

41121
34



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
"CAMPUS ARAGÓN"**

**"DETECCIÓN DE GRIETAS SUPERFICIALES
POR FATIGA EN JUNTAS SOLDADAS CON EL
METODO DE A.C.F.M. (ALTERNATING CURRENT
FIELD MEASUREMENT)"**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL
PRESENTA:
MARIO ISRAEL RUIZ VAZQUEZ

ASESOR: M. EN I. DANIEL VELAZQUEZ VAZQUEZ

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

SAN JUAN DE ARAGON EDO. DE MEX. AGOSTO DEL 2003





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos.

Quiero agradecer con este trabajo...

A Dios...

...por haberme dado la oportunidad de **SER HOMBRE.**

A mis padres María y Mario...

...conducto divino de mi presencia aquí, por quienes sin sus infinitos y eternos cuidados, preocupaciones, sacrificios, fe en mí y devoción incondicionales; no hubiera tenido la opción de una educación ni la oportunidad de escribir estos agradecimientos, por haberme inculcado sus valores, por su guía y sobre todo, por su inmenso amor e interminable apoyo que hicieron de mí un hombre.

A mi esposa Gloria Izbeth...

...con todo mi amor para mi compañera, madre de mi hijo; fuente incansable e inagotable de amor, inspiración y apoyo en todo momento, por quien vivo y aspiro cada día a ser un hombre de bien.

A mi hijo Luis Ángel...

...la mejor motivación que puedo tener para ser mejor, mi motivo de vivir, mi maestro y agente viajero con quien amorosamente debo saldar la cuenta pendiente que tengo con mis padres.

A mis hermanos María Wendy y Ulises...

...como una palpable muestra de amor fraterno y motivación para ser mejores cada día.

A todos mis maestros...

...quienes me brindaron su conocimiento y experiencia, muchas veces menospreciadas; para que pudiera iniciar mi vida profesional con excelentes armas para atacar en el arduo campo de batalla del ambiente laboral.

Y a todo aquel que durante mi vida me ha dado una palabra de aliento, desprecio, amor, silencio, comprensión, éxito, consuelo, guía, regaño, fracaso, apoyo, miedo, determinación, resentimiento, fe, odio, cariño, frustración o consejo y que sirvieron para forjar mi carácter; a quienes me apoyaron siempre y de cualquier manera y en especial al apoyo de las familias Soto Lira y Guzmán Ramírez.

INFINITAMENTE GRACIAS.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Quiero agradecer de manera especial a mi director de tesis, mi amigo; **M. en I. Daniel Velázquez Vázquez** quien siempre me brindó su apoyo, su consejo, su guía y quien jamás perdió la fe en mí durante los tres años que tardé en concluir este trabajo para que yo presentara mi examen profesional.

Gracias **Daniel**

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

**DETECCIÓN DE GRIETAS
SUPERFICIALES POR FATIGA EN
JUNTAS SOLDADAS CON EL MÉTODO
DE A. C. F. M. (ALTERNATING
CURRENT FIELD MEASUREMENT)**

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	6
HISTORIA DE LAS TÉCNICAS ELECTROMAGNÉTICAS	8
CAPÍTULO 1. LAS PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS: CONCEPTOS GENERALES Y ESPECÍFICOS EN LA	
DETECCIÓN DE GRIETAS.....	10
GENERAL.....	10
TÉCNICAS ELECTROMAGNÉTICAS PARA INSPECCIÓN DE SOLDADURAS.....	13
ACPD (ALTERNATING CURRENT POTENTIAL DIFFERENCE)	14
CAPÍTULO 2 ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO.....	15
CIRCUITOS DE CORRIENTE DIRECTA.....	15
TEORÍA ELECTROMAGNÉTICA.....	16
CAPÍTULO 3. PRINCIPIOS BÁSICOS DE PRUEBAS DE CORRIENTES REMANENTES	19
EFECTOS ELECTROMAGNÉTICOS	21
DETECCIÓN Y GENERACIÓN DE CORRIENTES REMANENTES.....	23
GENERACIÓN DE CORRIENTES REMANENTES	24
DETECCIÓN DE CORRIENTES REMANENTES	24
FACTORES QUE AFECTAN LAS CORRIENTES REMANENTES	25
CAPÍTULO 4 LA TÉCNICA DE A. C. P. D. (ALTERNATING CURRENT POTENTIAL DIFFERENCE).....	29
PRINCIPIOS BÁSICOS	29
ACPD.....	29
CAPITULO 5 LA TÉCNICA DE A. C. F. M.....	33
BASES DE LA TÉCNICA	33
LIMITACIONES DE LAS TÉCNICAS ELECTROMAGNÉTICAS PARA LA INSPECCIÓN DE SOLDADURAS	37
CONDICIONES DE SUPERFICIE.	38
CAPITULO 6. EQUIPOS DE ACFM.....	39
TIPOS DE EQUIPO Y SOFTWARE.....	39
TIPOS DE SENSORES Sonda DE EQUIPO ACFM	40
CAPITULO 7. OPERACIONES DE LA COMPUTADORA RELACIONADAS CON LAS OPERACIONES DE	
ACFM 42	
TECLADO	42
WINDOWS.....	43
INSTALACION Y ACCESO AL PROGRAMA DE ACFM.....	44
ESTRUCTURA DE ARCHIVOS DE ACFM.....	45

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

USANDO LOS COMANDOS DE LA PANTALLA Y ARCHIVOS SONDA PARA ADQUIRIR DATOS.....	46
USO DE COMANDOS DE PANTALLA PARA ACCEDER Y PROCESAR DATOS GRABADOS.....	48
TRABAJO PRELIMINAR CON EQUIPO.....	49
NOMBRES DE ARCHIVOS Y DIRECTORIOS.....	50
HOJAS DE REPORTE, TITULOS DE PAGINAS E IMPRESIÓN.....	51
RESPALDANDO Y SALVANDO DATOS.....	52
CAPITULO 8. FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO A. C. F. M. PARA DETECCIÓN DE GRIETAS	
SUPERFICIALES DE FATIGA.....	53
PREPARACIÓN PREELIMINAR PARA LA EXPLORACIÓN.....	53
INTERPRETACIÓN DE SEÑALES PARA DETECCIÓN DE GRIETAS.....	54
SEÑALES DE GRIETAS.....	55
OTRAS FUENTES DE SEÑALES.....	59
ESTRATEGIAS GENERALES PARA LA IDENTIFICACIÓN DE GRIETAS Y UNA INVESTIGACIÓN MAS AMPLIA.....	61
INSPECCIÓN PARA DETECCIÓN DE GRIETAS.....	62
VERIFICACIÓN INICIAL EN COMPONENTE BAJO INSPECCIÓN.....	62
ESTABLECIENDO INDICADORES DE POSICIÓN.....	62
ORIENTACION DEL SENSOR.....	63
COMENZANDO LA EXPLORACIÓN.....	63
VELOCIDAD DE EXPLORACIÓN.....	64
RELACIÓN DE COMUNICACIONES Y VELOCIDAD DE MUESTREO.....	64
PATRÓN DE BARRIDO PARA TUBERÍAS (PARA GRIETAS DE FATIGA PARALELAS A LA SOLDADURA).....	64
PATRÓN DE BARRIDO PARA PIEZAS LINEALES.....	66
GRIETAS TRANSVERSALES.....	66
PATRONES DE BARRIDO PARA JUNTAS, ESQUINAS Y GEOMETRÍAS ESTRECHAS.....	67
CAPITULO 9 REVISIÓN DE LOS REQUISITOS DEL INFORME.....	70
PREPARACIÓN DEL ÁREA DE INSPECCIÓN.....	70
SONDAS.....	70
DIMENSIONAMIENTO DE DEFECTOS.....	73
CAPÍTULO 10 DIMENSIONAMIENTO DE LONGITUD.....	75
DEFECTOS SENCILLOS.....	75
MÚLTIPLES DEFECTOS.....	75
DIFICULTADES Y FUENTES DE ERROR.....	76
CAPITULO 11 DIMENSIONAMIENTO DE PROFUNDIDAD.....	77
GRIETAS AISLADAS.....	77

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

MÚLTIPLES DEFECTOS.....	78
CAUSAS DE ERRORES Y LIMITACIONES.....	78
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	80
BIBLIOGRAFIA.....	82
ANEXO.....	83
ÍNDICE DE TABLAS E ILUSTRACIONES.....	83

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

**DETECCIÓN DE GRIETAS
SUPERFICIALES POR FATIGA EN
JUNTAS SOLDADAS CON EL MÉTODO
DE A. C. F. M. (ALTERNATING
CURRENT FIELD MEASUREMENT)**

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

INTRODUCCIÓN.

El hombre ha modificado su entorno desde tiempos inmemoriales, obteniendo provecho de su medio y adaptándolo para satisfacer sus necesidades desde alimentación y resguardo hasta su necesidad de encontrar el objeto de su estancia en la tierra. Es durante este proceso que el hombre empieza a adecuar su medio ambiente para satisfacer una de las necesidades básicas: la de resguardarse de los elementos naturales, un lugar donde vivir.

