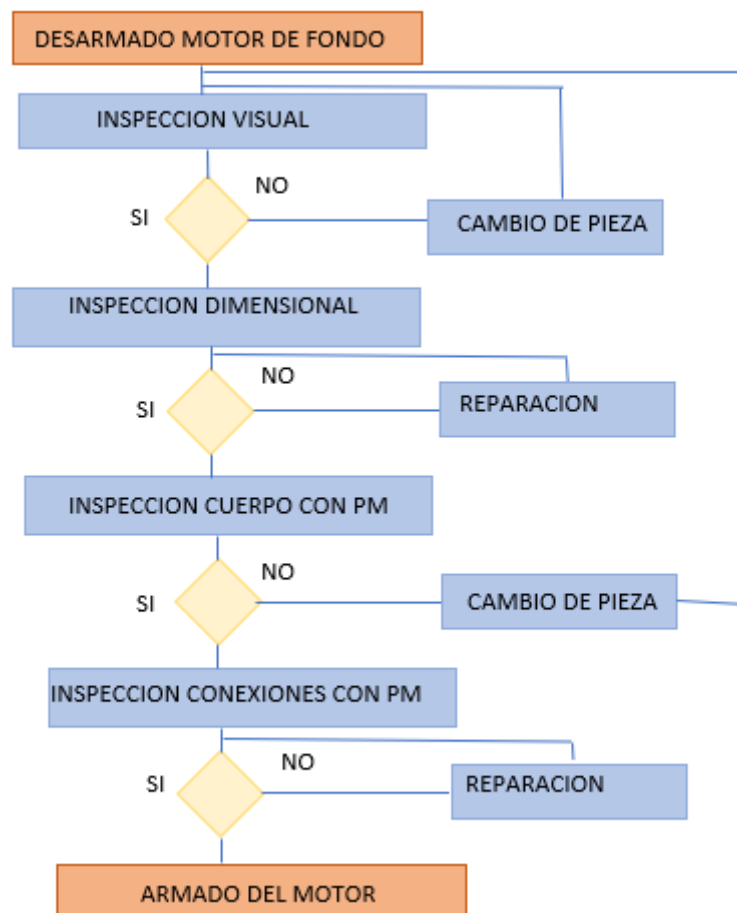
- b)** La intensidad de la luz ultravioleta deberá medirse con un medidor de intensidad para luz ultravioleta cada vez que se enciende la lámpara de luz negra, cada 8 horas de trabajo y al concluir la inspección. La intensidad mínima requerida para poder realizar la inspección debe ser de al menos 1000 microwatts/cm² a 15 pulgadas de la luz o a la distancia que se va usar para inspeccionar, la que sea mayor.
- c)** La intensidad de la luz ambiental visible tiene que ser medida en la superficie que se va a realizar la inspección y no debe exceder de 2 bujías-pie (2 fc).
- d)** Determinar la polaridad del campo magnético existente (en caso de haber) en cada extremo de la pieza que tengan conexiones utilizando un gausímetro. Marque cada extremo “+” (positivo) o “-” (negativo), según el campo existente. La bobina magnetizadora deberá reforzar cualquier campo existente. La activación del campo magnético y la aplicación de la solución de partículas magnéticas húmedas deben hacerse de forma simultánea. La solución debe distribuirse sobre toda el área a inspeccionar y la corriente magnetizadora debe permanecer encendida por lo menos 2 segundos después de que la solución se haya distribuido completamente. Las partículas magnéticas húmedas deben agitarse antes de cada aplicación.
- e)** Verificar la magnitud y orientación apropiada del campo magnético bajo la luz negra con la laminilla Castrol colocado en la superficie interna de cada conexión mientras que la solución se esté aplicando y la corriente esté activada.
- f)** Las superficies de la conexión a inspeccionar tienen que examinarse bajo la luz negra, cada pieza se debe girar para permitir el examen en los 360 grados y permitir que las áreas donde haya “charcos” de líquido se puedan examinar. Se debe utilizar un espejo con aumento para poder examinar la raíz de las roscas de la caja. Se debe prestar atención especial a las raíces de las últimas roscas del box y del pin.
- g)** Cualquier grieta dentro de las áreas maquinadas del pin o box debe ser causa de rechazo. No es permitido esmerilar para remover grietas o fisuras, las áreas donde tengan indicaciones dudosas pueden limpiarse nuevamente con una rueda no metálica ni abrasiva y deberá ser re-inspeccionada. Si la indicación sigue debe rechazar la conexión.
- h)** Protectores y Compuesto para Roscas: Toda conexión aceptada debe cubrirse con grasas para Juntas (tool joints) API en todas las superficies de las roscas y hombros, incluyendo el sello del pin. Se debe colocar protectores para las roscas y asegurarlos

