



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
TRABAJO ESTRUCTURADO MANERA INDEPENDIENTE**

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

TEMA:

**“ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS POR EL MÉTODO DE PARTÍCULAS
MAGNÉTICAS Y SU INCIDENCIA EN MATERIALES
FERROMAGNÉTICOS”**

AUTOR:

Johnny Danilo Villacís Soria

DIRECTOR DE TESIS:

Ing. Alejandro Moretta M.

Ambato-Ecuador

2011

CERTIFICACIÓN

En calidad de tutor del trabajo estructurado de manera independiente, previo la obtención del título de Ingeniero Mecánico. Bajo el tema “ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS POR EL MÉTODO DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS Y SU INCIDENCIA EN MATERIALES FERROMAGNÉTICOS”, ejecutado por el Señor. Johnny Danilo Villacís Soria, egresado de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, CERTIFICO que el presente trabajo estructurado fue elaborado en su totalidad por el autor y ha sido concluida en forma total, en apego al plan de tesis aprobado.

Ing. Alejandro Moretta M.

TUTOR DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

AUTORÍA

El contenido del presente trabajo estructurado bajo el tema: “ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS POR EL MÉTODO DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS Y SU INCIDENCIA EN MATERIALES FERROMAGNÉTICOS”, así como todas sus opiniones e ideas, comentarios de resultados y análisis son de exclusiva responsabilidad del autor.

Egdo. Johnny Danilo Villacís Soria

CI. 1803083136

DEDICATORIA

A Dios por darme fortaleza. A mis padres por su incondicional apoyo. A mi esposa Erika. A mi hijo Nicolás por siempre me han brindado todo su cariño y amor les agradezco de corazón y que para siempre estén a mi lado

AGRADECIMIENTO

*A la Universidad Técnica de Ambato,
Carrera de Ingeniería Mecánica por
brindarme la oportunidad de cumplir mi
objetivo, a todo Su elemento Humano que me
han entregado los conocimientos que han de
ser pilar en mi carrera profesional. A mi
Director de Tesis Ing. Alejandro Moretta por
toda su ayuda para poder culminar el
presente Proyecto de investigación. A todos
mis compañeros y amigos por todas esas
vivencias que compartimos como estudiantes.*

INDICE DE CONTENIDOS

PÁGINAS PRELIMINARES

Página de título.....	I
Página de aprobación por el Tutor.....	II
Página de autoría de Tesis.....	III
Página de aprobación del Tribunal de Grado.....	IV
Página de dedicatoria.....	V
Página de agradecimiento.....	VI
Índice de contenidos.....	VII
Índice de gráficos.....	XVII
Índice de tablas.....	XX
Resumen Ejecutivo.....	XXII

CAPÍTULO I

1. EL PROBLEMA

1.1.Tema.....	1
1.2. Planteamiento del problema.....	1
1.2.1. Contextualización.....	1
1.2.2. Análisis crítico.....	3
1.2.3. Prognosis.....	3

1.2.4. Formulación del problema.....	4
1.2.5. Preguntas directrices.....	4
1.2.6. Delimitación.....	4
1.2.6. 1.Delimitación de contenido.....	4
1.2.6.2. Delimitación espacial.....	5
1.2.6.3. Delimitación temporal.....	5
1.3. Justificación.....	5
1.4. Objetivos.....	6
1.4.1. Objetivo general.....	6
1.4.2. Objetivos específicos.....	6

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes investigativos.....	7
2.2. Fundamentación filosófica.....	7
2.3. Fundamentación legal.....	8
2.4. Categorías fundamentales.....	8
2.4.1. Fundamentos Teóricos.....	8
2.4.1.1. Definición de END.....	8
2.4.1.2. Ensayo de Partículas Magnetizables.....	9
2.4.1.3 .Magnetismo.....	9

2.4.1.4 .Imán.....	10
2.4.1.5. Clasificación de los materiales por sus características magnéticas.....	10
2.4.1.6 .Campo magnético.....	11
2.4.1.7 .Línea de fuerza.....	11
2.4.1.8. Intensidad de campo "H".....	13
2.4.1.9. La inducción o densidad de flujo "B".....	13
2.4.1.10. El factor de proporcionalidad es La Permeabilidad.....	13
2.4.1.11. Reluctancia.....	14
2.4.1.12. Ciclo de histéresis de materiales ferromagnéticos.....	16
2.4.1.13. Temperatura de Curie.....	23
2.4.1.14. Campos Magnéticos Inducidos Eléctricamente.....	23
2.4.1.15. Clasificación de las técnicas de ensayo.....	24
2.4.1.16. Modos de magnetización.....	24
2.4.1.17. Yugos.....	25
2.4.1.18. Tipos de corriente para magnetizar.....	27
2.4.1.18.1. Corriente alterna (CA).....	27
2.4.1.18.2. Efecto piel.....	29
2.4.1.19. Partículas magnéticas.....	29
2.4.1.19.1. Aplicación de las partículas magnéticas.....	29

2.4.1.19.2. Características y técnicas de aplicación.....	30
2.4.1.19.3. Propiedades magnéticas.....	31
2.4.1.19.4. Tamaño de las partículas.....	31
2.4.1.19.5. Forma de las partículas.....	33
2.4.1.19.6. Movilidad.....	34
2.4.1.19.7. Visibilidad y contraste.....	35
2.4.1.20. Las técnicas de aplicación.....	35
2.4.1.21. Tipos de defectos detectables.....	37
2.4.1.21.1. Efecto de la sobremagnetización.....	38
2.4.1.21.2. Escritura magnética.....	39
2.4.1.21.3. Deformación en frío.....	39
2.4.1.21.4. Tamaño de grano.....	39
2.4.1.22. Discontinuidades.....	43
2.4.1.22.1. Defectología.....	44
2.4.1.22.1.1. Defecto – Discontinuidad.....	44
2.4.1.22.1.1.1. Definición.....	44
2.4.1.22.1.2. Tipos de discontinuidades.....	44
2.4.1.22.2. Discontinuidades inherentes.....	44
2.4.1.22.2.1. Discontinuidades inherentes a la colada original.....	45

2.4.1.22.2.2. Inclusiones no metálicas.....	45
2.4.1.22.3. Discontinuidades internas.....	45
2.4.1.22.3.1. Inclusiones no metálicas.....	45
2.4.1.22.3.2. Marcas de arena.....	45
2.4.1.22.3.3. Inclusiones de arena.....	45
2.4.1.22.3.4. Porosidad.....	45
2.4.1.22.3.5. Sopladura.....	45
2.4.1.22.3.6. Contracciones internas (rechupes).....	46
2.4.1.22.3.7. Pérdida de estructura, cavidad.....	46
2.4.1.22.3.8. Segregaciones.....	46
2.4.1.22.3.9. Fisuras.....	46
2.4.1.22.3.9.1. Fisuras longitudinales en el lingote.....	46
2.4.1.22.3.9.2. Fisuras transversales en el lingote.....	47
2.4.1.22.4. Discontinuidades inherentes de una fundición.....	47
2.4.1.22.4.1. Desgarramiento en caliente (fisuras de contracción).....	47
2.4.1.22.4.2. Cavidades.....	47
2.4.1.22.4.2.1. Rechupes.....	47
2.4.1.22.4.2.2. Micro rechupes.....	47
2.4.1.22.4.2.3. Cavidades de gas.....	47

2.4.1.22.4.2.4. Poros.....	47
2.4.1.22.5. Defectos de proceso.....	48
2.4.1.22.5.1. Laminaciones.....	48
2.4.1.22.5.2. Fisura de forja.....	48
2.4.1.22.5.3. Fisura por calentamiento rápido.....	48
2.4.1.22.5.4. Sobrecalentamiento y quemado.....	48
2.4.1.22.6. Maquinado.....	48
2.4.1.22.6.1. Desgarramiento de maquinado.....	48
2.4.1.22.6.2. Imperfecciones superficiales.....	48
2.4.1.22.6.3. Amolado.....	49
2.4.1.22.6.3.1. Grietas de amolado.....	49
2.4.1.22.6.4. Tratamiento térmico.....	49
2.4.1.22.6.4.1. Grietas por tratamiento térmico.....	49
2.4.1.22.6.4.2. Fisura de templado.....	49
2.4.1.22.6.5. Rotura diferida.....	50
2.4.1.22.7. Soldadura.....	50
2.4.1.22.7.1. Superficiales.....	50
2.4.1.22.7.1.1. Exceso de penetración.....	50
2.4.1.22.7.1.2. Falta de penetración.....	51

2.4.1.22.7.1.3. Concavidades.....	51
2.4.1.22.7.1.4. Socavaduras o mordeduras de bordes.....	52
2.4.1.22.7.1.5. Salpicaduras.....	53
2.4.1.212.7.1.6. Falta de continuidad del cordón.....	53
2.4.1.22.7.2. Internas.....	53
2.4.1.22.7.2.1. Fisuras.....	53
2.4.1.22.7.2.2. Inclusiones.....	55
2.4.1.23. Razones por las que se utilizan los ensayos no destructivos.....	58
2.4.1.24. Selección del método de EDN.....	59
2.4.1.25. Desmagnetización.....	59
2.4.1.26. Ventajas con respecto al método de líquidos penetrantes.....	61
2.4.1.27. Limitaciones y ventajas del método.....	61
2.4.1.27.1. Aplicaciones.....	61
2.4.1.27.2. Ventajas.....	62
2.4.1.27.3. Limitaciones.....	63
2.5. Hipótesis	63
2.6. Señalamiento de variables de la hipótesis.....	64
2.6.1. Variable independiente.....	64
2.6.2. Variable dependiente.....	64

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Enfoque.....	65
3.2. Modalidad básica de la investigación.....	65
3.3. Nivel o tipos de investigación.....	65
3.3.1. Exploratorio.....	65
3.3.2. Descriptivo.....	66
3.3.3. Explicativa.....	66
3.3.4. Experimental.....	66
3.4. Operacionalización de variables.....	66
3.4.1. Operacionalización de la variable independiente.....	67
3.4.2. Operacionalización de la variable dependiente.....	68
3.5. Técnicas de recolección de información.....	69
3.6. Procesamiento y análisis.....	69
3.6.1. Plan de recolección de información.....	69
3.6.2. Plan de procesamiento de la información.....	69

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Proceso de análisis de resultados.....	70
---	----

4.2. Presentación e Interpretación de resultados.....	72
4.3. Verificación de la hipótesis.....	102

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.....	103
5.2. Recomendaciones.....	105

CAPÍTULO VI

6. PROPUESTA

6.1. Datos informativos.....	106
6.2. Antecedentes de la propuesta.....	107
6.3. Justificación.....	108
6.4. Objetivos.....	108
6.4.1. General.....	108
6.4.2. Específicos.....	108
6.5. Análisis de factibilidad.....	109
6.5.1. En lo económico.....	109
6.5.2. Análisis tecnológico.....	110
6.5.3. Análisis ambiental.....	110
6.6. Fundamentación.....	110

6.6.1. Principios fundamentales.....	110
6.6.2. Efectos de la magnetización.....	111
6.6.3. Fundamentos del método de partículas magnéticas.....	112
6.6.4. Partículas magnéticas.....	116
6.6.4.1. Partículas magnéticas vía seca.....	116
6.6.4. El yugo de patas articuladas.....	118
6.6.5. La intensidad de campo del yugo de patas articuladas.....	118
6.6.6. Norma.....	119
6.6.7. Definiciones.....	119
6.6.7.1. Dirección de campo magnético.....	119
6.6.7.2. Intensidad de campo magnético.....	120
6.6.7.3. Flujo magnético.....	120
6.6.7.4. Densidad de flujo magnético.....	120
6.7. Metodología.....	121
6.8. Evaluación de costos y beneficios económicos del ensayo por partículas magnéticas.....	130
6.8.1. Tiempos en el proceso del ensayo por partículas magnéticas.....	130
6.8.2. Costo a través del ensayo no destructivo por partículas magnéticas.....	131
6.8.3. Análisis de costo.....	133
6.9. Administración.....	134

6.9.1. Planeación.....	134
6.9.2. Organización.....	134
6.9.3. Dirección.....	136
6.9.4. Control.....	134
6.10. Previsión de la evaluación.....	136
4.3. Bibliografía.....	137

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N°2.1. Características magnéticas.....	11
Gráfico N° 2.2.Líneas de fuerza.....	12
Gráfico N° 2.3.Polos magnéticos.....	12
Gráfico N° 2.4.Reluctancia magnética.....	15
Gráfico N° 2.5. Curva de histéresis completa.....	16
Gráfico N° 2.6. Curva parcial de histéresis.....	17
Gráfico N° 2.7. Curva parcial de histéresis.....	18
Gráfico N°.2.8. Curva parcial de histéresis.....	19
Gráfico N° 2.9. Curva parcial de histéresis.....	19
Gráfico N° 2.10. Curva de histéresis completa.....	20
Gráfico N° 2.11.Curva típica de histéresis de un acero duro.....	21
Gráfico N° 2.12.Curva típica de histéresis de un acero suave.....	22

Gráfico N°2.13. Campos eléctricos.....	23
Gráfico N°2.14. Yugo de patas articuladas.....	26
Gráfico N°2.15 Corriente Alterna.....	27
Gráfico N° 2. 16. Grietas de temple en un piñón.....	49
Gráfico N° 2. 17 Exceso de penetración.....	50
Gráfico N° 2. 18 Falta de penetración.....	51
Gráfico N°. 2. 19. Concavidad externa.....	51
Gráfico N°. 2. 20. Socavaduras o mordeduras.....	52
Gráfico N° 2.21. Falta de continuidad o empalme incorrecto.....	53
Gráfico N° 2. 22. Fisura Longitudinal.....	54
Gráfico N° 2. 23. Fisuras Transversales.....	54
Gráfico N° 2. 24. Fisuras de Cráter o interrupción.....	55
Gráfico N° 2. 25. Porosidades Aisladas.....	56
Gráfico N° 2. 26. Porosidades Agrupadas.....	56
Gráfico N° 2.27. Porosidad Alineada.....	57
Gráfico N° 2. 28. Porosidades alargadas.....	57
Gráfico N° 2. 29. Inclusiones de Escoria.....	58
Gráfico N°4.1. Ubicación de los defectos en la probeta 1.....	75
Gráfico N°4.2. Ubicación de los defectos en la probeta 2.....	79

Gráfico N°4.3. Ubicación de los defectos en la probeta 3.....	83
Gráfico N°4.4. Ubicación de los defectos en la probeta 4.....	87
Gráfico N°4.5. Ubicación de los defectos en la probeta 5.....	91
Gráfico N°4.6. Ubicación de los defectos en la probeta 6.....	95
Gráfico N°4.7. Ubicación de los defectos en la probeta 7.....	99
Gráfico N° 4.8. Tiempos para el desarrollo del ensayo no destructivo.....	101
Gráfico N° 6.1 Sistema, partículas magnéticas.....	107
Gráfico N° 6.2 Dominios magnéticos.....	112
Gráfico N° 6.3 Imán herradura.....	112
Gráfico N° 6.4 Imán herradura.....	113
Gráfico N° 6.5 Imán herradura.....	113
Gráfico N° 6.6 Campo de fuga.....	114
Gráfico N° 6.7 Flujo disperso.....	114
Gráfico N° 6.8 Discontinuidad.....	115
Gráfico N° 6.9 Indicación de discontinuidad.....	115
Gráfico N° 6.10 Partículas magnéticas.....	117
Gráfico N° 6.11 Probetas, placas y tubería de acero A36.....	121
Gráfico N° 6.12 Diseño de la junta placa.....	122
Gráfico N° 6.13 Resultado de la junta.....	122

Gráfico N°6.14 Diseño de la junta tubo.....	123
Gráfico N°6.15 Resultado de la junta tubo.....	123
Gráfico N°6.16 Electrodo.	124
Gráfico N°6.17 Probetas en proceso de soldadura.....	125
Gráfico N°6.18 Probetas en proceso de limpieza.....	126
Gráfico N°6.19 Examen visual.....	126
Gráfico N°6.20 Ubicación de posible defecto.....	127
Gráfico N°6.21 Limpieza superficial (Cleaner).....	127
Gráfico N°6.22 Magnetización de la probeta.....	128
Gráfico N°6.23 Aplicar partículas magnéticas.....	128
Gráfico N°6.24 Detectar discontinuidades.....	129
Gráfico N°6.25 Identificación de discontinuidades.....	129
Gráfico N°6.26 Extracción de partículas.....	129

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Corrientes para magnetizar.....	27
Tabla 2.2 Clasificación de discontinuidades.....	40
Tabla 2.3 Discontinuidades.....	43
Tabla 4.1 Defectos probeta N°1.....	75
Tabla 4.2 Defectos probeta N°2.....	79

Tabla 4.3 Defectos probeta N°3.....	87
Tabla 4.4 Defectos probeta N°4.....	87
Tabla 4.5 Defectos probeta N°5.....	91
Tabla 4.6 Defectos probeta N°6.....	95
Tabla 4.7 Defectos probeta N°7.....	99
Tabla 6.1 Costos para el desarrollo del ensayo no destructivo.....	109
Tabla 6.2 Para determinar la intensidad de campo magnético en el yugo.....	119
Tabla 6.3 Normas.....	119
Tabla 6.4. Tiempos en el proceso para el desarrollo del ensayo no destructivo por partículas magnéticas.....	129
Tabla 6.5. Costo por ensayo no destructivo por partículas magnéticas.....	130

RESUMEN EJECUTIVO

El presente proyecto de investigación nos permite implantar una guía técnica del ensayo no destructivo por partículas magnéticas en los laboratorios de materiales de Ingeniería Mecánica con un equipo actualizado en el tema. Nos permitirá evaluar defectos superficiales en materiales ferromagnéticos en este caso el acero A36, para lo cual se elaboró probetas soldadas en posición 1G y también se adquirió elementos no soldados en fundición gris.

La importancia del ensayo no destructivo es permitir un examen en superficies sin la destrucción de la junta soldada o el elemento porque no existe extracción de muestra, volviendo un desafío el examen no destructivo por partículas magnéticas. Ya que se estaría analizando el defecto directamente con un equipo imposible de adquirir en nuestro medio.

Para desarrollar el trabajo de investigación planteado se ha desarrollado diferentes pruebas con las probetas basándose en normas tales como la ASME V-E 709-95 que nos permite desarrollar el ensayo respetando ciertos parámetros y también la AWS D1.1-ASME V ART-28, en lo que corresponde al examen visual. Por su parte el ensayo no destructivo por partículas magnéticas es eficiente y técnicamente viable, en lo que respecta a la localización de discontinuidades en materiales ferromagnéticos.

Queda demostrado en los resultados obtenidos, que es un medio confiable y que puede ser utilizado como medio de investigación y estudio para todos los estudiantes de Ingeniería Mecánica; además puede ser empleado en aplicaciones en la industria.

CAPITULO I

1. EL PROBLEMA

1.1. TEMA

“ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS POR EL MÉTODO DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS Y SU INCIDENCIA EN MATERIALES FERROMAGNÉTICOS”

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1. CONTEXTUALIZACIÓN

El método de partículas magnéticas es un Ensayo que sirve para determinar las discontinuidades en los materiales el mismo que ya ha sido utilizado en Ecuador hace algunos años sin tener mucho éxito en la industria por no contar con la disponibilidad de los equipos necesarios para realizarlo y también el personal calificado ya que estos son muy costosos y el personal especializado escaso.

Con el fin de brindar los servicios a la industria del centro del país en éste tipo de ensayo, existen varias empresas que ofrecen sus servicios con equipos propios y también algunas instituciones de estudios superiores que tienen equipos en los laboratorios con fines didácticos y de apoyo a la industria.

Sería de vital importancia difundir el uso las ventajas y desventajas de éste método de ensayos para algunos materiales con la ayuda de equipos modernos e información técnica actualizada como una guía del proceso a seguir; hay que tomar en cuenta que las Normas Internacionales se están actualizando constantemente, por lo tanto convendría también el uso de esta información de

primera mano que es de vital importancia para el medio de la Ingeniería de materiales. La nueva tecnología de los equipos actuales y el uso de un procedimiento eficaz, es un factor trascendental para el desarrollo de ésta industria, porque facilita el trabajo, reduce el tiempo, ayuda que las empresas sean eficaces y eficientes en su producción y también un gran aporte a la investigación en los Centros de Educación Superior.

En la Provincia de Tungurahua, no se conoce la existencia de una máquina específica de inducción electromagnética que sirve para realizar este tipo de ensayo no destructivo de partículas magnéticas, en consecuencia nunca ha existido una investigación para el desarrollo en este tema o temas afines.

Tungurahua es una de las Provincias donde hay mucho desarrollo industrial especialmente en el sector de procesos de manufactura metalmecánico y de polímeros y otros materiales en donde existe la necesidad de implementar métodos y técnicas renovadas en el campo de los ensayos no destructivos.

Es así que en la industria Tungurahuense prácticamente se desconocen de las ventajas que podrían obtener al utilizar estos Ensayos con tecnología de punta en el diagnóstico de materiales con ciertas fallas o discontinuidades tanto en el proceso de fabricación de elementos como en su mantenimiento y predeterminación de su vida útil.

En la presente investigación se realizarán ensayos no destructivos por el método de Partículas Magnéticas en materiales Ferromagnéticos con ayuda de un equipo importado de inducción electromagnética el mismo que servirá en el futuro para uso en los Laboratorios de Ensayos No Destructivos de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Existe la necesidad de realizar ensayos en elementos mecánicos, los mismos que necesitan de instrumentos y Normas modernas para la infraestructura de los Laboratorios y como consecuencia de esto sirve para entender mucho mejor esta aplicación, ya que con éstos equipos los estudiantes de Ingeniería Mecánica tendrán la oportunidad y la facilidad de realizar ensayos en

materiales ferrosos por el método de partículas magnéticas y posteriormente tratar de investigar otro tipo de discontinuidades en materiales modernos y de uso cotidiano.

1.2.2. ANÁLISIS CRÍTICO

Debido a la inexistencia de Normas Nacionales en los procedimientos con equipos de inducción electromagnética para ensayos de partículas magnéticas en nuestro medio y especialmente en nuestra Facultad- Carrera sería de vital importancia realizar un estudio de las discontinuidades en materiales y elementos mecánicos Ferromagnéticos, ya que al existir los medios necesarios para realizar ensayos en los laboratorios de Ingeniería Mecánica podríamos tener una visión más clara de cómo funciona el ensayo en la práctica.

Este ensayo es muy práctico y no costoso para realizarlo y su metodología muy sencilla con el cual podríamos tener resultados muy claros y específicos sobre la severidad de funcionamiento, medir la vida útil de un elemento mecánico sometido a cargas externas, mal manejo de operadores o su escaso mantenimiento; también se podría diagnosticar el proceso de falla un elemento examinado; además se brindaría este servicio a empresas que lo requieran siempre y cuando se realicen las recomendaciones necesarias en el ensayo Visual de rigor como se estipula en las Normas ASME. Al realizar este tipo de ensayos planificados oportunamente se podría evitar daños en maquinaria, cuantiosos gastos en materiales y tiempos de uso de determinadas piezas en una máquina y por lo tanto también en el proceso de producción, esto nos permitirá ver y saber cómo se encuentran físicamente. Otra de las cosas que podríamos hacer con este tipo de ensayo es ayudar a prevenir defectos de fabricación y montaje o a su vez el deterioro por el uso.

1.2.3. PROGNOSIS

Lo que se podría esperar al no desarrollar el proyecto sería que los estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, no dispongan de esta tecnología de punta para realizar ensayos prácticos en los

laboratorios. También es una necesidad en el medio y de la industria, de esta manera se podría abaratar costos y evitar daños innecesarios, porque con una correcta inspección Técnica de la maquinaria se obtendría una mayor productividad.

El estudio de este proyecto permitirá que las futuras generaciones tengan una base de información tecnológica y de investigación, que podría mejorar el diseño de elementos y máquinas con tecnología de acorde al tiempo.

1.2.4. FORMULACION DEL PROBLEMA

¿Cómo incidirá los Ensayos no Destructivos por el método de partículas magnéticas en los materiales Ferromagnéticos?

1.2.5. PREGUNTAS DIRECTRICES

- ¿Existirán estudios actualizados para elaborar un procedimiento utilizando un equipo de inducción electromagnética para realizar el ensayo por el método de partículas magnéticas en materiales Ferrosos?
- ¿Existirán materiales adecuados para la construcción de probetas y desarrollar los ensayos por el método de partículas magnéticas en los laboratorios de Ingeniería Mecánica?
- ¿Qué tipos de materiales podrían ser examinados con el equipo de inducción electromagnética para el ensayo por el método de partículas magnéticas?
- ¿Es posible la adquisición de los equipos para desarrollar la investigación?
- ¿El proyecto de investigación podrá desarrollarse bajo Normas sobre ensayos no destructivos?

1.2.6. DELIMITACION

1.2.6. 1. DELIMITACION DE CONTENIDO

- E.N.D. Técnicas de Ensayo
- Magnetismo.

- Inducción electromagnética.
- Ciencia de los materiales.
- Partículas magnéticas.
- Defectología.
- Equipo disponible.

1.2.6.2. DELIMITACION ESPACIAL

La presente investigación se realizará en el Laboratorio de Materiales y E.N.D de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato en la Provincia de Tungurahua.

1.2.6.3. DELIMITACION TEMPORAL

Este proyecto será ejecutado en el periodo comprendido entre Julio 2010 - Febrero del 2011.

1.3 .JUSTIFICACION

Estamos consientes de la necesidad de desarrollar un proyecto de investigación e implementar un procedimiento por medio de guías de práctica para el laboratorio con ayuda de equipos de inducción electromagnética que permita el estudio de elementos con posibles fallas.

Realizar este proyecto es de gran interés para el Laboratorio E.N.D. de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la U.T.A, ya que permitirá a los estudiantes de ésta carrera tener un importante aporte aplicativo y también se llevarán los conocimientos para su aplicación en la industria donde requieran de estos servicios e información.

El estudio a realizase tiene cierta originalidad, en el sentido de que los ensayos se los realizaría en los laboratorios de la Carrera de Ingeniería Mecánica con ayuda de un equipo de magnetización o yugo y utilizando probetas hechas en materiales Ferromagnéticos y elaborar un procedimiento demostrativo.

Es factible la elaboración de la presente investigación por cuanto se dispone de Bibliografía sobre el tema, también se tiene acceso a la información de campo para la investigación; además se cuenta con la asesoría respectiva y los recursos que requiere su elaboración del proyecto y la compra del equipo que será donado a la Carrera.

De primordial interés el satisfacer la necesidad de los laboratorios de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato y de esta manera dar un aporte tecnológico a los estudiantes de ésta Carrera.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Implementar una guía de Ensayos no Destructivos por el método de partículas magnéticas con materiales ferromagnéticos en los laboratorios de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Establecer un procedimiento guía de laboratorio utilizando un equipo de inducción electromagnética para el ensayo por el método de partículas magnéticas en materiales Ferromagnéticos.
- Determinar los materiales Ferromagnéticos adecuados para la construcción de probetas y desarrollar los ensayos por el método de partículas magnéticas en los laboratorios de Ingeniería Mecánica.
- Realizar el proyecto de investigación bajo aplicación de Normas ASME sobre ensayos no destructivos por el método de partículas magnéticas en materiales Ferromagnéticos.
- Dotar a los laboratorios de Ingeniería Mecánica del equipo para desarrollar la investigación.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

Para desarrollar el presente proyecto se vio la necesidad de realizar una investigación exhaustiva que nos diera el conocimiento exacto de la existencia de proyectos similares al aquí propuesto.

Y es así que se ha acudido a fuentes de información tales como la biblioteca de la Universidad Técnica de Ambato, en la Carrera de Ingeniería Mecánica, en donde no se pudo encontrar estudios sobre temas afines al problema formulado en el contexto; sin embargo algunos de los datos recogidos servirán para la elaboración del presente trabajo.

2.2. FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA

Esta investigación se basará en el análisis cualitativo, será objetiva, se analizará los resultados los procedimientos ya que estos están determinados en normas para el ensayo no destructivo de materiales.

Así pues, los Ensayos no Destructivos por el método de partículas magnéticas constituyen el progreso en técnicas de ensayos para los estudiantes de la Universidad Técnica de Ambato Carrera de Ingeniería Mecánica que quieran alcanzar sus objetivos. Partimos de que el conocimiento es base de la ciencia .A partir de ello, el realizar ensayos por el método de partículas magnéticas nos hace abrir nuevos enfoques en esta técnica de ensayo y aportar un valor agregado al estudio tradicional.

Existe una estrecha relación entre el conocimiento y el logro de objetivos, la nueva generación de estudiantes y empresarios persigue el cumplimiento de

metas, por lo que se considera imprescindible realizar una guía técnica en ensayos no destructivos para los laboratorios de la Carrera de Ingeniería Mecánica.

Debemos concebir que el implemento de esta tecnología es un aporte esencial a la ciencia y de un estudio más profundo, con bases prácticas de esta importante técnica de ensayo.

2.3. FUNDAMENTACIÓN LEGAL

- NORMAS ASME capítulo 9 sección 5.
- NORMAS AWS D1, 1.
- NORMAS INEN DIBUJO TÉCNICO MECÁNICO.

2.4. CATEGORIAS FUNDAMENTALES

2.4.1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.4.1.1. DEFINICIÓN DE END

Los ensayos no destructivos (de aquí en adelante END) son métodos de ensayos

Tecnológicos utilizados en el Control de Calidad de materiales, aparatos y estructuras, como así también en el Aseguramiento de Calidad. Su nombre significa que el ensayo para la evaluación de propiedades, ubicación de discontinuidades, etc. se realiza sin producir marcas y sin destruir la pieza o sea, no quitando aptitud para el servicio al objeto de ensayo.

Los END incluyen el Ensayo Visual (EV), el radiográfico (ER), ultrasónico (EU), Ensayo magnético (EM), Ensayo con Líquidos Penetrantes (EP), ensayo por Corrientes Inducidas (ECI) y la medición de tensiones. (MT), etc. La selección de cada método de ensayo depende del propósito que se busque, por lo que será necesario seleccionar entre ellos, el que mejor se adapte para cada caso, aplicando el procedimiento adecuado. El presente proyecto estará enfocado estrictamente al ensayo no destructivo por el método de partículas magnetizables. [1]

2.4.1.2. ENSAYO DE PARTÍCULAS MAGNETIZABLES

Generalidades: Los materiales ferromagnéticos tales como muchos aceros desarrollan, cuando son magnetizados, un flujo magnético mucho mayor que en los materiales no magnéticos.

Si existiera un defecto cerca de la superficie se produce un escape de este flujo, llamado campo de fuga, en el espacio cercano a la superficie de la pieza.

Así este método puede localizar defectos superficiales y/o subsuperficiales por la detección del campo de fuga.

Para visualizar los campos de fuga se utilizan comúnmente partículas magnetizables y en algunos casos sensores magnéticos tal como un generador o cintas magnéticas, El campo de fuga que producen los defectos depende de la orientación de magnetización en la pieza y dimensiones del defecto. [2]

2.4.1.3. MAGNETISMO

El magnetismo no es más que el fenómeno físico asociado con la atracción de determinados materiales; es decir por medio del cual los materiales ejercen fuerza de atracción o de repulsión sobre otros materiales. Las fuerzas magnéticas son producidas por el movimiento de partículas cobradas como los electrones, mientras indican la relación íntima entre electricidad y magnetismo. El marco unificado para estas dos fuerzas se llama la teoría electromagnética.

Estos dos lugares, donde la fuerza es intensa, son llamados los polos del imán. Cuando la barra es usada como una brújula, uno de los extremos indica el Norte y este extremo es llamado Polo Norte. El otro es el Polo Sur. Los Polos magnéticos existen en pares. No ha sido posible producir un polo magnético sin el acompañamiento de un polo opuesto, y cuando se quiebra un imán instantáneamente se desarrollan polos en los extremos quebrados. Entre los polos magnéticos se ejercen fuerzas. Polos de igual nombre se repelen y polos de distinto nombre se atraen. La intensidad del polo magnético se puede comparar con la magnitud de estas fuerzas.

Haremos una breve introducción a la teoría del campo magnético, definiendo sus elementos y las premisas fundamentales que lo rigen. [11]

2.4.1.4. IMÁN

Todo aquel cuerpo que tenga la propiedad de atraer otras sustancias llamadas FERROMAGNETICAS. Esa característica de atracción se llama MAGNETISMO, y se debe a un efecto de INDUCCIÓN MAGNÉTICA ejercido por el imán sobre el otro cuerpo, al que transforma momentáneamente en un imán. [5]

2.4.1.5. CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES POR SUS CARACTERÍSTICAS MAGNÉTICAS

Todos los materiales son afectados en algún grado por los campos magnéticos. Este hecho es consecuencia de que los átomos disponen de núcleos con carga eléctrica positiva los cuales están envueltos por un campo o nube de electrones cargados negativamente. Los electrones están en continuo movimiento girando alrededor del núcleo. Cuando un material está sujeto a un campo magnético la órbita del electrón es perturbada en alguna medida. El grado de distorsión (o el correspondiente cambio en las características magnéticas) que sufre un material cuando está sujeto a un campo magnético externo, da un medio de clasificación de los materiales.

Atendiendo al grado de distorsión y cambio de las características magnéticas que sufren los materiales cuando están sujetos a un campo magnético externo, los materiales se clasifican en tres grupos: diamagnéticos, paramagnéticos y ferromagnéticos. (fig. 2.1). [4]

- a) ***Ferromagnéticos:*** son fuertemente atraídos por un imán (Son ferromagnéticos, elementos como el hierro, níquel, cobalto y gadolinio, óxidos como la magnetita, y algunas aleaciones como Heusler (30% de Mn y 70% de Cu) y Permalloy (22% Fe, 78% Ni), casi todos los aceros.
- b) ***Paramagnéticos:*** son levemente atraídos por un imán (platino, aluminio, cromo, potasio, estaño), etc.

- c) **Diamagnéticos:** son levemente repelidos por un imán (plata, plomo, cobre, mercurio, etc).

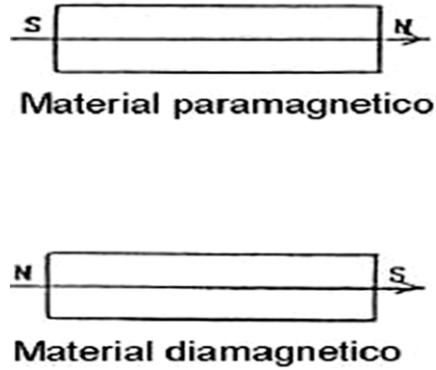


Gráfico N°2.1. Características magnéticas

Fuente: www.sistendca.com/DOCUMENTOS/Defectol

2.4.1.6 . CAMPO MAGNÉTICO

Espacio del cual se ejerza el efecto de inducción o sea, el campo magnético está conformado por el conjunto de todas las líneas de fuerza, cuyo número y forma dependen del foco magnético o fuente que generó el campo.

Esto también es de aplicación cuando se trata de un conductor por el que circula una corriente eléctrica.

La unidad de medida de la magnetización en el Sistema Internacional es amperio/metro. [5]

2.4.1.7 . LÍNEAS DE FUERZA

Se concibe a una curva tal que en cada uno de sus puntos es tangente a la dirección que tomaría una aguja imanada (brújula) en ese punto, o sea a la dirección del campo. (Gráfico N° 2.2).

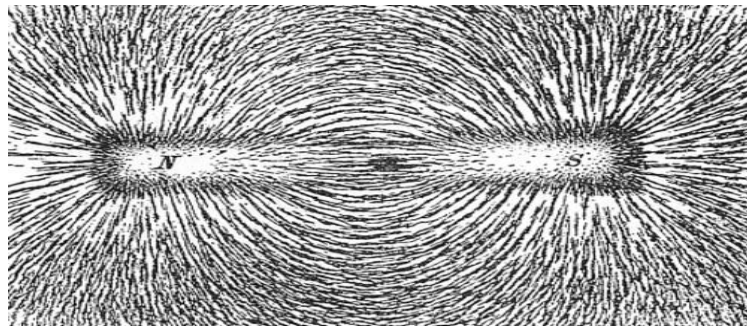


Gráfico N° 2.2. Visualización de las líneas de fuerza en un imán

Fuente: http://sp1.fotolog.com/photo/1/33/65/1ya_85/1246562349608_f.jpg

Las fuerzas de Atracción o de Repulsión se manifiestan en aquellas zonas donde entran o salen líneas de fuerza, o sea en las denominadas POLOS del imán.

Las líneas de fuerza tienen asignadas propiedades importantes tales como:

- Son líneas continuas y cerradas que nunca se rompen; No se cruzan unas con otras; Se les atribuye una dirección, salen del polo norte y, viajando a través del espacio, entran por el polo sur donde entran dentro del imán y vuelven al polo norte a través del imán (Gráfico N° 2.3); Su densidad decrece al aumentar la distancia entre los polos; Buscan el camino de menos resistencia o reluctancia magnética. [17]

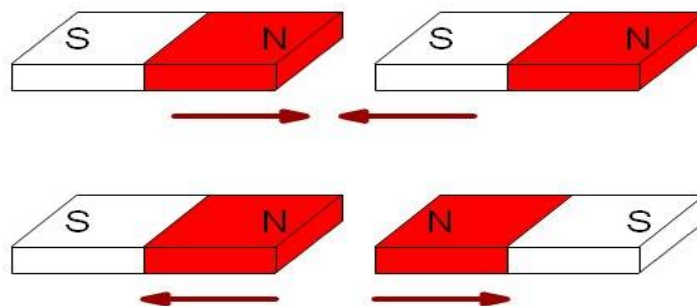


Gráfico N° 2.3. Polos magnéticos

Fuente: http://cmapspublic3.ihmc.us/rid=1J3XYF98M-1WSYXN1-QVR/atraccion_repulsi%C3%B3n.jpg

2.4.1.8. INTENSIDAD DE CAMPO "H"

O fuerza magnetizante, a la fuerza que actúa sobre un polo norte magnético unitario, colocado dentro de un campo magnético o sea es la fuerza que tiende a establecer un flujo magnético en un circuito magnético. Se mide en OERSTEDS.