Las necesidades del hombre crecen junto con su desarrollo intelectual, creándose por ejemplo la necesidad de asentarse cerca de donde hay buena caza y con el descubrimiento de la agricultura, establecer clanes cerca de las tierras fértiles iniciándose así el uso de materiales para construcción de viviendas que proporcionen la adecuada protección del embate de la naturaleza logrando así subsanar la necesidad básica de protección. Este primer uso de materiales para construcción trae implícita (como casi todo lo que hace el ser humano) la necesidad de encontrar mejoras en lo que ha descubierto además de crearse a sí mismo nuevas necesidades obtenidas de su propia evolución intelectual, como es el caso de la necesidad de protección por eventos naturales extraordinarios como la avenida de un río, construyendo para esto obras hidráulicas de contención y control del cauce del río; la necesidad de exploración, comunicación y la aparición del comercio crearon la necesidad de superar obstáculos como una cañada o un río dando lugar en mi opinión a la construcción de una de las estructuras más impresionantes, hermosas y cautivadoras que puede fabricar el hombre: los puentes. De igual manera la creación de nuevas necesidades acarrea consigo la construcción de nuevas estructuras en la evolución intelectual del ser humano.

La construcción de nuevas estructuras trajo consigo la necesidad del empleo de más y mejores materiales para construcción, y es en el avance en el conocimiento de materiales para construcción que hemos hecho uso del adobe, el hielo y la madera entre otros como materiales que encontramos y aprovechamos directamente de nuestro entorno para posteriormente concluir en nuestros días con el uso de materiales sólo soñados por la más febril imaginación: aleaciones, concretos de alta resistencia ($f_c = 700 \text{ kg/cm}^2$) y fibras de policarbonato ultraligeras y superresistentes.

Actualmente usamos de manera cotidiana el concreto y el acero como materiales básicos en la construcción, trabajamos el concreto armado y los perfiles estructurales creando

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

estructuras de concreto armado, acero o una combinación de ambos. Durante este pequeño viaje que he hecho no he considerado intencionalmente los reveses sufridos durante la adquisición del conocimiento y dominio de los materiales para construcción, es decir; estoy positivamente seguro de que hubo grandes fallas que se manifestaron con estructuras colapsadas y/o inutilizadas por presentar severos daños (o solo daños superficiales, pero el miedo es un compañero que nunca nos ha abandonado) e hicieron que esas estructuras en particular fueran desechadas para continuar experimentando en la búsqueda de mejores, más resistentes y durables materiales para construir las estructuras que son necesarias en nuestros días.

Creo que hasta aquí no me equivoco mucho acerca del origen de las estructuras creadas por el hombre como resultado de necesidades y de la evolución intelectual del mismo, pero estoy seguro de que si me equivoco en algo: no son sólo estas necesidades los factores únicos que motivaron el avance que estoy tratando de presentar aquí, existen otras necesidades y factores que se desarrollaron en algún momento de la evolución del hombre que influyeron e influyen notoriamente en la actualidad para tomar la decisión de construir o no una obra civil que satisfaga necesidad alguna del ser humano. Estos factores van desde lo meramente necesario hasta necesidades y factores creados por el hombre. Dichos factores pueden ser sociales, políticos, racistas y uno de los factores más importantes y muchas veces decisivo que afectan la construcción de una estructura en particular es el factor económico.

No construimos una estructura si no podemos costearla o si podemos no la construimos si no obtenemos un beneficio que en la mayoría de los casos es económico también. Es así como consideramos la relación costo-beneficio de una obra civil.

No nos gusta fallar, equivocarnos o que alguna creación nuestra no funcione, se descomponga, no sirva o no se mantenga en pie. Esa es una premisa que acompaña a todos y cada uno de nosotros hasta la tumba. Esta inherente característica del hombre trae consigo otra necesidad: la de que nuestras obras perduren. Esta necesidad, los reveses sufridos, las pérdidas económicas generadas y la curiosidad innata del mamífero del cual descendemos hizo que en algún momento de la investigación de los materiales constructivos se desprendiera y se desarrollara de manera paralela la necesidad de mantener las obras construidas en buen estado y funcionales, considerando además el hecho de que tampoco nos gusta perder poder económico; es que obtenemos como resultado el surgimiento del mantenimiento preventivo y

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

en ocasiones correctivo de una estructura como una forma de cuidar nuestra inversión, considerando así nuevamente la relación costo—beneficio donde por un coste mucho menor al de nuestra estructura podemos conservarla durante más tiempo obteniendo así mayores beneficios.

Los factores que hacen que una estructura falle o se debilite son muchos y muy variados, podemos ejemplificar con el solo intemperismo en condiciones atmosféricas adversas, ciclos de altas y bajas temperaturas durante el día y la noche, erosión eólica, las cargas propias de la estructura y las cargas cíclicas que conducen a la fatiga de los materiales.

La fatiga de los materiales es un fenómeno que se presenta donde hay cargas cíclicas, es decir; donde se repite de manera periódica una carga en una estructura durante un lapso prolongado de tiempo. Tal es el caso de muelles sometidos al golpeo constante del oleaje, puentes vehiculares, estructuras altas sometidas a la acción del viento que las hace oscilar continuamente y subestructuras de plataformas petroleras marinas fijas de acero costa afuera por nombrar algunas. La presencia de esfuerzos de fatiga en este tipo de estructuras conlleva la aparición de ciertos síntomas que no pasan desapercibidos: grietas.

Las grietas: el objeto de este trabajo. A través de este explicaré brevemente algunas técnicas de inspección conocidas como pruebas no destructivas, detallaré todo lo referente al equipo de inspección para detección de grietas, alcances y limitaciones del mismo y finalmente trataré de establecer una visión de las ventajas y desventajas de la técnica y aplicaciones a la ingeniería civil.

HISTORIA DE LAS TÉCNICAS ELECTROMAGNÉTICAS

Las Pruebas No Destructivas (PND) electromagnéticas probablemente fueron aplicadas por primera vez por el Dr. Foerster en los años 40's para la inspección de en la producción de tuberías mediante el uso de bobinas circulares. Después, el sistema original de corrientes remanentes de alta frecuencia fue desarrollado para detectar grietas en el avión comercial "Comet" a principios de los 50's. Los primeros instrumentos con carátulas planas de impedancia fueron introducidos a principios de los 70's por Automation Industries, posteriormente se desarrolló el osciloscopio de almacenamiento. La visualización en pantallas digitales apareció a principios de los años 80's.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La inspección de soldaduras pudo haber sido llevada a cabo por primera vez en cascos de embarcaciones usando el instrumento AMLEC a mediados de los años 60's, el cual fue desarrollado por Admiralty Materials Laboratory y comercializado posteriormente por Hocking Electronics (ahora Hocking NDT). Thorburn Technics produjo un instrumento de corrientes remanentes para inspección de soldadura a principios de los 80's seguido por un instrumento llamado AVIO de Hocking.

La teoría de ACFM se desarrolló en la University College London, definida por el Wolfson Institute como un desarrollo de otra técnica llamada ACPD. El trabajo Teórico fue transmitido a un instrumento por Technical Software Consultants y el primer sistema comercial se presentó en 1991.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPÍTULO 1. LAS PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS: CONCEPTOS GENERALES Y ESPECÍFICOS EN LA DETECCIÓN DE GRIETAS

GENERAL

Dentro de la necesidad de detección, medición y hasta cierto punto el control de las grietas y todo tipo de daño en una estructura, actualmente existen más de 50 técnicas de PND muy pocas de las cuales pueden ser aplicadas para la detección de grietas. Todas estas técnicas en combinación nos permiten determinar de una manera detallada, precisa, exacta y concisa el estado general y particular de nuestra estructura particularmente en cierto tipo de daños. Para el caso de este trabajo, algunas de éstas técnicas son usadas únicamente para detectar grietas y algunas para medirlas e inclusive algunas pocas de ellas pueden simultáneamente detectarlas y dimensionarlas. Cada técnica tiene sus propias ventajas, desventajas y aplicaciones tanto en la detección, dimensionamiento, clasificación y control específicamente de grietas en nuestra estructura como el caso particular que nos concierne en este trabajo: las grietas por fatiga.

Los métodos más comunes de PND fueron desarrollados por la industria aeroespacial y fueron adaptados por las industrias automotrices y navieras. Algunos de estos métodos estos métodos pueden aplicarse en un ambiente submarino como es el caso particular de plataformas petroleras fijas de acero costa afuera. A continuación describiremos algunas de estas técnicas utilizadas específicamente en el área de detección de grietas Las áreas de aplicación de los métodos normalmente usados para descubrir grietas por fatiga con éxito y clasificarlas según tamaño se describen en los párrafos de abajo.

Inspección visual. Esta técnica nos da una apreciación global de la condición general de la estructura, se utiliza no solamente para detección de grietas sino para detectar cualquier daño y que por sus dimensiones, características o estado avanzado del mismo es fácilmente apreciable a simple vista sin necesidad de aparatos que nos indiquen que existe un problema en el punto. Este tipo de inspección nos da la pauta o el criterio para decidir una inspección posterior más específica, con instrumentos o empleando otro tipo de inspección. Esta técnica

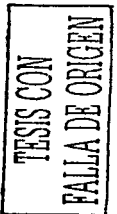
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

puede ser aplicada tanto en ambiente a la intemperie como en un ambiente submarino. Normalmente este tipo de inspección puede ser catalogada en dos categorías:

- a) *Inspección visual general.* Se trata de una inspección superficial donde será detectado cualquier daño significativamente grande o evidente en la estructura, incluye un informe de las condiciones del daño, su localización exacta en la estructura, dimensionamiento e inclusive se anexa un croquis del evento detectado para obtener una idea clara del estado del daño respecto a la estructura previo a la utilización de cualquier otro método posterior a la inspección visual. Cuando se realiza una inspección de este tipo en un ambiente submarino, generalmente se evalúa el crecimiento marino, los daños físicos y/o mecánicos mayores, la presencia de chatarra y socavación (en el caso de una plataforma petrolera marina al nivel del lecho marino) entre otras. La inspección de los buzos en estos casos puede ser ayudada por el uso de video y fotografía.
- b) *Inspección visual detallada.* La inspección visual detallada normalmente se llevará a cabo como parte de otra inspección. Es un preámbulo para la aplicación de otras técnicas como la inspección ultrasónica de soldadura, realizándose antes de la técnica seleccionada de inspección; con el objeto de detectar daños que no son evidentes a simple vista, pero que una inspección mas de cerca nos ayuda a descartar posibles errores o interpretaciones equívocas durante la aplicación de nuestro método de inspección que se aplicará posteriormente. Para el caso que nos preocupa, es particularmente importante detectar donde inicie cualquier defecto de soldadura que pueda afectar los resultados de la inspección.