utilizando un torque de 50-100 libras-pie. No debe haber ninguna basura en los protectores.

6.7. FLUJOGRAMA DE INSPECCION DE MOTORES

Como resultado al presente estudio de investigación y dando una solución a problema de investigación se propone el siguiente flujoograma de inspección a motores de fondo en base de la compañía Intergas antes de iniciar el servicio de motores de fondo para la prevención de fallas.

FLUJOGRAMA DE INSPECCION



Fuente: Elaboración propia

CAPITULO VII

EVALUACIÓN ECONÓMICA

Desde el punto de vista económico, la aplicación de los Ensayos No Destructivos en diferentes puntos durante la etapa de perforación puede ayudar a una disminución del costo (ventajas directas) y a un aumento de la calidad (ventajas indirectas). A continuación, se describen brevemente cada una de ellas.

- ✓ Las ventajas directas en la aplicación de los Ensayos No Destructivos son aquellas que se transmiten directamente en una reducción del costo tanto del producto como del proceso productivo. Esta reducción del costo puede ser obtenida si las técnicas Ensayos No Destructivos son aplicadas como técnicas de control de calidad en la recepción del motor de fondo de pozo para evitar fallas durante su operación. Los Ensayos No Destructivos detectan materiales o piezas defectuosas, descartando piezas con defectos y utilizando únicamente piezas o herramientas 100% conformes. Por otra parte, el hecho de descartar piezas defectuosas que sea detectada antes de ingresar al pozo de perforación, ayuda a la optimización del tiempo de perforación con lo cual, la productividad aumenta.
- ✓ Por otra parte, la aplicación de Ensayos No Destructivos en el proceso de perforación de un pozo también repercute en una serie de ventajas indirectas, no tangibles directamente por una reducción del costo de perforación del pozo, pero si influyentes sobre el valor de mercado de los motores de fondo de pozo. Los controles de calidad mediante la técnica con Ensayos No Destructivos contribuyen a aumentar el valor añadido del motor de fondo de pozo mediante un aumento en la calidad del producto. La utilización de piezas aceptadas o conformes es una garantía de seguridad y fiabilidad para los clientes. Con esta información y con la toma de decisiones oportunas para subsanar estas deficiencias repercute en un aumento de la calidad del producto.
- ✓ Para que todo proceso de aplicación de técnicas de Ensayos No Destructivo sea rentable económicamente deberá realizarse un cálculo del costo de inspección. Se debe buscar siempre un equilibrio entre el costo de inspección con el procedimiento recomendado de Ensayos No Destructivos y los beneficios económicos que aporta. Como aspecto positivo y como se ha descrito anteriormente, la reducción del costo durante la perforación de un pozo.