Su unidad de medida es amperios/metro (S.I.) y Oersted. (c.g.s.)

1 amperio/metro $\approx 1,310^{-2}$ Oersted o Gauss de inducción magnética. [4]

2.4.1.9. LA INDUCCIÓN O DENSIDAD DE FLUJO "B"

Es el número de líneas de fuerza por unidad de área, tomada en ángulo recto a la dirección del flujo. Se mide en GAUS.

Inicialmente su unidad de medida era el Gauss, siendo 1 Gauss = Maxwell/cm².

Con posterioridad el Gauss, como unidad de densidad de flujo, se redefinió, siendo actualmente la unidad medida en el Sistema Internacional el tesla (T).

1 tesla = Wb/m²

Donde 1 Gauss = 10^{-4} tesla y 1 línea de flujo/pulgada² = $0,155 \cdot 10^{-5}$ teslas.

Un tesla corresponde a una densidad de flujo magnético tal que produce una fuerza de un Newton sobre una carga de un culombio que se mueve perpendicularmente al campo.

Tenemos que: $B \propto H$ [4]

2.4.1.10. EL FACTOR DE PROPORCIONALIDAD ES LA PERMEABILIDAD

“ μ ” que representa la facilidad con que un material puede ser magnetizado, de donde:

$$B = \mu \cdot H$$

En donde H se refiere a la fuerza que tiende a magnetizar un cuerpo, y B al campo inducido en dicho cuerpo. Tenemos que OERSTEDS y GAUSS son numéricamente iguales en aire o vacío, de donde se desprende que para el aire

$$\mu = 1$$

Podemos clasificar nuevamente los cuerpos magnéticos en función de su permeabilidad:

Ferromagnéticos $\mu > 1$

Paramagnéticos $\mu = 1$

Diamagnéticos $\mu < 1$

Los hierros y los aceros suaves con bajo contenido de carbono son sumamente fáciles de magnetizar y son altamente permeables. Estos materiales magnéticos conducen fácilmente las líneas de fuerza o flujo.

Los aceros duros, con alto contenido de carbono y la fundición gris, son difíciles de magnetizar y tienen baja permeabilidad.

La permeabilidad magnética está relacionada con la reluctancia de forma inversa, es decir si un material con alta permeabilidad magnética tendrá una reluctancia pequeña y viceversa. [4]

2.4.1.11. RELUCTANCIA

Se define como la resistencia del material a magnetizarse bajo los efectos de un campo magnético.

Las propiedades magnéticas de un material tienen gran importancia debido al efecto que éstas tienen en el comportamiento de los materiales cuando se hallan bajo el efecto de un campo magnético externo (es decir bajo una excitación activa) o cuando el campo externo es desactivado (magnetismo residual).

Curvas B-H y μ -H

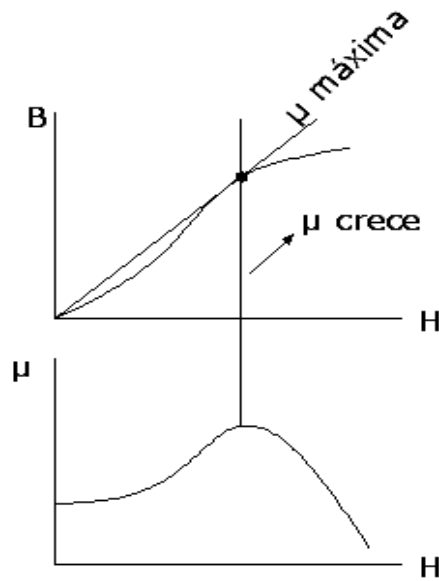


Gráfico N° 2.4. Reluctancia magnética

Autor: Johnny Villacís

La permeabilidad " μ " crece con el valor de H, hasta un cierto límite para luego decrecer. (Gráfico N° 2.5).

Vemos que $\mu = \text{cte.}$ y depende de:

- Del valor de H o de B
- De la composición química del material
- De la temperatura
- Del tratamiento térmico anterior
- Del procesamiento mecánico anterior

Por lo tanto B no es linealmente proporcional a H, dando lugar a las denominadas CURVAS DE HISTÉRESIS de los materiales. [4]

2.4.1.12. CICLO DE HISTÉRESIS DE MATERIALES FERROMAGNÉTICOS

Sí se coloca una pieza de acero sin magnetizar dentro de una bobina o solenoide, a través de la que está circulando corriente alterna, se puede estudiar la relación que existe entre la intensidad del campo magnético “H”, que aquella produce, y la densidad de flujo “B”. Dicha relación no es lineal por lo que un cambio en la intensidad del campo magnético “H” producirá un mayor o menor cambio en la densidad de flujo “B”.

Cuando se aumenta la intensidad del campo magnético “H”, en pequeños incrementos y se mide la densidad de flujo “B” para cada intervalo, se puede representar gráficamente la relación existente entre “H” y “B”. Esta representación gráfica se conoce con el nombre de curva de histéresis (Gráfico N° 2.5).

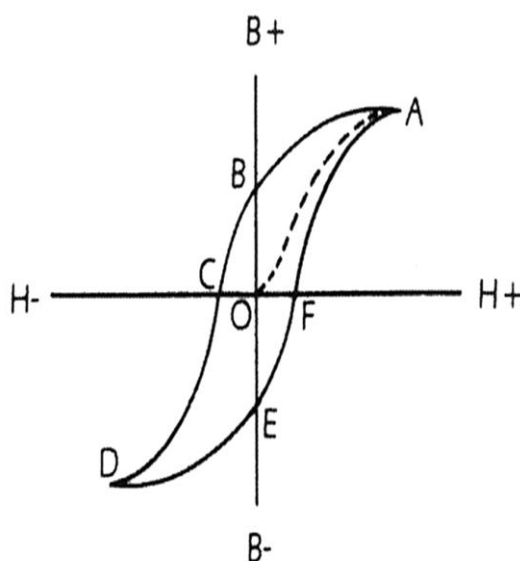


Gráfico N° 2.5. Curva de histéresis completa

Fuente: <http://cabierta.uchile.cl/libros/c-utrerar/node104.html>

La línea punteada, que se inicia en el punto “O” y finaliza en el punto “A”, se conoce como la curva virgen para esta pieza de acero y muestra el punto de saturación “A” del material o la máxima densidad de flujo que se puede obtener

para dicha pieza. De la curva de histéresis se pueden deducir muchas cosas, acerca de la pieza.

A continuación se analiza la curva por tramos:

Partiendo del punto “O”, del Gráfico N° 2.6, a lo largo de la línea punteada, la densidad de flujo aumentará, según vaya incrementándose la intensidad del campo magnético, hasta que se alcance un punto, a partir del cual cualquier aumento en la intensidad del campo magnético no incrementa la densidad de flujo. En este punto “A” el acero está saturado. Cuando la intensidad del campo magnético se reduce, la densidad de flujo decae lentamente y cuando la intensidad del campo magnético alcanza el valor cero, punto “B” de la curva, el material posee un valor de densidad de flujo determinado. La distancia entre los puntos “O” y “B” representa el magnetismo residual en la pieza.

La capacidad de un material ferromagnético, para retener cierta cantidad de magnetismo residual, se conoce como “retentividad”

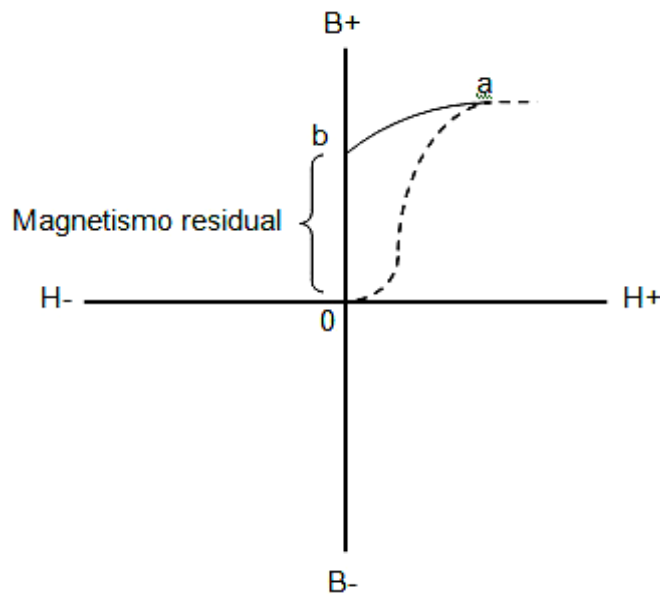


Gráfico N° 2.6. Curva parcial de histéresis

Fuente: www.llogsa.com/magnetismoresidual.jpg

Si la intensidad del campo magnético es invertida, como es el caso con corriente alterna y se incrementa gradualmente, en dirección inversa, la densidad de flujo se reduce a cero, en el punto “C” del Gráfico N° 2.7.

Con la densidad de flujo reducida a cero, en el punto “C”, se puede determinar la fuerza coercitiva de la pieza.

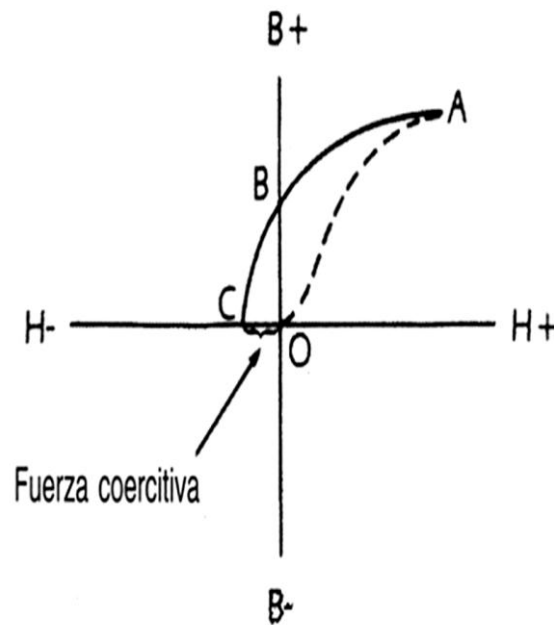


Gráfico N° 2.7. Curva parcial de histéresis

Fuente: www.llogsa.com/histerisis.jpg

La fuerza coercitiva se define como la intensidad del campo magnético inverso requerido para eliminar el magnetismo residual en el material.

Cuando la intensidad del campo magnético inverso se incrementa a partir del punto “C”, la densidad de flujo aumenta hacia el punto de saturación, en dirección inversa, punto “D” de la Gráfico N° 2.8, El punto “D”, en la curva de histéresis, es el punto de máxima saturación, en la dirección inversa. En otras palabras, la pieza ha sido magnetizada, hasta su punto de máxima densidad de flujo, en la dirección inversa.

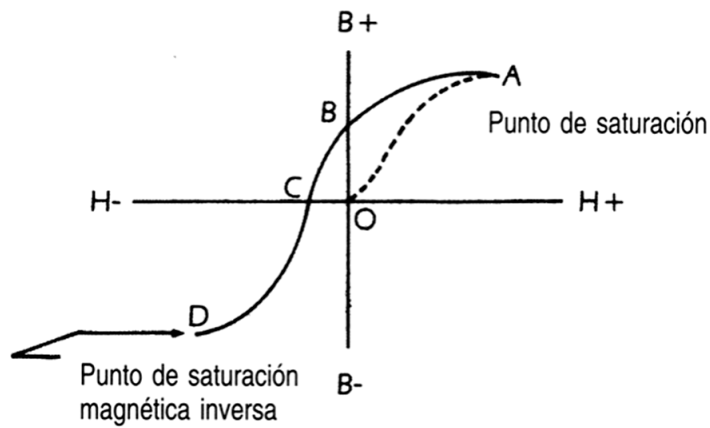


Gráfico N° 2.8. Curva parcial de histéresis

Fuente: www.llogsa.com/histerisis.jpg

Al reducir nuevamente a cero la intensidad del campo magnético, punto “E” de la Gráfico N° 2.9 en la dirección inversa, tendremos magnetismo residual inverso, La distancia entre el punto “G” y “E” representa la retentividad o la capacidad del material para retener magnetismo residual.

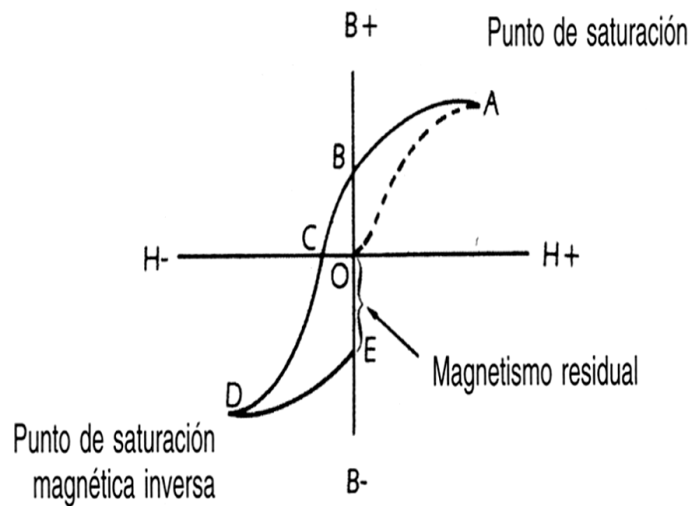


Gráfico N° 2.9. Curva parcial de histéresis

Fuente: www.llogsa.com/histerisis.jpg

Al incrementar la fuerza de magnetización en la dirección original, completamos el ciclo o curva de histéresis, (Gráfico N° 2.10) y se establece un campo magnético residual en la dirección inversa, que cuando sea necesario eliminarlo requerirá la aplicación de una intensidad de un campo magnético de magnitud “F”, igual al valor correspondiente a la fuerza coercitiva del material.

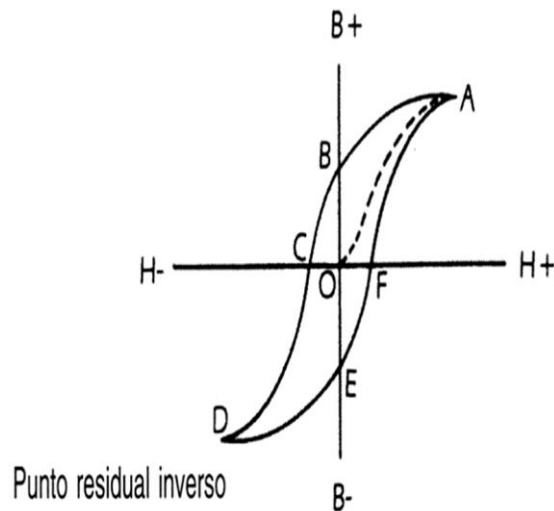


Gráfico N° 2.10. Curva de histéresis completa

Fuente: www.llogsa.com/histerisis.jpg

Una pieza de un acero muy duro es difícil de magnetizar, pero retendrá un campo magnético residual mayor.

Si se trazara una curva de histéresis para el caso de un acero muy duro, la distancia entre “O” y “F” sería mayor que para un acero blando, ya que la fuerza coercitiva sería más fuerte, porque una pieza de acero muy duro retendrá un campo magnético residual más fuerte y la intensidad del campo magnético inverso requerido para eliminar el magnetismo residual tendrá que ser mayor.

El Gráfico N° 2.11 muestra una curva típica de histéresis, para piezas de acero muy duro.

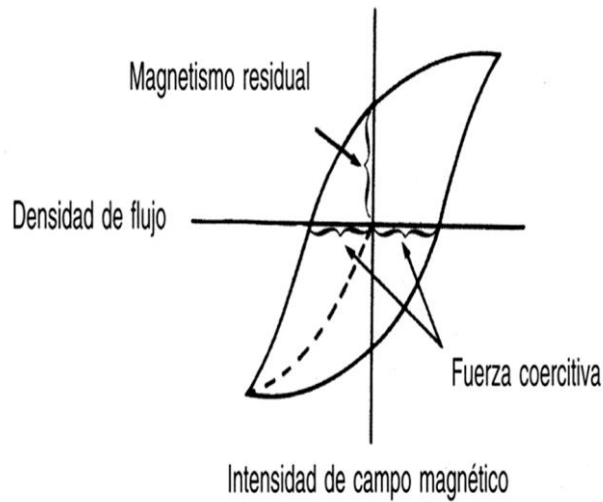


Gráfico N° 2.11. Curva típica de histéresis de un acero duro

Fuente: www.llogsa.com/curvahaceromuyduro.jpg

Una curva de histéresis ancha indica que el material es difícil de magnetizar, tendrá alta reluctancia.

Resumiendo, esta curva muestra que un acero duro tendrá las siguientes características:

- **BAJA PERMEABILIDAD:** Difícil de magnetizar.
- **ALTA RETENTIVIDAD:** Retiene un campo magnético residual fuerte.
- **ALTA FUERZA COERCITIVA:** Requiere de una gran fuerza de magnetización inversa, para eliminar el magnetismo residual.
- **ALTA RELUCTANCIA:** Gran resistencia a la fuerza de magnetización.
- **ALTA CANTIDAD DE MAGNETISMO RESIDUAL:** Retiene un campo magnético residual mayor. Estas características corresponden a un material duro de magnetizar, con un alto contenido de carbono, por ejemplo: acero.

Por su elevada retentividad sería un buen imán.

Una curva delgada de histéresis muestra un material de poca retentividad. Ver Gráfico N° 2.12.

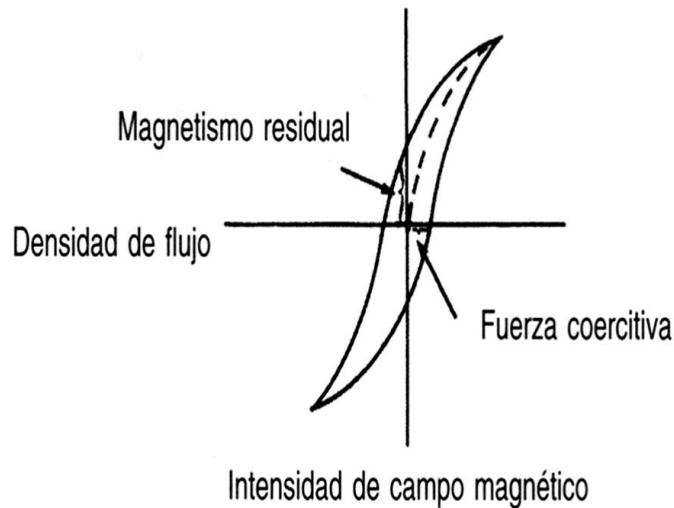


Gráfico N° 2.12. Curva típica de histéresis de un acero suave

Fuente: www.llogsa.com/curvahaceromuyduro.jpg

Este tipo de curva muestra las cualidades de materiales suaves, como el hierro, con un bajo contenido de carbono. La fuerza coercitiva es menor, debido a que el material retiene solamente un débil campo magnético residual. Resumiendo, esta curva muestra que el hierro suave tendrá las siguientes características:

- **ALTA PERMEABILIDAD:** Fácil de magnetizar.
- **BAJA RETENTIVIDAD:** Retiene un débil campo magnético residual.
- **BAJA FUERZA COERCITIVA:** Requiere de una fuerza de magnetización inversa baja, para el residual.
- **BAJA RELUCTANCIA:** Poca resistencia a la fuerza de magnetización.
- **BAJA CANTIDAD DE MAGNETISMO RESIDUAL:** Retiene un débil campo magnético residual.

Estas características corresponden a un material fácil de magnetizar y de desmagnetizar, con un bajo contenido de carbono, por ejemplo: hierro. [20]

2.4.1.13. TEMPERATURA DE CURIE

Se define el punto de Curie, como aquella temperatura en la cual los materiales ferromagnéticos no pueden ser magnetizados por fuerzas externas y en la cual pierden su magnetismo residual; Todos los materiales ferromagnéticos que posean flujo magnético pueden desmagnetizarse calentándolos a una temperatura igualo superior a la del punto de Curie y dejándolo enfriar a temperatura ambiente. El cambio de material ferromagnético a paramagnético en el punto de Curie se invierte cuando se enfría el material y vuelve a ser ferromagnético, habiéndose perdido su magnetismo residual. La mayoría de los metales presentan un punto de Curie comprendido entre 650 y 870° C. [5]

2.4.1.14. CAMPOS MAGNÉTICOS INDUCIDOS ELÉCTRICAMENTE

Cuando existe una corriente eléctrica que circula a través de un conductor crea un campo magnético alrededor del conductor, concéntrico con el mismo; Siendo la intensidad del campo "H", directamente proporcional a la intensidad de corriente que circula; y la densidad de líneas de flujo será tanto mayor cuanto más cerca nos encontremos de la superficie del conductor. Recordando que la corriente circula de positivo a negativo y aplicando la regla del tirabuzón, podemos conocer el sentido de las líneas de fuerza. (Gráfico N° 2.13).

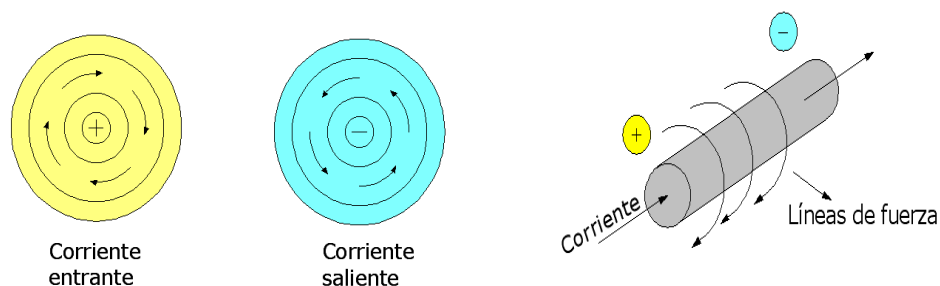


Gráfico N° 2.13. Campos eléctricos

Fuente: Johnny Villacís

- Si el conductor es de cobre este campo es exterior e interior.
- Si el conductor es de un material ferromagnético el campo queda delimitado en su interior, siendo máximo en su superficie. [4]

2.4.1.15. CLASIFICACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE ENSAYO

a) *Técnica del campo residual o remanente.*

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

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

b) *Técnica del campo continuo.*

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

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

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

Para el presente proyecto se utilizará la técnica de campo continuo. [5]

2.4.1.16. MODOS DE MAGNETIZACIÓN

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

En este caso se utilizará la magnetización longitudinal con ayuda de un Yugo electromagnético. [6]

2.4.1.17. YUGOS

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

a) Yugos de imanes permanentes:

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

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

b) Yugos electromagnéticos

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

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

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

El yugo puede estar diseñado para trabajar con CC, CA o ambas.

La densidad de flujo producida por CC puede ser cambiado variando la intensidad de la corriente que fluye en la bobina; Cuando se trabaja con CC, hay gran penetración del campo mientras que con C.A. el campo magnético se concentra en

la superficie de la pieza, dando muy buena sensibilidad para discontinuidades superficiales sobre una amplia zona.

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

Se debe tener en cuenta que en la vecindad de los polos se producen escapes de

Campos que producen una aglomeración excesiva de partículas.

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

Los yugos que utilizan C.A. para la magnetización tienen numerosas aplicaciones y pueden también utilizarse para desmagnetizar. [1]

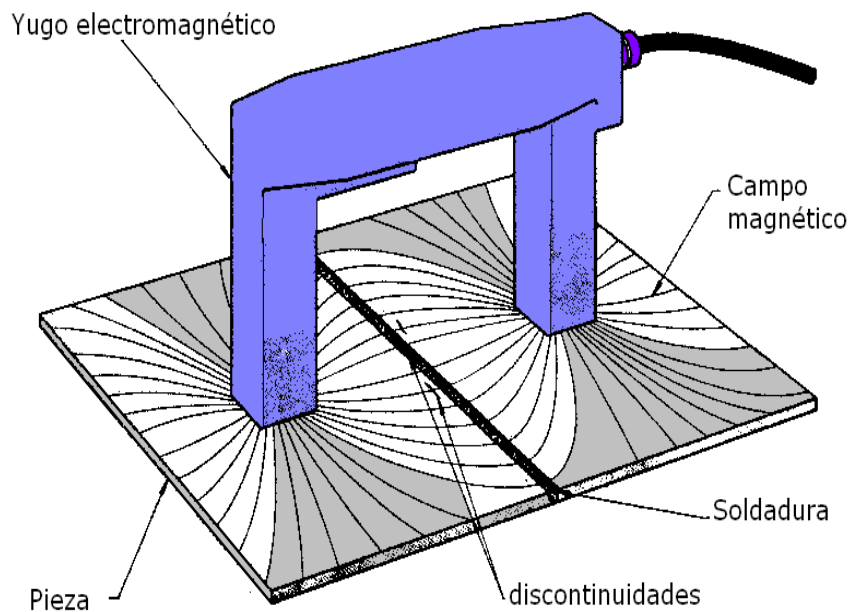


Gráfico N°2.14. Yugo de patas articuladas

Fuente: Ing. Ricardo Echevarría - Lab.E.N.D. - Univ. Nac.Comahue

Para el desarrollo del proyecto se utilizará Yugo electromagnético (Gráf.N°2.15).

2.4.1.18. TIPOS DE CORRIENTE PARA MAGNETIZAR

TIPOS DE CORRIENTE Y POSIBILIDADES DE DETECCIÓN DE DISCONTINUIDADES	
TIPO DE CORRIENTE	DISCONTINUIDAD DETECTABLE
Continua	Superficiales y subsuperficiales
Alterna	Superficiales y Subsuperficiales
Alterna monofásica semirectificada	Subsuperficiales (alta sensibilidad)
Alterna monofásica totalmente rectificada	Subsuperficiales
Alterna trifásica totalmente rectificada	Subsuperficiales

Tabla 2.1. Corrientes para magnetizar

Fuente: Manual de E.N.D, URMO, S.A Ediciones

En el ensayo no destructivo por partículas magnéticas secas con el yugo de magnetización longitudinal se utilizará corriente alterna CA.

2.4.1.18.1. CORRIENTE ALTERNA (CA)

La corriente alterna consiste en un flujo de cargas eléctricas cuya intensidad varia de forma periódica con el tiempo. Esta variación de intensidad tiene, tal como puede observarse en la figura, una forma sinusoidal (Gráfico N°.2.15).

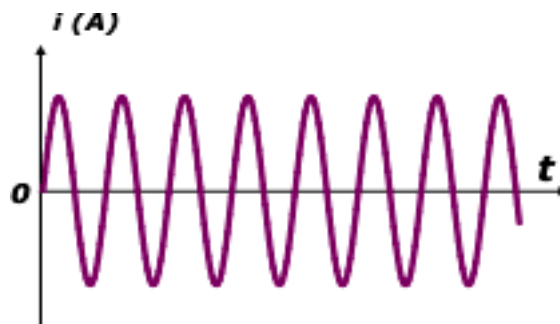


Gráfico N°.2.15 Corriente Alterna

Fuente: www.neuro.qi.fcen.uba.ar/alterna_03.gif

Si analizamos la figura se aprecia que la intensidad de corriente va aumentando desde cero a un valor máximo positivo, a partir del cual dicho valor disminuye hasta alcanzar el valor de cero. Llegado a este punto, la dirección de la corriente eléctrica se invierte y alcanza un valor negativo mínimo a partir del cual la intensidad aumenta hasta alcanzar otra vez el valor de cero. El tiempo que transcurre en el proceso citado se llama ciclo, definiéndose un Hercio (Hz) como un ciclo por segundo.

En los países europeos la corriente alterna se invierte 50 veces por segundo, es decir en un segundo la corriente describe 50 ciclos o lo que es lo mismo tiene una frecuencia de inversión de 50 Hz. En Estados Unidos y otros países afines, la corriente alterna tiene una frecuencia de 60 Hz. Producida como una onda de forma sinusoidal con valores de corriente positivo y negativo. Debido al efecto piel, consecuencia del efecto inductivo originado a raíz de la inversión de la corriente, el flujo magnético se concentra en la superficie del objeto, solamente se usa en la detección de discontinuidades superficiales. [21]

a) Ventajas:

- La corriente para los valores requeridos puede ser normalmente suministrada a través de las fuentes de suministro eléctrico industrial.
- Las máquinas de corriente alterna son relativamente baratas y simples.
- Debido a la fluctuación de la corriente, la partícula magnética vibrará y emigrará rápidamente hacia las fugas de flujo. Esto hace que las indicaciones de la discontinuidad se definan con facilidad.
- Los campos magnéticos producidos son más fáciles de eliminar durante los procesos de desmagnetización. [21]

b) Desventajas:

- Solamente detecta con exactitud discontinuidades superficiales.
- Algunas especificaciones no permiten el empleo de corriente alterna en el ensayo de componentes con recubrimiento, si este supera el espesor determinado.

- La densidad de flujo del objeto a ensayar puede no tener su valor de pico (máximo), dependiendo de donde se encuentre el ciclo de magnetización cuando se cierra el paso de corriente magnetizante.

Un amperímetro que indique corriente alterna generalmente mide el valor eficaz. Por ello, para calcular el valor de pico de corriente, la lectura del amperímetro debe multiplicarse por $\sqrt{2}$, es decir por 1,414. [21]

2.4.1.18.2. EFECTO PIEL

Cuando se emplea corriente alterna como corriente magnetizante, se produce un fenómeno llamando efecto piel, por el cual la magnetización se localiza cerca de la superficie del objeto que se magnetiza.

Cuanto mayor es la frecuencia de la corriente magnetizante empleada, más se acentúa el efecto piel, es decir, la magnetización producida es más superficial.

Al concentrarse el flujo magnético en la superficie del objeto el empleo de corriente alterna, como corriente de magnetización, se limitará a la detección de discontinuidades superficiales, Además, en función de las normas y códigos aplicables, no se permitirá el uso de corriente alterna en la inspección de objetos/materiales que tengan un espesor de recubrimiento superior a 0,08 milímetros. [5]

2.4.1.19. PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

2.4.1.19.1. APLICACIÓN DE LAS PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

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

objeto de favorecer su visibilidad y contraste, estas partículas podrán ser coloreadas e incluso fluorescentes. [5]

2.4.1.19.2. CARACTERÍSTICAS Y TÉCNICAS DE APLICACIÓN

Las principales características que deben poseer son:

- Muy baja retentividad
- Elevada permeabilidad (o sea usa ciclo de histéresis muy delgado).
- Tamaño y forma adecuada.
- Baja densidad.
- Elevada movilidad.
- Muy buena visibilidad o contraste.
- Inalterabilidad.

Comercialmente se presentan en dos variedades:

a) Para observar con Luz blanca.

- Grises
- Rojas
- Negras
- Amarillas
- Blancas

b) Para observar con luz ultravioleta.

Para observar con luz ultravioleta de onda larga, que en las lámparas comúnmente utilizadas en los equipos comerciales tienen un pico de radiación en 3650×10^{-9} mts (3650 Å), conocida normalmente como "luz negra".

- Fluorescentes
- Fluorecencia naranja
- Fluorecencia amarillo-verdosa

Se observara los ensayos del presente proyecto de investigación con partículas magnéticas de luz blanca. [5]

2.4.1.19.3. PROPIEDADES MAGNÉTICAS

Teóricamente la permeabilidad de las partículas empleadas en este método de ensayo, debe ser lo más alta posible. Cuanto mayor sea la permeabilidad tanto más fácilmente capturarán las líneas de fuerza en los campos de fuga ocasionados por las discontinuidades que puedan estar presentes y, en su consecuencia, las indicaciones serán más claras y se producirán más rápidamente. Sin embargo, en la práctica, la importancia de la permeabilidad magnética por ser uno de los factores que intervienen en el conjunto de propiedades que deben tener estas partículas, motiva que su influencia no sea tan decisiva como a primera vista pudiera parecer.

Por cuanto a la retentividad y fuerza coercitiva se refiere, su valor debe ser lo más bajo posible. Si en las partículas que se utilicen se alcanzan valores altos para estas características, las partículas tenderán, en su primera utilización, a formar imanes permanentes, tanto más fuertes cuanto más altos sean los valores de la fuerza coercitiva y de la retentividad. Como consecuencia inmediata de esta formación de imanes permanentes, es el que disminuirá la tendencia de las partículas a orientarse por los campos producidos por las discontinuidades, mientras que, por el contrario, tenderán a adherirse magnéticamente a la superficie de la pieza. [5]

2.4.1.19.4. TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS

La influencia que el tamaño de las partículas pueda ejercer en la obtención de las indicaciones, es algo que resulta evidente. Si su tamaño es grande, lógicamente para conseguir sus desplazamientos serán necesarias fuerzas relativamente grandes que solo los campos de fuga de gran intensidad podrían proporcionar, mientras que las pequeñas discontinuidades no darían ninguna indicación. Por el contrario, si las partículas fuesen de muy pequeño tamaño o muy finas, es posible que se produzcan falsas indicaciones. El problema del tamaño de las partículas magnéticas no debe ser estudiado aisladamente debido, principalmente, a la necesidad de tener que considerar conjuntamente el método de aplicación de las mismas. Cuando se trate del método de aplicación por vía seca, la sensibilidad

para las discontinuidades de pequeño tamaño aumenta, al menos de una forma general, al disminuir el tamaño de las partículas. Sin embargo, cuando las partículas son muy finas, pueden, aun en piezas con acabado fino, acumularse en las irregularidades superficiales dando lugar a falsas indicaciones que, incluso, pueden llegar a formarse por la presencia de huellas digitales o zonas ligeramente engrasadas. Por tanto, en este método de aplicación no es aconsejable el empleo de partículas finas, ya que pueden dar lugar a problemas de interpretación.

Consecuentemente, en la práctica, al emplear este método las partículas no tienen un solo tamaño sino que se hace uso de mezclas de diversos tamaños mezclados en proporciones elegidas cuidadosamente para que mientras las de menor tamaño proporcionen la sensibilidad requerida, las más grandes, dado su mayor facilidad de movimiento pueden ayudar.

Por su efecto de arrastre sobre las más finas, tanto a localizar las discontinuidades como a evitar la formación de falsas indicaciones.

En el método de aplicación de las partículas por vía húmeda, las partículas magnéticas van en suspensión en un medio líquido, permitiendo el que puedan ser utilizados tamaños mucho más pequeños.

Por cuanto al tamaño de las partículas se refiere hay que tener en cuenta que si éste sobrepasa ciertos valores no será fácil mantenerlas en suspensión en el medio líquido, inconveniente que también se pone de manifiesto por el hecho de que su movilidad disminuye, hasta llegar a anularse, cuando disminuye el espesor de la capa líquida en la que las partículas van suspendidas y que moja la pieza.

De otra parte, las partículas gruesas presentan cierta tendencia a alinearse formando agrupaciones en forma de cadena que se deforman por la acción de las fuerzas de arrastre del líquido, pudiendo dar lugar a falsas indicaciones. En este sentido, cabe decir que, generalmente, como límite superior para el tamaño de las partículas se suele tomar el de 40 a 60 micras, mientras que no suele fijarse límite inferior para su tamaño. [5]

2.4.1.19.5. FORMA DE LAS PARTÍCULAS

La forma de las partículas magnéticas es factor de gran importancia sobre su comportamiento, cualquiera que sea el método de aplicación que se utilice.

Dado que las partículas tienden a alinearse siguiendo la dirección de las líneas de fuerza de los campos de fuga, resulta evidente que las partículas alargadas formarán dipolos, norte-sur, con más facilidad que aquellas partículas cuya forma sea redondeada o globular, siempre que se trate de partículas del mismo material. Quiere esto decir que, las partículas alargadas se orientarán mejor y más rápidamente que las redondeadas lo que en definitiva redundará en una indicación más clara. Esta mayor efectividad de las partículas alargadas, donde se pone más de manifiesto, es cuando se trata de detectar pequeñas grietas, superficiales o subsuperficiales, las cuales, por su naturaleza, dan lugar a campos de fuga muy débiles.

La influencia de la forma de las partículas es más acusada cuando la aplicación se hace por vía seca. En este caso, las partículas alargadas, por su natural tendencia a formar agrupaciones en forma de cadena, incluso en el recipiente que las contiene, no fluirán con regularidad por el orificio de salida del aparato que se utilice para su proyección sobre la pieza, lo cual puede llegar a ser causa de que el examen resulte incómodo y laborioso. Por el contrario, si se trata de partículas redondeadas o globulares, no se presentará este inconveniente, fluirán mejor, pero estas partículas redondeadas proporcionan indicaciones menos claras y cuya formación es más lenta. De todo ello se deduce que, en el caso de tener que efectuar la aplicación de las partículas por vía seca, será preciso mezclar en proporciones convenientes partículas de distintas formas con el fin de que puedan fluir con facilidad y al mismo tiempo proporcionen indicaciones aceptables.

Si la aplicación de las partículas se hace por vía húmeda, la influencia de su forma no es tan acusada como en el caso anterior ya que, la presencia de un medio líquido que contiene las partículas en suspensión, da lugar a que su salida a través de la boquilla del aparato de proyección no presente dificultades; Como última consideración, por cuanto a la forma de las partículas se refiere, cabe indicar que el empleo exclusivo de partículas alargadas encarecería considerablemente el

ensayo al tiempo que no reportaría las ventajas que del aumento de coste cabría esperar. [5]

2.4.1.19.6. MOVILIDAD

La movilidad de las partículas tiene una influencia decisiva en la formación de las indicaciones ya que cuanto mejor se muevan estas partículas, tanto más rápidamente se formarán las indicaciones y al mismo tiempo éstas serán más definidas.

Cuando se trata del método de aplicación por vía seca se pueden facilitar los movimientos de las partículas golpeando ligeramente o haciendo vibrar la pieza sometida a examen.

Esta vibración puede también conseguirse empleando, para magnetizar la pieza, corriente- alterna o semirectificada, ya que estas corrientes someten a las partículas a una vibración de igual frecuencia.