La inspección visual detallada submarina normalmente requiere la remoción de crecimiento marino y de las capas de la pintura hasta llegar al metal para lograr una valoración más detallada del daño y de la condición del elemento estructural o nodo inspeccionado. Normalmente se establecen puntos de referencia de dato al inicio de la inspección para que un defecto pueda supervisarse continuamente. Normalmente la inspección visual detallada requiere la toma de video y fotografía.

La capacidad de descubrimiento submarino de grietas en una inspección visual detallada nunca ha sido determinada con exactitud en metales, pero es razonable asumir que



pueden descubrirse sólo grietas sustanciales, esto es difícil que ocurra para las grietas de menos de 200 mm de largo y 20 mm de profundidad.

Para llevar a cabo una inspección visual detallada en zona atmosférica, es necesario limpiar adecuadamente y proceder. La técnica es muy confiablemente para descubrir grandes grietas.

Inspección con partículas magnéticas (PM). La inspección de partículas magnéticas es el método más comúnmente usado para la detección de grietas superficiales. Sólo es aplicable a los materiales ferromagnéticos y la superficie a inspeccionar debe limpiarse a metal blanco. Es muy difícil obtener documentación permanente de resultados de inspecciones con PM, aunque se ha intentado el uso de fotografía y de la repetición de la inspección. El método consiste en inducir un campo magnético al elemento a inspeccionar y durante la inducción se aplican partículas magnéticas (una analogía burda sería el uso de rebabas pequeñas resultado del corte de material ferroso) y ante la presencia de una grieta en la inspección, las partículas magnéticas se acumulan en torno de la grieta, misma que se hace visible por el uso de tinta magnética negra en pintura de contraste blanca o tinta fluorescente magnética iluminada por luz Ultra Violeta (UV). En inspecciones realizadas en zona atmosférica el campo magnético es aplicado por una bobina (electroimán o imán permanente) y en inspecciones submarinas esto se logra por medio de bobinas envueltas alrededor de la muestra de prueba. Debe notarse que el campo magnético deberá aplicarse de tal forma que pase a través de la grieta.

La técnica de PM es normalmente buena para la detección de grietas y la determinación de la longitud de las mismas y usando el sistema de iluminación UV es favorable para descubrir grietas desde 0.5 mm pero el método no puede usarse para determinar la profundidad de la misma. Los sistemas de contraste de pinturas parecen ser muy variables en cuanto a los resultados y ha sucedido que se pasen por alto grietas de gran tamaño en algunos casos.

Líquidos penetrantes. Se usan los líquidos penetrantes extensivamente para el descubrimiento de grietas en muchas industrias pero generalmente no se usa cuando puede aplicarse el método de PM. Esta técnica puede ser usada para materiales no ferromagnéticos o para los tipos de metal diferentes en la soldadura y metal base. La técnica consiste en limpiar la superficie a inspeccionar con líquido limpiador, a continuación se aplica el líquido penetrante y transcurrido un tiempo se aplica el líquido revelador, el cual mostrará las grietas superficiales

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

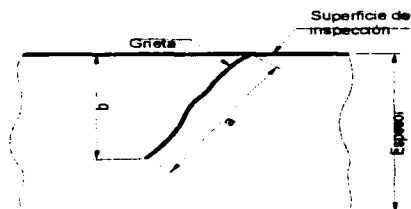
presentes en el área a inspeccionar. Es difícil de aplicar en soldaduras debido a que la superficie áspera presenta porosidad y se detectan defectos que no son relevantes para la inspección. Este método sólo puede ser usado en inspecciones atmosféricas.

Ultrasonido. El ultrasonido puede ser utilizado para descubrir importantes defectos subsuperficiales, detección de miembros inundados en subestructuras de plataformas marinas y evaluar espesores de pared en tuberías en servicio. A excepción de los equipos especializados para detección de miembros inundados y medidores de espesores, se requiere que el operador del equipo de ultrasonido sea capacitado en interpretación de resultados de inspección y la mayoría de estos equipos son de operación manual por lo que carecen de un sistema permanente de registro.

TÉCNICAS ELECTROMAGNÉTICAS PARA INSPECCIÓN DE SOLDADURAS

Las técnicas electromagnéticas incluyen corrientes remanentes (Hocking) y ACFM. Estas se usan principalmente en la detección de grietas superficiales. También pueden usarse equipos de propósitos generales para medir espesor de recubrimientos y clasificación de materiales dadas las muestras de calibración apropiadas.

Las principales ventajas de estas técnicas son que la inspección puede llevarse a cabo a través de las capas de la pintura y obtener una valoración inmediata de la profundidad de la grieta. Las capacidades de descubrimiento típicas del sistema son para grietas desde 15 mm de largo y 2 mm de profundidad, pero esto puede mejorarse al usar sondas especiales y en superficies lisas. Las técnicas electromagnéticas miden la profundidad de la grieta a lo largo de la misma y no a través del espesor del material como se muestra en la Figura 1.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura 1. Medición de grietas mediante equipos electromagnéticos

Las técnicas electromagnéticas normalmente son consideradas como difíciles de operar, esto es porque la identificación de un defecto normalmente se lleva a cabo por el reconocimiento de modelos de movimiento de cursores almacenados en un osciloscopio o pantalla de computadora, por lo que es necesario que el operador sea altamente capacitado y experimentado en la técnica para lograr una interpretación adecuada y exitosa de la inspección y en consecuencia una buena detección de defectos. Los más recientes desarrollos de equipo tienen la habilidad de grabar resultados en discos floppy lo que representa una ventaja en la etapa de entrenamiento del personal de inspección al poder ser usados para discernir defectos de los que no lo son.

ACPD (ALTERNATING CURRENT POTENTIAL DIFFERENCE)

La técnica de ACPD es utilizada para medir la profundidad de grieta en superficies donde se conoce que existen grietas, es necesario una limpieza profunda del área de inspección pero los resultados obtenidos son muy confiables. Como todas las técnicas electromagnéticas, el equipo ACPD dimensiona las grietas a lo largo de las mismas, no en el sentido del espesor del elemento (Figura 1).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPÍTULO 2 ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO

CIRCUITOS DE CORRIENTE DIRECTA

La corriente directa (DC) se origina de fuentes como una batería, un acumulador o mediante la corrección de la corriente alterna. La salida de la fuente (fuerza electromotriz o FEM) (E) esta dada en Volts. El flujo de corriente directa inicia cuando en un circuito de material conductor se unen las dos terminales de conexión en la fuente de corriente directa. La cantidad de electricidad fluyendo (carga) por unidad de tiempo se llama intensidad de corriente (I) y esta dada en Amperes. La corriente es proporcional a la FEM y a la resistencia (R) total del circuito la cual se mide en Ohms (Ω). Estas tres variables se encuentran relacionadas mediante la ecuación:

$$E = IR$$

Que es conocida como la **Ley de Ohm**.

Todos los conductores (excepto superconductores) tienen resistencia. La resistencia de un bloque de material es directamente proporcional a la longitud del mismo en la dirección del flujo de corriente e inversamente proporcional al área de la sección transversal (la resistencia se incrementa con la longitud y se reduce cuando la sección del área transversal aumenta).

Todos los materiales conductores tienen un valor diferente de esta proporción entre longitud y área de sección transversal y es conocida como resistividad (ρ). Esta dada en Ω -m.

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A}$$

Donde:

R = resistencia del material

ρ = Resistividad del material

l = longitud del conductor

A = área de sección transversal del material conductor

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El inverso de la resistividad se llama conductibilidad (σ) y esta dada en Ω/m

La conductividad es el parámetro más frecuentemente usado de cualquier material al que se le apliquen corrientes remanentes. Los valores de la conductividad de cualquier material están dados normalmente como un porcentaje de la resistividad del cobre. Algunos valores típicos de materiales en ingeniería se muestran a continuación:

Cobre: 100%

Aluminio: 40 a 60%

Aceros: 2 a 4%

TEORÍA ELECTROMAGNÉTICA

Si una corriente eléctrica pasa a través de un conductor se genera un campo magnético alrededor del conductor que es similar al campo magnético de un imán permanente y también tiene la capacidad de ser encendido o apagado si se interrumpe la corriente. El campo magnético es circular alrededor del alambre conductor pero este campo magnético puede ser aumentado mediante el desarrollo de una bobina con el alambre conductor mientras circule la corriente (Figura 2).

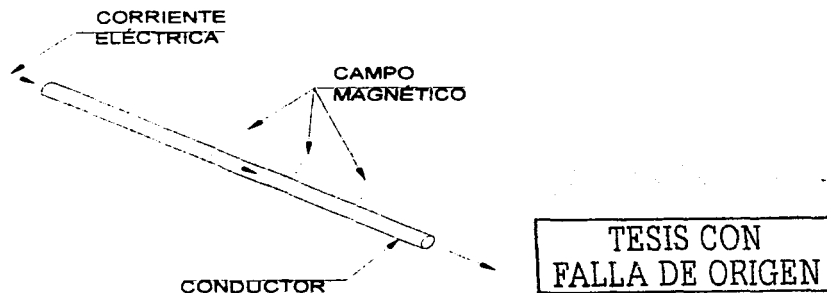


Figura 2. Campo magnético alrededor de un conductor mientras circula una corriente

Densidad de flujo magnético en materiales magnéticos. La densidad de flujo magnético se define como el número de líneas de fuerza de un campo magnético que pasan a través de un área de sección dada en un conductor. Se mide en Teslas (**T**) y su símbolo es **B**.