7.1. CALCULO DE LA RENTABILIDAD ECONÓMICA EN EL EMPLEO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS:

Determinemos en primer lugar cuales son los costos diarios que tendremos en el primer escenario:

CONCEPTO	COSTO (\$us)
Precio diario de operación equipo de perforación de 900 a 1200 HP por día	26.760,00
Motor 11” por herramienta	350
Motor 9 5/8” por herramienta	265
Motor 8” por herramienta	185
Motor 6 ¾” por herramienta	250
Motor 4 ¾” por herramienta	250

Tabla 1. *Costos de equipo y herramientas por día.*

En el segundo escenario se ha planteado la utilización de Ensayos No Destructivos para determinar la calidad de los motores de fondo de pozo en el momento de adquirirla y por tanto evitar que las piezas o herramientas defectuosas sean utilizadas durante la perforación.

Determinemos en primer lugar cuales son los costos para realizar los ensayos no destructivos que tendremos en este escenario:

INSPECCIÓN PIEZAS DESARMADAS	COSTO (\$us)
Motor 11”	600
Motor 9 5/8”	600
Motor 8”	500
Motor 6 ¾”	500
Motor 4 ¾”	500

Tabla 2. *Costos de inspección con END a motores de fondo de pozo desarmados.*

La tabla 2 muestra los costos de inspección con ensayos no destructivos completa del motor de fondo de pozo, el motor de fondo ha sido desarmado en su totalidad para realizar los ensayos no destructivos como también todos los procedimientos de inspección mencionados en el capítulo VI.

En el tercer escenario se plantea los costos de los riesgos al no realizar Ensayos No Destructivos al motor de fondo de pozo.

CONCEPTO	COSTO (\$us)
Precio diario de operación equipo de perforación de 900 a 1200 HP por día	26.760,00
Precio Stand by será 85% del precio diario de operación por día	22.746,00
Cargo del Operador de Pesca por día	950,00
Caños lavadores por día	1.350,00
Sustitutos y Reducciones por día	350,00
Pescador Magnético por día	2.300,00
Magneto por día	300,00
Bloque Impresor por día	300,00
Tarrajas por día	550,00
Fresas por día	1.092,50
Escariador por día	1.350,00
Tijera de Pesca por día	1.900,00
Martillo por día	1.800,00
Cesta de Pesca por día	380,00
Overshots por día	1.437,00
Bloque Impresor	300,00
Tarrajas	550,00
Fresas	1.092,50
Escariador	1.350,00
Tijera de Pesca	1.900,00
Martillo	1.800,00
Cesta de Pesca	380,00

Tabla 3. *Costos para pesca de Motor de fono en pozo.*

En el cuarto escenario se plantea los costos en caso de no poder pescar el motor de fondo de pozo.

CONCEPTO	COSTO (\$us)
Precio diario de operación equipo de perforación de 900 a 1200 HP por día	26.760,00
Precio Stand by será 85% del precio diario de operación por día	22.746,00
Ingeniero direccional Senior por día	1.100,00
Ingeniero direccional por día	900,00
Operador MWD por día	700,00
Sonda MWD por hora	225,00
Motor de fondo direccional por hora	308,00

Tabla 4. *Costos de operación direccional.*

En caso de no poder recuperar el motor de fondo de pozo se adjunta en la tabla 5 los costos del motor de fondo de pozo en caso de pérdida dentro del pozo.

CONCEPTO	COSTO PERDIDA DENTRO DEL POZO (\$us)
Motor 11"	167.972,00
Motor 9 5/8"	144.869,00
Motor 8"	124.705,00
Motor 6 3/4"	112.552,00
Motor 4 3/4"	86.165,00

Tabla 5. *Costo perdida de motor de fondo dentro del pozo*

Por todas las tablas mostradas se puede ver como la aplicación de una técnica de Ensayos No Destructivos repercute en un mayor beneficio económico, se puede cumplir con los tiempos programados de perforación de pozo, se puede evitar pérdidas para no tener que realizar una pesca o en el peor de los casos tener que realizar un desvío de pozo y adicional a estos gastos tener que pagar por la pérdida del motor de fondo dentro del pozo.