En cambio, cuando se trata del método por vía húmeda, este fenómeno de la movilidad es bastante más complejo, ya que en este caso intervienen tres factores: tamaño de las partículas, su densidad y la viscosidad del líquido que actúa como medio de dispersión. La influencia del tamaño de las partículas ya ha sido estudiado anteriormente (Apartado 2.4.1.19.4) y hemos podido comprobar que las indicaciones se formarían lentamente si no fuera porque se produce la aglomeración de las partículas. Por cuanto a la densidad se refiere, cabe decir que las partículas magnéticas tienen una elevada densidad, que si bien puede ser reducida recubriéndolas con pigmentos o sustancias más ligeras, esto hace que se modifiquen sus características magnéticas en un sentido desfavorable. Por último, si se aumenta la viscosidad del líquido, la formación de las indicaciones se retardará en la misma proporción ya que las partículas se mueven con mayor dificultad en un medio viscoso. Como puede apreciarse, en cualquier caso, la movilidad de las partículas está muy lejos de ser la ideal siendo necesario alcanzar una solución de compromiso entre esta propiedad y las restantes para conseguir resultados convenientes. [5]

2.4.1.19.7. VISIBILIDAD Y CONTRASTE

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

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

En determinadas ocasiones, sobre todo en trabajos de gran responsabilidad, se puede recurrir a cubrir la superficie de la pieza con una pintura adecuada. Sin embargo, no es frecuente el tener que recurrir a este artificio ya que existen partículas magnéticas fluorescentes cuyas indicaciones al poder ser observadas en cámara oscura con luz negra, proporcionan una visibilidad y un contraste que pueden estimarse como óptimos; Por último y, por cuanto a estas partículas magnéticas se refiere, se ha de tener en cuenta que magnéticamente las partículas fluorescentes son las menos sensibles, pero esta desventaja es solo aparente ya que se encuentra ampliamente compensada por el hecho de que es suficiente un pequeño número de partículas sobre la discontinuidad para conseguir su visualización. [5]

2.4.1.20. LAS TÉCNICAS DE APLICACIÓN

1. Técnica seca

2. Técnica Húmeda

1. **Técnica seca.**-Es más sensible para la detección de discontinuidades subsuperficiales, se la utiliza para piezas grandes de difícil manejo y es adecuada para la detección con equipos de magnetización portátiles.

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

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

Seleccionando el grano de las partículas magnéticas se preestablece el umbral de detección.

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

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

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

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

- partículas rojas
- partículas fluorescentes

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

Se utilizará en la investigación la técnica seca. [10]

2.4.1.21. TIPOS DE DEFECTOS DETECTABLES

Hasta ahora, se ha hablado de que el método de ensayo por partículas magnéticas permite detectar las discontinuidades que generen un flujo de fuga magnético.

Una discontinuidad es una interrupción de la estructura física normal de la pieza, tal como una grieta, porosidad, etc. Una discontinuidad puede afectar o no a la utilidad de la pieza.

Un defecto es una discontinuidad que interfiere con la utilidad que se pretende dar a la pieza, por lo que no todas las discontinuidades son defectos.

Además, la definición de defecto depende del tipo de pieza, de su construcción, del tipo de material, así como de las especificaciones o normas que le apliquen. Por ello, una discontinuidad sin importancia para una pieza puede ser un defecto muy importante en otro tipo de objeto.

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

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

Las indicaciones se pueden clasificar en verdaderas y falsas.

Antes de definir las indicaciones falsas y verdaderas (relevantes y no relevantes), hacemos notar que, en función de la bibliografía empleada, se puede pensar que existen discrepancias en las definiciones que aparecen en distintos códigos y libros de consulta.

En el libro “Introducción a los métodos de Ensayos No Destructivos” del INTA, se definen las falsas indicaciones como aquellas que aún respondiendo a la

presencia de campos de fuga, no son reflejo de una heterogeneidad o discontinuidad del material.

Así, serían falsas indicaciones aquellas originadas a raíz de la escritura magnética,

Sobremagnetización, deformaciones en frío, materiales con tamaño de grano muy basto, uniones de materiales con distintas permeabilidades magnéticas, etc. [15]

2.4.1.21.1. EFECTO DE LA SOBREMAGNETIZACIÓN

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

En estos casos se puede hacer una correcta interpretación de tales indicaciones falsas, ya que:

- En iguales condiciones de magnetización, todas las piezas iguales darán indicaciones en el mismo sitio.
- Las indicaciones siempre pueden relacionarse con características constructivas o geométricas de la pieza, que dan lugar a la aparición de campos de fuga originados por el flujo magnético en su recorrido a través del material.
- Estas indicaciones rara vez presentan apariencia similar a las reales para un observador experimentado.
- Este problema se resuelve, generalmente, disminuyendo la intensidad del campo magnético hasta la desaparición de las indicaciones falsas. En el caso de existir una discontinuidad o grieta, la constricción de las líneas de fuerza es suficiente para dar lugar a un campo de fuga y a la consiguiente formación de una indicación propia de la discontinuidad o grieta. [19]

2.4.1.21.2. ESCRITURA MAGNÉTICA

Otra causa de aparición de indicaciones falsas, es la creación de polos locales surgidos del contacto entre una pieza endurecida y otra pieza magnetizada, o bien entre dos piezas magnetizadas a distinto nivel. Este tipo de indicaciones no suele causar problemas de interpretación, dada su peculiar configuración y apariencia. Además, si se desmagnetiza la pieza y se vuelve a ensayar, las indicaciones ya no aparecen. [19]

2.4.1.21.3. DEFORMACIÓN EN FRÍO

La deformación plástica en frío del acero conduce a estados de acritud, con el consiguiente cambio de permeabilidad. Cuando la deformación está muy localizada, el brusco cambio de permeabilidad puede ser suficiente para originar indicaciones, que suelen tener una apariencia similar a las causadas por escritura magnética. Desmagnetizando y volviendo a magnetizar, la indicación originada por deformación en frío aparece de nuevo, mientras que la escritura magnética no.

Este tipo de indicaciones aparece, por ejemplo, cuando se tornean piezas a cargas elevadas, dando lugar, en la inspección por partículas magnéticas, a una indicación en espiral que refleja el recorrido de la punta de la herramienta de corte. [19]

2.4.1.21.4. TAMAÑO DE GRANO

Cuando el grano del material es muy basto, pueden aparecer indicaciones que forman una red y que pueden identificarse con los límites de grano, debido a la diferente permeabilidad entre el límite y el propio grano.

Este mismo efecto se produce en materiales muy fibrados y/o muy segregados.

Por otro lado en la Sección V del Código ASME y en el libro “Non Destructive Testing Handbook” de la American Society for Non Destructive Testing, se define una falsa indicación como aquella que puede interpretarse como causa de discontinuidad pero localizada donde no la hay.

Si analizamos las definiciones dadas por la American Society for Non Destructive Testing ASNT y el Código ASME, para indicaciones no relevantes se observa que ambas sociedades las definen como aquellas que son consecuencia de una discontinuidad aceptable.

La ASNT incluye como indicaciones no relevantes las originadas por efectos espurios (escritura magnética, cambios de sección, etc.) y la American Society of Mechanical Engineers (ASME) también contempla como indicaciones no relevantes aquellas originadas por la existencia de campos de flujo de fuga, tales como los creados por un cambio de sección, propiedades inherentes del material, etc.

Además, ASME indica que una indicación falsa es una indicación no relevante.

Las indicaciones verdaderas, son aquellas originadas por una condición o discontinuidad, y se clasifican en relevantes y no relevantes, en función de si la discontinuidad requiere evaluación o no es rechazable, respectivamente. Las indicaciones relevantes, una vez evaluadas se clasificaran como aceptables o no aceptables.

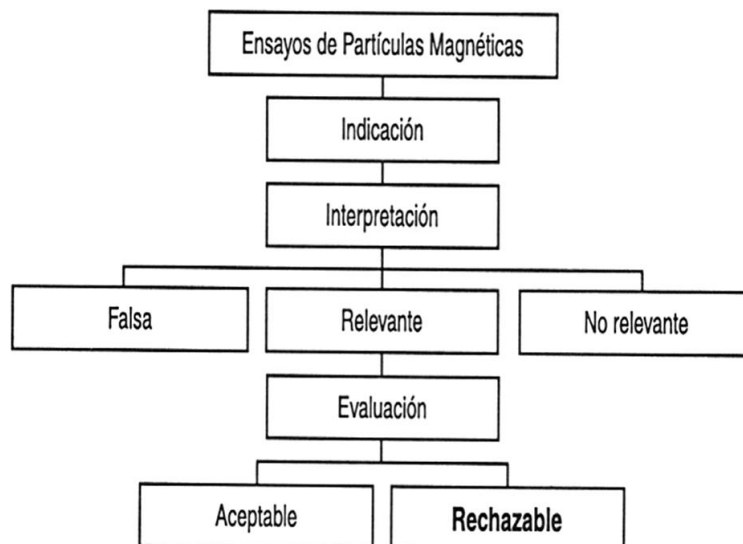


Tabla 2.2. Clasificación de discontinuidades

Fuente: Código ASME V

Además de la localización, orientación, tamaño y profundidad de las discontinuidades, la formación de indicaciones originadas por aquellas depende de la calidad superficial de la pieza objeto de examen, es decir, una grieta ha de tener como mínimo una profundidad equivalente a tres veces la profundidad de la rugosidad superficial.

Por otro lado, debemos tener en cuenta que la fuerza de atracción sobre las partículas magnéticas depende tanto del campo magnético aplicado como de las variaciones locales del campo. En algunos casos, y a pesar de una magnetización óptima, no es posible generar la fuerza necesaria para formar una aglomeración de partículas.

Esto puede ocurrir, por ejemplo, bajo condiciones desfavorables en los siguientes casos:

Discontinuidad del material relativamente ancha, discontinuidad del material con los bordes muy redondos, discontinuidad de penetración plana (pliegues), discontinuidad del material llena de óxidos ferromagnéticos, piezas con revestimiento ferromagnético por encima de 40 micras, etc.

Con el objeto de detectar e interpretar las indicaciones originadas por discontinuidades, es necesario saber cómo se ha elaborado el material, así como qué procesos de fabricación ha seguido el mismo y qué tipo de discontinuidades pueden generarse durante las etapas citadas.

Las discontinuidades se caracterizan en función del estado de elaboración en el cual se originan.

Así clasificamos las discontinuidades como inherentes, asociadas a procesos primarios, secundarios y relativas al servicio.

Discontinuidades inherentes, son las que se producen en los procesos de solidificación de metales en los lingotes.

Algunas de estas discontinuidades se eliminan cuando se despuntan los lingotes.

Algunas discontinuidades inherentes típicas son: [3]

- **Desgarros en caliente** (Hot tears), juntas frías (Cold shut), rechupes (Pipe), sopladuras (Blowholes), etc.

Discontinuidades de procesos primarios, son aquellas que se originan durante los procesos de conformación en frío o en caliente.

- **Costuras** (Seams), fractura en copa (Cupping), grietas de enfriamiento (Cooling cracks), laminaciones (Laminations), pliegues de forja (Forging laps), pliegues de laminación (Rolled laps), reventones o estallidos (Bursts), vetas (Stringers), etc.

Un grupo importante de discontinuidades de procesos primarios son las originadas en los procesos de soldadura.

- **Desgarro laminar** (Laminar tearing), falta de fusión (Lack of fusion), falta de penetración (Lack of penetration), grietas en frío (Cold cracking), grietas en caliente (Hot cracking), inclusiones, mordeduras (Undercuts), porosidad (Porosity), solapes (Overlap), etc.

Discontinuidades de procesos secundarios, son aquellas originadas como consecuencia de procesos de acabado tales como amolados, tratamientos térmicos, mecanizados, etc.

- **Desgarros de mecanizado** (Machining tears), grietas de fluencia (Creep cracking), grietas de tratamiento térmico (Heat treating cracks).

Discontinuidades inducidas por el servicio, son aquellas que se originan cuando el material, estando, en condiciones de servicio, es sometido a determinados ambientes químicos y sollicitaciones mecánicas.

- **Corrosión bajo tensión** (Stress corrosion cracking), grietas de amolado (Grinding cracks), grietas de fatiga (Fatigue cracking) grietas por hidrógeno (Hydrogen cracking), etc.

2.4.1.22. DISCONTINUIDADES

TIPOS DE DISCONTINUIDADES					
INHERENTES		DE PROCESO			DE SERVICIO
		PRIMARIOS		SECUNDARIOS	
<i>Lingote</i>	<i>Fundición</i>	<i>Forjados</i>	<i>Laminados</i>	<i>Maquinado</i>	<i>Tensiones</i>
				<i>Amolado</i>	<i>Fatiga</i>
				<i>Tratamientos térmicos</i>	<i>Corrosión</i>
				<i>Soldadura</i>	
<i>Inclusiones no metálicas</i>	<i>Solapado en frío</i>	<i>Pliegues</i>	<i>Cordones</i>	<i>Desgarramientos</i>	<i>Fisuras</i>
<i>Inclusiones gaseosa (porosidad, sopladuras)</i>	<i>Salpicaduras</i>	<i>Laminaciones</i>	<i>Laminaciones</i>	<i>Fisuras</i>	
<i>Contracciones</i>	<i>Desgarro en caliente</i>	<i>Estallido</i>	<i>Costuras</i>		
<i>Segregaciones</i>	<i>Segregaciones</i>	<i>Fisuras</i>			
	<i>Rechupes</i>				
	<i>Porosidad</i>				
	<i>Inclusiones</i>				

Tabla 2.3.Discontinuidades

Fuente: www.sistendca.com/DOCUMENTOS/Defectol

2.4.1.22.1. DEFECTOLOGIA [23]

2.4.1.22.1.1. DEFECTO – DISCONTINUIDAD

2.4.1.22.1.1.1. DEFINICIÓN

La discontinuidad se define como la carencia o ausencia de material que afecta el rendimiento de un elemento, mientras que un defecto es una discontinuidad no aceptada por la norma además que afecta el rendimiento de un material en mayor cantidad; De esto se deduce que un defecto siempre es una discontinuidad pero no siempre una discontinuidad es un defecto.

2.4.1.22.1.2. TIPOS DE DISCONTINUIDADES

Una discontinuidad puede producirse en cualquier momento de la vida de una pieza metálica. Si la misma se crea durante la producción inicial desde el estado de fusión, se denomina discontinuidad inherente. Si se produce durante procesos posteriores de fabricación o terminado, entonces se denomina discontinuidad de proceso. (Tabla 2.3)

Las discontinuidades se pueden clasificar también en superficiales o internas.

2.4.1.22.2. DISCONTINUIDADES INHERENTES

2.4.1.22.2.1. DISCONTINUIDADES INHERENTES A LA COLADA ORIGINAL

Durante el proceso de fundición los elementos que intervienen pueden formar escoria la que puede ser la primera causa de discontinuidades del material. Las discontinuidades que se presentan en el proceso de fundición son:

1. Inclusiones no metálicas, estas tienen formas irregulares.
2. Inclusiones de gases atrapados durante la solidificación.
3. Inclusiones de escoria.

Se producen en mayor cantidad en lugares de contracción debido al enfriamiento

2.4.1.22.2. INCLUSIONES NO METÁLICAS

Son materiales que no están íntimamente unidos al material de fundición, pueden ser escoria, óxidos y sulfuros; estos actúan como elevadores de tensión, fomentando la formación de grietas cuando se someten a procesos de soldadura. Tienen tendencia a ser de forma irregular, no esférica u ovalada.

2.4.1.22.3. DISCONTINUIDADES INTERNAS

2.4.1.22.3.1. INCLUSIONES NO METÁLICAS

Las inclusiones no metálicas son inclusiones microscópicas compuestas principalmente de productos de desoxidación y desulfurización.

2.4.1.22.3.2. MARCAS DE ARENA

Inclusión no metálica macroscópica, está formada de restos de inclusiones no metálicas y alargadas tales como óxidos, sulfuros, etc. Formados en el momento de la refinación y el vertido del metal fundido.

2.4.1.22.3.3. INCLUSIONES DE ARENA

Son inclusiones externas y macroestructurales distinguibles de las marcas de arena, estas se producen en la capa superficial y el fondo del lingote, se da por mezcla mecánica de material refractario o escoria.

2.4.1.22.3.4. POROSIDAD

Está formada por gas el que es insoluble en el metal líquido y es atrapado cuando solidifica.

2.4.1.22.3.5. SOPLADURA

La sopladura es una cavidad esférica o cilíndrica sobre la superficie o en el interior del lingote, se da por desgasificación o desoxidación inadecuada, reacciones químicas y herrumbre dentro del molde.

2.4.1.22.3.6. CONTRACCIONES INTERNAS (RECHUPES)

Es una discontinuidad en el centro del lingote causada por la contracción del material al solidificarse.

2.4.1.22.3.7. PÉRDIDA DE ESTRUCTURA, CAVIDAD

Es una cavidad o pérdida de la estructura a lo largo de la línea central del lingote que no tiene una completa consolidación y es acompañada frecuentemente con inclusiones no metálicas, se da por forma inadecuada del lingote.

Temperatura de vertido muy alta, y excesiva cantidad de gas e impurezas.

2.4.1.22.3.8. SEGREGACIONES

Ocurre cuando la distribución de uno o varios elementos presentes en la aleación no se han difundido convenientemente y en forma uniforme a través del material.

2.4.1.22.3.9. FISURAS

Se originan debido a las elevadas tensiones internas debido por ejemplo a temperatura demasiado elevada, contracciones de enfriamiento obstaculizadas por rebabas o defectos de la lingotera, un enfriamiento demasiado rápido después de la extracción de la lingotera, etc.

2.4.1.22.3.9.1. FISURAS LONGITUDINALES EN EL LINGOTE

Son las fisuras que se producen en la dimensión mayor del lingote, se dan por geometría del lingote inadecuada, superficie del molde pobre, velocidad de vertido alta.

2.4.1.22.3.9.2. FISURAS TRANSVERSALES EN EL LINGOTE

Son aquellas que se producen transversalmente a la dimensión mayor del lingote por superficie del molde pobre, vertido discontinuo.

2.4.1.22.4. DISCONTINUIDADES INHERENTES DE UNA FUNDICIÓN

2.4.1.22.4.1. DESGARRAMIENTO EN CALIENTE (FISURAS DE CONTRACCIÓN)

Ocurren cuando se produce una contracción desigual entre secciones delgadas y gruesas de la pieza, haciendo que la tensión interna resultante desgarre el metal. Este defecto es generalmente inaceptable.

2.4.1.22.4.2. CAVIDADES

Son discontinuidades de tamaños variables que presentan un desarrollo tridimensional acentuado. Se pueden dividir en:

2.4.1.22.4.2.1. RECHUPES

Suelen originarse al quedar confinada una masa de metal fundido en el interior de la pieza ya superficialmente solidificada

2.4.1.22.4.2.2. MICRO RECHUPES

Aparecen como pequeños orificios bajo la superficie. Pueden ocurrir también cuando el material líquido debe fluir desde una sección delgada a una sección de mayor espesor de la pieza

2.4.1.22.4.2.3. CAVIDADES DE GAS

Son de gran tamaño, producidos por un mal diseño de los moldes que no permiten la evacuación de los gases, quedando estos encerrados en el material. Suelen presentarse en partes salientes de la pieza.

2.4.1.22.4.2.4. POROS

De menor tamaño que las sopladuras y de origen diverso. Suelen distribuirse de manera uniforme, en grandes zonas de la pieza, o incluso, en su totalidad (porosidad uniforme).

2.4.1.22.5. DEFECTOS DE PROCESO

2.4.1.22.5.1. LAMINACIONES

También aquí las discontinuidades aplanadas se conocen como laminaciones.

2.4.1.22.5.2. FISURA DE FORJA

La fisura se produce en el centro del material cuando se aplica una excesiva penetración en un estado de baja temperatura y baja plasticidad.

2.4.1.22.5.3. FISURA POR CALENTAMIENTO RÁPIDO

Las fisuras por calentamiento rápido es una fisura macroscópica que se produce durante el calentamiento de forja o tratamiento térmico pudiendo alcanzar la superficie del material.

La fisura interna puede ser fácilmente detectada por Ultrasonido.

2.4.1.22.5.4. SOBRECALENTAMIENTO Y QUEMADO

El sobrecalentamiento o quemado puede producir fisuras intergranulares con oxidación debido a sobrecalentamiento o grandes tiempos de calentamiento.

2.4.1.22.6. MAQUINADO

2.4.1.22.6.1. DESGARRAMIENTO DE MAQUINADO

Este desgarramiento es causado por instrumentos cortantes poco afilados.

2.4.1.22.6.2. IMPERFECCIONES SUPERFICIALES

Es la rugosidad microscópica anormal sobre la superficie final debido a un maquinado inadecuada, condiciones de corte inadecuada.

Falta de aceite refrigerante.

2.4.1.22.6.3. AMOLADO

2.4.1.22.6.3.1. GRIETAS DE AMOLADO

El amolar o esmerilar la superficie de una pieza hará que ésta se caliente. Si no se emplea un refrigerante, el calentamiento excesivo y el enfriamiento de la superficie podrán producir grietas finas bien definidas que se producen en ángulos rectos a la dirección del proceso. Son causadas por amolado inadecuado, tratamiento térmico inadecuado después del amolado.

Se detectan fácilmente por partículas magnéticas y líquidos penetrantes.

2.4.1.22.6.4. TRATAMIENTO TÉRMICO

2.4.1.22.6.4.1. GRIETAS POR TRATAMIENTO TÉRMICO

Son probablemente debidas a una inmersión excesivamente rápida de las piezas de sección transversal no uniforme.



Gráfico N° 2. 16. Grietas de temple en un piñón. Indicaciones por partículas magnéticas.

Fuente: [http:// bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000...](http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000...)

2.4.1.22.6.4.2. FISURA DE TEMPLADO

Fisura recta producida durante o inmediatamente después del temple, producida por geometría inadecuada para el temple, velocidad de enfriamiento excesiva.

2.4.1.22.6.5. ROTURA DIFERIDA

Es la fisura que se produce en diferentes secciones del material tensiones residuales muy altas después del tratamiento térmico.

Las fisuras internas se detectan por Ultrasonido y las superficiales con Líquidos Penetrantes o Partículas Magnéticas.

2.4.1.22.7. SOLDADURA

Las discontinuidades y defectos en soldadura se pueden clasificar en superficiales e internas:

2.4.1.22.7.1. SUPERFICIALES

2.4.1.22.7.1.1. EXCESO DE PENETRACIÓN

Es el exceso de depósito de material en una junta, puede producirse por bajas velocidades de soldadura o una junta preparada inapropiadamente.

La imagen radiográfica da una densidad más clara en el centro del ancho de la imagen, ya sea extendida a lo largo de la soldadura o en gotas circulares aisladas, pudiendo presentar en su interior una mancha deforme negra.

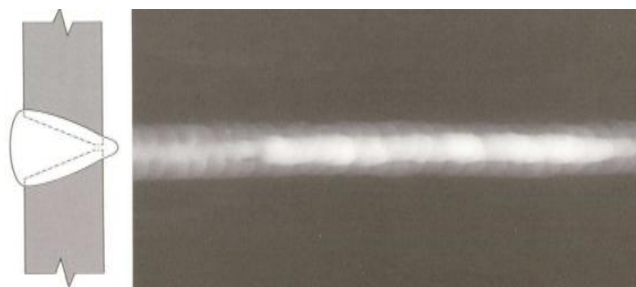


Gráfico N° 2. 17 Exceso de penetración.

Fuente: [http:// bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000...](http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000...)

2.4.1.22.7.1.2. FALTA DE PENETRACIÓN

Esta imperfección es visible por la cara posterior de la unión, fácilmente detectable por inspección visual y métodos radiográficos, en estos últimos se presenta como una línea oscura firmemente marcada, gruesa y negra, continua o intermitente.

Se da por separación excesiva de la raíz, corriente de soldadura insuficiente, electrodo demasiado grueso, excesiva velocidad de soldadura.

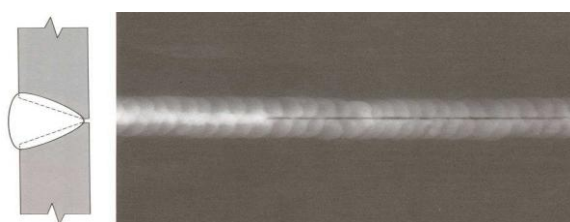


Gráfico N° 2. 18. Falta de penetración

Fuente: [http:// bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000...](http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000...)

2.4.1.22.7.1.3. CONCAVIDADES

a) *Concavidad externa o Falta de relleno*

Es una disminución del material depositado en el cordón, se aprecia por métodos radiográficos como densidad más oscura que el material base, se produce por poco depósito de material de aporte en el relleno del cordón.



Gráfico N°. 2. 19. Concavidad externa.

Fuente: [http:// bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000...](http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000...)

b) Concavidad interna

Es insuficiente refuerzo interno de la soldadura en su cordón de primera pasada, el cual al enfriarse disminuye su espesor pasando a ser menor que el del material base.

2.4.1.22.7.1.4. SOCAVADURAS O MORDEDURAS DE BORDES

La socavaduras o mordeduras son imperfecciones adyacentes al cordón de soldadura que no fueron llenadas correctamente, por el metal de aporte, durante el proceso de soldadura.

La imagen radiográfica muestra una línea gruesa que bordea el cordón soldado, de densidad homogénea (lado exterior) o una imagen circundante al cordón de primera pasada no muy negra (lado interior).

Causas:

1. Un arco incorrecto (por la corriente utilizada o por la longitud del mismo).
2. Un electrodo húmedo.
3. Alta velocidad de soldadura a causa de una rápida solidificación del metal de soldadura.

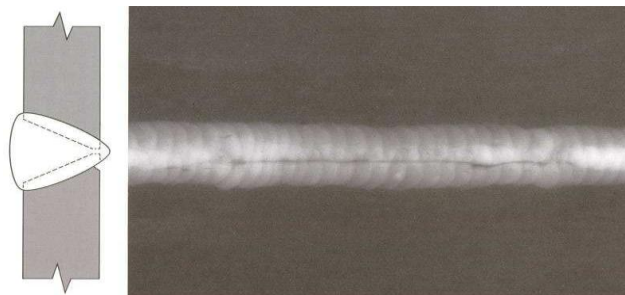


Gráfico N°. 2. 20. Socavaduras o mordeduras

Fuente: [http:// bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000...](http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000...)

2.4.1.22.7.1.5. SALPICADURAS

Son imperfecciones consistentes en material proyectado alrededor del cordón de soldadura y sobre él. La imagen radiográfica las muestra como manchas blancas redondeadas aisladas o en colonias, se pueden confundir con inclusiones. Se deben remover antes de realizar otro cordón cercano o sobre el anterior.

2.4.1.212.7.1.6. FALTA DE CONTINUIDAD DEL CORDÓN

Esta imperfección se produce al interrumpir el cordón de soldadura y no empezar correctamente el cordón de continuación, este tipo de imperfección puede ser producto de la falta de experiencia del soldador. La imagen radiográfica la muestra como una línea oscura.

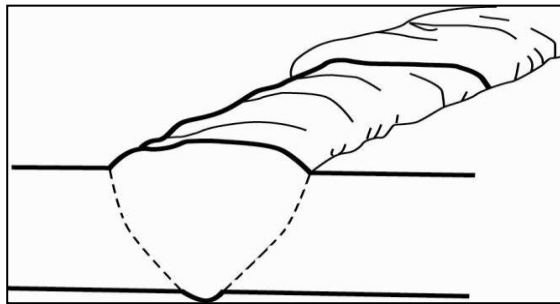


Gráfico N° 2.21. Falta de continuidad o empalme incorrecto.

Fuente: [http:// bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000...](http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000...)

2.4.1.22.7.2. INTERNAS

2.4.1.22.7.2.1. FISURAS

a) Fisuras longitudinales

Estas fisuras se producen en el cordón o en la zona afectada por el calor, se dan en el sentido de la dimensión mayor del cordón por enfriamiento brusco de la soldadura, falta de precalentamiento en grandes espesores, tensiones de solidificación, restricción o deformación. La imagen radiográfica es una línea ondulante muy negra y fina en el centro del cordón o en la base del mismo

(similar al espesor de un cabello). El ensayo por tintas penetrantes muestra en otro color la fisura.



Gráfico N° 2. 22. Fisura Longitudinal

Fuente: [http:// bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000...](http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000...)

Fisuras transversales

Estas fisuras se producen transversalmente al cordón de soldadura por combinación de elementos que al enfriarse a la temperatura normal producen la fisura que puede o no prolongarse al metal base.

La imagen radiográfica muestra una línea oscura a través del cordón, no se la debe confundir con mal empalme. El ensayo por tintas penetrantes muestra en otro color la fisura.



Gráfico N° 2. 23. Fisuras Transversales

Fuente: [http:// bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000...](http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000...)

b) Fisura de interrupción o arranque (o de cráter)

Este tipo de fisuras tienen forma de estrella, se forman en el inicio o final del cordón por calentamiento brusco al continuar el cordón con otro electrodo o por la interrupción del arco y no llenar con material suficiente antes de terminar el cordón.

La imagen radiográfica muestra líneas finas que confluyen y la del sentido del cordón es mucho más larga.

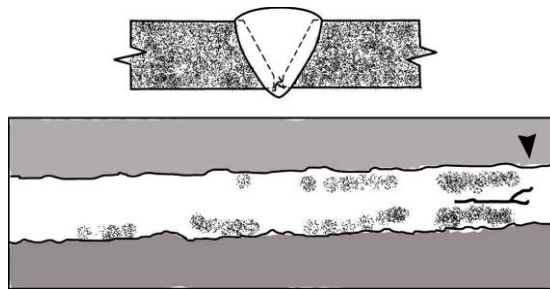


Gráfico N° 2. 24. Fisuras de Cráter o interrupción

Fuente: [http:// bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000...](http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000...)

Fisuras alrededor del cordón (en ZAC)

Este tipo de fisuras se encuentran a los costados del cordón, tienen una dirección longitudinal, transversal. Pueden presentarse internamente (bajo el cordón de soldadura) se deben a falta de precalentamiento para ciertos materiales, tensiones alcanzadas como contracción de la junta o geometrías con entalles.

2.4.1.22.7.2.2. INCLUSIONES

Las inclusiones son materiales extraños a la estructura de la soldadura son:

1. Inclusiones gaseosas
2. Inclusiones no metálicas
3. Inclusiones metálicas

a) Inclusiones gaseosas (Porosidades)

Las inclusiones gaseosas o poros son gases atrapados, los cuales no tienen el tiempo suficiente para salir del material antes de que se solidifique la soldadura; se da por reacciones químicas, humedad excesiva en el electrodo o en el metal base, corrientes de aire o limpieza prematura de la escoria. La imagen radiográfica muestra puntos negros de forma circular que pueden decrecer o permanecer de un tamaño específico. Se pueden distribuir en:

Porosidad aislada: Son porosidades que se distribuyen en cualquier parte del cordón. Gráfico N° 2.25.

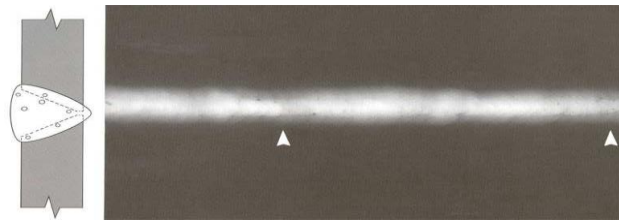


Gráfico N° 2. 25. Porosidades Aisladas

Fuente: [http:// bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000...](http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000...)

Porosidad agrupada (Colonia de poros): Son porosidades que se distribuyen en sectores del cordón. (Gráfico N° 2.29)

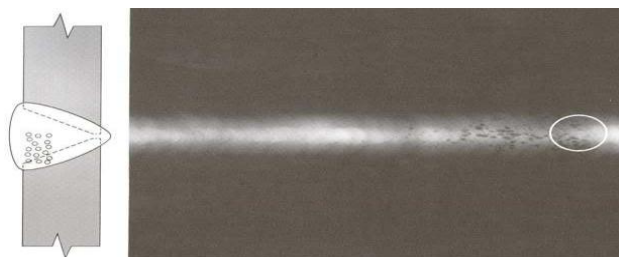


Gráfico N° 2. 26. Porosidades Agrupadas.

Fuente: [http:// bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000...](http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000...)

Porosidad Alineada: Son inclusiones gaseosas que muestran cierta alineación con la dimensión mayor de la soldadura.

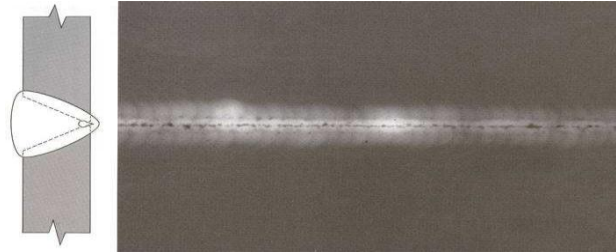


Gráfico N° 2.27. Porosidad Alineada.

Fuente: [http:// bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000...](http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000...)

Porosidad alargada o vermicular: Son inclusiones gaseosas que presentan forma tubular o vermicular, pueden ser sinuosos o tener un eje en su estructura; es producida en la solidificación del material cuando la esfera de gas está escapando, por lo que puede dejar una perforación en todo el cordón cuando el recorrido es vertical. Por lo general este tipo de porosidades forma colonias.

La imagen radiográfica muestra marcas negras que varían en densidad.

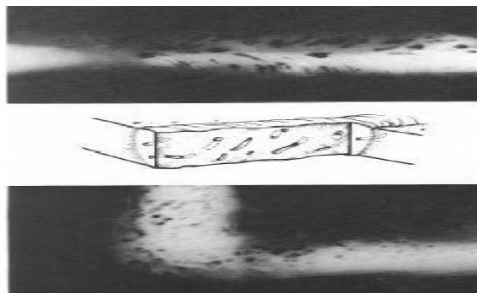


Gráfico N° 2. 28. Porosidades alargadas.

Fuente: [http:// bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000...](http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000...)

b) Inclusiones no metálicas

Pueden ser inclusiones de escorias, o productos de la reacción con elementos de protección o metal de aporte.

Inclusión de escorias: Este tipo de inclusiones proviene principalmente del revestimiento del electrodo o fundente empleado, las escorias también pueden quedar atrapadas entre pasadas o en superficies irregulares del cordón por velocidades altas de solidificación, falta de limpieza entre pasadas, manipulación defectuosa del electrodo o fundente.

La imagen radiográfica muestra manchas grises irregulares sobre el cordón de soldadura, durante la inspección visual se la puede reconocer como depósitos de carbón o material oscuro.

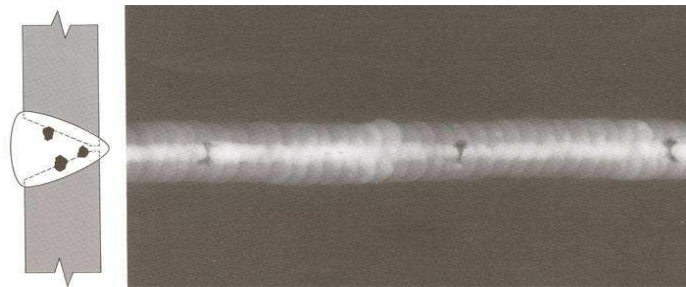


Gráfico N° 2. 29. Inclusiones de Escoria.

Fuente: [http:// bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000...](http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000...)

2.4.1.23. RAZONES POR LAS QUE SE UTILIZAN LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

- Por ahorrar dinero al rechazar material defectuoso durante la inspección de recibo, antes de aceptar y pagar el servicio.
- Para detectar discontinuidades que ocurren durante el proceso de fabricación, antes de gastar tiempo y dinero al continuar el proceso.
- Para mejorarlas técnicas de fabricación inspeccionando las partes antes y después del proceso.

- Dar seguridad a los trabajadores inspeccionando periódicamente el equipo y las instalaciones, para detectar los defectos antes que estos puedan ocasionar fallas.
- Dar confiabilidad al producto.
- Para confirmar la integridad de las partes durante paros por mantenimiento preventivo [4]

2.4.1.24. SELECCIÓN DEL MÉTODO DE END

Para la evaluación de una discontinuidad específica debe tenerse en cuenta que los métodos de END, se complementan entre sí.

La selección de un método sobre otro está basado en variables como:

- Tipo y origen de la discontinuidad.
- Proceso de fabricación del material.
- Accesibilidad del artículo.
- Nivel de aceptación deseado.
- Equipo disponible.
- Costo. [4]

2.4.1.25. DESMAGNETIZACIÓN

Todos los materiales ferromagnéticos, después de haber sido sometidos a un campo magnético y una vez que ha cesado su acción, presentan un cierto magnetismo residual o remanente, cuya intensidad dependerá de la retentividad del material. Este magnetismo remanente puede ser despreciable para materiales tales como los aceros blandos de bajo contenido de carbono (baja retentividad), mientras que puede alcanzar valores altos en materiales duros, pudiendo llegar a ser del orden de magnitud de los valores que se pueden alcanzar en las aleaciones especiales para imanes permanentes, cuando de estas se trate.

Aunque no siempre es necesaria la Desmagnetización, sobre todo si se tiene en cuenta que a veces es más fácil magnetizar una pieza que desmagnetizarla y que

en general este proceso implica un tiempo y coste adicionales, resulta conveniente prestar atención a este problema y considerar cuando es y cuando no es necesaria la Desmagnetización.