Permeabilidad. Si se ponen varios materiales dentro de un campo magnético se puede observar que los materiales experimentan una fuerza (materiales magnéticos) debido a la atracción del campo magnético hacia ellos. Esto causa el aumento del número de líneas que atraviesan el material a diferencia de que si el material no estuviera presente. La proporción del número de líneas que atraviesan un material oponiendo una resistencia por el aire se llama permeabilidad y su símbolo es μ_r . La definición de permeabilidad es la facilidad con la que un material conducirá un flujo magnético. Un valor típico de μ para el acero templado es 1000.

Histéresis magnética. Cuando un material ferromagnético se pone en un campo magnético alterno (**H**) la variación en la densidad de líneas de flujo (**B**) da lugar a la histéresis magnética. La palabra histéresis se deriva del griego retardo y se usa para describir una cosa que se retrasa con respecto a otra (ver figura 3)

De la gráfica en la figura 3 podemos observar que sin importar cuánto aumente **H**, **B** alcanza un valor de saturación, lo que significa que $\mu_r = 1$ y en este punto el material se comporta como no magnético. Si el campo aplicado (**H**) se reduce hasta llegar a cero, habrá todavía un valor de **B**. Esto se llama magnetismo residual. Puede ser relativamente permanente, como en imanes permanentes o es pequeño y se deteriora rápidamente como en el hierro.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

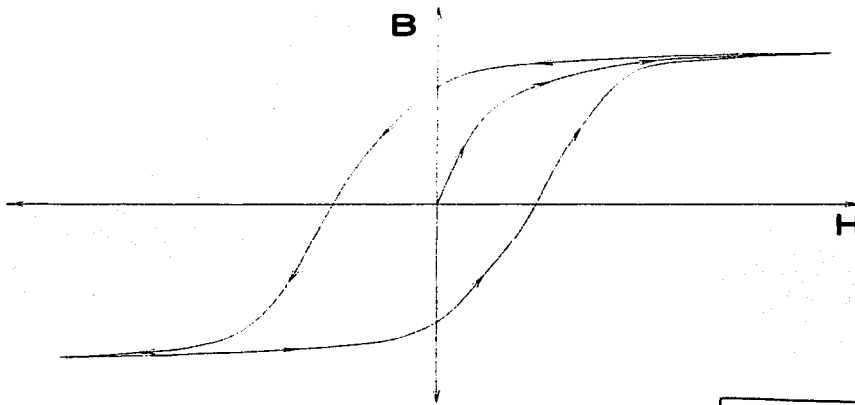


Figura 3. Ciclo de Histéresis

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Electromagnetismo. Siempre que una corriente eléctrica fluya a lo largo de un conductor, se formará un campo magnético alrededor del conductor perpendicular al flujo de la corriente. La dirección del flujo de magnetismo esta dada por la regla de la mano derecha de Flemings. Si el dedo pulgar de la mano derecha está extendido en la dirección de la corriente, entonces la dirección del campo magnético es dada por los dedos.

Bobinas. Si un alambre que conduce corriente se enrolla en varios giros, los campos magnéticos alrededor de cada eslabón del giro se incrementan, dando lugar a un campo magnético fuerte a través de lo que es ahora una bobina. La intensidad del campo magnético a través del rollo es una función de la corriente en la bobina y del número de giros.

Inductancia. La inductancia de rollo es una medida de su habilidad de guardar energía magnética. Aumentando el número de giros y el diámetro del rollo aumenta la inductancia (la corriente no tiene efecto). La inductancia también es incrementada por la suma de materiales magnéticos cerca del rollo, y disminuido por la suma de materiales no-magnéticos cerca del rollo.

CAPÍTULO 3. PRINCIPIOS BÁSICOS DE PRUEBAS DE CORRIENTES REMANENTES

Las corrientes remanentes son usadas ampliamente en la industria para la inspección de metales. El método de corrientes remanentes es sensible a las siguientes propiedades de los metales:

- Conductividad eléctrica
- Permeabilidad magnética
- Geometría

La capacidad de la técnica en aplicaciones individuales depende de:

- La frecuencia de la corriente alterna usada,
- El diseño del sensor
- La distancia del sensor a la superficie (lift off)

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Conductividad eléctrica (σ). La conductividad es la medida de la facilidad con la cual los electrones fluyen a través de un material y por lo tanto determinará la densidad de las corrientes remanentes.

La permeabilidad tiene un efecto dominante cuando son usadas en inspecciones las técnicas de corrientes remanentes. Las señales de corrientes remanentes creadas por las variaciones de permeabilidad en soldaduras ferrosas puede hacer que estas técnicas de inspección sean difíciles de aplicar aunque recientes investigaciones en la tecnología de las corrientes remanentes han resuelto ampliamente estos problemas. Medidas de la permeabilidad magnética pueden proveer información útil acerca de los materiales (por ejemplo: condición o tipo de metal)

Frecuencia. Una de las variables de la prueba más importantes es la frecuencia. Las pruebas de corrientes remanentes se llevan a cabo desde frecuencias de unos Hz hasta varios MHz. El efecto más importante de la frecuencia está en la profundidad de penetración del campo magnético en el metal de prueba.

Profundidad de penetración. Todos los métodos que usan corriente alterna están limitados por la profundidad de penetración de tales corrientes en una superficie conductora. En la figura 4 se muestra que la profundidad teórica de penetración (donde la corriente se reduce a 1/3 de su valor en la superficie) depende de la conductibilidad, permeabilidad magnética y la frecuencia de operación.

Se muestran cuatro ejemplos en la gráfica:

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El **acero** tiene alta permeabilidad y baja conductibilidad. La permeabilidad es el efecto dominante y da una profundidad más pequeña de penetración.

El **aluminio** tiene alta conductibilidad y baja permeabilidad lo que da una mediana profundidad de penetración.

El **cobre** tiene una conductibilidad más alta y por consiguiente menos penetración que el aluminio.

El **acero inoxidable** tiene baja conductibilidad y baja permeabilidad, lo que da la más alta profundidad de penetración.

El cobre aparece entre el acero y el aluminio.

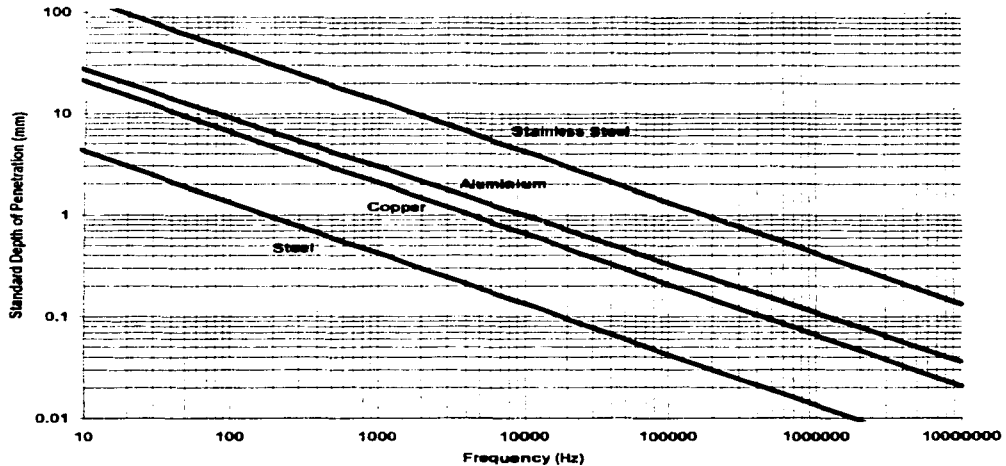


Figura 4. Frecuencia y Profundidad de Penetración

Las Aplicaciones particulares incluyen:

- Detección de grietas superficiales en conductores
- Detección de defectos subsuperficiales en no conductores magnéticos
- Inspección de tuberías y barras (producción)
- Inspección de tuberías in situ (por ejemplo: intercambiadores de calor y condensadores)
- Medición de espesores de capa:
 - Aislamiento en conductores
 - Conductor no magnético en conductor
 - Conductor en aislador

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

EFFECTOS ELECTROMAGNÉTICOS

En la primera mitad del siglo XIX muchos investigadores estaban trabajando en el naciente campo de electromagnetismo. Descubrieron tres efectos, si una vuelta de alambre es

conectada a un dispositivo de medición de corriente y éste se mueve a través de un campo magnético estático el dispositivo mide un flujo de corriente. Esto muestra que la electricidad puede ser generada por el magnetismo y es el principio del dínamo o generador. Un alambre conduciendo una corriente eléctrica experimenta una fuerza cuando es puesta cerca de un imán. También si la corriente eléctrica se invierte la FEM cambia de dirección. Este es el principio del motor eléctrico. El cambio de una corriente en un alambre causará otro flujo de corriente en un cable adyacente pero sin tener contacto directo con el cable. Este principio se conoce como el principio de inducción. Esto se ilustra en Figura 5.