CONCLUSIONES

Se realizó una revisión bibliográfica a las normas internacionales y buenas prácticas de la industria aplicada a inspección de motores de fondo logrando identificar las normas aplicables para la inspección de motores de fondo como lo son las normas ISO 10424-1, Industrias del Petróleo y Gas Natural – Equipo de Perforación Rotario – Parte 1: Elementos del conjunto de perforación ISO 11961, Industrias del Petróleo y Gas Natural – Tubería de Perforación de Acero API RP 7A1 Pruebas al Compuesto (grasa) para Roscas en Conexiones Rotarias con Hombro. ISO 10407 especifica la inspección requerida para cada nivel de inspección (Tablas B.1 hasta B.15).

Se elaboró un procedimiento adecuado para la Inspección de Motores de Fondo de Pozo en base a las Especificaciones API Spec 7-G2. Para la prevención de fallas y su correcto funcionamiento durante una perforación incluyendo los criterios de inspección y criterios de aprobación de la inspección.

Se Describió el método de procedimiento que se necesita para la construcción del Motor de Fondo de Pozo mediante ilustraciones y figuras las cuales se pueden apreciar en el presente trabajo final de grado.

RECOMENDACIONES

- 1.** Se recomienda antes de realizar la inspección con ensayos no destructivos el motor de fondo de pozo debe estar desarmado en su totalidad.
- 2.** Realizar los ensayos no destructivos y el mantenimiento adecuado al motor de fondo antes de entrar al pozo, después de 250 horas de rotación y al salir del pozo de perforación.
- 3.** Separar las piezas rechazadas durante la inspección con ensayos no destructivos, pintar una franja de color rojo y con un marcador de metal escribir el defecto encontrado.
- 4.** Todas las piezas inspeccionadas del motor de fondo de pozo deberán ser desmagnetizadas al finalizar la inspección con los ensayos no destructivos.
- 5.** Todas las conexiones deberán ser engrasadas de forma correcta para evitar corrosión en los hilos y colocar los guardas roscos a las conexiones.

BIBLIOGRAFIA

Calderon Guerra Javier Zenobio. (2013). *PRUEBA DE ENSAYO NO DESTRUCTIVO EN UN TUBO DE LLAMA DE LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN DE UN MOTOR DE REACCIÓN MEDIANTE LA NORMA ISO 17025*. La Paz .

(2004). *Ejemplos de uso de códigos y normas para los estudiantes de ingeniería mecánica y otros campos Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME, por sus siglas en inglés)*.

Magnetic Particle Examination. (2001). *Codigo ASME Seccion V*.

Magnetic Particle Examination. (2001). *Código ASME Sección V*.

- Código ASME Sección V, Artículo 25, ASTM SE-709, "Standard Guide for Magnetic Particle Examination" Edición Año 2004
- Código ASME Sección V, Artículo 7 "Magnetic Particle Examination" Edición Año 2004.
- Código ASME Sección V, Artículo 30, ASTM SE-1316 "Terminology for Nondestructive Examinations Standard", Edición 2001
- Código ASME Sección VIII, Apendice 6 "Methods for Magnetic Particle Examination (MT)" Edición Año 2004
- Código ASME Sección II Parte A Ferrous Material Specification, ASTM SA-275 "Test Method for Magnetic Particle Examination of Steel Forgings", Edición Año 2004.
- Especificación ASTM E 1444 - 01 "Standard Practice for Magnetic Particle Examination"
- Specification ASTM E 2297 - 04 "Use of UV-A and Visible Light Sources and Meters used in the Liquid Penetrant and Magnetic Particle Methods"

- Specification ASTM A 966 - 96 (Reapproved 2001) "Standard Test Method for Magnetic
- Particle Examination of Steel Forgings Using Alternating Current".
- Especificación ASTM A 903 - 99 (Reapproved 2003) "Standard Specification for Steel Castings, Surface Acceptance Standards, Magnetic Particle and Liquid Penetrant Inspection"
- ANSI/API Recommended Practice 7G-2. First Edition, August 2009
- Standard DS-1 Volume 4 Drill Stem Inspection TH Hill, Fifth Edition, May 2020