Entre las razones que aconsejan proceder a la desmagnetización conviene destacar las siguientes:

- a. Que el magnetismo remanente pueda afectar al correcto funcionamiento de equipos o aparatos incorporados en la estructura donde va montada la pieza, parte o componente examinado.
- b. Que durante las operaciones de mecanizado posteriores al examen y como consecuencia del campo remanente se puedan producir retenciones de viruta que pueda afectar al acabado final de la pieza.
- c. Que pueda afectar a terminados procesos de soldadura eléctrica por arco, ya que, si el campo es suficientemente intenso puede afectar sensiblemente a la estabilidad del arco.
- d. Que al poder retener determinadas cantidades de metal e incluso de partículas magnéticas, estas pueden actuar como abrasivo y causar daños en partes móviles.
- e. Que puede impedir la correcta limpieza de las piezas después del ensayo, lo cual podría dificultar operaciones posteriores tales como las de plaqueado o pintura.

De todas formas, aunque la desmagnetización no es necesaria en casi todos los demás casos, generalmente se practica como una operación más del método de ensayo sin que tenga un objeto específico.

En otras circunstancias, existen razones para las cuales la desmagnetización no es necesaria. Entre estas últimas razones se pueden destacar las siguientes:

- a. Que el material sea de baja retentividad.
- b. Que la pieza vaya a ser sometida a un tratamiento térmico a temperatura superior del punto de Curie (770°C).

- c. Que la pieza vaya a ser magnetizada en posteriores procesos de fabricación.
- d. Que el campo magnético residual no afecte a la función que la pieza tenga que realizar en servicio. [5]

2.4.1.26. VENTAJAS CON RESPECTO AL MÉTODO DE LÍQUIDOS PENETRANTES

- a. Es más rápido.
- b. No son necesarias limpiezas sofisticadas, ni preparaciones especiales de la superficie.
- c. Puede detectar discontinuidades superficiales aún bajo delgadas capas plásticas o esmaltes.
- d. Puede detectar ciertas discontinuidades sub-superficiales. [14]

2.4.1.27. LIMITACIONES Y VENTAJAS DEL MÉTODO

Los materiales **no ferromagnéticos** no pueden ser inspeccionados por este método. Tales materiales incluyen aleaciones de aluminio, magnesio, cobre, plomo titanio y aleaciones de aceros inoxidables austeníticos.

Además de los métodos convencionales utilizados en la inspección por Partículas Magnéticas, hay otros (no convencionales) que emplean partículas magnetizables sobre la pieza magnetizada. Tres de estos métodos son: inspección con goma magnética, impresión magnética y pintado magnético los que se describirán más adelante. [14]

2.4.1.27.1. APLICACIONES

Las principales aplicaciones industriales de Partículas Magnéticas son la inspección final, inspección de recepción, inspección de procesados y control de calidad, mantenimiento e inspecciones de reparación en la industria del transporte, mantenimiento de planta y máquinas e inspección de grandes componentes. Aún cuando la inspección con Partículas Magnéticas sea aplicada para detectar discontinuidades e imperfecciones en piezas y materiales tan pronto como sea

posible en la secuencia de operación, la inspección final es necesaria para asegurar que no se han producido durante el proceso discontinuidades o imperfecciones. La inspección de recepción de material también se realiza sobre materias primas y piezas semiterminadas para detectar cualquier material defectuoso PM. Es ampliamente usada la recepción de barras o varillas, forjados y fundiciones.

En la industrial del transporte (camiones, vías férreas y aviones) se planifica la inspección de las partes críticas en busca de fisuras.

Programas de inspección planificada se usan también para el mantener equipos en operación sin roturas durante el servicio.

Un requerimiento de seguridad en plantas es la inspección de ganchos de Plumas; donde se pueden desarrollar fisuras por fatiga en la superficie interior endurecida, lugar en la que se concentran las cargas de elevación.

Alabes, hélices y carcasas de turbinas de vapor se examinan por roturas incipientes durante las paradas planificadas. [14]

2.4.1.27.2. VENTAJAS

Este método es un medio sensible para localizar fisuras superficiales pequeñas y angostas en materiales ferromagnéticos.

Se pueden producir indicaciones de fisuras con tamaños suficientes para ser vistas a ojo desnudo, pero si la apertura de las fisuras son demasiado grandes puede no formarse la indicación. También se indican en muchos casos discontinuidades que no son abiertas a la superficie, aunque se debe reconocer algunas limitaciones y comprensión del problema. Si una discontinuidad es delgada, marcada y cercana a la superficie, tal como una larga inclusión no metálica, se puede producir una indicación clara. Si la discontinuidad está ubicada más profundamente la indicación aparecerá cada vez más difusa hasta no llegar a detectarse.

En general la mayor sensibilidad es para discontinuidades superficiales y disminuye rápidamente con el incremento de la profundidad de las

discontinuidades (sub- superficial) por debajo de la superficie. Hay pocas o ninguna limitación en el tamaño o forma de las piezas a ser

Inspeccionadas. Normalmente no es necesario una complicada limpieza inicial ya que las fisuras rellenas de materiales extraños pueden ser detectadas. [23]

2.4.1.27.3. LIMITACIONES

Hay ciertas limitaciones que el operador debe considerar, por ejemplo el espesor de capas de pintura u otros recubrimientos no magnéticos como plateados que pueden afectar adversamente a la inspección.

Otras limitaciones son:

- El método sólo puede ser usado sobre materiales ferromagnéticos.
 - Los mejores resultados se obtienen cuando el campo intercepta Perpendicularmente al plano principal de la discontinuidad, por lo que muchas veces hay que magnetizar secuencialmente en diferentes direcciones.
 - Frecuentemente es necesaria la desmagnetización de la pieza después del ensayo.
 - Algunas veces se requiere una limpieza final para eliminar las partículas.
 - Para piezas grandes se necesita una excesiva intensidad de corriente.
 - Se debe tener cuidado de no producir recalentamiento o quemados localizados en los puntos de contactos sobre pieza terminadas.
 - Aunque las indicaciones de partículas son vistas fácilmente, el operador debe tener conocimiento y experiencia para poder juzgar su significado.
- [23]

2.5. HIPÓTESIS

El ensayo no destructivo por Partículas Magnéticas permitirá detectar discontinuidades superficiales en materiales ferromagnéticos.

2.6. SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS

2.6.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

Ensayo no destructivo por partículas magnéticas

2.6.2. VARIABLE DEPENDIENTE

Discontinuidades en materiales ferromagnéticos. (ASTM A36)

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ENFOQUE

En el presente proyecto se trabajará con la investigación cualitativa ya que se delimita por su formalidad en el empleo del método científico. Su proceso es sistemático, metodológico y práctico.

3.2. MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación contendrá una modalidad de nivel de campo, exploratorio y científica; esta modalidad toma contacto en forma directa con la realidad, para obtener información de acuerdo al objetivo del proyecto.

La modalidad de la investigación documental bibliográfica tiene como propósito detectar, ampliar y profundizar diferentes enfoques, teorías, conceptualizaciones y criterios de diversos autores sobre una cuestión determinada, basándose en documentos, libros, revistas, internet y estadística.

3.3. NIVEL O TIPOS DE INVESTIGACIÓN

Para el presente trabajo de investigación, nos referimos a los siguientes:

3.3.1. EXPLORATORIA

Se realizará cuando no se tiene una idea precisa de lo que se desea estudiar o cuando el problema es poco conocido por el investigador.

Este tipo de investigación se ayuda al planteamiento del problema. (Ensayo Visual)

3.3.2. DESCRIPTIVO

Esta investigación se la realizará describiendo el problema en una circunstancia espacial determinada, esta investigación será la más adecuada al problema planteado por su origen y desarrollo. (Después del Ensayo Visual)

3.3.3. EXPLICATIVA

Explicará los fenómenos y el estudio de sus relaciones para conocer su estructura y los aspectos que interviene en su dinámica

3.3.4. EXPERIMENTAL

Se estudiará las relaciones de casualidad utilizando la metodología experimental con la finalidad de controlar los fenómenos. Se fundamenta en la manipulación activa y el control sistemático de las variables independientes.

3.4. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Para el presente trabajo la operacionalización de variables de la hipótesis que es un procedimiento que se pasa al plano extracto de la investigación a un plano concreto, traduciendo cada variable de la hipótesis a manifestaciones directamente observables y medibles, en el contexto que se ubica el objetivo de estudio.

Se realizó en base a la variable dependiente e independiente.

3.4.1. OPERACIONALIZACIÓN DE LA VARIABLE INDEPENDIENTE: Ensayo no destructivo por Partículas Magnéticas

<i>CONCEPTUALIZACIÓN</i>	<i>DIMENSIONES</i>	<i>INDICADORES</i>	<i>ITEMS</i>	<i>TÉCNICAS E INSTRUMENTOS</i>
<p>Este método de ensayo está basado en el principio de que las líneas de fuerza existentes en un objeto magnetizado (por ejemplo un imán) es localmente distorsionado por la presencia de una Discontinuidad.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Líneas de fuerza existentes en un objeto magnetizado. • Discontinuidad 	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Cómo detectar las líneas de fuerza? • ¿Cómo identificar las discontinuidades? • ¿Cuáles son los tipos de discontinuidades? 	<ul style="list-style-type: none"> • Equipo de magnetización longitudinal • Examen Visual • Clasificación de las discontinuidades. 	<ul style="list-style-type: none"> • Observación de laboratorio.(Informes –Equipo de Magnetización Longitudinal) • Observación de Laboratorio.(Normas ASME V , AWS D1.1) • Normas.(ASME-V- ,AWS D1.1)

3.4.2. OPERACIONALIZACIÓN DE LA VARIABLE DEPENDIENTE: Materiales Ferromagnéticos.

68

<i>CONCEPTUALIZACIÓN</i>	<i>DIMENSIONES</i>	<i>INDICADORES</i>	<i>ITEMS</i>	<i>TÉCNICAS E INSTRUMENTOS</i>
Los Materiales que son fácilmente de magnetizar	<ul style="list-style-type: none"> • Materiales • Magnetizar 	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuáles son los tipos de Materiales? • ¿Cómo se determina la capacidad de ser magnetizado? 	<ul style="list-style-type: none"> • Acero (ASTM A36) • Ferromagnéticos-Paramagnéticos-Diamagnéticos 	<ul style="list-style-type: none"> • Observación de laboratorio.(Informes-Apunte) • Observación de laboratorio.(Informes-Apunte)

3.5. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Se usara la técnica de observación de laboratorio tomando como instrumento los registros específicos del Ensayo no destructivo.

3.6. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

3.6.1. PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

La mayor parte de información se obtendrá de ensayos, procesos, registros, experimentaciones, controles etc. Toda esta información será útil para determinar el tipo de defecto y posibles fallas en un elemento de estudio determinado.

Ahora bien empezaremos primeramente con el funcionamiento del yugo para la magnetización y desarrollaremos un procedimiento para utilizar los equipos y también el desarrollo de probetas de estudio en materiales ferromagnéticos.

3.6.2. PLAN DE PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN

Luego, es común encontrar unas pocas líneas con el análisis e interpretación de los mismos, en función de los objetivos y la hipótesis o de la propuesta.

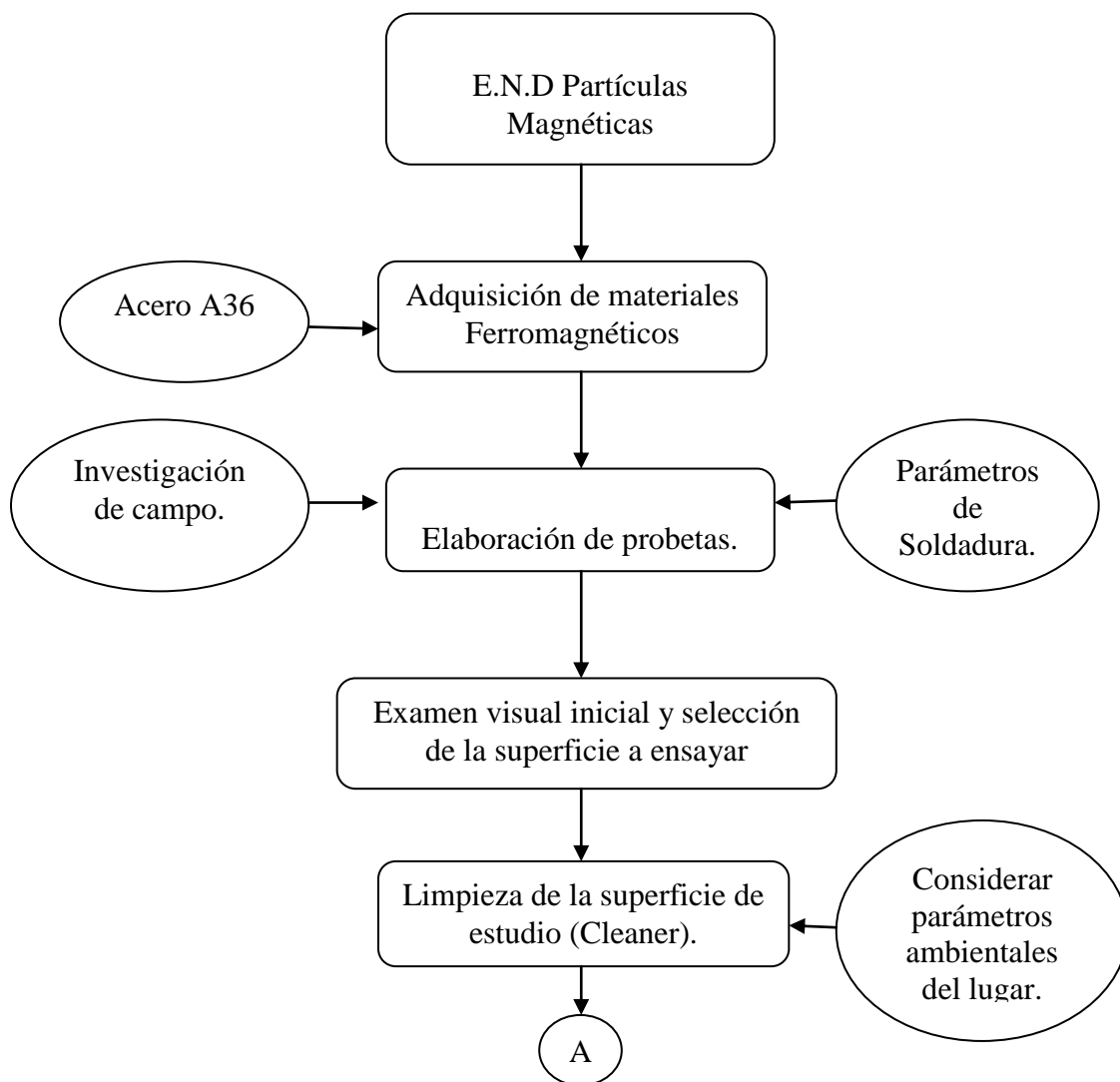
- Revisión de la información bibliográfica recogida.
- Realizar los ensayos y recoger la información del mismo.
- Análisis de los resultados de ensayos con ayuda de normas.
- Interpretación de los resultados, con el apoyo del marco teórico.
- Establecimiento de conclusiones y recomendaciones.

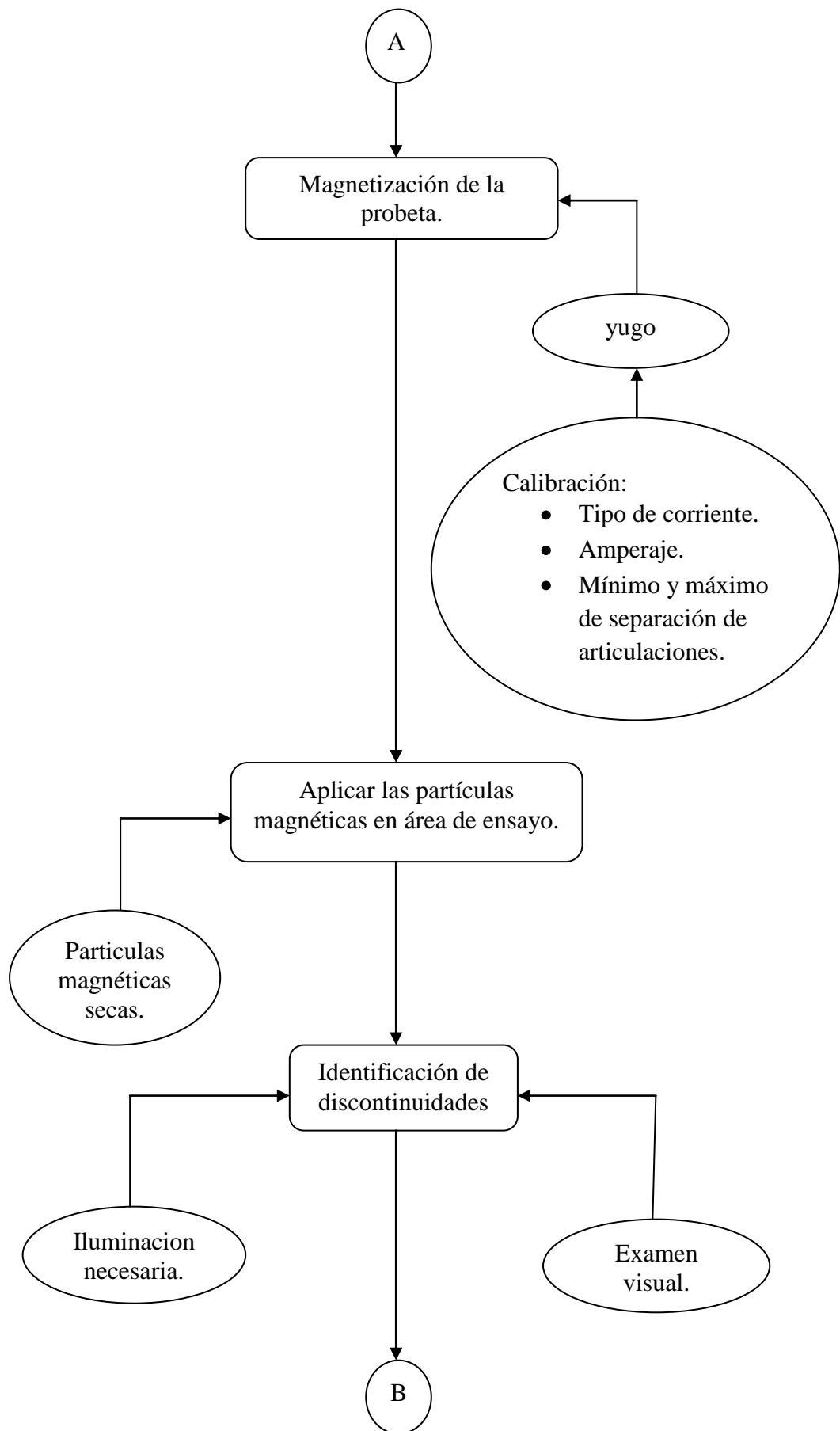
CAPÍTULO IV

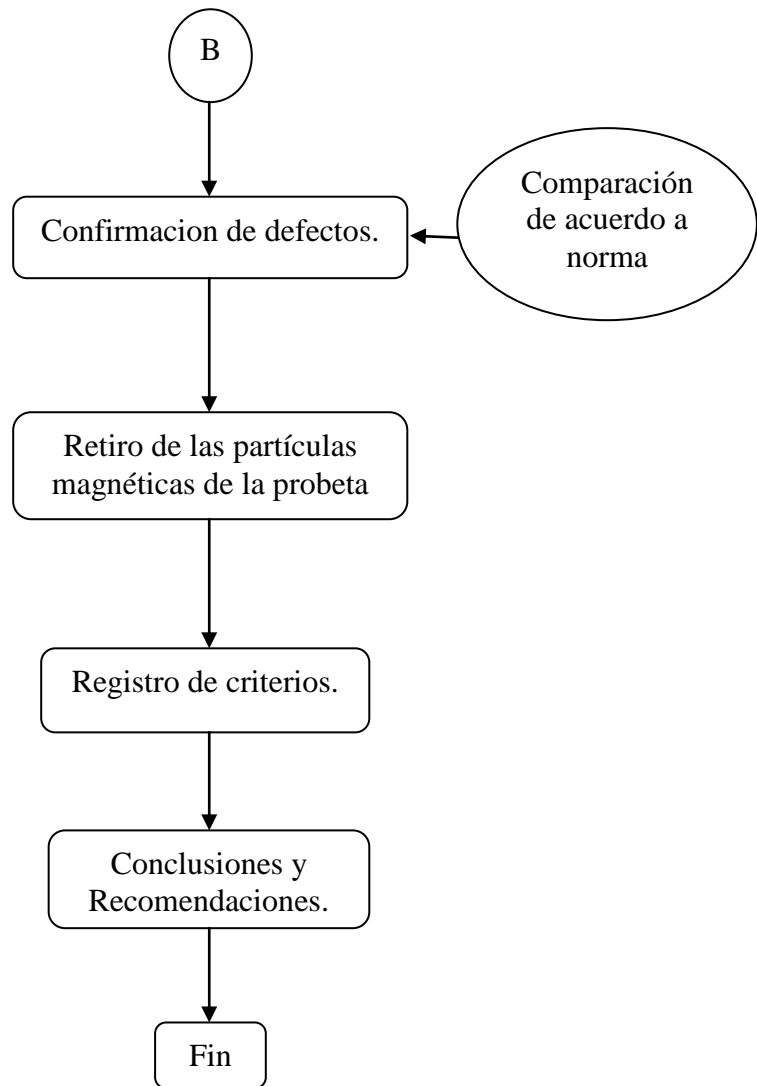
4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. PROCESO DE ANÁLISIS DE RESULTADOS

El estudio presente se lo puede considerar como aceptable y óptimo, luego de innumerables pruebas, para el desarrollo y toma de resultados del ensayo por partículas magnéticas nos hemos basado en el diagrama a continuación.







Autor: Johnny Villacís

4.2. PRESENTACIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Para el manejo de la información obtenida en los ensayos no destructivos por partículas magnéticas se ha desarrollado un formato de informe para un manejo adecuado de los resultados.

Este patrón de manejo de la información obtendrá características fundamentales del ensayo en sí. (Autor: Johnny Villacís)



ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS



INFORME DE INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS
MAGNÉTICAS

DATOS INFORMATIVOS

PROBETA N°	LUGAR DE REALIZACIÓN	FECHA
1..	Taller de ARCOMEC	18/01/2011
FECHA DE EJECUCIÓN	18/01/2011	
DIRECCION:Av.Bolivariana	Ciudad: Tungurahua-Ambato.	
SILICITADO POR: UTA-FICM	REALIZADO POR: Egdo.Johnny Villacís.	
SUPERVISOR: Ing.Alejandro Moretta.		

DATOS TECNICOS DEL PROCESO DE SOLDADURA

JUNTA			
POSICIÓN	1G	TIPO DE UNIÓN	UN SOLO LADO
TECNICA	Seca	RAIZ	N/A
PROCESO	SMAW-Manual	ACABADO	E6013
TIPO O GRADO	ASTM A36	CARACTERÍSTICA	PLACA
ESPESOR	4mm	METAL APORTE	E6013
LONGITUD PROBETA	250mm	AMP/VOLT	70-120A

METALES BASE

MARERIAL	Acero	ANCHO DE PROBETA	200mm
GRADO-TIPO	ASTM A36	LONGITUD DE PROBETA	250mm
ESPESOR	4 mm	ESTADO	Bueno

ENSAYO VISUAL INICIAL



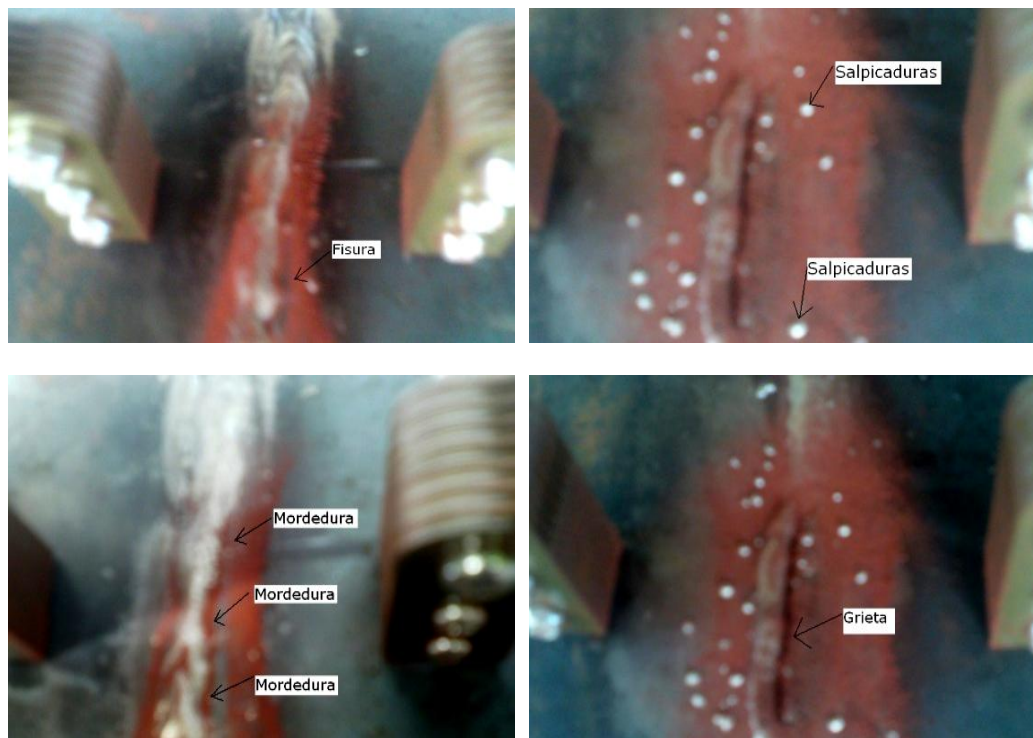
OBSERVACIONES

*En el examen visual inicial observamos en la probeta pequeñas áreas de oxidación acumulada.
Se recomienda limpiar bien la probeta antes del ensayo por partículas magnéticas.
**Existen grietas de considerable tamaño, esto se da por falta de continuidad en el cordón de soldadura.
***Se visualiza claramente mordeduras en el material, se puede evitar este problema regulando el amperaje al momento de soldar.
****Presenta un acabado no muy bueno porque existe presencia de salpicaduras

ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS -PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

ENSAYO N°	1	LIMPIEZA	Cleaner Magnaflux.
PROBETA N°	1	PARTÍCULAS	Secas rojas.
PARTE A ENSAYAR	Junta soldada	TIEMPO DE MAGNETIZACIÓN	Constante
TEMPERATURA	23°C	DESMAGNETIZACIÓN	N/A
CLIMA	Soleado	TIEMPO DEL ENSAYO	60min.
NORMA APLICADA	ASME E 709-95	YUGO	6" 60Hz-AC.

RESULTADO DE LA OBSERVACIÓN FINAL



COMPARACIÓN CON NORMAS

SEGÚN NORMA AWS D1.1-ASME V ART.28..(EXAMEN VISUAL)

TIPO DE DEFECTO	DIMENSIÓN	ACEPTABLE	CALIFICACIÓN
Mordedura	4mm	1.6mm Máximo.	NO (Rep)
Fisura	18mm	13mm Máximo	NO (Rep)
Grieta	36mm	29mm Máximo-profund.máx 6mm	NO (Rep)
salpicaduras	N/A	limpieza	SI

(Rep)= Reparar

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Defecto	Rechazable	Aplica	Norma	ASME V ART.28.
Mordedura	Rechazable	Aplica	Norma	AWS D1.1-ASME V ART.28.
Fisura	Rechazable	Aplica	Norma	AWS D1.1-ASME V ART.28.
Grieta	Rechazable	Aplica	Norma	AWS D1.1-ASME V ART.28.
Salpicaduras	Aceptable	Aplica	Norma	AWS D1.1-ASME V ART.28.

OBSERVACIONES

*Verificamos el tamaño de las mordeduras y están fuera del límite aceptable lo cual se recomienda una reparación del area afectada.

**La presencia de fisuras en la probeta nos permite determinar que al momento del soldo sufrió algún esfuerzo y según norma es desechable.

***Las salpicaduras son una molestia para el desarrollo del examen en la probeta, se debe limpiar la superficie.

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

➤ RESULTADOS DE LA PROBETA N° 1.

DEFECTOS DETECTADOS				
UBICACIÓN	DEFECTO	N° DEFECTOS	CALIFICACIÓN	NORMA APLICADA
1	Mordedura	3	Rechazable	Norma AWS D1.1-ASME V ART.28.
2	Fisura	1	Rechazable	Norma AWS D1.1-ASME V ART.28.
3	Grieta	1	Rechazable	Norma AWS D1.1-ASME V ART.28.
4	Salpicaduras	N/A	Aceptable	Norma AWS D1.1-ASME V ART.28.

Tabla 4.1. Defectos probeta N°1

Autor: Johnny Villacís

➤ UBICACIÓN

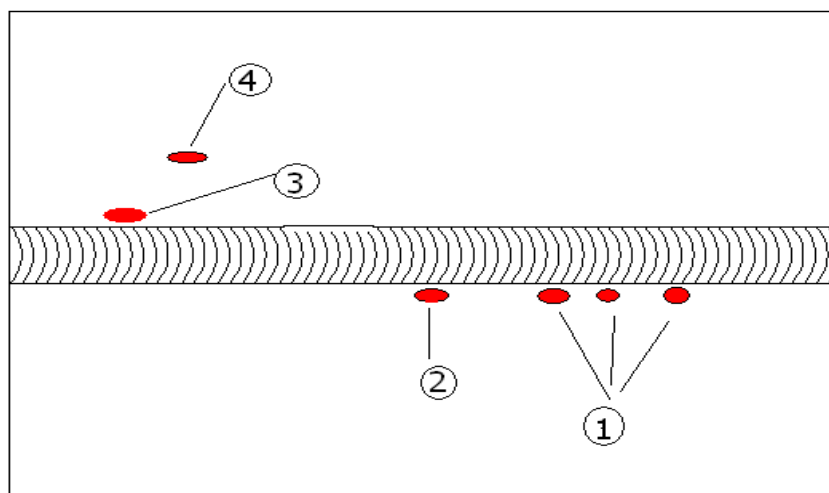


Gráfico N°4.1. Ubicación de los defectos en la probeta 1

Autor: Johnny Villacís

En la tabla 4.1. Se detalla los resultados de la probeta N° 1 (PLACA) de acero A36 soldada en posición 1G de dimensiones 250mm por 200mm y de espesor 4mm, en lo cual luego del ensayo no destructivo por partículas magnéticas encontramos los defectos con sus dimensiones a continuación.

1. Mordeduras: Longitud 4mm
2. Fisura: Longitud 18mm
3. Grieta: Longitud 36mm
4. Salpicadura.

Se evaluó los defectos encontrados de acuerdo con la norma AWS D1.1-ASME V art 28, determinamos que la probeta se considera RECHAZADA.



ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS



INFORME DE INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS
MAGNÉTICAS

DATOS INFORMATIVOS

PROBETA N°	LUGAR DE REALIZACIÓN	FECHA
2..	Taller de ARCOMEC	18/01/2011
FECHA DE EJECUCIÓN	18/01/2011	
DIRECCION: Av. Bolivariana	Ciudad: Tungurahua-Ambato.	
SILICITADO POR: UTA-FICM	REALIZADO POR: Egdo. Johnny Villacís.	
SUPERVISOR: Ing. Alejandro Moretta.		

DATOS TECNICOS DEL PROCESO DE SOLDADURA

JUNTA

POSICIÓN	1G	TIPO DE UNIÓN	UN SOLO LADO
TECNICA	Seca	RAIZ	N/A
PROCESO	SMAW-Manual	ACABADO	E6013
TIPO O GRADO	ASTM A36	CARACTERÍSTICA	PLACA
ESPESOR	4mm	METAL APORTE	E6013
LONGITUD PROBETA	250mm	AMP/VOLT	70-120A

METALES BASE

MARERIAL	Acero	ANCHO DE PROBETA	200mm
GRADO-TIPO	ASTM A36	LONGITUD DE PROBETA	250mm
ESPESOR	4 mm	ESTADO	Bueno

ENSAYO VISUAL INICIAL



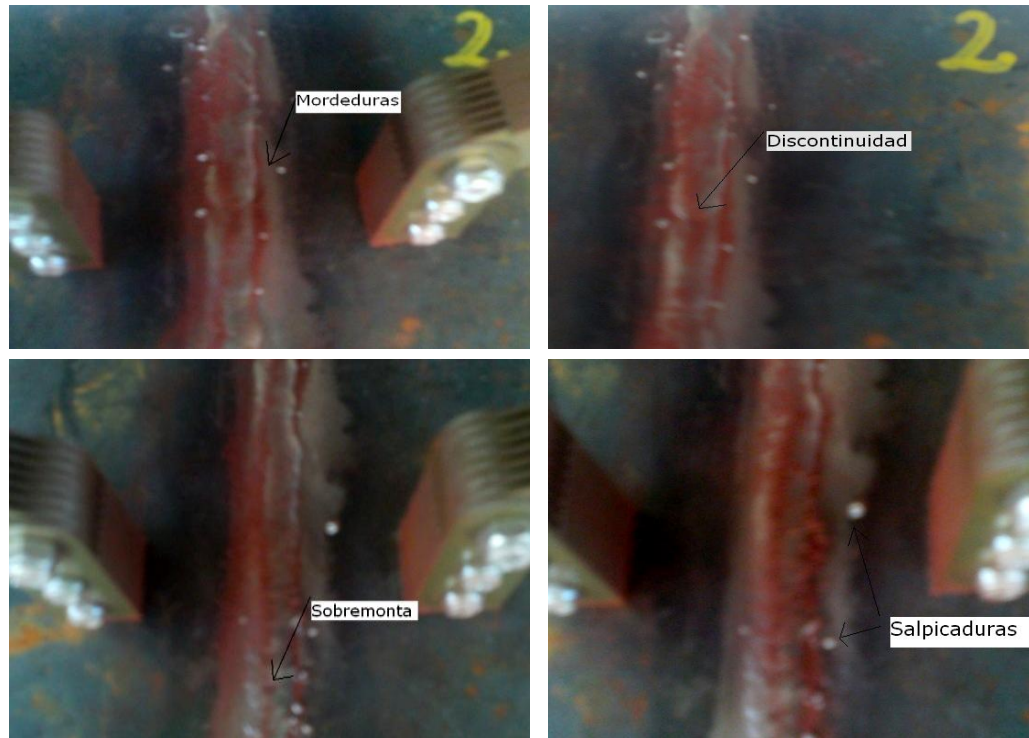
OBSERVACIONES

*Se detecta en la superficie de la probeta zonas con oxido, tambien existe la presencia en pequeñas zonas contaminadas con aceite, lo que se debe limpiar muy bien antes de continuar con el ensayo por partículas.
 **Claramente se detecta sobremontas, esto se da por interrumpir el cordón y no comenzar correctamente
 ***Se visualiza claramente mordeduras en el material, se puede evitar este problema regulando el amperaje al momento de soldar.

ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS -PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

ENSAYO N°	2	LIMPIEZA	Cleaner Magnaflux.
PROBETA N°	2	PARTÍCULAS	Secas rojas.
PARTE A ENSAYAR	Junta soldada	TIEMPO DE MAGNETIZACIÓN	Constante
TEMPERATURA	23°C	DESMAGNETIZACIÓN	N/A
CLIMA	Soleado	TIEMPO DEL ENSAYO	60min.
NORMA APLICADA	ASME E 709-95	YUGO	6" 60Hz-AC.

RESULTADO DE LA OBSERVACIÓN FINAL



COMPARACIÓN CON NORMAS

SEGÚN NORMA AWS D1.1-ASME V ART.28..(EXAMEN VISUAL)

TIPO DE DEFECTO	DIMENSIÓN	ACEPTABLE	CALIFICACIÓN
Mordedura	60mm	1.6mm Máximo.	NO (Rep)
Sobremonta	5mm	3 mm Máximo	NO (Rep)
Discontinuidad	6mm	3 mm Máximo	NO (Rep)
Salpicaduras	N/A	Limpieza	SI

(Rep)= Reparar

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Mordedura	Se recomienda reparación	NORMA AWS D1.1-ASME V ART.28.	
Sobremonta	Se recomienda reparación	NORMA AWS D1.1-ASME V ART.28.	
Discontinuidad	Se recomienda reparación	NORMA AWS D1.1-ASME V ART.28.	
Salpicaduras	Se recomienda limpieza	NORMA AWS D1.1-ASME V ART.28.	

OBSERVACIONES

*las mordeduras son claramente detectable inmediatamente aplicado el polvo magnético,el exeso de fusión las ocasionan y se puede rectificar regulando el amperaje.

**La discontinuidad del cordón de soldadura se lo puede evitar reiniciando el cordón correctamente.

***Las salpicaduras son una molestia para el desarrollo del examen de la probeta,hay que limpiar la superficie.

PAG. 2 DE 2

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

➤ RESULTADOS DE LA PROBETA N° 2.

DEFECTOS DETECTADOS				
UBICACIÓN	DEFECTO	N° DEFECTOS	CALIFICACIÓN	NORMA APLICADA
1	Mordedura	1	Rechazable	Norma AWS D1.1-ASME V ART.28.
2	Sobremonta	1	Rechazable	Norma AWS D1.1-ASME V ART.28.
3	Discontinuidad	1	Rechazable	Norma AWS D1.1-ASME V ART.28.
4	Salpicaduras	N/A	Aceptable	Norma AWS D1.1-ASME V ART.28.