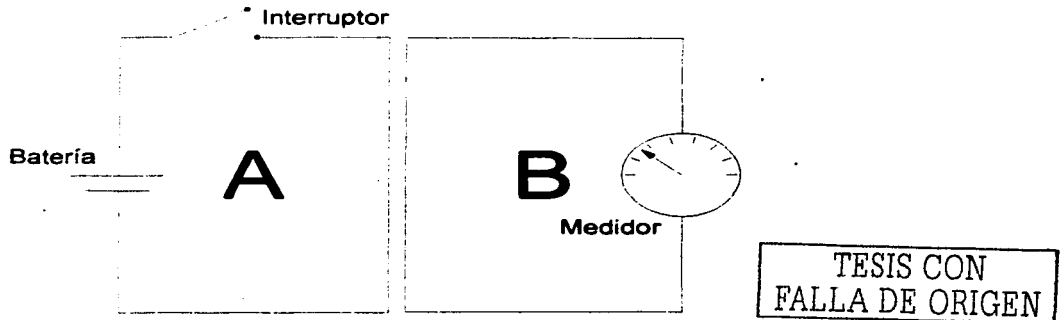


Figura 5. La corriente en un circuito produce corriente en un circuito adyacente.

Cerrando el interruptor en el circuito A causa un flujo de corriente en el circuito B (es importante notar que es la acción de cierre del interruptor lo que causa que la corriente fluya, un estado de corriente estable no tendría efecto). De este descubrimiento en el futuro vienen los transformadores, radio y transmisión de la televisión y las pruebas de corrientes remanentes. Si hay un flujo de corriente alterna en el circuito A, que siempre está cambiando, entonces también fluye una corriente alterna en el circuito B. Si el circuito B es reemplazado entonces por metal sólido entonces se establece un flujo de corriente en ese metal (que es la corriente remanente). Los efectos descritos arriba, sugieren que el eslabón entre los dos circuitos es un campo magnético. La sucesión completa de eventos se describe a continuación.

DETECCIÓN Y GENERACIÓN DE CORRIENTES REMANENTES

Bobinas. Una bobina es el medio para aumentar la intensidad del campo magnético producido por una corriente eléctrica. El campo de los alambres adyacentes en un rollo se suma para proporcionar un nuevo campo magnético que depende de la corriente y del número de giros en la bobina. Las bobinas son necesarias en las pruebas de corrientes remanentes para producir un campo magnético suficiente de una corriente limitada o una corriente suficiente de un campo magnético limitado. La forma del campo magnético de un rollo es similar la de un imán permanente. Esto puede representarse como una serie de líneas o, para simplicidad una sola flecha. Para corriente directa la punta de flecha está en el polo Norte; para corriente alterna esto sólo ocurre en un cierto punto en el tiempo pero se relaciona a las direcciones de corrientes que fluyen al mismo tiempo en el punto. El campo magnético varía con la misma frecuencia de la corriente alterna en la bobina. Los devanados del rollo también se muestran a veces colectivamente como en la Figura 6. En las prácticas de pruebas de corrientes remanentes un material ferrítico a menudo es usado para mas adelante concentrar y controlar el campo magnético. La ferrita normalmente está en el centro del rollo, y en algunas aplicaciones (sondas protegidas) también puede rodear la bobina.

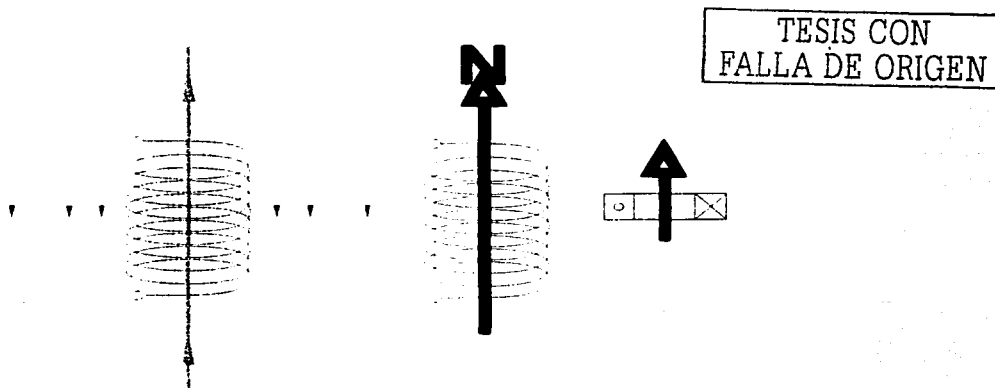


Figura 6. Representaciones del campo magnético.

GENERACIÓN DE CORRIENTES REMANENTES

Cuando la bobina se aproxima a un material conductor el campo magnético alterno (campo primario) atravesará el material. La bobina podría llevarse al final del material, o podría rodearlo, o estar dentro de un tubo, o indirecto a él. Como se discutió anteriormente sobre las corrientes remanentes, se inducirá una corriente en el material. Puede mostrarse que dicha corriente normalmente tiene trayectorias circulares perpendiculares al campo primario. El flujo de las corrientes remanentes en términos de magnitud, la fase y distribución dependen de factores que se discutirán mas adelante.

DETECCIÓN DE CORRIENTES REMANENTES

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Las corrientes remanentes circulan ahora por el material conductor, ¿cómo detectamos los cambios en ellas? Bien es posible ver que las trayectorias circulares tomadas por las corrientes remanentes son similares a la trayectoria redonda del alambre en una bobina y que las corrientes remanentes generan su propio campo magnético por consiguiente (el campo secundario) que de hecho se opone y modifica el campo primario. Esto modifica la corriente primaria tanto a la fase como a la amplitud. Si la corriente que fluye a través del campo primario se muestra en un medidor, entonces pueden verse variaciones en él. Si el medidor calibra a cero cuando sólo el campo primario está presente entonces este aumentará cuando la influencia del campo secundario se sienta. Alternativamente el cero puede establecerse para un campo secundario conocido (por ejemplo un defecto del material libre) y el cambio en la corriente primaria para el material defectuoso puede ser observado. La figura 7 muestra los campos y corrientes remanentes con la bobina adyacente al material y el medidor calibrado a cero.

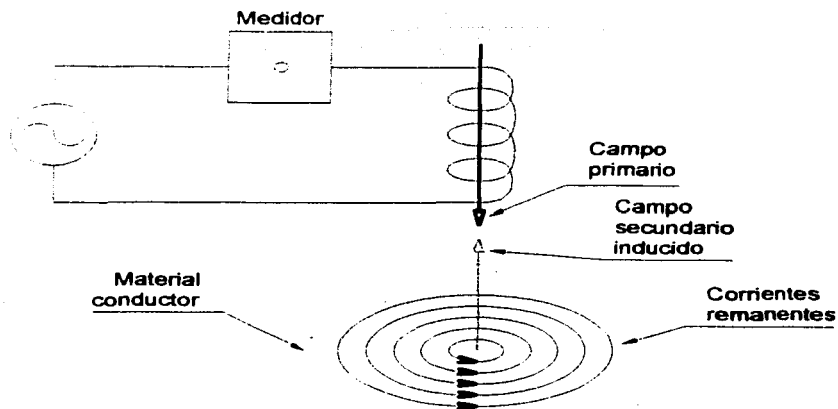


Figura 7. Condiciones iniciales para el flujo de corrientes remanentes

FACTORES QUE AFECTAN LAS CORRIENTES REMANENTES

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Efecto de alzamiento. La condición inicial de una sonda causa una cierta corriente y el movimiento hacia un metal causa la generación de corrientes remanentes, un campo secundario y una variación en el medidor calibrado a cero reflejando el tipo de cambio observado en la bobina. Para un estándar supóngase que una variación en la inductancia de la bobina se establece para hacer que el medidor calibrado se mueva verticalmente. Cuando la bobina se aproxima a un metal puede entonces hacer que el medidor gire a la derecha como se muestra en la figura 8 (en esta figura se supone que las condiciones iniciales son con la bobina en el aire). La distancia a la que se mueve depende de la distancia entre la sonda y el metal y puede ser usada por ejemplo para medir el espesor del recubrimiento. El ángulo que gire el medidor es proporcional a las propiedades del metal. Los efectos del alzamiento también se observan en el caso de bobinas circulares, en cuyo caso el efecto es llamado factor de llenado. Éste se define como la razón del diámetro del componente al diámetro de la bobina.

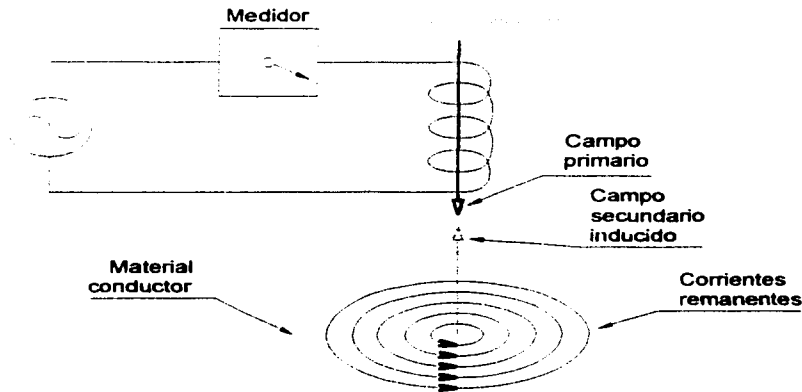


Figura 8. Efecto de alzamiento

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Efecto de permeabilidad magnética. La permeabilidad magnética de un metal afecta la facilidad con la que las líneas magnéticas fluirán a través del mismo. En un material con permeabilidad alta una gran densidad de estas líneas magnéticas será creada de una fuente dada y las líneas tenderán a concentrarse en el material (particularmente en la superficie). Esto tiene dos efectos: primeramente una gran cantidad de energía magnética puede ser almacenada en la bobina y por lo tanto incrementar su inductancia y en segundo lugar suficientes corrientes remanentes se generan lo que enfatiza el efecto de alzamiento. La tendencia de las líneas de fuerza a concentrarse en el material también significa que se obtiene muy poca penetración.