Tabla 4.2. Defectos probeta N°2

Autor: Johnny Villacís

➤ UBICACIÓN

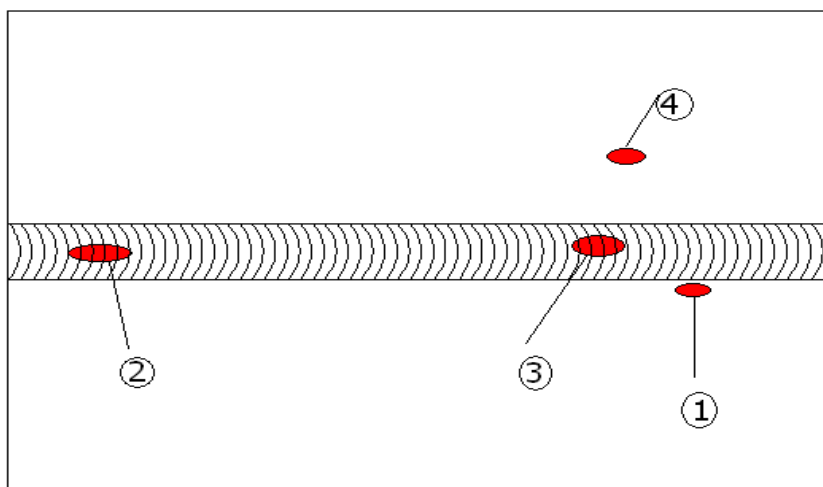


Gráfico N°4.2. Ubicación de los defectos en la probeta 2

Autor: Johnny Villacís

En la tabla 4.2. Se detalla los resultados del examen visual final como rechazadas tenemos: mordedura, Sobremonta y discontinuidad, las salpicaduras pueden ser limpiadas de la superficie, la probeta es de acero A36 sus dimensiones de 250mm

por 200mm y 4mm de espesor. Los defectos con sus dimensiones se cita a continuación.

1. Mordeduras: Longitud 60mm
2. Sobremonta: Longitud 5mm
3. Discontinuidad: Longitud 6mm
4. Salpicadura.

Se evaluó los defectos encontrados de acuerdo con la norma AWS D1.1-ASME V art 28, determinamos que la probeta se considera ACEPTABLE si procedemos a reparar los defectos.

El cordón de soldadura es muy definido y muy aceptable en su configuración.



ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS



INFORME DE INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS
MAGNÉTICAS

DATOS INFORMATIVOS

PROBETA N°	LUGAR DE REALIZACIÓN	FECHA
3..	Taller de ARCOMEC	18/01/2011
FECHA DE EJECUCIÓN	18/01/2011	
DIRECCION: Av. Bolivariana	Ciudad: Tungurahua-Ambato.	
SILICITADO POR: UTA-FICM	REALIZADO POR: Ego. Johnny Villacís.	
SUPERVISOR: Ing. Alejandro Moretta.		

DATOS TECNICOS DEL PROCESO DE SOLDADURA

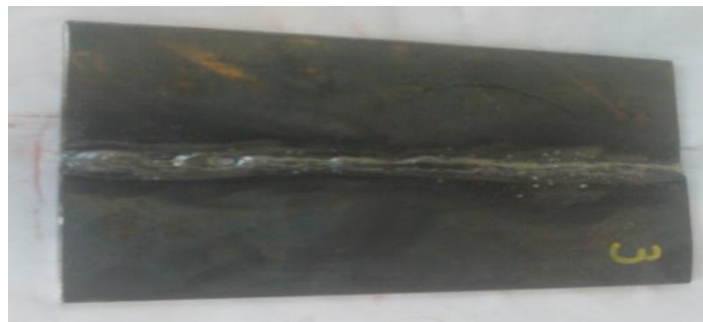
JUNTA

POSICIÓN	1G	TIPO DE UNIÓN	UN SOLO LADO
TECNICA	Seca	RAIZ	N/A
PROCESO	SMAW-Manual	ACABADO	E6013
TIPO O GRADO	ASTM A36	CARACTERÍSTICA	PLACA
ESPESOR	4mm	METAL APORTE	E6013
LONGITUD PROBETA	250mm	AMP/VOLT	70-120A

METALES BASE

MARERIAL	Acero	ANCHO DE PROBETA	200mm
GRADO-TIPO	ASTM A36	LONGITUD DE PROBETA	250mm
ESPESOR	4 mm	ESTADO	Bueno

ENSAYO VISUAL INICIAL



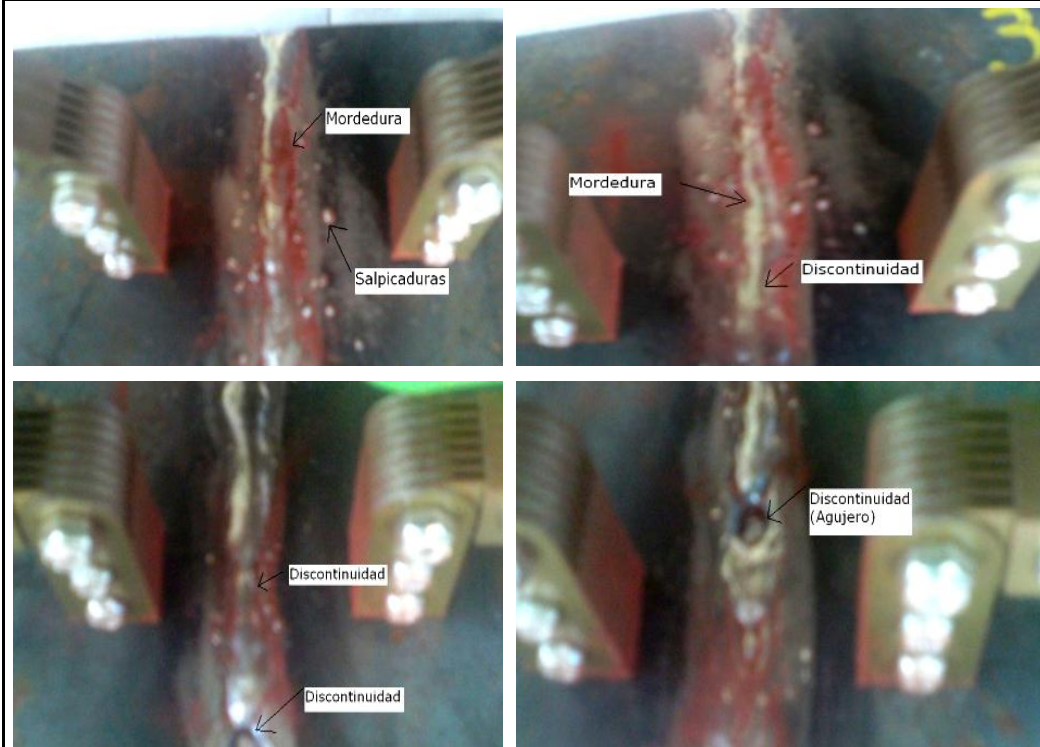
OBSERVACIONES

*La probeta presenta una gran cantidad de defectos a simple vista ,ademas se observa un cordón de soldadura no bien definido, delgado y con agujeros.
**Por la gran cantidad de defectos al momento de aplicar las partículas magnéticas se acumularon en exceso en puntos determinados.

ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS -PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

ENSAYO N°	3	LIMPIEZA	Cleaner Magnaflux.
PROBETA N°	3	PARTÍCULAS	Secas rojas.
PARTE A ENSAYAR	Junta soldada	TIEMPO DE MAGNETIZACIÓN	Constante
TEMPERATURA	23°C	DESMAGNETIZACIÓN	N/A
CLIMA	Soleado	TIEMPO DEL ENSAYO	60min.
NORMA APLICADA	ASME E 709-95	YUGO	6" 60Hz-AC.

RESULTADO DE LA OBSERVACIÓN FINAL



COMPARACIÓN CON NORMAS

SEGÚN NORMA AWS D1.1-ASME V ART.28..(EXAMEN VISUAL)

TIPO DE DEFECTO	DIMENSIÓN	ACEPTABLE	CALIFICACIÓN
Mordedura	20mm	1.6mm Máximo.	NO (Rep)
Sobremonta	6mm	3 mm Máximo	NO (Rep)
Discontinuidad	9mm	3 mm Máximo	NO (Rep)
Discontinuidad(Agujero)	9mm	3mm Máximo	NO (Rep)
Discontinuidad	6mm	3 mm Máximo	NO (Rep)
Salpicaduras	N/A	Limpieza	SI

(Rep)= Reparar

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Mordedura	Se recomienda reparación	NORMA AWS D1.1-ASME V ART.28.	
Sobremonta	Se recomienda reparación	NORMA AWS D1.1-ASME V ART.28.	
Discontinuidad	Se recomienda reparación	NORMA AWS D1.1-ASME V ART.28.	
Discontinuidad(Agujero)	Se recomienda limpieza	NORMA AWS D1.1-ASME V ART.28.	
Discontinuidad	Se recomienda reparación	NORMA AWS D1.1-ASME V ART.28.	
Salpicaduras	Se recomienda limpieza	NORMA AWS D1.1-ASME V ART.28.	

OBSERVACIONES

*La probeta presenta una gran cantidad de defectos ,por lo que corresponde a las normas no sería recomendable realizar una reparacion ya que en un área pequeña encontramos varios defectos.

**Al momento de aplicar el polvo metálico de inmediato se localizaron con gran claridad los defectos enunciados.

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

➤ RESULTADOS DE LA PROBETA N° 3.

DEFECTOS DETECTADOS				
UBICACIÓN	DEFECTO	Nº DEFECTOS	CALIFICACIÓN	NORMA APLICADA
1	Mordedura	2	Rechazable	Norma AWS D1.1-ASME V ART.28.
2	Sobremonta	1	Rechazable	Norma AWS D1.1-ASME V ART.28.
3	Discontinuidad	3	Rechazable	Norma AWS D1.1-ASME V ART.28.
4	Discontinuidad(Agujero)	1	Rechazable	Norma AWS D1.1-ASME V ART.28.
5	Salpicaduras	N/A	Aceptable	Norma AWS D1.1-ASME V ART.28.

Tabla 4.3. Defectos probeta N°3

Autor: Johnny Villacís

➤ UBICACIÓN

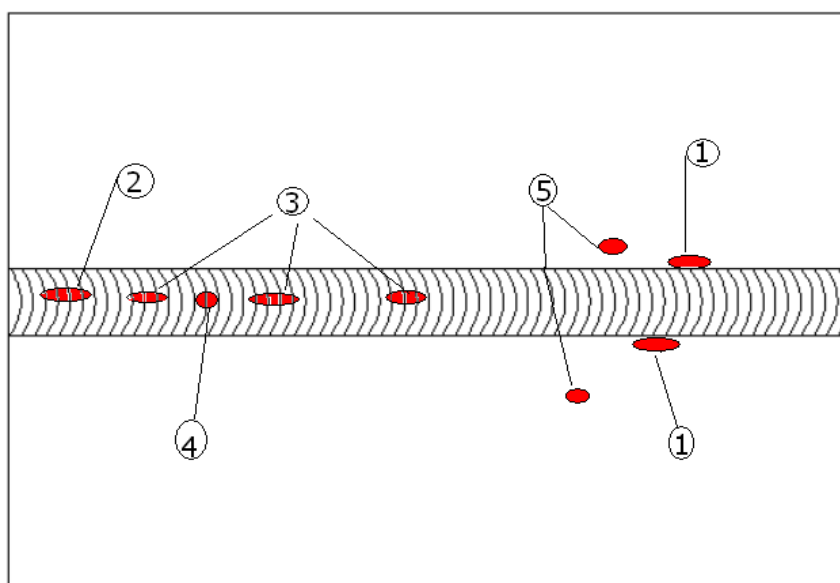


Gráfico N°4.3. Ubicación de los defectos en la probeta 3

Autor: Johnny Villacís

Se evaluó los defectos encontrados de acuerdo con la norma AWS D1.1-ASME V art 28, determinamos que la probeta se considera **RECHAZADA** por la

excesiva cantidad de defectos, además el cordón de soldadura es muy irregular de muy mala calidad.

La probeta es de acero A36 sus dimensiones de 250mm por 200mm y 4mm de espesor. Los defectos con sus dimensiones se citan a continuación.

1. Mordeduras: Longitud 20mm
2. Discontinuidad: Longitud 6mm
3. Mordedura: Longitud 30mm
4. Discontinuidad (Agujero): Diámetro 9mm
5. Discontinuidad: Longitud 9mm
6. Sobremona: Longitud 6mm
7. Salpicadura.



ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS



INFORME DE INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS
MAGNÉTICAS

DATOS INFORMATIVOS

PROBETA N°	LUGAR DE REALIZACIÓN	FECHA
4..	Taller de ARCOMEC	18/01/2011
FECHA DE EJECUCIÓN	18/01/2011	
DIRECCION:Av.Bolivariana	Ciudad: Tungurahua-Ambato.	
SILICITADO POR: UTA-FICM	REALIZADO POR: Ego.Johnny Villacís.	
SUPERVISOR: Ing.Alejandro Moretta.		

DATOS TECNICOS DEL PROCESO DE SOLDADURA

JUNTA

POSICIÓN	1G	TIPO DE UNIÓN	UN SOLO LADO
TECNICA	Seca	RAIZ	N/A
PROCESO	SMAW-Manual	ACABADO	E6013
TIPO O GRADO	ASTM A36	CARACTERÍSTICA	PLACA
ESPESOR	4mm	METAL APORTE	E6013
LONGITUD PROBETA	250mm	AMP/VOLT	70-120A

METALES BASE

MARERIAL	Acero	ANCHO DE PROBETA	200mm
GRADO-TIPO	ASTM A36	LONGITUD DE PROBETA	250mm
ESPESOR	4 mm	ESTADO	Bueno

ENSAYO VISUAL INICIAL



OBSERVACIONES

*En la probeta se visualiza un poco de oxidación aislada, se deberá limpiar para proceder con el ensayo.

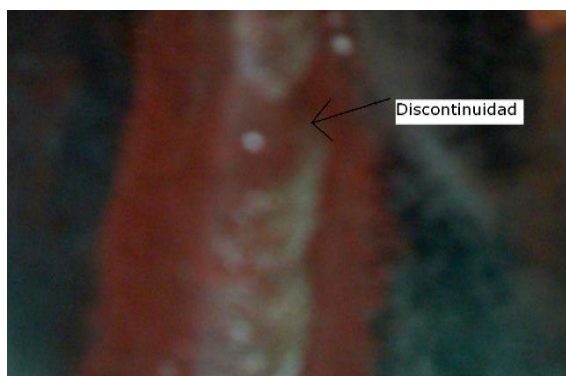
**Presenta una mordedura considerable a simple vista, los factores podrían ser ,el electrodo húmedo, alta velocidad del material de aporte, un arco incorrecto por la corriente.

***Uno de los factores de sobremontas puede ser la falta de experiencia del soldador.

ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS -PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

ENSAYO N°	4	LIMPIEZA	Cleaner Magnaflux.
PROBETA N°	4	PARTÍCULAS	Secas rojas.
PARTE A ENSAYAR	Junta soldada	TIEMPO DE MAGNETIZACIÓN	Constante
TEMPERATURA	23°C	DESMAGNETIZACIÓN	N/A
CLIMA	Soleado	TIEMPO DEL ENSAYO	60min.
NORMA APLICADA	ASME E 709-95	YUGO	6" 60Hz-AC.

RESULTADO DE LA OBSERVACIÓN FINAL



COMPARACIÓN CON NORMAS

SEGÚN NORMA AWS D1.1-ASME V ART.28..(EXAMEN VISUAL)

TIPO DE DEFECTO	DIMENSIÓN	ACEPTABLE	CALIFICACIÓN
Mordedura	20mm	1.6mm Máximo.	NO (Rep)
Sobremonta	10mm	3 mm Máximo	NO (Rep)
Discontinuidad	3mm	3 mm Máximo	NO (Rep)
Discontinuidad	4mm	3mm Máximo	NO (Rep)

(Rep)= Reparar

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Mordedura	Se recomienda reparación	NORMA AWS D1.1-ASME V ART.28.	
Sobremonta	Se recomienda reparación	NORMA AWS D1.1-ASME V ART.28.	
Discontinuidad	Se recomienda reparación	NORMA AWS D1.1-ASME V ART.28.	
Discontinuidad	Se recomienda limpieza	NORMA AWS D1.1-ASME V ART.28.	

OBSERVACIONES

*Con la ayuda del polvo magnético notamos con más detalle la mordedura existente en la probeta,la norma la rechaza.

**las discontinuidades podrían ser evitadas con la experiencia suficiente del soldador.

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

➤ RESULTADOS DE LA PROBETA N° 4.

DEFECTOS DETECTADOS				
UBICACIÓN	DEFECTO	Nº DEFECTOS	CALIFICACIÓN	NORMA APLICADA
1	Mordedura	1	Rechazable	Norma AWS D1.1-ASME V ART.28.
2	Sobremonta	1	Rechazable	Norma AWS D1.1-ASME V ART.28.
3	Discontinuidad	1	Rechazable	Norma AWS D1.1-ASME V ART.28.
4	Discontinuidad	1	Rechazable	Norma AWS D1.1-ASME V ART.28.

Tabla 4.4. Defectos probeta N°4

Autor: Johnny Villacís

➤ UBICACIÓN

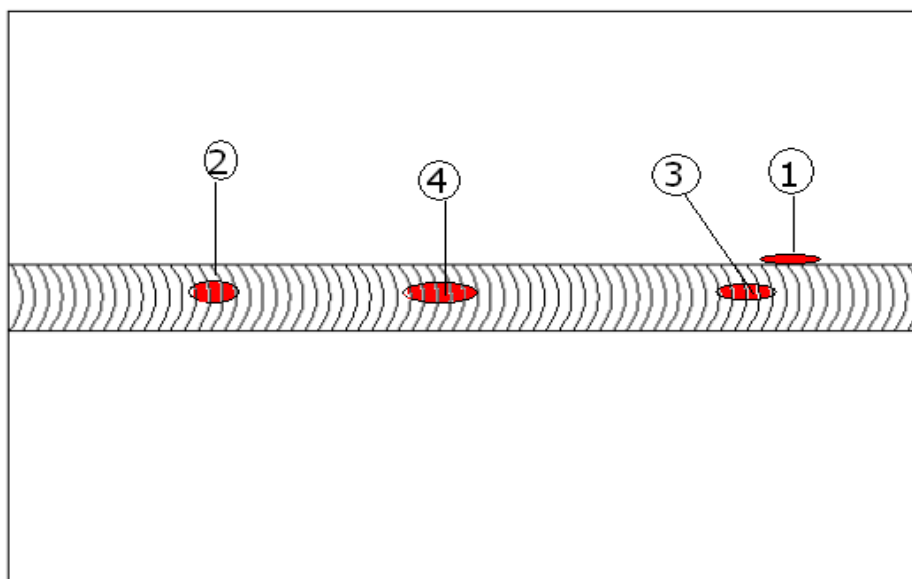


Gráfico N°4.4. Ubicación de los defectos en la probeta 4

Autor: Johnny Villacís

El cordón de soldadura no es uniforme de mediana calidad. Se evaluó los defectos encontrados de acuerdo con la norma AWS D1.1-ASME V art 28,

determinamos que la probeta se considera RECHAZADA por la excesiva cantidad de defectos y no cumplen con la normativa.

La probeta es de acero A36 sus dimensiones de 250mm por 200mm y 4mm de espesor.

Los defectos con sus dimensiones se citan a continuación.

1. Discontinuidad: Longitud 3mm
2. Mordedura: Longitud 20mm
3. Discontinuidad: Longitud 4mm
4. Sobremonta: Longitud 10mm



ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS



INFORME DE INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

DATOS INFORMATIVOS

PROBETA N°	LUGAR DE REALIZACIÓN	FECHA
5..	Taller de ARCOMEC	18/01/2011
FECHA DE EJECUCIÓN	18/01/2011	
DIRECCION: Av. Bolivariana	Ciudad: Tungurahua-Ambato.	
SILICITADO POR: UTA-FICM	REALIZADO POR: Ego.Johnny Villacís.	
SUPERVISOR: Ing.Alejandro Moretta.		

DATOS TECNICOS DEL PROCESO DE SOLDADURA

JUNTA

POSICIÓN	1G	TIPO DE UNIÓN	UN SOLO LADO
TECNICA	Seca	RAIZ	N/A
PROCESO	SMAW-Manual	ACABADO	E6013
TIPO O GRADO	ASTM A36	CARACTERÍSTICA	TUBO
ESPESOR	4mm	METAL APORTE	E6013
LONGITUD PROBETA	85mm	AMP/VOLT	70-120A

METALES BASE

MARERIAL	Acero	DIÁMETRO DE PROBETA	115mm
GRADO-TIPO	ASTM A36	LONGITUD DE PROBETA	85mm
ESPESOR	4 mm	ESTADO	Bueno

ENSAYO VISUAL INICIAL



OBSERVACIONES

*En la probeta se detecta un cordón de soldadura irregular, con la presencia de discontinuidad en el cordón también se ve claramente mordeduras.

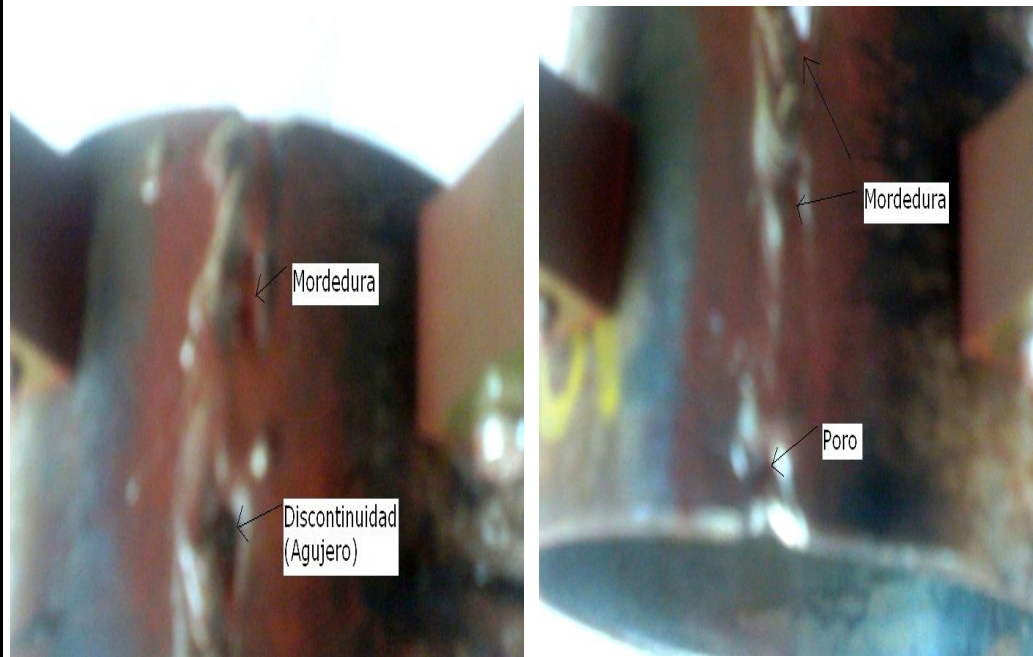
**Existe la presencia de oxidación en la superficie, que con una limpieza superficial quedaría lista para el ensayo por partículas magnéticas.

***La probeta presenta muy mala calidad en el cordón de soldadura.

ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS -PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

ENSAYO N°	5	LIMPIEZA	Cleaner Magnaflux.
PROBETA N°	5	PARTÍCULAS	Secas rojas.
PARTE A ENSAYAR	Junta soldada	TIEMPO DE MAGNETIZACIÓN	Constante
TEMPERATURA	23°C	DESMAGNETIZACIÓN	N/A
CLIMA	Soleado	TIEMPO DEL ENSAYO	60min.
NORMA APLICADA	ASME E 709-95	YUGO	6" 60Hz-AC.

RESULTADO DE LA OBSERVACIÓN FINAL



COMPARACIÓN CON NORMAS

SEGÚN NORMA AWS D1.1-ASME V ART.28..(EXAMEN VISUAL)

TIPO DE DEFECTO	DIMENSIÓN	ACEPTABLE	CALIFICACIÓN
Mordedura	7mm	1.6mm Máximo.	NO (Rep)
Mordedura	10mm	1.6mm Máximo.	NO (Rep)
Discontinuidad(Agujero)	6mm	3 mm Máximo	NO (Rep)
Mordedura	3mm	1.6mm Máximo	NO (Rep)
Poros	2mm Diámetro	1mm-Diámetro	NO (Rep)

(Rep)= Reparar

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Mordedura	Se recomienda reparación	NORMA AWS D1.1-ASME V ART.28.	
Mordedura	Se recomienda reparación	NORMA AWS D1.1-ASME V ART.28.	
Discontinuidad(Agujero)	Se recomienda reparación	NORMA AWS D1.1-ASME V ART.28.	
Mordedura	Se recomienda reparación	NORMA AWS D1.1-ASME V ART.28.	
Poros	Se recomienda limpieza	NORMA AWS D1.1-ASME V ART.28.	

OBSERVACIONES

*La comparación con las normas, vemos que todos los defectos visualizados por medio de partículas magnetizables son calificados como rechazados.

**Las normas recomiendan una reparación en cada uno de los defectos.

***En las mordeduras detectadas se dió una gran acumulación de partículas por su excesiva dimensión.

PAG. 2 DE 2

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

➤ RESULTADOS DE LA PROBETA N° 5.

DEFECTOS DETECTADOS				
UBICACIÓN	DEFECTO	Nº DEFECTOS	CALIFICACIÓN	NORMA APLICADA
1	Mordedura	1	Rechazable	Norma AWS D1.1-ASME V ART.28.
2	Mordedura	1	Rechazable	Norma AWS D1.1-ASME V ART.28.
3	Discontinuidad(Agujero)	1	Rechazable	Norma AWS D1.1-ASME V ART.28.
4	Mordedura	1	Rechazable	Norma AWS D1.1-ASME V ART.28.
5	Poros	1	Rechazable	Norma AWS D1.1-ASME V ART.28.

Tabla 4.5. Defectos probeta N°5

Autor: Johnny Villacís

➤ UBICACIÓN

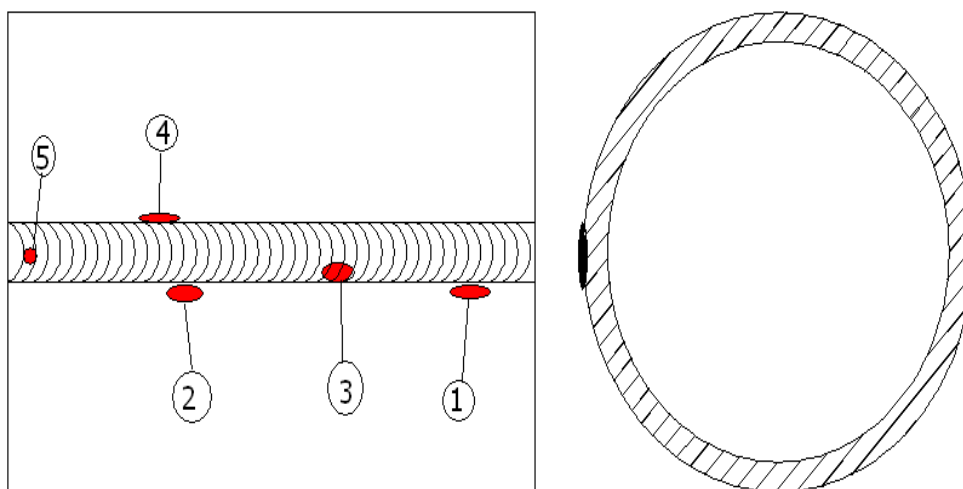


Gráfico N°4.5. Ubicación de los defectos en la probeta 5

Autor: Johnny Villacís

La probeta es un tubo de 115mm de diámetro por 85mm de longitud y 4mm de espesor en acero A36, el cordón de soldadura está distribuido a lo largo de los 85mm del tubo, dicho cordón se encuentra en muy mala calidad.

Se evaluó los defectos encontrados de acuerdo con la norma AWS D1.1-ASME V art 28, determinamos que la probeta se considera RECHAZADA por la excesiva cantidad de defectos y no cumplen con la normativa (tabla 4.5).

Los defectos dimensionados se citan a continuación.

1. Mordedura: Longitud 10mm
2. Mordedura: Longitud 7mm
3. Discontinuidad(Agujero): Diámetro 6mm
4. Mordedura: Longitud 3mm
5. Poro: Diámetro 2mm

Estos defectos dimensionados se los obtuvo previa inspección visual final.



ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS



INFORME DE INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS
MAGNÉTICAS

DATOS INFORMATIVOS

PROBETA N°	LUGAR DE REALIZACIÓN	FECHA
6..	Taller de ARCOMEC	18/01/2011
FECHA DE EJECUCIÓN	18/01/2011	
DIRECCION:Av.Bolivariana	Ciudad: Tungurahua-Ambato.	
SILICITADO POR: UTA-FICM	REALIZADO POR: Egdo.Johnny Villacís.	
SUPERVISOR: Ing.Alejandro Moretta.		

DATOS TECNICOS DEL PROCESO DE SOLDADURA

JUNTA

POSICIÓN	1G	TIPO DE UNIÓN	UN SOLO LADO
TECNICA	Seca	RAIZ	N/A
PROCESO	SMAW-Manual	ACABADO	E7018
TIPO O GRADO	ASTM A36	CARACTERÍSTICA	TUBO
ESPESOR	7mm	METAL APORTE	E7018
LONGITUD PROBETA	280mm	AMP/VOLT	70-120A

METALES BASE

MARERIAL	Acero	DIÁMETRO DE PROBETA	152.6mm
GRADO-TIPO	ASTM A36	LONGITUD DE PROBETA	280mm
ESPESOR	7 mm	ESTADO	Bueno

ENSAYO VISUAL INICIAL



OBSERVACIONES

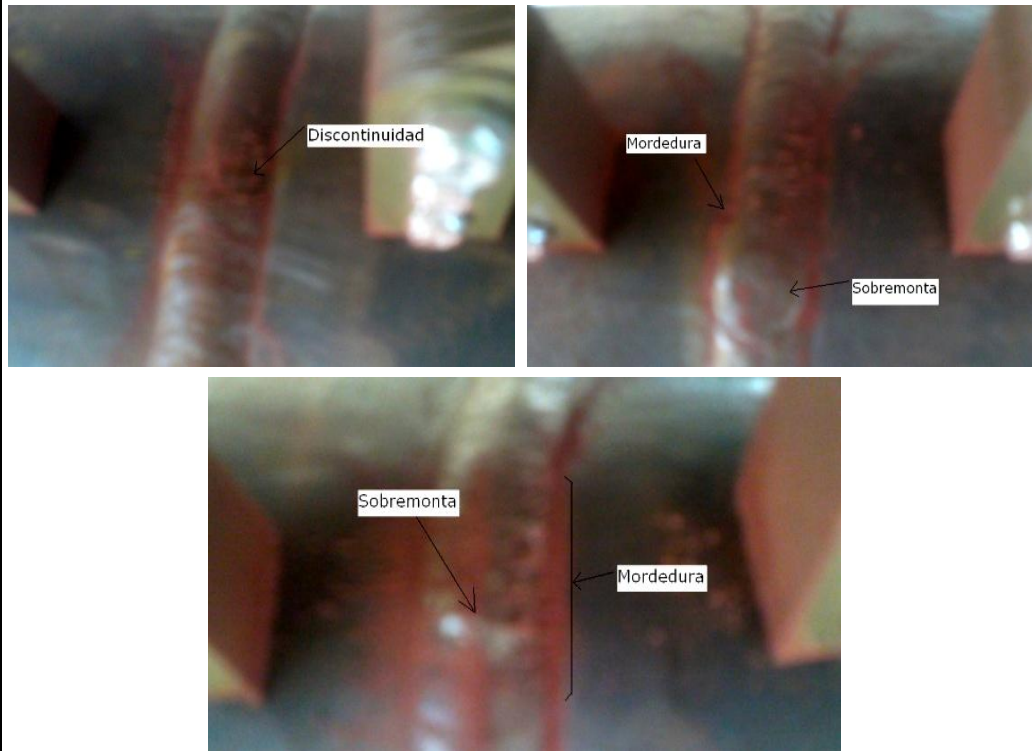
*La probeta presenta un definido cordón de soldadura, con presencia de mordeduras, oxidación localizada y sobremonta claramente detectables.

**Se debe realizar una correcta limpieza superficial antes del examen por partículas magnetizables.

ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS -PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

ENSAYO N°	6	LIMPIEZA	Cleaner Magnaflux.
PROBETA N°	6	PARTÍCULAS	Secas rojas.
PARTE A ENSAYAR	Junta soldada	TIEMPO DE MAGNETIZACIÓN	Constante
TEMPERATURA	23°C	DESMAGNETIZACIÓN	N/A
CLIMA	Soleado	TIEMPO DEL ENSAYO	60min.
NORMA APLICADA	ASME E 709-95	YUGO	6" 60Hz-AC.

RESULTADO DE LA OBSERVACIÓN FINAL



COMPARACIÓN CON NORMAS

SEGÚN NORMA AWS D1.1-ASME V ART.28..(EXAMEN VISUAL)

TIPO DE DEFECTO	DIMENSIÓN	ACEPTABLE	CALIFICACIÓN
Mordedura	6mm	1.6mm Máximo.	NO (Rep)
Mordedura	40mm	1.6mm Máximo.	NO (Rep)
Discontinuidad	3mm	3 mm Máximo	OK
Sobremonta	10mm	3mm Máximo	NO (Rep)
Sobremonta	5mm	3mm Máximo	NO (Rep)

(Rep)= Reparar

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Mordedura	Se recomienda reparación	NORMA AWS D1.1-ASME V ART.28.	
Mordedura	Se recomienda reparación	NORMA AWS D1.1-ASME V ART.28.	
Discontinuidad	OK	NORMA AWS D1.1-ASME V ART.28.	
Sobremonta	Se recomienda reparación	NORMA AWS D1.1-ASME V ART.28.	
Sobremonta	Se recomienda limpieza	NORMA AWS D1.1-ASME V ART.28.	

OBSERVACIONES

*Se nota que el principal problema son las mordeduras, la norma en este caso la rechaza, par evitar este tipo de defecto se recomienda controlar el amperaje al momento de soldar, evitar electros húmedos.

**Las normas recomiendan una reparación en cada uno de los defectos.

***La sobremonta se da por falta de experiencia del soldador, no controla la acumulación del metal aporte.

PAG. 2 DE 2

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

➤ RESULTADOS DE LA PROBETA N° 6.

DEFECTOS DETECTADOS				
UBICACIÓN	DEFECTO	Nº DEFECTOS	CALIFICACIÓN	NORMA APLICADA
1	Mordedura	1	Rechazable	Norma AWS D1.1-ASME V ART.28.
2	Mordedura	1	Rechazable	Norma AWS D1.1-ASME V ART.28.
3	Discontinuidad	1	Aceptable	Norma AWS D1.1-ASME V ART.28.
4	Sobremonta	1	Rechazable	Norma AWS D1.1-ASME V ART.28.
5	Sobremonta	1	Rechazable	Norma AWS D1.1-ASME V ART.28.

Tabla 4.6. Defectos probeta N°6

Autor: Johnny Villacís

➤ UBICACIÓN

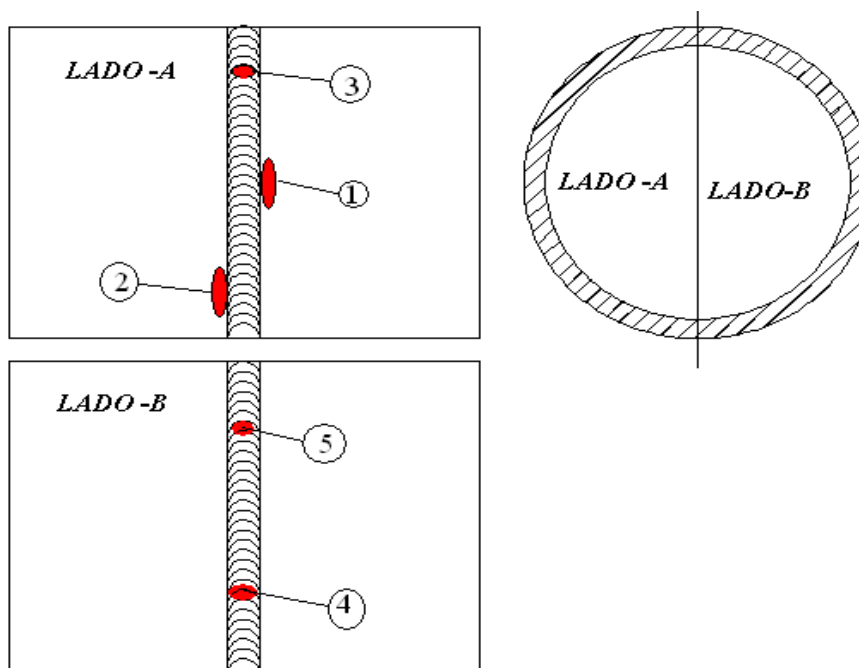


Gráfico N°4.6. Ubicación de los defectos en la probeta 6

Autor: Johnny Villacís

La probeta es un tubo de 152.6mm de diámetro por 280mm de longitud y 7mm de espesor en acero A36, el cordón de soldadura está distribuido en la posición 1G o, dicho cordón se encuentra en buena calidad.

Se evaluó los defectos encontrados de acuerdo con la norma AWS D1.1-ASME V art 28, determinamos que la probeta se considera **ACEPTABLE** por lo que se recomendaría una reparación en los defectos detectados en el examen visual final.

Los defectos dimensionados se citan a continuación.

1. Discontinuidad: Longitud 3mm
2. Mordedura: Longitud 6mm
3. Sobremonta: Longitud 5mm
4. Mordedura: Longitud 40mm
5. Sobremonta: Longitud 10mm

A simple vista el cordón de soldadura tiene un aspecto definido y bueno.



ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS



INFORME DE INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS
MAGNÉTICAS

DATOS INFORMATIVOS

PROBETA N°	LUGAR DE REALIZACIÓN	FECHA
7..	Taller de ARCOMEC	18/01/2011
FECHA DE EJECUCIÓN	18/01/2011	
DIRECCION: Av. Bolivariana	Ciudad: Tungurahua-Ambato.	
SILICITADO POR: UTA-FICM	REALIZADO POR: Egdo. Johnny Villacís.	
SUPERVISOR: Ing. Alejandro Moretta.		