Geometría. La geometría de un componente bajo prueba causa muchas dificultades en las pruebas de corrientes remanentes. Una pieza curvada de metal tendrá obviamente una respuesta al efecto de alzamiento diferente a una pieza plana y el efecto de orilla (Figura 9) puede distorsionar el campo de la corriente remanente y generar una señal grande. En la Figura 9 se supone un alzamiento constante, se ha establecido horizontal en el medidor calibrado causando un giro a la izquierda en el medidor mientras se incrementa el alzamiento y

con las condiciones iniciales de sonda en el metal. Este arreglo es normal para pruebas con grietas. Los efectos geométricos se pueden reducir con el diseño de sondas que se ajusten a la superficie o por el uso de sondas con blindaje magnético

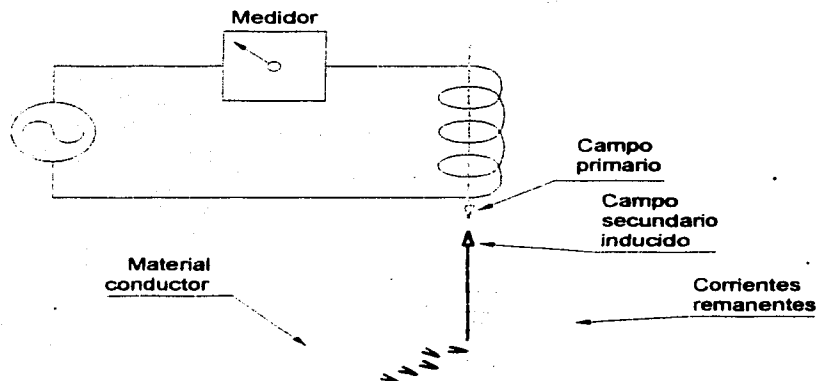


Figura 9. Efectos de orilla

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Grietas. Afortunadamente la mayoría de los materiales tienen propiedades constantes, y los efectos de alzamiento y geométrico pueden reducirse a tal grado que grietas superficiales pueden ser detectadas. Las grietas inducen a las corrientes remanentes a fluir por debajo y alrededor de las mismas adquiriendo una configuración similar a la mostrada en la figura 10. El ángulo de fase producido entre las señales grieta y del efecto de alzamiento depende de la frecuencia, el material y el diseño de la sonda. Este puede ser estimado empíricamente de un diagrama de impedancia en un plano pero un estudio de esto va más allá del alcance de este trabajo.

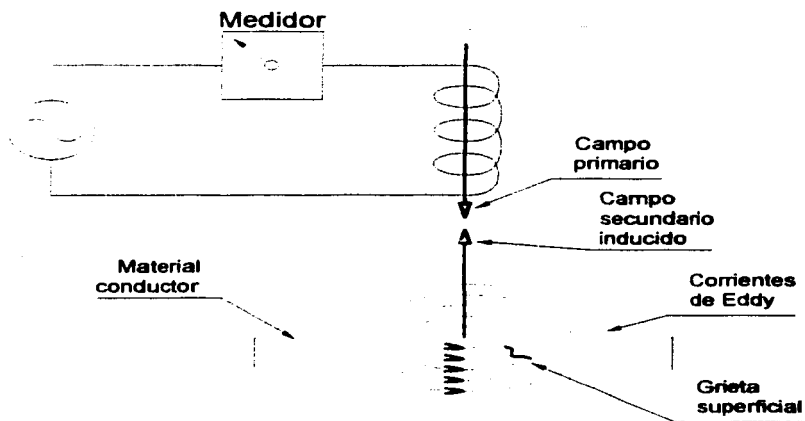


Figura 10. Efecto de grietas

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPÍTULO 4 LA TÉCNICA DE A. C. P .D. (ALTERNATING CURRENT POTENTIAL DIFFERENCE)

PRINCIPIOS BÁSICOS

Profundidad de penetración. Todos los métodos que usan corriente alterna están limitados por la profundidad de penetración a la cual llegan en una superficie conductora. Un incremento en la conductividad reduce la profundidad de penetración por lo tanto un material como es cobre o aluminio tienen una baja profundidad de penetración.

Incrementando la permeabilidad también se reduce la profundidad de penetración, por lo que el acero tiene una profundidad de penetración muy baja. La figura 4 muestra como la profundidad teórica de penetración (donde la corriente es reducida a 1/3 de su valor en la superficie) depende de la conductividad, la permeabilidad magnética y la frecuencia de operación.

Se muestran cuatro ejemplos:

El acero ferroso altamente permeable con baja conductividad.

El aluminio y el cobre tienen alta conductividad y baja permeabilidad.

Acero inoxidable tiene baja conductividad y baja permeabilidad.

La profundidad de penetración también depende del tamaño de la sonda.

Para el acero ferroso se puede ver que la profundidad de penetración para la mayoría de las frecuencias usadas para la detección de grietas (>5KHz) es muy pequeña. Por consiguiente el método es apropiado para grietas superficiales en este material. Los defectos subsuperficiales pueden ser detectados solamente si hay algún efecto en la superficie.

ACPD

El ACPD funciona por un proceso relativamente simple basado en un flujo de corriente eléctrica. La Figura 11 muestra el arreglo general de la corriente eléctrica requerida para producir las señales. El punto más importante a notar es que las mediciones se hacen de una

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

diferencia de potencial eléctrico y un simple cálculo que se lleva a cabo usando estas medidas. Por lo tanto el método no se basa en calibraciones contra defectos de referencia. Da una medida de la profundidad de una grieta infinitamente larga en el plano de medición.

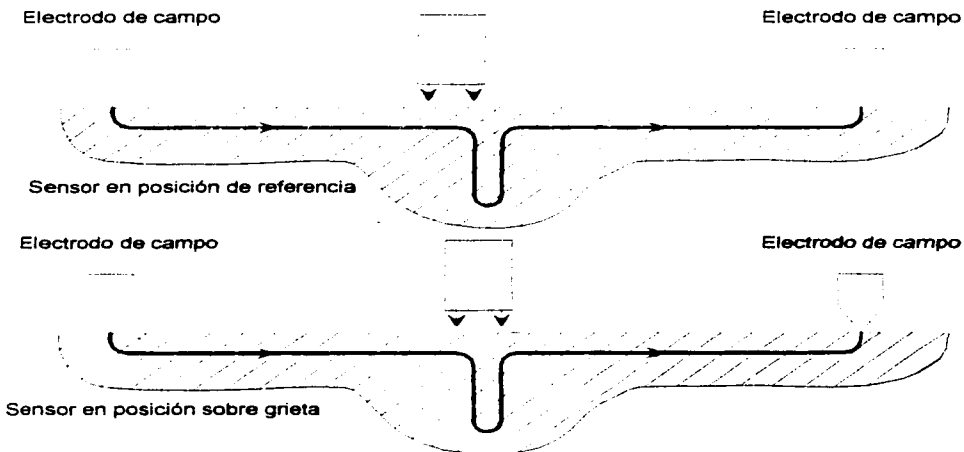


Figura 11. Principio básico de ACPD.

Para una grieta donde la longitud es aproximadamente 10 o más veces mayor que la profundidad de la misma, la profundidad de esta grieta se puede calcular en forma aproximada mediante:

$$C_D = 0.5D \left(\frac{V_c}{V_r} - 1 \right)$$

Donde:

C_D = Profundidad de la grieta

D = Distancia entre electrodos

V_c = Diferencia de potencial de medida a través de la grieta

V_r = Diferencia de potencial de medida en el campo de potencial de referencia adyacente a la grieta

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Cuando la grieta es menor a 10 veces su profundidad, entonces una parte significativa de la corriente eléctrica fluye alrededor de sus extremos como se muestra en la Figura 12. Esto significa que el valor obtenido de la profundidad de la grieta es menor que la profundidad real de la misma. Para una grieta semielíptica simple se han calculado factores de corrección los cuales permiten calcular un valor real de su profundidad mediante la profundidad medida y la longitud de la grieta (ver Figura 13).

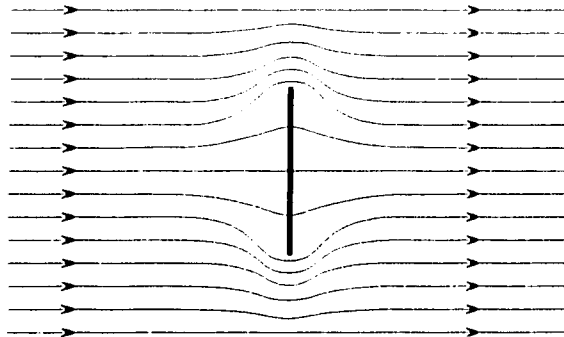


Figura 12. Flujo de corriente alrededor de las orillas de grietas

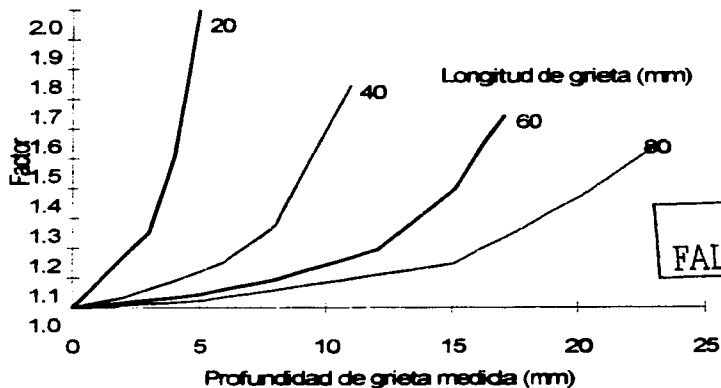


Figura 13. Factor de corrección (M) para grietas cortas semielípticas (ACPD)

Como la técnica de ACPD mide directamente desde la superficie no existe problema de compensación por efecto de alzamiento (lift off) esto también significa por supuesto que el método de ACPD solo puede ser usado donde se ha retirado por completo el recubrimiento de la superficie.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPITULO 5 LA TÉCNICA DE A. C. F. M.