DATOS TECNICOS DEL PROCESO DE SOLDADURA

ELEMENTO

DENOMINACIÓN	DISCO DE FRENO	TIPO DE UNIÓN	N/A
TECNICA	Seca	RAIZ	N/A
PARTES SOLDADAS	NO	ACABADO	NO
TIPO O GRADO	FUNDICIÓN GRIS	CARACTERÍSTICA	DISCO
ESPESOR	3mm	METAL APORTE	N/A
DIÁMETRO PROBETA	220mm	AMP/VOLT	N/A

METALES BASE

MARERIAL	FUNDICION GRIS	DIÁMETRO DE PROBETA	220mm
GRADO-TIPO	N/A	LONGITUD DE PROBETA	N/A
ESPESOR	3 mm	ESTADO	REGULAR

ENSAYO VISUAL INICIAL



OBSERVACIONES

*La probeta presenta oxidación en algunos sectores de la superficie .

**Se debe realizar una correcta limpieza superficial antes del examen por partículas magnetizables.

***Realizado el examen visual inicial no se detecta ningún otro defecto.

ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS -PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

ENSAYO N°	7	LIMPIEZA	Cleaner Magnaflux.
PROBETA N°	7	PARTÍCULAS	Secas rojas.
PARTE A ENSAYAR	CARA INFERIOR	TIEMPO DE MAGNETIZACIÓN	Constante
TEMPERATURA	23°C	DESMAGNETIZACIÓN	N/A
CLIMA	Soleado	TIEMPO DEL ENSAYO	60min.
NORMA APLICADA	ASME E 709-95	YUGO	6" 60Hz-AC.

RESULTADO DE LA OBSERVACIÓN FINAL



COMPARACIÓN CON NORMAS

SEGÚN NORMA AWS D1.1-ASME V ART.28..(EXAMEN VISUAL)

TIPO DE DEFECTO	DIMENSIÓN	ACEPTABLE	CALIFICACIÓN
Fisura	30mm	13mm Máximo.	NO (Rep)
Fisura	10mm	13mm Máximo.	OK
Fisura	14mm	13mm Máximo.	NO (Rep)
Fisura	5mm	13mm Máximo.	OK
Fisura	24mm	13mm Máximo.	NO (Rep)

(Rep)= Reparar

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Fisura	Se recomienda reparación	NORMA AWS D1.1-ASME V ART.28.	
Fisura	OK	NORMA AWS D1.1-ASME V ART.28.	
Fisura	Se recomienda reparación	NORMA AWS D1.1-ASME V ART.28.	
Fisura	OK	NORMA AWS D1.1-ASME V ART.28.	
Fisura	Se recomienda limpieza	NORMA AWS D1.1-ASME V ART.28.	

OBSERVACIONES

*Realizado el examen visual final detectamos claramente que la probeta presenta fisuras en sectores de de su contorno.

**Aplicada la comparación de normas se determina que la mayoría de los defectos no cumplen con la especificación.

***La interpretación de resultados determinaría el rechazo como aceptable a la probeta.

PAG. 2 DE 2

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

➤ RESULTADOS DE LA PROBETA N° 7.

DEFECTOS DETECTADOS				
UBICACIÓN	DEFECTO	Nº DEFECTOS	CALIFICACIÓN	NORMA APLICADA
1	Fisura	1	Rechazable	Norma AWS D1.1-ASME V ART.28.
2	Fisura	1	Aceptable	Norma AWS D1.1-ASME V ART.28.
3	Fisura	1	Rechazable	Norma AWS D1.1-ASME V ART.28.
4	Fisura	1	Aceptable	Norma AWS D1.1-ASME V ART.28.
5	Fisura	1	Rechazable	Norma AWS D1.1-ASME V ART.28.

Tabla 4.7. Defectos probeta N°7

Autor: Johnny Villacís

➤ UBICACIÓN

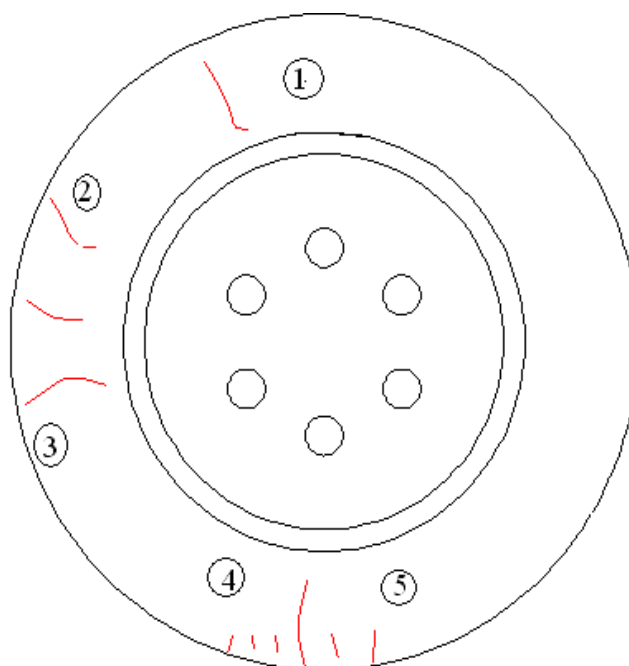


Gráfico N°4.7. Ubicación de los defectos en la probeta 7

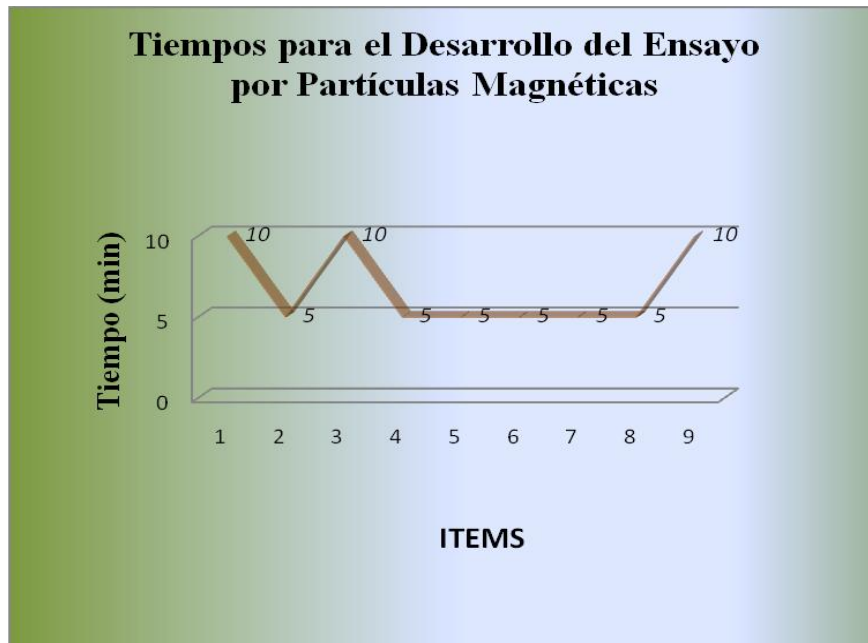
Autor: Johnny Villacís

En la tabla 4.7. Se detalla los resultados de la probeta N° 7 disco de freno de fundición gris, sus dimensiones 220mm de diámetro por 3mm de espesor, en lo cual luego del ensayo no destructivo por partículas magnéticas encontramos los defectos dimensionados a continuación.

1. Fisura: Longitud 30mm
2. Fisura : Longitud 10mm
3. Fisura : Longitud 14mm
4. Fisura : Longitud 5mm
5. Fisura : Longitud 24mm

Se evaluó los defectos encontrados de acuerdo con la norma AWS D1.1-ASME V art 28, determinamos que la probeta se considera RECHAZADA.

GRÁFICO N° 4.8 TIEMPOS PARA EL DESARROLLO DEL ENSAYO NO DESTRUCTIVO POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS.



Autor: Johnny Villacís

ITEMS:

1. Examen visual
2. Selección de la superficie a ensayar
3. Limpieza de la superficie
4. Magnetización de la probeta
5. Aplicar partículas magnéticas
6. Identificar discontinuidades
7. Confirmar defectos
8. Limpieza de las partículas magnéticas
9. Registro de criterios (Informe)

En donde la sumatoria del tiempo de cada ítem nos da los 60 minutos requeridos para cada ensayo no destructivo por partículas magnéticas.

4.3. VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

En lo que respecta el planteamiento de la hipótesis, se indica que la base a los ensayos no destructivos realizados y resultados obtenidos, el ensayo no destructivo por partículas magnetizables permite realizar el análisis de discontinuidades o defectos en elementos ferromagnéticos.

El tiempo del desarrollo del ensayo no destructivo por partículas magnéticas se lo efectuó en 60 minutos (Tabla 6.2-Gráfico 4.1). Además se logró detectar en las diferentes probetas los defectos enunciados en las tablas 4.1 hasta 4.7, los resultados de las evaluaciones se lo realizó bajo normas de examen visual como la ASME V art. 28. Y también la AWS D1.1.

El material ferromagnético utilizado son probetas acero A36 porque existe en el mercado local; pero en sí el ensayo se puede desarrollar en cualquier material ferromagnético que se tenga a disposición.

La adquisición de las normas no fueron un obstáculo para el desarrollo de la investigación a lo contrario ayudaron a determinar con certeza si el defecto es aceptable o rechazable.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- ✓ En base a la normativa utilizada de Ensayos No Destructivos y AWS D1.1 se obtuvieron parámetros para realizar el ensayo no destructivo por partículas magnéticas secas del cual se obtuvieron resultados Normalizados.
- ✓ Es factible realizar el ensayo no destructivo por partículas magnéticas para detectar discontinuidades superficiales en el condón de soldadura lo cual queda demostrado con cada ensayo desarrollado.
- ✓ Los medios para el desarrollo del ensayo por partículas magnéticas secas, como el acero A36, las partículas magnéticas secas y el yugo de magnetización longitudinal fueron posibles de adquirir sin problema alguno en el mercado nacional.
- ✓ El yugo de magnetización longitudinal ofrece resultados esperados según la norma ASME V en la capacidad portante de magnetización sobre el elemento con un mínimo de 10 Lbs.
- ✓ El tiempo de magnetización para un mejor resultado debe ser por un tiempo mínimo de 5 minutos sin dejar de accionar el interruptor luego de esto podemos activar y desactivar el interruptor periódicamente donde se examinó el defecto.
- ✓ El área de magnetización y de direccionamiento de las partículas magnéticas de manera perpendicular con el yugo fue de una pulgada, esto permitió desarrollar varias lecturas a lo largo de la probeta.
- ✓ Las partículas magnéticas se comportan de manera eficiente si mantenemos el campo magnético activo y constante el momento de la localización del defecto y es de primordial importancia controlar la

cantidad de partículas esparcidas sobre la probeta, el exceso de las mismas producen aglomeración y por lo tanto lecturas erróneas.

- ✓ Los resultados obtenidos en los ensayos nos permite claramente dar un diagnostico del cuadro que presenta cada probeta, las discontinuidades pueden ser observadas sin problema alguno si se sigue y se cumple los requerimientos de la norma.
- ✓ La correcta posición del yugo con respecto a la discontinuidad es de vital importancia para un resultado óptimo, la correcta limpieza y evitar la humedad sobre el elemento examinado.
- ✓ El presente trabajo ha significado aprender acerca del mundo que representa los END, y el tratamiento que este recibe dentro de la Carrera, la importancia de las distintas técnicas y sus particulares aplicaciones.

5.2. RECOMENDACIONES

- ✓ La superficie a ser ensayada debe estar bien limpia para tener interpretaciones precisas.
- ✓ En la superficie de estudio evitar los golpes y rayaduras.
- ✓ Mantener el interruptor del yugo accionado constantemente en el instante mismo del ensayo.
- ✓ Evitar estar cerca de elementos metálicos en el momento del ensayo puede darse distorsión del campo magnético.
- ✓ Realizar el ensayo sobre una superficie limpia libre de partículas metálicas en lo posible.
- ✓ En la limpieza del elemento de estudio evitar utilizar franela sino una tela libre de pelusas.
- ✓ La magnetización debe ser continua durante el ensayo de partículas magnéticas secas.
- ✓ Las partículas magnéticas deben estar completamente secas para poder utilizarlas en el ensayo.
- ✓ Aplicar las partículas magnéticas muy cuidadosamente.
- ✓ Se debe evitar corrientes de aire muy fuertes, lloviznas y líquidos extraños en el elemento para evitar resultados erróneos.
- ✓ Reciclar en lo posible las partículas magnéticas utilizadas en el ensayo ya que son costosas.
- ✓ Limpiar el equipo luego de cada ensayo para mantenerlo en buen estado.
- ✓ Utilizar equipo de seguridad personal (guantes, mascarilla, gafas).
- ✓ Para el yugo que se empleó en ésta investigación, utilizar CA ,110 Voltios.
- ✓ El espesor del material máximo a ensayar con este equipo es de aproximadamente de entre 8 a 12 mm.
- ✓ El futuro del laboratorio de ensayos no destructivos se enmarca en la capacidad para manejar estándares de calidad que solo se logran con planes de funcionamiento, control y preparación; tanto de los equipos y el personal que labora en el mismo.

CAPÍTULO VI

6. PROPUESTA

6.1. DATOS INFORMATIVOS

Iniciamos con el estudio del ensayo por partículas magnéticas considerando ciertos parámetros, el elemento la forma de la probeta a ser examinada , el material ,el medio donde se lo realizará ,la limpieza de la pieza para realizar el ensayo también las características del yugo y el tipo de partículas magnéticas que utilizaremos además del aspecto económico para realizar dicho ensayo.

Estos parámetros son prioridad el informarnos de acuerdo a la Norma ASME V-E 709-95 en la que trata de todos los requerimientos para realizar los ensayos no destructivos por partículas magnéticas.

Se dice que el amperaje requerido del yugo y de la fuerza de atracción del yugo (mínima 10 lb) para una separación comprendida de 100 a 150 mm, la cantidad de luz necesaria para visualizar las discontinuidades los tipos de partículas magnéticas y para realizar el examen visual será prioridad informarnos en la Norma ASME V cap.9-D2563-70.

En lo referente al elemento o probeta a examinar serán elaborados en tubería de 6 y 4 pulgadas cédula 40, placas de un espesor de 4mm. Y también probetas adquiridas en el medio (Disco de freno) eso si deberán ser de material ferromagnético.

Las probetas elaboradas en tubería serán de acero A 36 y las placas igualmente acero A 36 y la soldadura serán en la posición 1G, en referencia al lugar del ensayo se realizará en el laboratorio de Materiales de la Universidad Técnica de Ambato Carrera de Ingeniería Mecánica.

Con la finalidad de obtener resultados de calidad tendremos a disposición un yugo electromagnético de magnetización longitudinal como nuestra principal herramienta de ensayo, nos ayudará principalmente a magnetizar el elemento y detectaremos las discontinuidades con ayuda de las partículas magnéticas coloreadas.



Gráfico N°6.1 Sistema, partículas magnéticas.

Fuente: Manual Magnaflux

6.2. ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA

Realizando un análisis del ensayo por partículas magnéticas resultaría muy beneficioso en lo que corresponde en la integridad de la muestra a ensayar, se puede recuperar en gran parte las partículas magnéticas se podría realizar una evaluación muy clara y precisa de la falla en estudio y realizar un análisis sin complicaciones técnicas y económicas. El ensayo se lo podrá realizar en cualquier momento no es necesario controlar el medio ambiente donde lo efectuemos lo que sí es importante la visibilidad del entorno para poder efectuar tomas de resultados. El proyecto de investigación se lo realizará en probetas y elementos mecánicos donde previa sospecha de defecto en el mismo se procederá a identificar el tipo y el rango de tolerancia de defecto. Norma ASME V cap. 9-D2563-70 y AWS D1.1. Como resultado de toda la investigación quedará a disposición en el área de materiales de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, la información sobre Ensayos no Destructivos

por el Método de Partículas Magnéticas sostenida bajo la norma ASME V -E 709-95 contribuirá a la investigación y los conocimientos de los estudiantes de Ingeniería Mecánica e incluso a medios de interés diversos.

6.3. JUSTIFICACIÓN

El estudio del Ensayo no Destructivo por Partículas Magnéticas está enfocado a facilitar dicho ensayo sin afectar al elemento en cuestión y realizar el correspondiente análisis de detectar defectos superficiales.

El aporte y la implementación en la Carrera de Ingeniería Mecánica en el área de Materiales con un adecuado proceso para el desarrollo de Ensayos no Destructivos por Partículas Magnéticas utilizando un Yugo electromagnético de magnetización longitudinal, equipo y proceso que facilitará la investigación del estudiante.

También brindar la información necesaria a nuestro medio y la disposición de esta tecnología en la Industria local.

6.4. OBJETIVOS

6.4.1. GENERAL

- Implantar el Ensayo no Destructivo por Partículas Magnéticas coloreadas secas con ayuda del yugo electromagnético de magnetización longitudinal en materiales ferromagnéticos.

6.4.2. ESPECÍFICOS

- Determinar la ubicación del defecto en la configuración del elemento a ser estudiado para que permita distinguir la discontinuidad por el ensayo visual inicial.
- Establecer los parámetros necesarios para magnetizar la pieza.
- Analizar las resultantes del ensayo por partículas magnéticas y determinar el tipo de defecto.

- Analizar y evaluar los costos y beneficios que genera la ejecución del ensayo no destructivo por partículas magnéticas.
- Obtener resultados esperados y favorables sobre el ensayo no destructivo por partículas magnéticas.

6.5. ANÁLISIS DE FACTIVILIDAD

6.5.1. ECONÓMICO

TABLA N° 6.1 COSTOS PARA EL DESARROLLO DEL ENSAYO NO DESTRUCTIVO POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

PROCESO	EQUIPO Y MATERIALES	COSTO(USD)
Limpieza de la superficie	Limpiador o cleaner Magnaflux.	45
	Paño limpiador.	5
	Toallas limpiadoras de manos.	5
	Plumón marcador de superficies metálicas.	20
Magnetizar la pieza	Yugo Y-6, 110 V AC.	2200
	Manual de instrucciones.	10
Revelado del defecto	Pera para aplicar el polvo.	15
	Polvo rojo y gris 2 lb.	50
	Brocha.	5
Operación	Asesor Técnico.	100
Evaluación	Presentar informe.	20
TOTAL		2475

Autor: Johnny Villacís

La evaluación económica nos permite determinar que el proyecto tenga la posibilidad de desarrollarse sin ningún problema o eventualidad del caso.

En la tabla 6.1 antes anotada, observamos que los valores no son un impedimento para elaborar el proyecto, siendo un factor primordial y considerable para el desarrollo del ensayo no destructivo por partículas magnéticas.

6.5.2. ANÁLISIS TECNOLÓGICO

Se tiene los medios necesarios para realizar los ensayos no destructivos por partículas magnéticas y está dentro de las expectativas para poder realizar los ensayos.

Para el desarrollo nos establecemos dentro de las normas ASTM 709-95 a más de utilizar procedimientos que no necesitan de tecnología de avanzada.

6.5.3. ANÁLISIS AMBIENTAL

El ensayo por partículas magnéticas no contamina el ambiente si es verdad que se utiliza productos químicos pero son en dosis muy pequeñas además las partículas se pueden utilizar nuevamente.

Manejadas con el equipo de seguridad adecuado (mascarilla, guantes gafas), no supone peligro directo para la salud de los ejecutantes del ensayo.

6.6. FUNDAMENTACIÓN

6.6.1. PRINCIPIOS FUNDAMENTALES

Este método de ensayo está basado en el principio de que las líneas de fuerza existentes en un objeto magnetizado (por ejemplo un imán) es localmente distorsionado por la presencia de una discontinuidad. Esta distorsión obliga a que parte de las líneas de fuerza magnéticas salgan y vuelvan a entrar en el objeto que se ensaya, allí donde se encuentra la discontinuidad. Este fenómeno se llama fuga de flujo magnético. Esta fuga de flujo es capaz de atraer partículas de material

ferromagnético finamente dividido, el cual forma una línea exterior o indicación de la discontinuidad.

El uso de partículas de hierro como sensor. La situación ideal a conseguir en el examen por partículas magnéticas es aquella que nos da la mayor sensibilidad para las discontinuidades más pequeñas. Ello se consigue combinando adecuadamente aspectos tales como: fuerza del campo magnético aplicado, densidad de flujo en el objeto a ensayar, tamaño de las partículas magnéticas y su método de aplicación y condiciones óptimas de observación visual, los cuales se estudiarán a lo largo de estos apuntes. [11]

6.6.2. EFECTOS DE LA MAGNETIZACIÓN

Para explicar el comportamiento de los imanes y de los electroimanes se parte de la base de que todos los cuerpos pueden considerarse constituidos por un gran número de imanes infinitamente pequeños, llamados dominios magnéticos. Dichos imanes o dominios, están desordenados, distribuidos al azar (Gráfico N°6.1.a), normalmente paralelos a los ejes cristalinos del material, de tal forma que su resultante magnética total es nula.

Un material capaz de ser magnetizado, al ser colocado cerca de un imán o de una corriente eléctrica, orienta sus dominios magnéticos poniéndose de manifiesto la existencia de un imán total (Gráfico N° 6.1.b)

El proceso a través del cual regiones submicroscópicas de un material (dominios magnéticos) se ordenan predominantemente en una dirección se llama magnetización.

Una vez que todos los dominios han sido orientados, el material ferromagnético se ha convertido en un imán, con un polo norte y un polo sur.

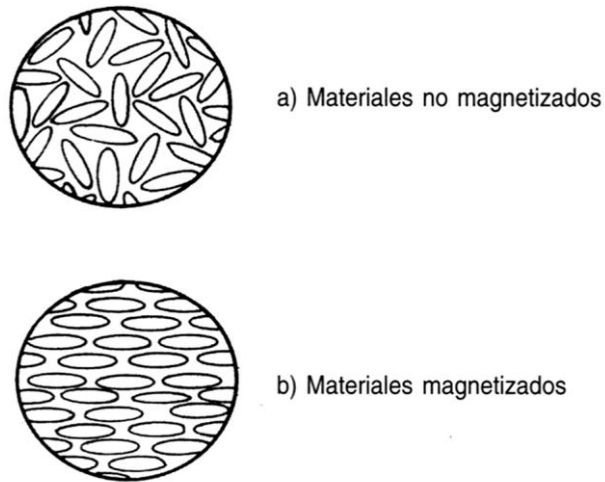


Gráfico N° 6.2. Dominios magnéticos

Fuente: <http://www.Magnetismo.htm.com>

Con todos los dominios alineados, el material ferromagnético desarrolla una fuerza total, igual a la suma de la de todos los dominios.

Las líneas de fuerza tienen una dirección definida. Salen por el polo norte, entran por el polo sur y continúan su camino a través del imán, desde el polo sur al polo norte. [11]

6.6.3. FUNDAMENTOS DEL MÉTODO DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

Si tenemos un imán en forma de herradura. (Gráfico N° 6.3).

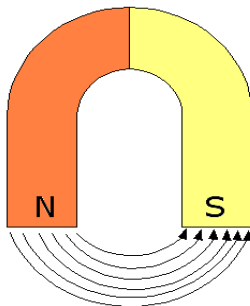


Gráfico N° 6.3. Imán herradura

Autor: Johnny Villacís

Y lo cerramos hasta aproximar sus extremos, nos queda. (Gráfico N° 6.4).

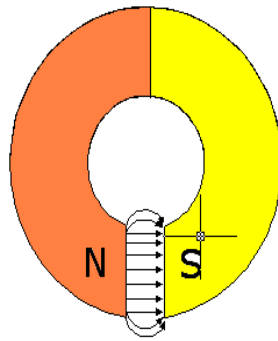


Gráfico N° 6.4. Imán herradura

Autor: Johnny Villacís

Y si lo cerramos del todo, vemos que prácticamente desaparecen los polos, pero existe una pequeña cantidad de líneas de fuerza que se cierran a través del aire, a las que denominaremos FLUJO DISPERSO, el cual nos determina el CAMPO DE FUGA. (Gráfico N° 6.5).

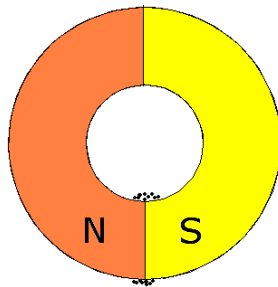


Gráfico N° 6.5. Imán herradura

Autor: Johnny Villacís

Análogamente, si en un imán se efectúa un corte parcial, se forman dos polos opuestos y aparecerá en esa zona un campo de fuga, formado por las líneas de fuerza que salen de la barra y pasan a través del aire de un polo al otro. (Gráfico N° 6.6).

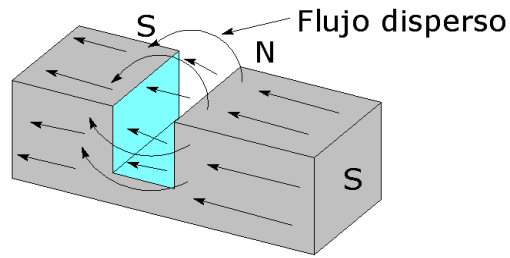


Gráfico N° 6.6.Campo de fuga

Autor: Johnny Villacís

Como la interrupción del camino de las líneas de fuerza dentro del imán crea dos nuevos polos, deducimos que una discontinuidad (fisura, inclusión, variación de los parámetros magnéticos del material, etc.) dará lugar; la formación de dos nuevos polos, y por ende de un campo de fuga. (Gráfico N° 6.7).

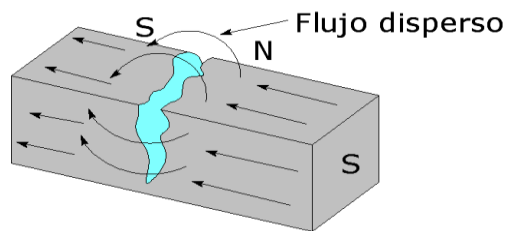


Gráfico N° 6.7.Flujo disperso

Autor: Johnny Villacís

Vemos que: El método de partículas magnéticas consiste en la detección de campos de fuga, o sea flujos dispersos provocados por la formación de polos magnéticos a ambos lados de aquellas discontinuidades .que interrumpen el camino de las líneas de fuerza.

Por lo tanto, éste método puede detectar discontinuidades en materiales que puedan ser fuertemente magnetizados o ferromagnéticos. (Gráfico N° 6.8).

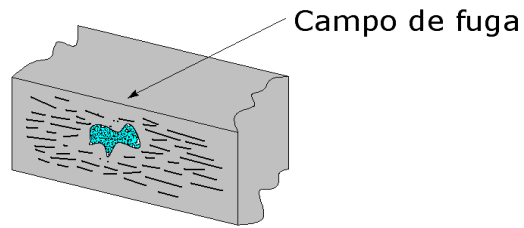


Gráfico N° 6.8. Discontinuidad

Autor: Johnny Villacís

En consecuencia, en la sección que corresponde a la discontinuidad, hay una gran densidad de flujo que deberá pasar por una sección reducida. Por lo tanto, la permeabilidad será menor que en el resto de la pieza, forzando a que parte del flujo escape fuera de la misma, dando lugar a un campo de fuga.

Dicho campo de fuga nos permite detectar la discontinuidad, mediante un detector o medio magnético. O sean las partículas magnéticas, que son atraídas por los campos de fuga, dando lugar a la indicación de la discontinuidad.

La condición óptima de trabajo es aquella que: en el momento de la detección, la intensidad de campo "H" sea tal que en la pieza se obtenga mínima permeabilidad sobre la curva virgen. (Gráfico N° 6.9). [20]

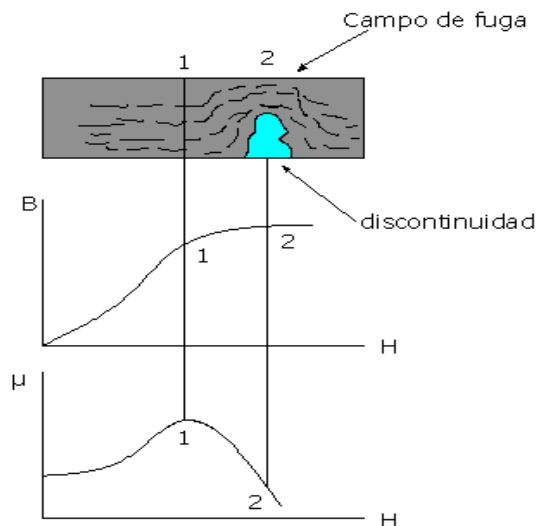


Gráfico N° 6.9. Indicación de discontinuidad

Autor: Johnny Villacís

6.6.4. PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

La finalidad de la realización de los ensayos por partículas magnéticas es la obtención de indicaciones fiables originadas como consecuencia de discontinuidades. Por ello, a la hora de realizar este ensayo no destructivo se deberán elegir aquellos tipos de partículas magnéticas que sean capaces de dar, bajo unas condiciones determinadas, las mejores indicaciones.

Una mala elección de las partículas magnéticas puede originar las siguientes deficiencias:

- No formar indicación.
- Formar indicaciones muy pequeñas que no sean visibles.
- Aparición de indicaciones con formas distorsionadas.
- Todo ello conducirá a malas interpretaciones y errores en el resultado del examen.

El medio empleado en partículas magnéticas consiste básicamente en los óxidos de materiales ferromagnéticos finamente divididos, en formas irregulares, redondas, alargadas o en forma de escamas.

Las propiedades magnéticas de las partículas dependen del tipo de material ferromagnético empleado, siendo sus propiedades más relevantes la permeabilidad magnética, la fuerza coercitiva y la retentividad. [10]

6.6.4.1. PARTÍCULAS MAGNÉTICAS VÍA SECA

En este caso, la sensibilidad para pequeñas discontinuidades aumenta, aunque con limitaciones, a medida que disminuye el tamaño de las partículas.

Si las partículas son extremadamente pequeñas, pueden acumularse en depresiones e irregularidades superficiales incluso en piezas con un acabado fino. Pueden, incluso, revelar la presencia de huellas dactilares o de zonas muy ligeramente engrasadas, a pesar de que no existan campos de fuga. No son, por

tanto, utilizables estas partículas finas, puesto que darían lugar a problemas de interpretación.

La aplicación de las partículas magnéticas secas se lleva a cabo mediante sopladores mecánicos o manuales, debiéndose producir una dispersión uniforme de las mismas en el aire. Estas partículas mientras están en el aire, dispuestas en forma de nube, tenderán a dirigirse hacia los campos de fuga magnéticos. No obstante, puede inducirse la movilidad de las mismas si se produce una vibración física de la pieza o empleando corriente alterna o corriente rectificada de media onda.

Se debe tener también en cuenta que, aunque las partículas con forma alargada forman indicaciones más fuertes en campos de fuga magnéticos débiles, al aplicar las partículas se enredan entre sí y es más difícil producir una dispersión uniforme de las mismas en aire. Este problema no ocurre con las partículas magnéticas esféricas.

En la práctica, las partículas que se aplican en forma de polvo seco son mezclas de diversos tamaños y formas en proporciones cuidadosamente elegidas. Así, mientras las más pequeñas proporcionan sensibilidad al método, las más grandes no sólo ayudan a localizar discontinuidades grandes, sino que, por un efecto de barrido o arrastre contrarrestan en gran parte la tendencia de las finas a producir falsas indicaciones.



Gráfico N°6.10. Partículas magnéticas.

Fuente: Manual Magnaflux

Las condiciones físicas que a la final deben considerarse están sujetas a la norma aplicada para esta investigación ASME V, CAP. IX, E 709-95, Sección 8, enuncia las consideraciones técnicas a cumplir. [10]

6.6.4. EL YUGO DE PATAS ARTICULADAS

Se utilizará un yugo de patas articuladas de corriente AC ,115 voltios y máximo amperaje 2.2 A, las patas se articulan hasta los 30 cm que nos brinda una fuerza de atracción de 18 lbs.

El yugo emplea el método de partículas magnéticas, se acciona presionando el botón de encendido el mismo que activa el paso de corriente por el bobinado.

El cual genera el campo magnético en los brazos del yugo, éste a diferencia de tener brazos fijos.

Posee los brazos articulados lo que permite que la distancia a ser cubierta por el campo magnético sea regulable.

Una vez encendido el equipo se aproxima el yugo a la pieza a ser examinada para luego espolvorear las partículas sobre la zona de inspección y visualizar los defectos presentes.

6.6.5. LA INTENSIDAD DE CAMPO DEL YUGO DE PATAS ARTICULADAS

Para determinar la intensidad del campo magnético, según la norma ASTM E709 correspondiente a lo citado en la tesis.

Se procedió a medir la fuerza portante del yugo el resultado fue: de 13.7 Lbs.

Enmarca dentro de lo norma cuyo valor mínimo de esta fuerza se lo toma de la siguiente tabla de la sección 20.3.6 referente a la evaluación del desempeño del equipos específicamente en este numeral respecto a los yugos.

TABLA N°6.2 PARA DETERMINAR LA INTENSIDAD DE CAMPO MAGNETICO EN EL YUGO.

Tipo de Corriente	Espaciamiento de las articulaciones del yugo	
	50 A 100 mm (2 a 4 pulg.)	100 a 150 mm (4 a 6 pulg.)
AC	45 N (10 lb.)	xxx
DC	135 N (30 lb.)	225N (50 lb.)

Fuente: Tabla 3. ASME V- E709-95

6.6.6. NORMAS

Las normas que se aplicarán en la investigación del ensayo no destructivo por partículas magnéticas se denotan en la siguiente tabla:

TABLA N°6.3 NORMAS.

Descripción	Norma Aplicada
Examen Visual inicial	ASME V - D 2563-70
Examen por partículas magnéticas	ASME V - E 709-96
Estándares del Examen visual	ASME V - D 2563-71-tabla 1
Estándares del Examen visual final	AWS D1.1

Autor: Johnny Villacís

6.6.7. DEFINICIONES

6.6.7.1 DIRECCIÓN DE CAMPO MAGNÉTICO

En un objeto magnetizado la dirección del campo magnético, dentro del objeto, está definida por el sentido sur-norte de los polos del objeto.

El paso de una corriente eléctrica a través de un conductor ferromagnético origina un campo magnético el cual es perpendicular a la dirección del flujo eléctrico. [11]

6.6.7.2. INTENSIDAD DE CAMPO MAGNÉTICO

Es la medida de la intensidad del campo magnético en un punto.

Su unidad de medida es amperios/metro (S.I.) y Oersted. (c.g.s.)

1 amperio/metro \approx Oersted o Gauss de inducción magnética. [15]

6.6.7.3. FLUJO MAGNÉTICO

Es el número total de líneas de fuerza que existen en un circuito magnético o en un área determinada.

Un campo magnético está formado por líneas de flujo. Inicialmente su unidad de medida era el maxwell siendo un maxwell una línea de flujo. En el Sistema Internacional la unidad de medida es el weber (Wb), siendo 1 Wb = 10⁸ líneas de flujo.

1 Wb = 10⁸ maxwell = 10⁸ líneas de flujo. [15]

6.6.7.4. DENSIDAD DE FLUJO MAGNÉTICO

Es el flujo magnético normal por unidad de superficie, es decir, es el número total de líneas de fuerza que pasan transversalmente una unidad de superficie.

Inicialmente su unidad de medida era el Gauss, siendo 1 Gauss = Maxwell/ .

Con posterioridad el Gauss, como unidad de densidad de flujo, se redefinió, siendo actualmente la unidad medida en el Sistema Internacional el tesla (T).

1 tesla = Wb/

Donde:

1 Gauss = tesla y 1 línea de flujo/ = 0,155· teslas.

Un tesla corresponde a una densidad de flujo magnético tal que produce una fuerza de un Newton sobre una carga de un culombio que se mueve perpendicularmente al campo. [15]

6.7. METODOLOGÍA.

MATERIAL.

Se usará para la elaboración de las probetas (placas y tubo) acero A36 por mayor facilidad de adquirirlo en el mercado, también un disco de freno.

-Las placas tienen un espesor de 4mm.

- El tubo tiene un espesor de 7mm.

PROPIEDADES MECÁNICAS

- ✓ Límite de fluencia 250 MPa.
- ✓ Resistencia a la tracción 400-500 MPa.(41-56 Kgf/mm²)
- ✓ Elongación hasta de un 22% en 5 cm.



Gráfico N°6.11 Probetas, placas y tubería de acero A36.

Autor: Johnny Villacís

DISEÑO DE LA SODADURA EN FUNCIÓN DEL MATERIAL BASE

- Para las probetas con un espesor de 4mm.(Placa)

Como datos tenemos:

$T_1=4\text{mm}$

$R= ?$

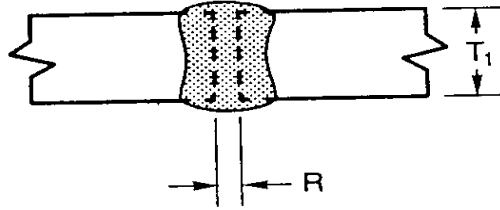


Gráfico N°6.12. Diseño de la junta placa.

Fuente: Norma AWS D1.1

Si tenemos que para $T_1 = 6.4\text{mm}$, apreciamos una holgura $R= T_1/2$, observamos que $R= 2\text{mm}$, para el proceso de soldadura SMAW, basándose en la Norma AWS D1.1.Pag.117.fig 3.4. (Anexo)

Los resultados para la junta se aprecian en el Gráfico N°6.13.

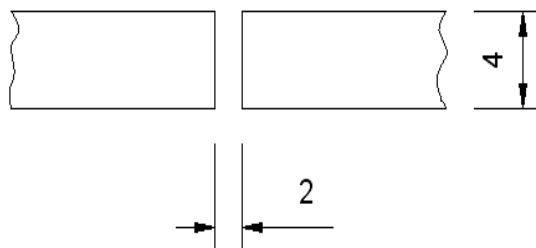


Gráfico N°6.13. Resultado de la junta.

Autor: Johnny Villacís

- Para la probeta con un espesor de 7mm.(Tubo)

Como datos tenemos:

$T_1=7\text{mm}$

$R=?$

$f=?$

$\alpha=?$

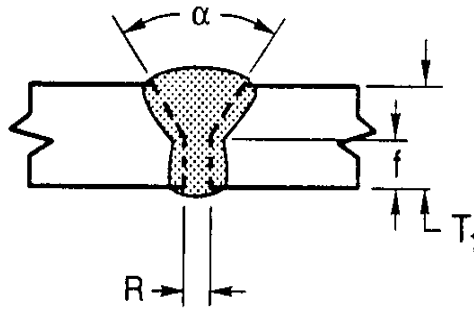


Gráfico N°6.14. Diseño de la junta tubo.

Fuente: Norma AWS D1.1

Los resultados obtenidos de la fig.3.4 de la Norma AWS D1.1.Pag.119.tenemos:

$R= 3\text{mm}$; $f= 3\text{mm}$; $\alpha=60^\circ$. Véase Gráfico N°6.15.

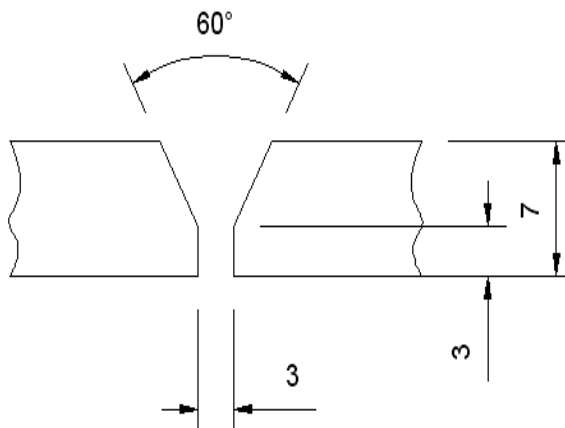


Gráfico N°6.15. Resultado de la junta tubo.

Autor: Johnny Villacís

Donde:

T₁= Espesor

R= Ranura

f= Talón

= Angulo de visel

ELECTRODO

El electrodo que se utilizará para realizar las juntas soldadas será, E6011. Seleccionado considerando el espesor del material basándonos por la tabla 10 de la norma AWS A5.1. Pag.26 (Anexo)

La cual determina que para espesores de 4mm y 7mm, el electrodo 6011 con un diámetro 1/8, reúne las condiciones indicadas para la soldadura.

Características E 6011:

- El electrodo 6011 posee un revestimiento de tipo celulósico diseñado para ser usado con corriente alterna, pero también se le puede usar con corriente continua, electrodo positivo.
- La rápida solidificación del metal depositado facilita la soldadura en posición vertical y cobrecabeza.
- El arco puede ser dirigido fácilmente en cualquier posición, permitiendo altas velocidades de deposición (soldadura).
- Fácil desprendimiento de escoria



Gráfico N°6.16 Electrodo.

Autor: Johnny Villacís

Para proceder a soldar las juntas tanto de placas como de tubería (probetas)

Realizamos una sujeción por detrás de las placas e internamente en la tubería con unas platinas, éstas punteadas a las placas y tubo es para tener mayor facilidad de realizar el cordón de soldadura ya que el material tiende a dilatarse y contraerse por el mismo calor del proceso de soldadura.

La holgura entre placas y tubos se la da ubicando un separador hecho de platina dicha holgura depende del espesor del material a soldar, diseño de juntas soldadas. Se utilizara el proceso de soldadura SMAW de arco eléctrico manual con electrodo revestido E 6011.

Utilizando una corriente de soldadura de 90A a 120 A para E 6011, posiciones 1G.



Gráfico N°6.17 Probetas en proceso de soldadura.

Autor: Johnny Villacís

Hay que estar muy pendiente mediante el proceso de soldadura y tomar registro del voltaje de arco y del amperaje. Una vez terminado el proceso dejamos reposar a temperatura ambiente para que se enfríe, luego procedemos a sacar las platinas de sujeción de la parte posterior e interior de las probetas para luego limpiar totalmente la probeta de todas las impurezas como escoria, elementos extraños etc. (Gráfico N°6.18)

Se debe tener cuidado en el proceso de limpieza de que la pieza no sufra ningún tipo de rayaduras o golpe alguno que afecte en si al ensayo no destructivo.



Gráfico N°6.18 Probetas en proceso de limpieza.

Autor: Johnny Villacís

EL ENSAYO

Debemos iniciar con el examen visual utilizando elementos que nos faciliten el desempeño, (escariador, lupa, lámpara). Norma aplicada ASME V cap. 9-D2563-70.



Gráfico N°6.19 Examen visual inicial

Autor: Johnny Villacís

Seleccionamos los sectores donde vamos a realizar el ensayo marcándolos con un plumón lo más visible posible.



Gráfico N°6.20 Ubicación de posible defecto.

Autor: Johnny Villacís

Para la limpieza de la superficie o cordón de soldadura y utilizamos limpiador Cleaner (Magnaflux), aplicamos cuidadosamente y limpiamos la superficie con un paño limpio y libre de pelusa.



Gráfico N°6.21 Limpieza superficial (Cleaner).

Autor: Johnny Villacís

Se procede a magnetizar la probeta se utilizara un yugo de magnetización longitudinal (Yugo Y-6, 110 V -AC- Magnaflux).

El tiempo de magnetización fue de 5 minutos, claro que ésto depende del espesor del material.



Gráfico N°6.22 Magnetización de la probeta.

Autor: Johnny Villacís

Una vez magnetizada la probeta aplicamos el polvo metálico o partículas magnéticas en la superficie a ser examinada, procedemos con mucho cuidado y aprovechando al máximo el polvo metálico eso sí, sin desconectar la magnetización ésta debe ser continua.

Las articulaciones en sus patas nos permiten adaptar a la forma de la probeta para mayor precisión en el ensayo, además es muy liviano y funcional.



Gráfico N°6.23 Aplicar partículas magnéticas.

Autor: Johnny Villacís

Inmediatamente serán visibles los posibles defectos en el elemento examinado,



Gráfico N°6.24 Detectar discontinuidades.

Autor: Johnny Villacís

ENSAYO VISUAL FINAL

Seguidamente identificamos discontinuidades y confirmamos los defectos existentes en el elemento examinado (Tabla 1-ASME V- Cap. 28).



Gráfico N°6.25 Identificación de discontinuidades

Autor: Johnny Villacís

Procedemos a extraer de la probeta las partículas magnéticas cuidadosamente ya que éstas se pueden reutilizar.



Gráfico N°6.26 Extracción de partículas.

Autor: Johnny Villacís

Finalmente elaboramos el informe respectivo aplicando normas correspondientes.

(AWS D1.1-ASME V Cap. 28)

El desarrollo de los informes enunciado en el Cap.IV, pag.73 hasta 100.

6.8. EVALUACIÓN DE COSTOS Y BENEFICIOS ECONÓMICOS DEL ENSAYO POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

Es de importancia el análisis de Costo vs Beneficio, en éste proyecto para su desarrollo, se ha tomado tiempos del proceso de ensayo y en base a éstos podemos determinar un rendimiento en mano de obra y equipos.

Así mismo el uso de materiales esenciales para el desarrollo del ensayo no destructivo por partículas magnéticas, éstos correspondientes a cada ensayo no destructivo.

Como no es un proceso tan complicado a seguir es aceptable incluir en los tiempos de proceso supuestas demoras o retrasos.

6.8.1. TIEMPOS EN EL PROCESO DEL ENSAYO POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

Se ha listado el proceso con tiempos tomados ya en el desarrollo del ensayo por partículas magnéticas.

TABLA N° 6.4. TIEMPOS EN EL PROCESO PARA EL DESARROLLO DEL ENSAYO NO DESTRUCTIVO POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

ITEM	PROCESO	TIEMPO (min)
1	Examen visual	10
2	Selección de la superficie a ensayar	5
3	Limpieza de la superficie	10
4	Magnetización de la probeta	5
5	Aplicar partículas magnéticas	5
6	Identificar discontinuidades	5
7	Confirmar defectos	5
8	limpieza de partículas magnéticas	5
9	Registro de criterios(Informe)	10
TOTAL		60

Autor: Johnny Villacís

6.8.2 COSTO A TRAVÉZ DEL ENSAYO NO DESTRUCTIVO POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS.

Basándose en los tiempos obtenidos en el proceso del ensayo no destructivo por partículas magnéticas, se asignan los costos de equipos, mano de obra y materiales.

Este análisis se lo hace en base a un costo unitario, que quiere decir el valor de ensayo no destructivo en un lapso de tiempo considerando el rendimiento en la elaboración de dicho ensayo.

TABLA N° 6.5. COSTO DE ENSAYO NO DESTRUCTIVO POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS.

PROPONENTE: UTA-FICM		FORMULARIO		0.01	
				HOJA: 1 DE 1	
OBRA:		ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS POR PARTÍCULAS MAGNETICAS EN PROBETAS-UTA-FICM			
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO:	Nuevo			Unidad	u
DETALLE:	COSTO POR ENSAYO-PARTÍCULAS MAGNÉTICAS				
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	REND.	COSTO
Yugo electromagnético	1.00	1.53	1.53	1.000	1.53
Esplorador	1.00	0.250	0.25	1.000	0.25
Lámpara	1.00	0.250	0.25	1.000	0.25
Lupa	1.00	0.300	0.30	1.000	0.3
SUBTOTAL M					2.330
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION (CATEG.)	CANTIDAD	JORNAL /HR	COSTO HORA	REND.	COSTO
Profesional a cargo	1.00	7.50	7.50	1.000	7.500
Técnico	1.00	3.20	3.20	1.000	3.200
SUBTOTAL N					10.700
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
Limpiador o cleaner Magnaflux	u	0.20	45.00	9.000	
Brocha	u	0.10	2.00	0.200	
Toallas limpiadoras de manos	u	0.50	5.00	2.500	
Paño limpiador	u	0.10	5.00	0.500	
Pera para aplicar el polvo	u	0.05	15.00	0.750	
Polvo rojo o gris 2 lb.	u	0.20	50.00	10.000	
Plumon marcador de superficies metálicas	u	0.10	20.00	2.000	
Energía eléctrica	W	30.00	0.12	3.600	
SUBTOTAL O					28.550
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
SUBTOTAL P					0.000
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					41.580
INDIRECTOS Y UTILIDADES:				22.00%	9.148
OTROS INDIRECTOS:					
COSTO TOTAL DEL RUBRO:					50.728
VALOR OFERTADO: Por cada 25 cm(C/25cm)					\$50.73
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA					

Autor: Johnny Villacís

6.8.3 ANÁLISIS DE COSTO

Se realiza un breve análisis, que para implantar el ensayo no destructivo por partículas magnéticas entre materiales y equipo se necesita un capital de 2475 dólares americanos (Tabla 6.1).

Si hacemos una relación de éste valor con el costo por ensayo no destructivo por partículas magnetizables tenemos que el análisis de precios unitarios nos permite tener con detalle con desglose del costo general del ensayo, tenemos que por equipos se da un costo de \$2.33, por mano de obra \$10.7 y por materiales \$28.55 estos rubros sumados tenemos un costo directo de \$41.58 además como costo indirecto y utilidades un 22% del directo.

En resumen el costo total por ensayo no destructivo por partículas magnetizables sería de \$50.73 (La pega por C/25cm). (Tabla 6.2)

Y como tal, todo ensayo no destructivo que sea desarrollado en los laboratorios no tendría costo alguno para la Institución teniendo un gran impacto en el desarrollo de los laboratorios y la ciencia.

NOTA: El equipo de Magnetización Longitudinal será DONADO a los Laboratorios De Materiales de la Facultad De Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato dando un aporte a la ciencia y tecnología de mi querida Facultad.

6.9. ADMINISTRACIÓN

6.9.1. PLANEACIÓN

Importante previo el ensayo no destructivo:

- ✓ Realizar un examen visual minucioso del elemento a ensayar para determinar la ubicación de posibles fallas.
- ✓ Evitar de realizar el ensayo en lo posible en espacios que haya corrientes de aire circulando.
- ✓ Evitar que las partículas magnéticas tengan contacto con cualquier tipo de líquido para evitar humedad de las mismas.
- ✓ Limpiar el elemento muy bien.

Para la práctica del ensayo:

- ✓ El desarrollo del ensayo se lo hará bajo normativa ASME SEC. V, E 709-95 correspondiente a ensayo por partículas magnéticas.
- ✓ Se preparará el ensayo, luego de la debida limpieza de la pieza a ser examinada.
- ✓ Realizar la magnetización de la pieza, en el sector de estudio.
- ✓ Detectar los defectos con ayuda de las partículas magnéticas.
- ✓ Analizar los defectos obtenidos del ensayo.

6.9.2. ORGANIZACIÓN.

El proceso óptimo se dio bajo norma aplicada en varias pruebas para la obtención del ensayo por partículas magnéticas verifica el conjunto de actividades expuestas anteriormente. (ASME V, E 709-95)

El organismo que realice exámenes mediante partículas magnéticas deberá disponer de un procedimiento escrito, que contendrá, por lo menos la siguiente información:

Los materiales y tamaños a examinar y la extensión de los exámenes.

Técnicas de magnetización a utilizar.

Equipos a utilizar en la magnetización

Preparación de la superficie (acabado y limpieza).

Tipo de partículas ferromagnéticas a utilizar

Corriente de magnetización (tipo y amperaje).

Criterios de aceptación

Desmagnetización.

Limpieza.

Fuente: ASME V, E 709-95.

6.9.3. DIRECCIÓN

Se requiere de conocimientos de defectología y ensayos no destructivos por partículas magnéticas, se podrá realizar sin problema el ensayo no destructivo.

6.9.4. CONTROL

De vital importancia considerar todos los parámetros designados por la norma ASME V, E 709-95 para el desarrollo del ensayo, y mejorar paulatinamente en el desarrollo de los ensayos con la práctica y experiencias adquiridas.

6.10. PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN

Con el equipo para poder desarrollar el ensayo, los materiales necesarios, debemos considerar ciertos puntos para poder efectuar el ensayo no destructivo por partículas magnéticas.

Al momento del desarrollo del ensayo tratar que la probeta no esté en contacto con otros elementos ferromagnéticos, porque podría distorsionar la calidad del ensayo.

También de relevancia importancia evitar el viento, lloviznas que pueden suscitar y afectar el buen desarrollo del ensayo, el factor clima es directamente proporcional a la calidad del ensayo.

Al momento de la toma de resultados podemos utilizar instrumentos de ayuda para visualizar de mejor manera los resultados, (lupa, linterna, etc.)

4.3. BIBLIOGRAFIA

- ECHEVARRIA, Ricardo, 2002. **"Partícula magnetizables"**, Universidad Nacional del COMAHUE, Laboratorio de ensayos no destructivos. [1]
- ECHEVARRIA, Ricardo, 2001. **"END Generalidades"**, Universidad Nacional del COMAHUE, Laboratorio de ensayos no destructivos. [2]
- ECHEVARRIA, Ricardo, 2002. **"Defectologia"**, Universidad Nacional del COMAHUE, Laboratorio de ensayos no destructivos. [3]
- ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS, 2009. **"Partículas Magnéticas Nivel II"**, Editorial Fundación Confemetal. [4]
- ALFONSO LUIS RUBIO-JESUS SERRANO SANCHEZ, 2001. **"Aplicaciones de los métodos de Ensayos no Destructivos al examen de uniones soldadas"**, Editorial URMO, S.A. [5]
- NORMAS ASME SECCIÓN V. [6]
- NORMAS AWS D1.1. [7]
- NORMAS AWS D5.1. [8]
- NORMAS INEN DIBUJO TÉCNICO. [9]

BIBLIOGRAFIA INTERNET

- <http://www.partic.Mag3hc.com/ComponentesGrupoH.html>[10]
- <http://www.Magnetismo.htm.com>[11]
- http://es.wikipedia.org/wiki/Ensayos_mec%C3%A1nicos_de_los_materiales"[12]
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Acero-A36>" [13]
- <http://www.asnt.org/index.html>, (ensayos no destructivos) [14]
- http://www.epn.edu.ec/Departamentos/Materiales/laboratorios/labEnsayos_nodestructivos.htm[15]
- http://sp1.fotolog.com/photo/1/33/65/lya_85/1246562349608_f.jpg[16]
- http://cmapspublic3.ihmc.us/rid=1J3XYF98M-1WSYXN1-QVR/atraccion_repulsi%C3%B3n.jpg[17]
- <http://cabierta.uchile.cl/libros/c-utrerar/node104.html>[18]
- <http://www.llogsa.com/.../magnetismoresidual.jpg>[19]
- <http://www.llogsa.com/.../histerisis.jpg>[20]

- http://www.neuro.qi.fcen.uba.ar/.../alterna_03.gif[21]
- <http://www.sistendca.com/DOCUMENTOS/Defectol>[22]
- [http:// bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000...](http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000...) [23]
- [http:// www.llogsa.com/nueva_web/tutoriales/p...](http://www.llogsa.com/nueva_web/tutoriales/p...) [24]
- [http:// www.agapea.com/libros/END-Particulas-...](http://www.agapea.com/libros/END-Particulas-...)[25]
- [http:// www.tecnitest.com/es/equipos-y-acceso...](http://www.tecnitest.com/es/equipos-y-acceso...) [26]
- [http:// www.sye.com.es/pdf_informacion/SYE_in...](http://www.sye.com.es/pdf_informacion/SYE_in...) [27]
- [http:// www. ndttechscr.com/index.php%3Foption%3Dc...](http://www.ndttechscr.com/index.php%3Foption%3Dc...) [28]

ANEXOS

ANEXO 1

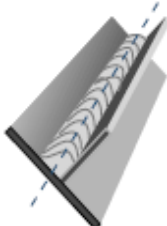
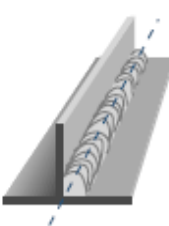

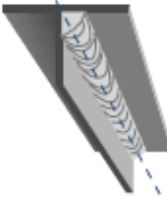
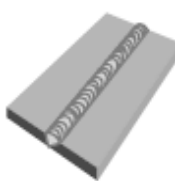
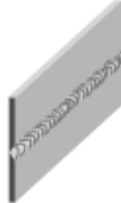





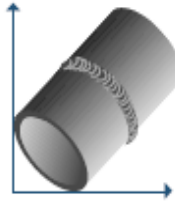
PARÁMETROS DE SOLDADURA

ANEXO 1.1

POSICIONES DE SOLDADURA

POSICIONES EN SOLDADURA

Designación de acuerdo con ANSI/AWS A3.0:2001

Plano	Horizontal	Vertical	Sobrecabeza
Uniones de filete			
 1F	 2F	 3F	 4F
Uniones biseladas			
 1G	 2G	 3G	 4G
Uniones de tuberías			
<p>La tubería se rota mientras se suelda</p>  1G	 2G	<p>La tubería no se rota mientras se suelda</p>  5G	 6G

Fuente: Manual Indura

ANEXO 1.2

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ELECTRODO E-6011

SISTEMA ARCO MANUAL

INDURA 6011

Clasificación AWS: E-6011 / E-4311

- Electrodo para acero al carbono
- Revestimiento celulósico potásico. Color canela
- Corriente continua, electrodo positivo o corriente alterna
- Toda posición
- Certificado por Canadian Welding Bureau y anualmente por American Bureau of Shipping y Lloyd's Register of Shipping

Descripción

El electrodo 6011 posee un revestimiento de tipo celulósico diseñado para ser usado con corriente alterna, pero también se le puede usar con corriente continua, electrodo positivo.

La rápida solidificación del metal depositado facilita la soldadura en posición vertical y sobrecabeza.

El arco puede ser dirigido fácilmente en cualquier posición, permitiendo altas velocidades de deposición (soldadura).

Usos

Este electrodo es apto para ser utilizado en todas las aplicaciones de soldadura en acero dulce, especialmente en trabajos donde se requiera alta penetración.

Aplicaciones típicas

- Cordón de raíz en cañerías
- Cañerías de oleoductos
- Reparaciones generales
- Estructuras
- Planchas galvanizadas

Procedimiento para soldar

Debe seguirse el mismo procedimiento utilizado para soldar con un electrodo E-6010.

Composición química (típica) del metal depositado:

C 0,11%; Mn 0,41%; Si 0,23%; P 0,010%; S 0,017%

Características típicas del metal depositado (según norma AWS: A5.1/A5.1M-04):

Resultados de pruebas de tracción con probetas de metal de aporte	Requerimientos	Energía Absorbida Ch-v	Requerimientos
Resistencia a la tracción : 495 MPa Límite de fluencia : 424 MPa Alargamiento en 50 mm : 27%	430 MPa 330 MPa 22%	34J a -30°C	27J a -30°C

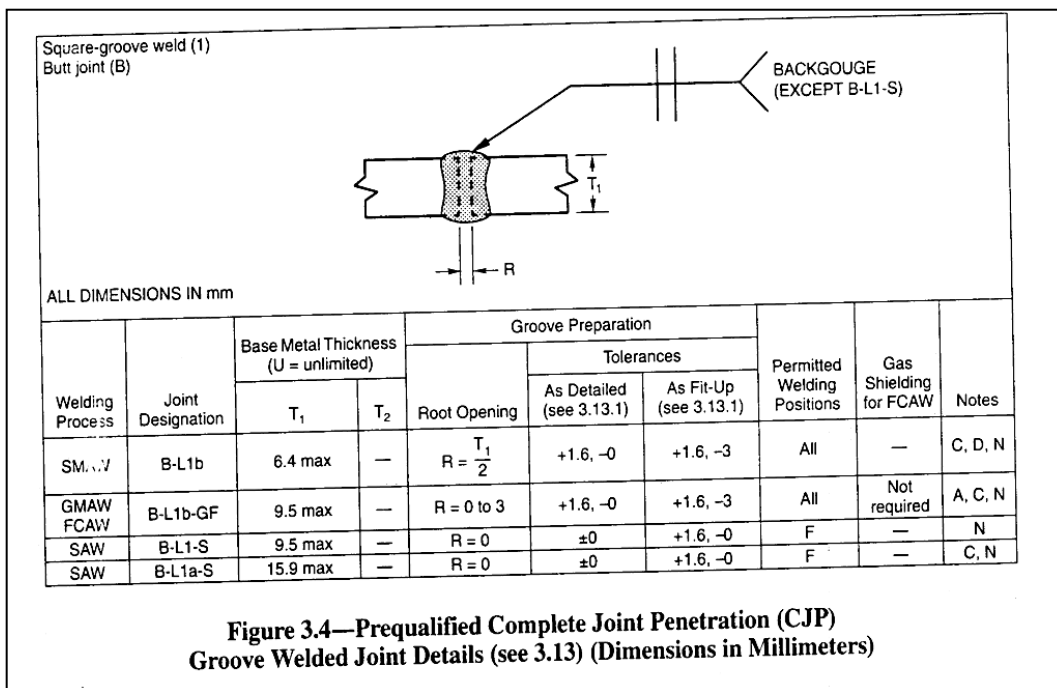
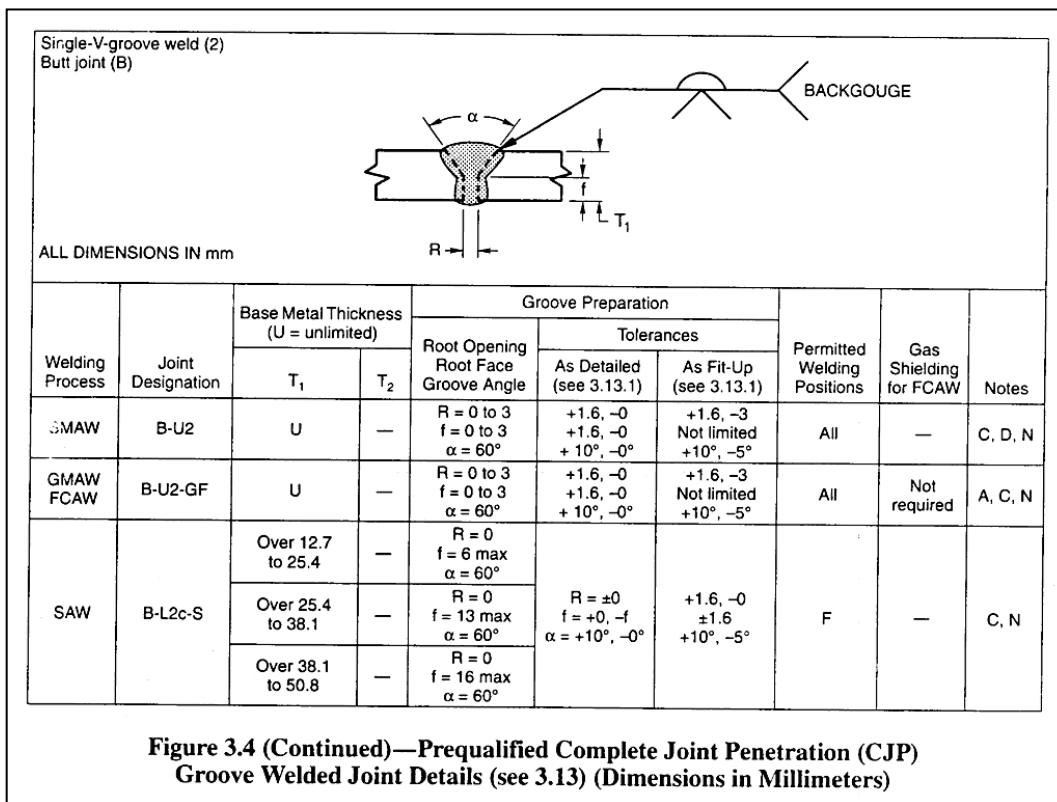
Amperajes recomendados:

Diámetro mm	Longitud mm	Amperaje		Electrodos x kg aprox.
		mín.	máx.	
2,4	300	50	90	74
3,2	350	80	120	34
4,0	350	120	160	24
4,8	350	160	220	17

Fuente: Manual Indura

ANEXO 1.3

DISEÑO DE JUNTAS SOLDADAS



Fuente: Norma AWS D1.1

ANEXO 1.4

PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ACERO A 36



Acero al carbono estructural de acuerdo al estándar ASME/ASTM A 36/A 36M

Uso:

Este grado se utiliza principalmente pernado, atornillado, o soldados en la construcción de puentes y edificios, y para propósitos estructurales en general.

Composición química acero A36

	Hasta 3/4 in.	Sobre 3/4 in. hasta 1-1/2 in.	Sobre 1-1/2 in. hasta 2-1/2 in.	Sobre 2-1/2 hasta 4 in.	Sobre 4 in.
Carbono	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29
Manganeso	--	.80/1.20	.85/1.20	.85/1.20	.85/1.20
Fósforo	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Azufre	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Silicio	.40 max	.40 max	.15/.40	.15/.40	.15/.40
Cobre min % cuando se especifica de acero de cobre	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

* Nota: Por cada reducción de 0,01% por debajo del máximo especificado de carbono, un aumento del 0,06% de manganeso por encima de la cantidad máxima prevista será permitido, hasta el máximo de 1,35%.

Propiedades mecánicas acero A36

Resistencia a la tracción:	58,000 - 80,000 psi [400-550 MPa]
Min. Punto de fluencia:	36,000 psi [250 MPa]
Elongación en 8":	20% min
Elongación en 2":	23% min

Fuente: <http://www.spanish.phione.co.uk/products/general-structure-and-welding-steel/astm-structural-steel/astm-a36>

ANEXO 2

NORMAS ASME

ANEXO 2.1

NORMA ASME V –ART. 7

ARTICLE 7

2007 SECTION V

ARTICLE 7 MAGNETIC PARTICLE EXAMINATION

T-710 SCOPE

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

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

T-720 GENERAL

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

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

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

T-721 Written Procedure Requirements

T-721.1 Requirements. Magnetic particle examination shall be performed in accordance with a written procedure, which shall, as a minimum, contain the requirements listed

in Table T-721. The written procedure shall establish a single value, or range of values, for each requirement.

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

T-730 EQUIPMENT

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

T-731 Examination Medium

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

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

(b) Particles. Dry and wet particles and suspension vehicles should be in accordance with SE-709.

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

TABLE T-721
REQUIREMENTS OF A MAGNETIC PARTICLE EXAMINATION PROCEDURE

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

T-740 MISCELLANEOUS REQUIREMENTS

T-741 Surface Conditioning

T-741.1 Preparation

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

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

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

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

T-741.2 Nonmagnetic Surface Contrast Enhancement. Nonmagnetic surface contrasts may be applied by the examiner to uncoated surfaces, only in amounts sufficient to enhance particle contrast. When nonmagnetic surface contrast enhancement is used, it shall be demonstrated that indications can be detected through the enhancement.

Thickness measurement of this nonmagnetic surface contrast enhancement is not required.

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

T-750 TECHNIQUE

T-751 Techniques

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

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

T-752 Prod Technique

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

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

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

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

T-753 Longitudinal Magnetization Technique

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

T-753.3 Magnetizing Current. The current required to obtain the necessary magnetizing field strength shall be determined by dividing the ampere-turns obtained in steps T-753.2(a) or (b) by the number of turns in the coil as follows:

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

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

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

T-754 Circular Magnetization Technique

T-754.1 Direct Contact Technique

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

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

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

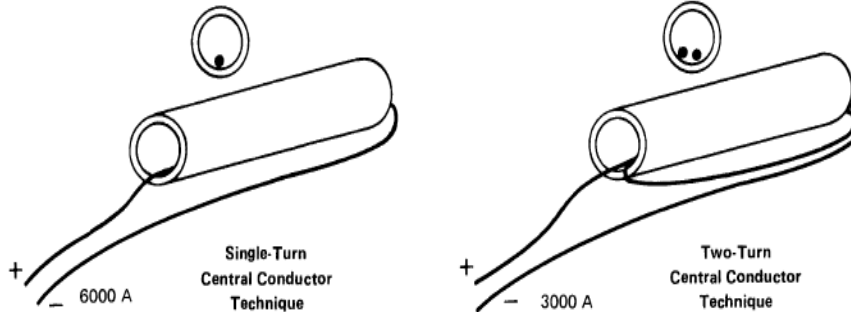
(2) Parts with geometric shapes other than round with the greatest cross-sectional diagonal in a plane at right angles to the current flow shall determine the inches to be used in T-754.1(b)(1) above.

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

T-754.2 Central Conductor Technique

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

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



examined, the conductor shall be positioned close to the internal surface of the cylinder. When the conductor is not centered, the circumference of the cylinder shall be examined in increments. Field strength measurements in accordance with T-764 shall be used, to determine the extent of the arc that may be examined for each conductor position or the rules in T-754.2(c) below may be followed. Bars or cables, passed through the bore of a cylinder, may be used to induce circular magnetization.

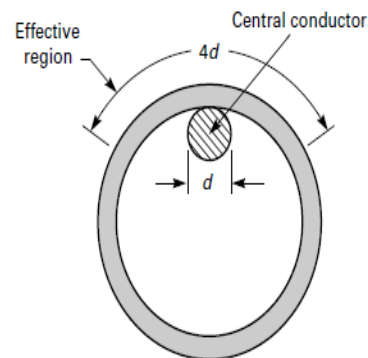
(b) *Magnetizing Current.* The field strength required shall be equal to that determined in T-754.1(b) for a single-turn central conductor. The magnetic field will increase in proportion to the number of times the central conductor cable passes through a hollow part. For example, if 6000 amperes are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

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

T-755 Yoke Technique

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

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



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

T-756 Multidirectional Magnetization Technique

T-756.1 Magnetizing Procedure. For this technique, magnetization is accomplished by high amperage power packs operating as many as three circuits that are energized one at a time in rapid succession. The effect of these rapidly alternating magnetizing currents is to produce an overall magnetization of the part in multiple directions. Circular or longitudinal magnetic fields may be generated in any combination using the various techniques described in T-753 and T-754.

T-756.2 Magnetic Field Strength. Only three phase, full-wave rectified current shall be used to magnetize the part. The initial magnetizing current requirements for each circuit shall be established using the previously described guidelines (see T-753 and T-754). The adequacy of the magnetic field shall be demonstrated using artificial flaw

shims or a pie-shaped magnetic particle field indicator in accordance with T-764. A Hall-Effect probe gaussmeter shall not be used to measure field adequacy for the multidirectional magnetization technique. An adequate field shall be obtained in at least two nearly perpendicular directions, and the field intensities shall be balanced so that a strong field in one direction does not overwhelm the field in the other direction. For areas where adequate field strengths cannot be demonstrated, additional magnetic particle techniques shall be used to obtain the required two-directional coverage.

T-760 CALIBRATION

T-761 Frequency of Calibration

T-761.1 Magnetizing Equipment

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

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

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

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

T-762 Lifting Power of Yokes

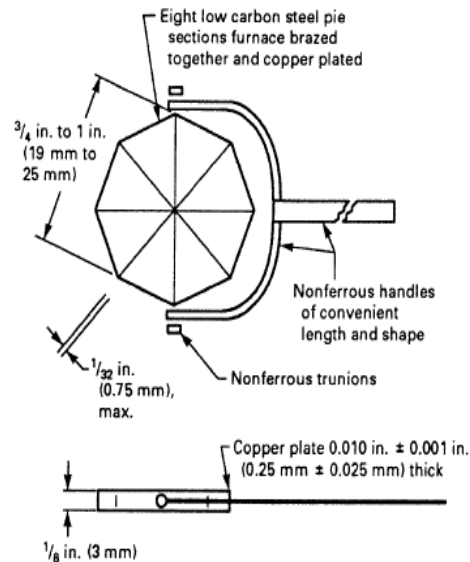
(a) Prior to use, the magnetizing power of electromagnetic yokes shall have been checked within the past year. The magnetizing power of permanent magnetic yokes shall be checked daily prior to use. The magnetizing power of all yokes shall be checked whenever the yoke has been damaged or repaired.

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

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

(d) Each weight shall be weighed with a scale from a reputable manufacturer and stenciled with the applicable nominal weight prior to first use. A weight need only be

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



verified again if damaged in a manner that could have caused potential loss of material.

T-763 Gaussmeters

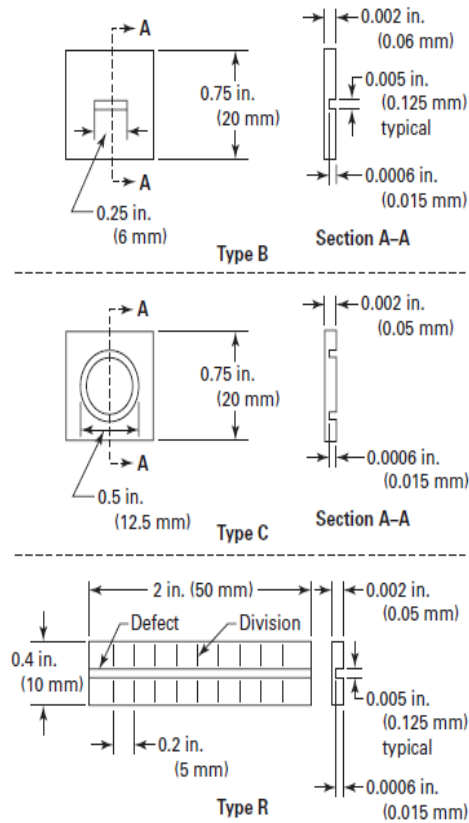
Hall-Effect probe gaussmeters used to verify magnetizing field strength in accordance with T-754 shall be calibrated at least once a year or whenever the equipment has been subjected to a major repair, periodic overhaul, or damage. If equipment has not been in use for a year or more, calibration shall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

T-764 Magnetic Field Adequacy and Direction

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

T-764.1.1 Pie-Shaped Magnetic Particle Field Indicator. The indicator, shown in Fig. T-764.1.1, shall be positioned on the surface to be examined, such that the copper-plated side is away from the inspected surface. A suitable field strength is indicated when a clearly defined

07 FIG. T-764.1.2.1 ARTIFICIAL FLAW SHIMS



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

line (or lines) of magnetic particles form(s) across the copper face of the indicator when the magnetic particles are applied simultaneously with the magnetizing force. When a clearly defined line of particles is not formed, the magnetizing technique shall be changed as needed. Pie-type indicators are best used with dry particle procedures.

07 **T-764.1.2 Artificial Flaw Shims.** One of the shims shown in Fig. T-764.1.2.1 or Fig. T-764.1.2.2 whose orientation is such that it can have a component perpendicular to the applied magnetic field shall be used. Shims with linear notches shall be oriented so that at least one notch is perpendicular to the applied magnetic field. Shims with only circular notches may be used in any orientation. Shims shall be attached to the surface to be examined, such that the artificial flaw side of the shim is toward the inspected surface. A suitable field strength is indicated when a clearly defined line (or lines) of magnetic particles, representing the 30% depth flaw, appear(s) on the shim face when

magnetic particles are applied simultaneously with the magnetizing force. When a clearly defined line of particles is not formed, the magnetizing technique shall be changed as needed. Shim-type indicators are best used with wet particle procedures.

NOTE: The circular shims shown in Fig. T-764.1.2.2 illustration (b) also have flaw depths less and greater than 30%.