BASES DE LA TÉCNICA

La técnica de ACFM se deriva de la técnica de ACPD en cuanto a que mide cantidades absolutas de campos magnéticos superficiales producidos por un campo magnético uniforme inducido paralelo a la grieta. Para un campo uniforme, la relación entre la densidad de flujo magnético y la corriente eléctrica se da en la Figura 14. Cuando la corriente se curva, esto da origen a una densidad de flujo magnético perpendicular a la superficie de manera similar a las corrientes remanentes secundarias descritas anteriormente. Esto se muestra en la Figura 15.

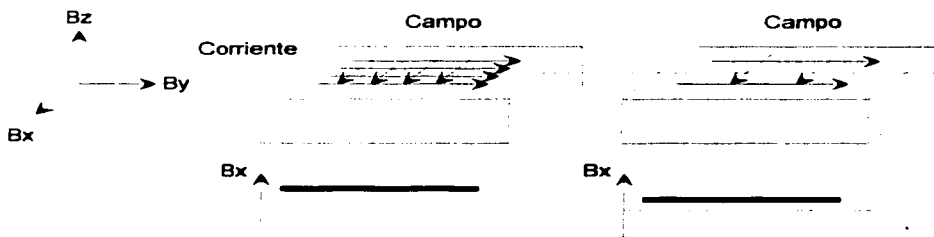


Figura 14. Campos uniformes y corrientes en la superficie.

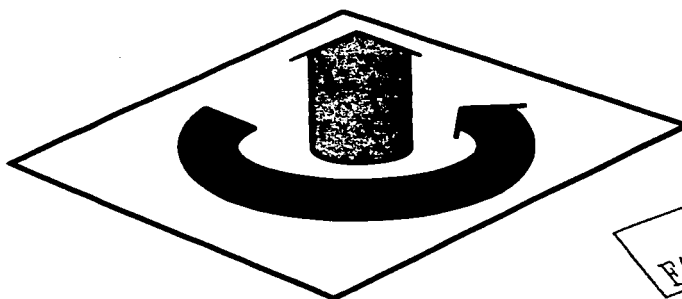


Figura 15. Campos alrededor de una corriente en un arco circular.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Los principios importantes a recordar son que, si una corriente esta fluyendo en una superficie (llamada el plano $x-y$) entonces:

La densidad de flujo magnético en la dirección x es proporcional a la corriente en la dirección y .

La densidad de flujo magnético en la dirección y es proporcional a la corriente en la dirección x .

La densidad de flujo magnético en la dirección z (fuera del plano $x-y$) es proporcional a la curvatura de la corriente en el plano $x-y$.

La forma en que la corriente se comporta cerca de una grieta se muestra en la figura 16. Estas corrientes dan origen a una densidad de flujo magnético en la superficie como se muestra en la Figura 17 (en el plano $x-y$) nótese que algunas de las líneas de flujo viajan en la superficie de la grieta y no son detectadas por una sonda sensora. Debido a las curvas de corriente cercanas a los extremos de la grieta, se da origen a una densidad de flujo magnético perpendicular a la superficie puesto que las curvas de corriente cercanas a una grieta inducen una subida al flujo de densidad magnética perpendicular a la superficie, y esto puede ser visto en la figura 18.

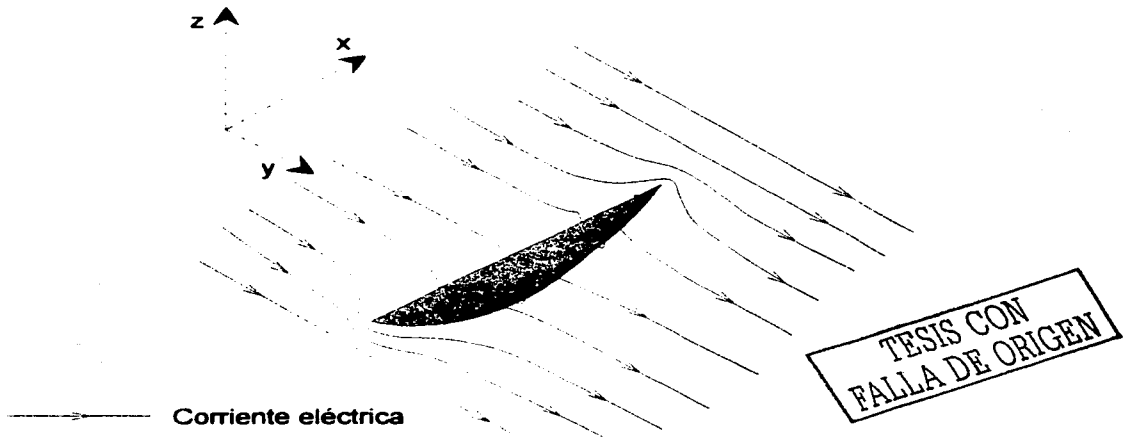


Figura 16. Corrientes alrededor de una grieta debidas a un campo uniforme

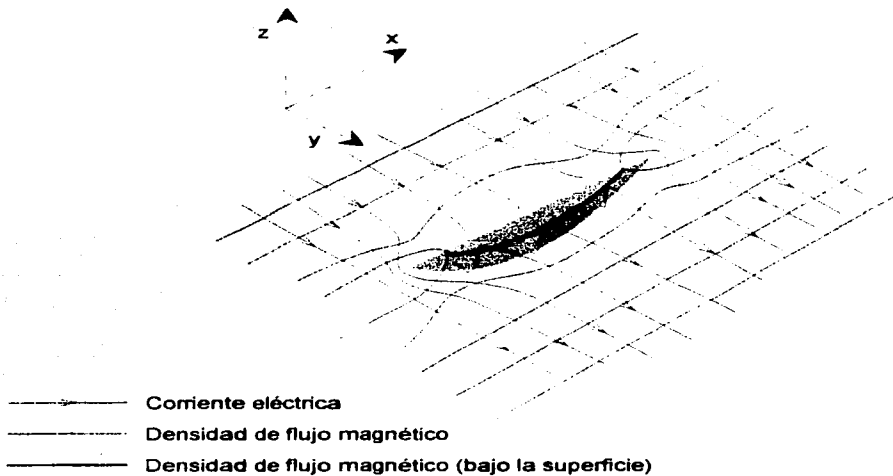


Figura 17. Densidad de flujo magnético superficial y corriente alrededor de grietas

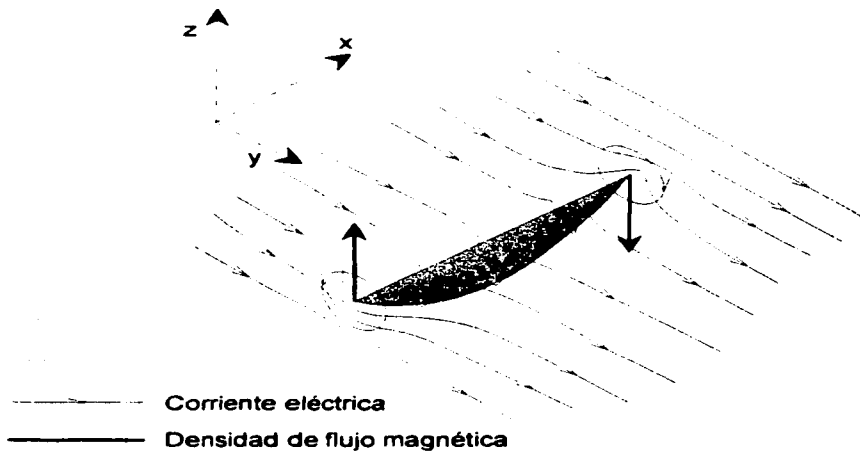


Figura 18. Corrientes y generación de campos magnéticos perpendiculares

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Diseño de sensores. Un yugo magnético es usado para generar un campo magnético inicial. Aquí se incluyen detectores de campo magnético para el equipo (Figura 18).

Medición de grietas. La principal característica que distingue al equipo de ACFM de las técnicas de corrientes remanentes es que el cálculo de la profundidad de grietas se realiza con base en modelos teóricos de referencia, usando la medición del campo magnético en una fase determinada.