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

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

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

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

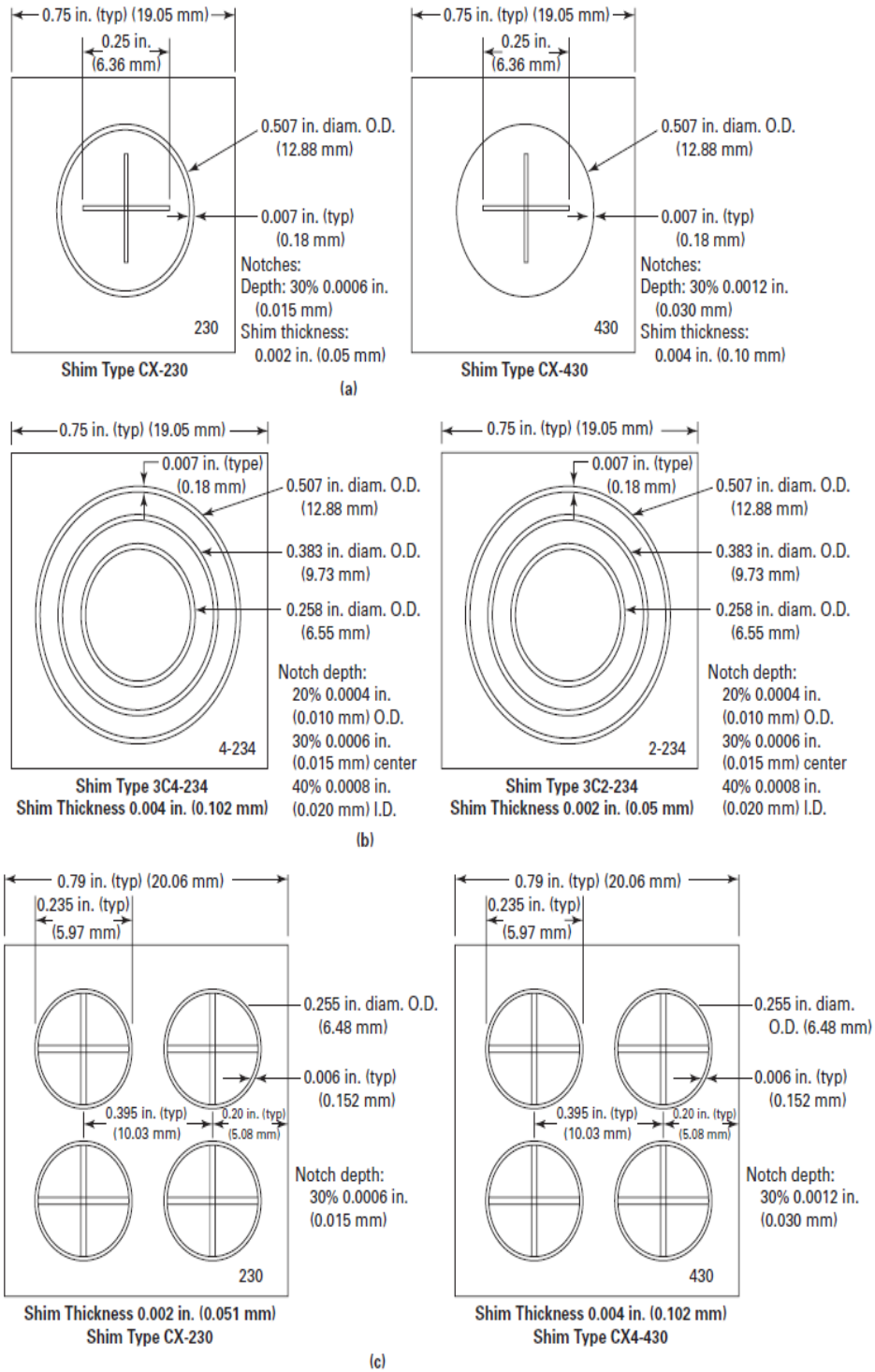
T-765 Wet Particle Concentration and Contamination

Wet Horizontal Units shall have the bath concentration and bath contamination determined by measuring its settling volume. This is accomplished through the use of an ASTM Test Method D 96 pear-shaped centrifuge tube with a 1-mL stem (0.05-mL divisions) for fluorescent particle suspensions or a 1.5-mL stem (0.1-mL divisions) for non-fluorescent suspensions. Before sampling, the suspension should be run through the recirculating system for at least 30 min to ensure thorough mixing of all particles which could have settled on the sump screen and along the sides or bottom of the tank.

T-765.1 Concentration. Take a 100-mL portion of the suspension from the hose or nozzle, demagnetize and allow

07

FIG. T-764.1.2.2 ARTIFICIAL FLAW SHIMS



it to settle for approximately 60 min with petroleum distillate suspensions or 30 min with water-based suspensions before reading. The volume settling out at the bottom of the tube is indicative of the particle concentration in the bath.

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

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

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

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

T-766 System Performance of Horizontal Units

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

(a) *Ketos (Betz) Test Ring Material.* The tool steel (Ketos) ring should be machined from AISI 01 material in accordance with Fig. T-766.1. Either the machined ring or the steel blank should be annealed at 1650°F (900°C), cooled 50°F (28°C) per hour to 1000°F (540°C) and then air cooled to ambient temperature to give comparable results using similar rings that have had the same treatment. Material and heat treatment are important variables. Experience indicates controlling the softness of the ring by hardness (90 to 95 HRB) alone is insufficient.

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

T-770 EXAMINATION

T-771 Preliminary Examination

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

T-772 Direction of Magnetization

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

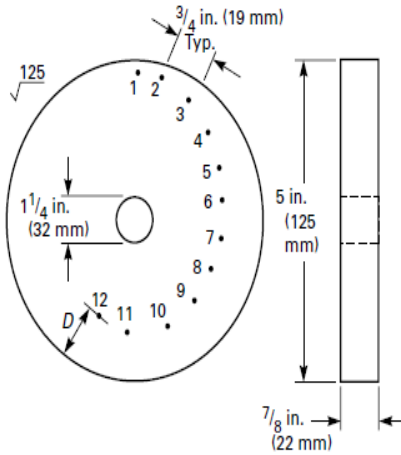
T-773 Method of Examination

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

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

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

FIG. T-766.1 KETOS (BETZ) TEST RING



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

NOTES:

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

GENERAL NOTES:

- (a) All dimensions are ± 0.03 in. (± 0.8 mm) or as noted in Notes (1) and (2).
- (b) All dimensions are in inches, except as noted.
- (c) Material is ANSI 01 tool steel from annealed round stock.
- (d) The ring may be heat treated as follows: Heat to 1400°F to 1500°F (760°C to 790°C). Hold at this temperature for one hour. Cool to a minimum rate of 40°F/h (22°C/h) to below 1000°F (540°C). Furnace or air cool to room temperature. Finish the ring to RMS 25 and protect from corrosion.

T-774 Examination Coverage

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

T-775 Rectified Current

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

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

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

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

T-776 Excess Particle Removal

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

T-777 Interpretation

The interpretation shall identify if an indication as false, nonrelevant, or relevant. False and nonrelevant indications shall be proven as false or nonrelevant. Interpretation shall

be carried out to identify the locations of indications and the character of the indication.

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

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

- (a) It shall be performed in a darkened area.
- (b) Examiners shall be in a darkened area for at least 5 min prior to performing examinations to enable their eyes to adapt to dark viewing. Glasses or lenses worn by examiners shall not be photosensitive.
- (c) Black lights shall achieve a minimum of 1000 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ on the surface of the part being examined throughout the examination.
- (d) Reflectors and filters should be checked and, if necessary, cleaned prior to use. Cracked or broken filters shall be replaced immediately.
- (e) The black light intensity shall be measured with a black light meter prior to use, whenever the light's power source is interrupted or changed, and at the completion of the examination or series of examinations.

T-778 Demagnetization

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

T-779 Post-Examination Cleaning

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

T-780 EVALUATION

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

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

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

T-790 DOCUMENTATION

T-791 Multidirectional Magnetization Technique Sketch

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

T-792 Recording of Indications

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

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

T-793 Examination Records

For each examination, the following information shall be recorded:

- (a) procedure identification and revision
- (b) magnetic particle equipment and type of current
- (c) magnetic particles (visible or fluorescent, wet or dry)
- (d) examination personnel identity and if required by referencing Code Section, qualification level
- (e) map or record of indications per T-792
- (f) material and thickness
- (g) lighting equipment
- (h) date of examination

T-794 Performance Demonstration

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

ARTICLE 7

MANDATORY APPENDICES

APPENDIX I — MAGNETIC PARTICLE EXAMINATION USING THE AC YOKE TECHNIQUE ON FERRITIC MATERIALS COATED WITH NONMAGNETIC COATINGS

I-710 SCOPE

This Appendix provides the Magnetic Particle examination methodology and equipment requirements applicable for performing Magnetic Particle examination on ferritic materials with nonmagnetic coatings.

I-720 GENERAL

Requirements of Article 7 apply unless modified by this Appendix.

I-721 Written Procedure Requirements

I-721.1 Requirements. Magnetic Particle examination shall be performed in accordance with a written procedure which shall, as a minimum, contain the requirements listed in Tables T-721 and I-721. The written procedure shall establish a single value, or range of values, for each requirement.

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

I-722 Personnel Qualification

Personnel qualification requirements shall be in accordance with the referencing Code Section.

I-723 Procedure/Technique Demonstration

The procedure/technique shall be demonstrated to the satisfaction of the Inspector in accordance with the requirements of the referencing Code Section.

I-730 EQUIPMENT

I-730.1 The magnetizing equipment shall be in accordance with Article 7.

I-730.2 When the dry powder technique is used, a powder blower shall be utilized for powder application. Hand squeezed particle applicators shall not be used when the dry powder technique is utilized.

I-730.3 Magnetic particles shall contrast with the component background.

I-730.4 Nonconductive materials such as plastic shim stock may be used to simulate nonconductive nonmagnetic coatings for procedure and personnel qualification.

I-740 MISCELLANEOUS REQUIREMENTS

I-741 Coating Thickness Measurement

The procedure demonstration and performance of examinations shall be preceded by measurement of the coating thickness in the areas to be examined. If the coating is nonconductive, an eddy current technique or magnetic technique may be used to measure the coating thickness. The magnetic technique shall be in accordance with ASTM D 1186, Standard Test Methods for Nondestructive Measurement of Dry Film Thickness of Nonmagnetic Coatings Applied to a Ferrous Base. When coatings are conductive and nonmagnetic, a coating thickness technique shall be used in accordance with D 1186. Coating measurement equipment shall be used in accordance with the equipment manufacturer's instructions. Coating thickness measurements shall be taken at the intersections of a 2 in. (50 mm) maximum grid pattern over the area of examination and at least one-half the maximum yoke leg separation beyond the examination area. The thickness shall be the mean of three separate readings within $\frac{1}{4}$ in. (6 mm) of each intersection.

TABLE I-721
REQUIREMENTS OF AC YOKE TECHNIQUE ON COATED FERRITIC COMPONENT

Requirement	Essential Variable	Nonessential Variable
Identification of surface configurations to be examined, including coating materials, maximum qualified coating thickness, and product forms (e.g., base material or welded surface)	X	...
Surface condition requirements and preparation methods	X	...
Manufacturer and model of AC yoke	X	...
Manufacturer and type of magnetic particles	X	...
Minimum and maximum pole separation	X	...
Identification of the steps in performing the examination	X	...
Minimum lighting intensity and AC yoke lifting power requirements (as measured in accordance with Technique Qualification (I-721.2))	X	...
Methods of identifying flaw indications and discriminating between flaw indications and false or nonrelevant indications (e.g., magnetic writing or particles held by surface irregularities)	X	...
Instructions for identification and confirmation of suspected flaw indications	X	...
Method of measuring coating thickness	...	X
Recording criteria	...	X
Personnel qualification requirements unique to this technique	...	X
Reference to the procedure qualification records	...	X

I-750 TECHNIQUE

I-751 Technique Qualification

(a) A qualification specimen is required. The specimen shall be of similar geometry or weld profile and contain at least one surface crack no longer than the maximum flaw size allowed in the applicable acceptance criteria. The material used for the specimen shall be the same specification and heat treatment as the coated ferromagnetic material to be examined. As an alternative to the material requirement, other materials and heat treatments may be qualified provided:

(1) The measured yoke maximum lifting force on the material to be examined is equal to or greater than the maximum lifting force on the qualification specimen material. Both values shall be determined with the same or comparable equipment and shall be documented as required in I-751(c).

(2) All the requirements of I-751(b) through (g) are met for the alternate material.

(b) Examine the uncoated specimen in the most unfavorable orientation expected during the performance of the production examination.

(c) Document the measured yoke maximum lifting power, illumination levels, and the results.

(d) Measure the maximum coating thickness on the item to be examined in accordance with the requirements of I-741.

(e) Coat the specimen with the same type of coating, conductive or nonconductive, to the maximum thickness

measured on the production item to be examined. Alternately, nonconductive shim stock may be used to simulate nonconductive coatings.

(f) Examine the coated specimen in the most unfavorable orientation expected during the performance of the production examination. Document the measured yoke maximum lifting power, illumination level, and examination results.

(g) Compare the length of the indication resulting from the longest flaw no longer than the maximum flaw size allowed by the applicable acceptance criteria, before and after coating. The coating thickness is qualified when the length of the indication on the coated surface is at least 50% of the length of the corresponding indication prior to coating.

(h) Requalification of the procedure is required for a decrease in either the AC yoke lifting power or the illumination level, or for an increase in the coating thickness.

I-760 CALIBRATION

I-761 Yoke Maximum Lifting Force

The maximum lifting force of the AC yoke shall be determined at the actual leg separation to be used in the examination. This may be accomplished by holding the yoke with a 10 lb (4.5 kg) ferromagnetic weight between the legs of the yoke and adding additional weights, calibrated on a postage or other scale, until the ferromagnetic weight is released. The lifting power of the yoke shall be the combined weight of the ferromagnetic material and

the added weights, before the ferromagnetic weight was released. Other methods may be used such as a load cell.

I-762 Light Intensity Measurement

The black light or white light intensity (as appropriate) on the surface of the component shall be no less than that used in the qualification test. An appropriate calibrated black light and/or white light meter shall be used for the tests. Minimum white light or black light intensities shall meet the requirements of T-777.1 or T-777.2 as applicable.

I-762.1 White Light. The white light intensity shall be measured at the inspection surface. The white light intensity for the examination shall be no less than what was used in the qualification.

I-762.2 Black Light. The black light intensity shall be measured at the distance from the black light in the procedure qualification and at the same distance on the examination specimen. The black light intensity shall be no less than that used to qualify the procedure. In addition, the maximum white light intensity shall be measured as background light on the inspection surface. The background white light for the examination shall be no greater than what was used in the qualification.

I-770 EXAMINATION

(a) Surfaces to be examined, and all adjacent areas within at least 1 in. (25 mm), shall be free of all dirt, grease, lint, scale, welding flux and spatter, oil, and loose, blistered, flaking, or peeling coating.

(b) Examine the coated item in accordance with the qualified procedure.

I-780 EVALUATION

If an indication greater than 50% of the maximum allowable flaw size is detected, the coating in the area of the indication shall be removed and the examination repeated.

I-790 DOCUMENTATION

I-791 Examination Record

For each examination, the information required in the records section of T-793 and the following information shall be recorded:

- (a) identification of the procedure/technique
- (b) identification of the personnel performing and witnessing the qualification
- (c) description and drawings or sketches of the qualification specimen, including coating thickness measurements and flaw dimensions

- (d) equipment and materials used
- (e) illumination level and yoke lifting power
- (f) qualification results, including maximum coating thickness and flaws detected.

I-792 Performance Demonstration

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

APPENDIX II — GLOSSARY OF TERMS FOR MAGNETIC PARTICLE EXAMINATION

II-710 SCOPE

This Mandatory Appendix is used for the purpose of establishing standard terms and definition of terms which appear in Article 7, Magnetic Particle Examination.

II-720 GENERAL REQUIREMENTS

(a) The Standard Terminology for Nondestructive Examinations (ASTM E 1316) has been adopted by the Committee as SE-1316.

(b) SE-1316 Section 7 provides the definitions of terms listed in II-730(a).

(c) For general terms, such as *Indication*, *Flaw*, *Discontinuity*, *Evaluation*, etc., refer to Article 1, Mandatory Appendix I.

(d) Paragraph II-730(b) provides a list of terms and definitions, which are in addition to SE-1316 and are Code specific.

II-730 REQUIREMENTS

(a) The following SE-1316 terms are used in conjunction with this Article: ampere turns, black light, central conductor, circular magnetization, demagnetization, dry powder, full-wave direct current, half-wave current, longitudinal magnetization, magnetic field, magnetic field strength, magnetic particle examination, magnetic particle field indicator, magnetic particles, multidirectional magnetization, permanent magnet, prods, sensitivity, suspension, yoke.

(b) The following Code terms are used in conjunction with this Article:

black light intensity: a quantitative expression of ultraviolet irradiance.

magnetic flux: the concept that the magnetic field is flowing along the lines of force suggests that these lines are therefore "flux" lines, and they are called magnetic flux. The strength of the field is defined by the number of

TABLE III-721
 REQUIREMENTS FOR AN AC OR HWDC YOKE TECHNIQUE WITH FLUORESCENT PARTICLES
 IN AN UNDARKENED AREA

Requirement	Essential Variable	Nonessential Variable
Identification of source configurations to be examined and product forms (e.g., base material or welded surface)	X	...
Surface condition requirement and preparation methods	X	...
Yoke manufacturer and model	X	...
Particle manufacturer and designation	X	...
Minimum and maximum pole separation	X	...
Identification of steps in performing the examination	X	...
Maximum white light intensity	X	...
Maximum black light intensity	X	...
Personnel qualification requirements	...	X
Reference to the procedure qualification records	...	X

flux lines crossing a unit area taken at right angles to the direction of the lines.

rectified magnetic current: by means of a device called a rectifier, which permits current to flow in one direction only, alternating current can be converted to unidirectional current. This differs from direct current in that the current value varies from a steady level. This variation may be extreme, as in the case of the half-wave rectified single phase AC, or slight, as in the case of three-phase rectified AC.

half-wave rectified current AC: when a single-phase alternating current is rectified in the simplest manner, the reverse of the cycle is blocked out entirely. The result is a pulsating unidirectional current with intervals when no current at all is flowing. This is often referred to as "half-wave" or pulsating direct current.

full-wave rectified current: when the reverse half of the cycle is turned around to flow in the same direction as the forward half. The result is full-wave rectified current. Three-phase alternating current when full-wave rectified is unidirectional with very little pulsation; only a ripple of varying voltage distinguishes it from straight DC single-phase.

III-720 GENERAL

Requirements of Article 7 apply unless modified by this Appendix.

III-721 Written Procedure Requirements

III-721.1 Requirements. The requirements of Tables T-721 and III-721 apply.

III-721.2 Procedure Qualification. The requirements of Tables T-721 and III-721 apply.

III-723 Procedure Demonstration

The procedure shall be demonstrated to the satisfaction of the Inspector in accordance with the requirements of the referencing Code Section.

III-750 TECHNIQUE

III-751 Qualification Standard

A standard slotted shim(s) as described in T-764.1.2 shall be used as the qualification standard.

III-760 CALIBRATION

III-761 Black Light Intensity Measurement

The black light intensity on the surface of the component shall be no less than that used in the qualification test.

III-762 White Light Intensity Measurement

The white light intensity on the surface of the component shall be no greater than that used in the qualification test.

17

APPENDIX III — MAGNETIC PARTICLE EXAMINATION USING THE YOKE TECHNIQUE WITH FLUORESCENT PARTICLES IN AN UNDARKENED AREA

III-710 SCOPE

This Appendix provides the Magnetic Particle examination methodology and equipment requirements applicable for performing Magnetic Particle examinations using a yoke with fluorescent particles in an undarkened area.

III-770 EXAMINATION

The qualification standard shall be placed on a carbon steel plate and examined in accordance with the procedure to be qualified and a standard procedure that has previously been demonstrated as suitable for use. The standard procedure may utilize a visible or fluorescent technique. The flaw indications shall be compared; if the indication obtained under the proposed conditions appears the same or better than that obtained under standard conditions, the proposed procedure shall be considered qualified for use.

III-777 Interpretation

For interpretation, both black and white light intensity shall be measured with light meters.

III-790 DOCUMENTATION**III-791 Examination Record**

For each examination, the information required in T-793 and the following information shall be recorded:

- (a) procedure identification and revision qualified
- (b) standard procedure identification and revision
- (c) qualification standard identification
- (d) identification of the personnel performing and witnessing the qualification
- (e) equipment and materials used
- (f) illumination levels (white and black light)
- (g) qualification results

ANEXO 2.2

NORMA ASME V- ART. 9

ARTICLE 9

2007 SECTION V

ARTICLE 9 VISUAL EXAMINATION

T-910 SCOPE

(a) This Article contains methods and requirements for visual examination applicable when specified by a referencing Code Section. Specific visual examination procedures required for every type of examination are not included in this Article, because there are many applications where visual examinations are required. Some examples of these applications include nondestructive examinations, leak testing, in-service examinations and fabrication procedures.

(b) The requirements of Article 1, General Requirements, apply when visual examination, in accordance with Article 9, is required by a referencing Code Section.

(c) Definitions of terms for visual examination appear in Article 1, Appendix I – Glossary of Terms in Nondestructive Examination, and Article 9, Appendix I.

T-920 GENERAL

T-921 Written Procedure Requirements

T-921.1 Requirements. Visual examinations shall be performed in accordance with a written procedure, which shall, as a minimum, contain the requirements listed in Table T-921. The written procedure shall establish a single value, or range of values, for each requirement.

07 **T-921.2 Procedure Qualification.** When procedure qualification is specified by the referencing Code Section, a change of a requirement in Table T-921 identified as an essential variable shall require requalification of the written procedure by demonstration. A change of a requirement identified as a nonessential variable does not require requalification of the written procedure. All changes of essential or nonessential variables from those specified within the written procedure shall require revision of, or an addendum to, the written procedure.

T-921.3 Demonstration. The procedure shall contain or reference a report of what was used to demonstrate that the examination procedure was adequate. In general, a fine line $\frac{1}{32}$ in. (0.8 mm) or less in width, an artificial imperfection or a simulated condition, located on the surface or a similar surface to that to be examined, may be considered as a method for procedure demonstration. The

TABLE T-921
REQUIREMENTS OF A VISUAL EXAMINATION
PROCEDURE

Requirement (As Applicable)	Essential Variable	Non-Essential Variable
Change in technique used		
Direct to or from translucent	X	...
Direct to remote	X	...
Remote visual aids	X	...
Personnel performance requirements, when required	X	...
Lighting intensity (decrease only)	X	...
Configurations to be examined and base material product forms (pipe, plate, forgings, etc.)	...	X
Lighting equipment	...	X
Methods or tools used for surface preparation	...	X
Equipment or devices used for a direct technique	...	X
Sequence of examination	...	X
Personnel qualifications	...	X

condition or artificial imperfection should be in the least discernable location on the area surface to be examined to validate the procedure.

T-922 Personnel Requirements

The user of this Article shall be responsible for assigning qualified personnel to perform visual examinations to the requirements of this Article. At the option of the manufacturer, he may maintain one certification for each product, or several separate signed records based on the area or type of work, or both combined. Where impractical to use specialized visual examination personnel, knowledgeable and trained personnel, having limited qualifications, may be used to perform specific examinations, and to sign the report forms. Personnel performing examinations shall be qualified in accordance with requirements of the referencing Code Section.

T-923 Physical Requirements

Personnel shall have an annual vision test to assure natural or corrected near distance acuity such that they are

capable of reading standard J-1 letters on standard Jaeger test type charts for near vision. Equivalent near vision tests are acceptable.

T-930 EQUIPMENT

Equipment used for visual examination techniques, for example, direct, remote, or translucent, shall have the capabilities as specified in the procedure. Capabilities include, but are not limited to viewing, magnifying, identifying, measuring, and/or recording observations in accordance with requirements of the referencing Code Section.

T-950 TECHNIQUE

T-951 Applications

Visual examination is generally used to determine such things as the surface condition of the part, alignment of mating surfaces, shape, or evidence of leaking. In addition, visual examination is used to determine a composite material's (translucent laminate) subsurface conditions.

T-952 Direct Visual Examination

Direct visual examination may usually be made when access is sufficient to place the eye within 24 in. (600 mm) of the surface to be examined and at an angle not less than 30 deg to the surface to be examined. Mirrors may be used to improve the angle of vision, and aids such as a magnifying lens may be used to assist examinations. Illumination (natural or supplemental white light) for the specific part, component, vessel, or section thereof being examined is required. The minimum light intensity at the examination surface/site shall be 100 footcandles (1000 lux). The light source, technique used, and light level verification is required to be demonstrated one time, documented, and maintained on file.

T-953 Remote Visual Examination

In some cases, remote visual examination may have to be substituted for direct examination. Remote visual examination may use visual aids such as mirrors, telescopes, borescopes, fiber optics, cameras, or other suitable instruments. Such systems shall have a resolution capability at least equivalent to that obtainable by direct visual observation.

T-954 Translucent Visual Examination

Translucent visual examination is a supplement of direct visual examination. The method of translucent visual

examination uses the aid of artificial lighting, which can be contained in an illuminator that produces directional lighting. The illuminator shall provide light of an intensity that will illuminate and diffuse the light evenly through the area or region under examination. The ambient lighting must be so arranged that there are no surface glares or reflections from the surface under examination and shall be less than the light applied through the area or region under examination. The artificial light source shall have sufficient intensity to permit "candling" any translucent laminate thickness variations.

T-980 EVALUATION

T-980.1 All examinations shall be evaluated in terms of the acceptance standards of the referencing Code Section.

T-980.2 An examination checklist shall be used to plan visual examination and to verify that the required visual observations were performed. This checklist establishes minimum examination requirements and does not indicate the maximum examination which the Manufacturer may perform in process.

T-990 DOCUMENTATION

T-991 Report of Examination

T-991.1 A written report of the examination shall contain the following information:

- (a) the date of the examination
- (b) procedure identification and revision used
- (c) technique used
- (d) results of the examination
- (e) examination personnel identity, and, when required by the referencing Code Section, qualification level
- (f) identification of the part or component examined

T-991.2 Even though dimensions, etc., were recorded in the process of visual examination to aid in the evaluation, there need not be documentation of each viewing or each dimensional check. Documentation shall include all observation and dimensional checks specified by the referencing Code Section.

T-992 Performance Documentation

Documentation of performance demonstration shall be completed when required by the referencing Code Section.

T-993 Record Maintenance

Records shall be maintained as required by the referencing Code Section.

ARTICLE 9

MANDATORY APPENDIX

APPENDIX I — GLOSSARY OF TERMS FOR VISUAL EXAMINATION

I-910 SCOPE

This Mandatory Appendix is used for the purpose of establishing standard terms and definitions of terms related to Visual Examination which appear in Article 9.

I-920 GENERAL

(a) Article 30, SE-1316, Section 9, provides the definition of *footcandle (fc)*.

(b) Definitions of terms for visual examination and other methods appear in Article 1, Mandatory Appendix I, Glossary of Terms for Nondestructive Examination.

(c) The following Code terms are used in conjunction with Article 9:

artificial flaw: an intentional imperfection placed on the surface of a material to depict a representative flaw condition.

auxiliary lighting: an artificial light source used as a visual aid to improve viewing conditions and visual perception.

candling: see *translucent visual examination*.

direct visual examination: a visual examination technique performed by eye and without any visual aids

(excluding light source, mirrors, and/or corrective lenses).

enhanced visual examination: a visual examination technique using visual aids to improve the viewing capability, e.g., magnifying aids, borescopes, video probes, fiber optics, etc.

lux (Lx): a unit of illumination equal to the direct illumination on a surface that is everywhere one meter from a uniform point source of one candle intensity or equal to one lumen per square meter.

remote visual examination: a visual examination technique used with visual aids for conditions where the area to be examined is inaccessible for direct visual examination.

surface glare: reflections of artificial light that interfere with visual examination.

translucent laminate: a series of glass reinforced layers, bonded together, and having capabilities of transmitting light.

translucent visual examination: a technique using artificial lighting intensity to permit viewing of translucent laminate thickness variations (also called candling).

visual examination: a nondestructive examination method used to evaluate an item by observation, such as: the correct assembly, surface conditions, or cleanliness of materials, parts, and components used in the fabrication and construction of ASME Code vessels and hardware.

ANEXO 3

PARÁMETROS DE LOS DEFECTOS

AWS D1.1

176/Inspection

Table 6.1
Visual Inspection Acceptance Criteria¹ (see 6.9)

Discontinuity Category and Inspection Criteria	Statically Loaded Nontubular Connections	Cyclically Loaded Nontubular Connections	Tubular Connections (All Loads)
(1) Crack Prohibition The weld shall have no cracks	X	X	X
(2) Weld/Base-Metal Fusion Thorough fusion shall exist between adjacent layers of weld metal and between weld metal and base metal.	X	X	X
(3) Crater Cross Section All craters shall be filled to the full cross section of the weld, except for the ends of intermittent fillet welds outside of their effective length.	X	X	X
(4) Weld Profiles Weld profiles shall be in conformance with 5.24.	X	X	X
(5) Time of Inspection Visual inspection of welds in all steels may begin immediately after the completed welds have cooled to ambient temperature. Acceptance criteria for ASTM A514, A517, and A709 Grade 100 and 100 W steels shall be based on visual inspection performed not less than 48 hours after completion of the weld.	X	X	X
(6) Underrun A fillet weld in any single continuous weld shall be permitted to underrun the nominal fillet size specified by 1/16 in. (1.6 mm) without correction, provided that the undersize portion of the weld does not exceed 10% of the length of the weld. On web-to-flange welds on girders, no underrun is permitted at the ends for a length equal to twice the width of the flange.	X	X	X
(7) Undercut (A) For material less than 1 in. (25.4 mm) thick, undercut shall not exceed 1/32 in. (1 mm), except that a maximum 1/16 in. (1.6 mm) is permitted for an accumulated length of 2 in. (50 mm) in any 12 in. (305 mm). For material equal to or greater than 1 in. thick, undercut shall not exceed 1/16 in. for any length of weld. (B) In primary members, undercut shall be no more than 0.01 in. (0.25 mm) deep when the weld is transverse to tensile stress under any design loading condition. Undercut shall be no more than 1/32 in. (1 mm) deep for all other cases.	X	X	X
(8) Porosity (A) Complete joint penetration groove welds in butt joints transverse to the direction of computed tensile stress shall have no visible piping porosity. For all other groove welds and for fillet welds, the sum of the visible piping porosity 1/32 in. (1 mm) or greater in diameter shall not exceed 3/8 in. (10 mm) in any linear inch of weld and shall not exceed 3/4 in. (19 mm) in any 12 in. (305 mm) length of weld. (B) The frequency of piping porosity in fillet welds shall not exceed one in each 4 in. (100 mm) of weld length and the maximum diameter shall not exceed 3/32 in. (2 mm). Exception: for fillet welds connecting stiffeners to web, the sum of the diameters of piping porosity shall not exceed 3/8 in. (10 mm) in any linear inch of weld and shall not exceed 3/4 in. (19 mm) in any 12 in. (305 mm) length of weld. (C) Complete joint penetration groove welds in butt joints transverse to the direction of computed tensile stress shall have no piping porosity. For all other groove welds, the frequency of piping porosity shall not exceed one in 4 in. (100 mm) of length and the maximum diameter shall not exceed 3/32 in. (2 mm).	X	X	X

1. An "X" indicates applicability for the connection type; a shaded area indicates non-applicability.

Fuente: Norma AWS D1.1

ANEXO 4

SELECCIÓN DEL ELECTRODO

AWS A5.1

20/SPECIFICATION FOR COVERED CARBON STEEL ARC WELDING ELECTRODES

Table 10
Requirements for preparation of fillet weld test assemblies

AWS Classification	Electrode size		Plate size ^a						Position of welding	Size of fillet weld	
	in.	mm	Thickness (T)		Width, min		Length ^b , min (L)			in.	mm
			in.	mm	in.	mm	in.	mm			
E6010 and E6011	3/32 & 1/8	2.4 & 3.2	Not required		-	-	-	-	-	-	-
	5/32	4.0	3/8	9.5	3	75	12	300	V and OH	1/4 max	6.4
	3/16	4.8	3/8	9.5	3	75	12	300	V and OH	5/16 max	8.0
	7/32	5.6	Not required		-	-	-	-	-	-	-
	1/4	6.4	1/2	12.7	3	75	18	450	H	1/4 min	6.4
	5/16	8.0	Not required		-	-	-	-	-	-	-
E6012 and E6013	1/16 to 1/8 (incl.)	1.6 to 3.2 (incl.)	Not required		-	-	-	-	-	-	-
	5/32	4.0	3/8	9.5	3	75	12	300	V and OH	1/4 max	6.4
	3/16	4.8	1/2	12.7	3	75	12	300	V and OH	3/8 max	9.5
	7/32	5.6	Not required		-	-	-	-	-	-	-
	1/4	6.4	1/2	12.7	3	75	18	450	H	5/16 min	8.0
	5/16	8.0	1/2	12.7	3	75	18	450	H	5/16 min	8.0
E7014	3/32 & 1/8	2.4 & 3.2	Not required		-	-	-	-	-	-	-
	5/32	4.0	3/8	9.5	3	75	12	300	V and OH	5/16 max	8.0
	3/16	4.8	3/8	9.5	3	75	12	300	H	1/4 min	6.4
	7/32	5.6	Not required		-	-	-	-	-	-	-
	1/4	6.4	1/2	12.7	3	75	18	450	H	5/16 min	8.0
	5/16	8.0	1/2	12.7	3	75	18	450	H	5/16 min	8.0
E7015 and E7016	3/32 & 1/8	2.4 & 3.2	Not required		-	-	-	-	-	-	-
	5/32	4.0	3/8	9.5	3	75	12	300	V and OH	5/16 max	8.0
	3/16	4.8	3/8	9.5	3	75	12	300	H	3/16 min	4.8
	7/32	5.6	Not required		-	-	-	-	-	-	-
	1/4	6.4	1/2	12.7	3	75	18	450	H	5/16 min	8.0
	5/16	8.0	Not required		-	-	-	-	-	-	-
E7018	3/32 & 1/8	2.4 & 3.2	Not required		-	-	-	-	-	-	-
	5/32	4.0	3/8	9.5	3	75	12	300	V and OH	5/16 max	8.0
	3/16	4.8	3/8	9.5	3	75	12	300	H	1/4 min	6.4
	7/32	5.6	Not required		-	-	-	-	-	-	-
	1/4	6.4	1/2	12.7	3	75	18	450	H	5/16 min	8.0
	5/16	8.0	Not required		-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Norma AWS A5.1.

ANEXO 5

INFORMACIÓN TÉCNICA DEL YUGO

		7	CONTROL DE CALIDAD	7-05-20
07-05	U.S.A.	SISTEMA "MAGNAFLUX / MAGNAGLO" PARTICULAS MAGNETICAS / METODO SECO - HUMEDO		

EQUIPO PORTATIL "MAGNAFLUX / MAGNAGLO"

Características

Es un equipo de gran sensibilidad, diseñado para detectar fallas, trizaduras, porosidad, fallas de sobrecalentamientos o enfriamientos bruscos, etc., en todo material ferroso magnetizable.

El equipo trabaja en el principio de la deformación que un campo magnético sufre, al ser interrumpidas sus líneas de fuerza, por una trizadura u otra imperfección del material.

El campo magnético se forma con el

Yugo Y-6 o la Bobina L-10.

La falla aparece al colocar polvos metálicos, los que siguen las líneas de fuerza que saltan sobre la trizadura.

Puede usarse con Luz negra y Polvos Fluorescentes.

MAGNAFLUX®



Uso

Aviación, Talleres de motores o reparaciones de vehículos, Maestranzas, Ferrocarriles, Astilleros, Talleres de Soldadura de Temple, etc.

1.- EQUIPO Y-6 AC DE YUGO

Dígito	Catálogo	Cant.	Componentes
0705360-6	45292	1	Maleta
		1	Yugo Y-6, 220 VAC
		1	Polvo Rojo 8-A, 1Lb.
		1	Polvo Gris, 1Lb
		1	Paño limpiador
		1	Plumón Marcador de Metales
		3	Toallas Limpiadoras de Manos
		1	Manual de Instrucciones
		1	Pera para aplicar Polvo

2.- EQUIPO Y-8 DE YUGO, Con Bateria

No requiere conexión eléctrica durante la operación, es alimentado con batería recargable

Dígito	Catálogo	Descripción
0705361-4	6117710-01	1 Yugo Y-8. Con Bateria 220VAC
		1 Polvo Gris, 1Lb
		1 Paño limpiador
		1 Plumón Marcador de Metales
		3 Toallas Limpiadoras de Manos
		1 Instrucciones
		1 Pera para aplicar Polvo
		1 Maleta

Indicaciones de Uso		
1	Limpie la pieza con el "CLEANER".	
2	Colocar el YUGO en la pieza en dirección perpendicular a la supuesta fisura.	
3	Energize el YUGO y deslizar en el área a chequear.	
4	Aplique El polvo magnético mientras el YUGO está energizado.	
5	La indicación de la fisura aparecerá inmediatamente	

2.- ACCESORIOS Y REPUESTOS

Dígito	Catálogo	Descripción
0705355-K	-	YUGO YM-5 De imán permanente, sin caja ni accesorios.
0705365-7	43540	YUGO Y-6 Apertura Maxima 30cms., 3.6 metros de cable + tierra Maleta e Instrucciones, alimentación 220 VAC
0705370-3	50651	EQUIPO L-10 COIL KIT DE BOBINA 10" diámetro interior para 110VAC/50HZ, interruptor de pedal, 10mts de cable. Necesita un transformador de 110/220 Volts, de 1500 Watts. Equipo complementario del Y-6.

OPERACION MAGNAGLO: Debe adquirirse Lámpara de Luz Negra ZB-23-A y los productos Magnagló. Ver Lista 7-10-05 PRODUCTOS PARA OPERACION MAGNETICA: Ver Lista 7-10-00

VALPARAISO Tel: 32-951111 / Fax: 32-951128 Email: vignela@vignela.cl	SANTIAGO Tel: 2-7758885 / Fax: 2-7732036 Email: vignelan@vignela.cl	TALCAHUANO Tel: 41-548855 / Fax: 41-569102 Email: vigneta@vignela.cl	ANTOFAGASTA Tel: 55-453000 / Fax: 55-453039 Email: vignean@vignela.cl	PUERTO MONTT Tel: 65-950150 / Fax: 65-950144 Email: vignemont@vignela.cl
---	--	---	--	---

Fuente: Manual Magnaflux