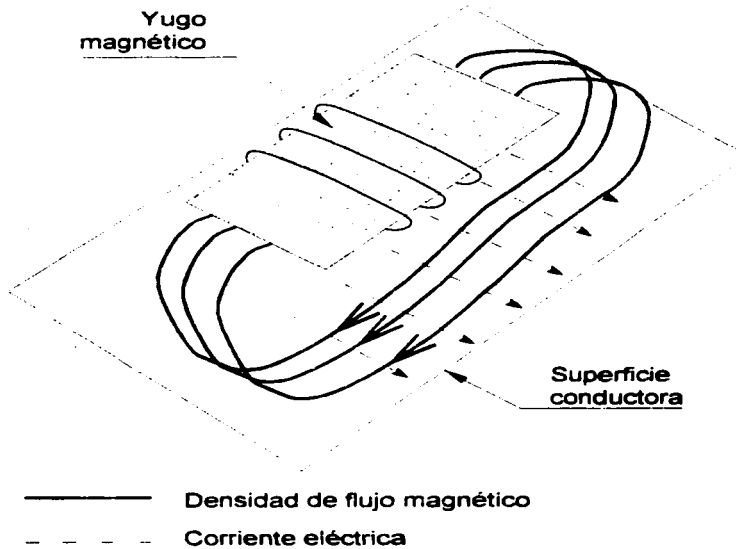


Figura 19. Arreglo externo de sonda para producir un campo eléctrico uniforme desde un yugo magnético

Reducción del efecto de alzamiento. En teoría, el uso de un campo uniforme paralelo a la superficie lleva a cero la señal de alzamiento (en la práctica con un campo inducido como el producido por un típico sensor sonda de ACFM, las condiciones teóricas ideales no se pueden alcanzar y algunas señales son obtenidas).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La salida del visualizador es una representación directa de los campos magnéticos, ya sea separado en un tiempo base o combinado.

LIMITACIONES DE LAS TÉCNICAS ELECTROMAGNÉTICAS PARA LA INSPECCIÓN DE SOLDADURAS.

Área barrida. Uno de los problemas con las técnicas electromagnéticas es que los bordes de los componentes producen una gran influencia en la señal de la sonda sensor, que puede ocultar señales de grietas en las vecindades del extremo. Se usan sondas sensores especiales para reducir estos efectos pero pueden tener un desempeño reducido de alguna otra área.

El acceso dentro de pocos milímetros en la superficie es requerido y obviamente deberá haber espacio para el sensor sonda para barrer toda el área a ser inspeccionada.

La presencia de objetos de metal o imanes en el área de inspección puede también producir señales no deseadas.

Geometría de grietas. La geometría de la grieta tendrá un efecto en la exactitud de la medición de la profundidad de la grieta.

Todos los métodos dan una medida de la profundidad de la grieta superficial debajo de la superficie y no en relación con el espesor del material.

Dimensionamiento de grietas. Las técnicas de ACPD y ACFM dependen de un modelo teórico para su precisión. Cuando las condiciones teóricas no se alcanzan entonces es necesario aplicar correcciones si están disponibles. Si no es así, deberá aceptarse cierta imprecisión. Los dos problemas básicos son el mantenimiento del flujo de corriente lineal y (para ACFM) arreglárselas con grietas de formas no elípticas.

El método de corrientes remanentes es limitado en su precisión porque las señales obtenidas de bloques de calibración pueden ser muy diferentes de aquéllas obtenidas de grietas reales y no hay garantías en los tamaños de grietas por lo que los dimensionamientos

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

de grietas de poca profundidad serán dudosos si la calibración se realiza con bloques de calibración grandes (y viceversa).

Componente geométrico. El componente geométrico afectará las señales de ACFM particularmente cerca de las geometrías estrechas, esquinas y enlaces. Las señales con estas características se sobrepondrán a las señales de grietas lo que puede dificultar la detección y necesitar consideraciones cuidadosas para el dimensionamiento. Un sensor sonda especial esta disponible a reducir los efectos de orilla.

CONDICIONES DE SUPERFICIE.

1. **Recubrimientos no conductores.** Un recubrimiento no conductor de hasta 5 mm de espesor no presentará problemas para el equipo de ACFM, excepto por la modificación de los parámetros de dimensionamiento. Los recubrimientos en malas condiciones pueden producir señales de alzamiento y reducir la precisión del dimensionamiento de grietas
2. **Corrosión.** Las capas delgadas de corrosión no deberían afectar cualquier técnica electromagnética. Los puntos de corrosión graves pueden introducir señales adicionales de ruido las que reducirán la sensibilidad del equipo para grietas pequeñas y la precisión en el dimensionamiento. Los sensores sonda estándar son menos sensibles a este tipo de corrosión que cualquier otros.
3. **Cambios de material.** Los cambios de material (por ejemplo las reparaciones de soldadura con diferentes metales) pueden producir señales fuertes difíciles de separar de las señales de grietas y puede oscurecer grietas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPITULO 6. EQUIPOS DE ACFM

TIPOS DE EQUIPO Y SOFTWARE.

Modelo U9 (Versiones 1 y 2). El U9 es un instrumento con batería portátil con un solo canal capaz de ser usado por equipos ACPD y ACFM. El equipo ACFM es operado usualmente por medio de una computadora personal. La unidad cargadora de la batería esta separada. La duración de la batería es de 2 a 4 hrs. Dependiendo particularmente de la configuración de la corriente y el tiempo de recarga es de 8 horas. Nota: que cuando esta usando la batería del equipo la batería de la PC deberá también permanecer cargada.

La versión 1 es para uso con el software QFM v 1.0.

La versión 2 es para uso con el software QFM v 2.0 y tiene cuatro frecuencias.

Programa QFM v 1.0. Este ha sido diseñado para aplicaciones en superficie con el equipo U9 versión 1y soporta operación con batería. Con este software el valor de la corriente debe ser configurada en el instrumento.

Programa QFM v 2.0. El programa QFM v 2.0 apropiado para la unidad U9 versión 2. tiene velocidades de barrido mayores que el programa QFM v 1.0 y usa archivos integrados de datos y de sensor y puede establecer valores de corriente desde la computadora.

Los equipos U9 versión 1 pueden ser escalados a versión 2.

Modelo U10. El equipo U10 puede tener un gran número de canales los que pueden ser usados para pruebas de ACPD multicanal (para el seguimiento de formas de grietas) o para arreglos de sensores sonda de ACFM.

Modelo U21 (anteriormente U11 con programa WAMI 3.8b). El U21 es la versión submarina de los equipos de ACFM y ACPD. El equipo consiste de dos unidades, una submarina y otra superficial las que pueden encontrarse separadas hasta 1.5 km. El equipo U21 sólo usa el programa WAMI 4.0 y puede ser usado con arreglos de sensores sonda o sencillos. Estos equipos normalmente requieren de una fuente de alimentación de 110 V.

Programa WAMI versión 3.8b. Esta es la versión original del programa para el equipo U11. Esta específicamente diseñada para su uso en juntas tubulares y localización de posiciones de acuerdo con la convención de reloj para un máximo de 12 eventos.

Programa WAMI 4. El programa WAMI 4 es apropiado para el equipo submarino U21. Tiene velocidades de exploración más rápidas y archivos integrales de datos y sensores.

Arreglos de equipos. Consistentes de programas y equipos especiales para manejar arreglos de sensores sonda y desplegar en pantalla las señales específicas producidas por el arreglo de equipo.

TIPOS DE SENSORES SONDA DE EQUIPO ACFM

Todos los sensores básicamente tienen el mismo diseño y por lo tanto puede ser intercambiados con cierta libertad. Sin embargo para un óptimo desempeño deberá elegirse el mejor sensor sonda para el tipo de exploración requerida.

Sensor sonda estándar. Este sensor sonda debería ser usado para la inspección de soldadura siempre que sea posible, puesto que tiene las bobinas posicionadas idealmente para dimensionamiento de grietas.

Sensor para acceso estrecho. El sensor para acceso estrecho fue diseñado específicamente para ocasiones cuando el área debajo de la inspección no es accesible para el sensor estándar, particularmente en tubulares soldados en ángulo. Trabaja razonablemente bien en otras situaciones pero no es realmente apropiado para dimensionamientos en geometrías abiertas como una soldadura a tope.

Sensor sonda para superficies esmeriladas (sensor lápiz). Este sensor fue diseñado para la inspección de superficies que han sido esmeriladas profundamente. Tiene la misma geometría básica del sensor sonda estándar pero en geometrías normales es más susceptible a las señales del movimiento del sensor sonda. También puede ser usado para accesos en algunas áreas estrechas y para inspección de tubos y tuberías de diámetros pequeños.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Mini sensor. El mini sensor esta diseñado para acceder áreas muy estrechas y tiene un efecto de orilla reducido. Están disponibles en lápiz o para geometrías de ángulos rectos. Pueden estar limitados en grietas poco hondas solamente, y son más sensibles al efecto de alzamiento.

Micro sensor. Los micros sensores son diseñados para alta sensibilidad en la detección de grietas y accesos en áreas muy estrechas y tiene un reducido efecto de orilla. Están disponibles en lápiz o para geometrías de ángulos rectos. Pueden estar limitados en grietas poco hondas solamente, y son más sensibles al efecto de alzamiento.

Sensor para barrenas. El equipo de ACFM es particularmente apropiado para la detección y dimensionamiento de grietas en roscas grandes (como las de barrenas de perforación) se pueden fabricar sensores con una geometria especial para ajustarse exactamente a la rosca o se puede ajustar una base especial a un sensor estándar.

Sensores con geometría especial. Sensores pequeños para geometrías estrechas o sensores especiales pueden ser fabricados. El dimensionamiento puede verse afectado por desviaciones del campo uniforme.

Arreglos de sensores. Un número de arreglos de sondas ha sido hechas, principalmente para el posicionamiento de ROV. Los arreglos de sondas tienen la ventaja de que normalmente no requieren escaneo y rápidamente cubren una gran área

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPITULO 7. OPERACIONES DE LA COMPUTADORA RELACIONADAS CON LAS OPERACIONES DEL EQUIPO DE ACFM

La operación del equipo de ACFM se hace a través de una computadora, ésta se encuentra conectada al equipo de inspección y el mismo tiene su conexión al sensor que hará el barrido de inspección.

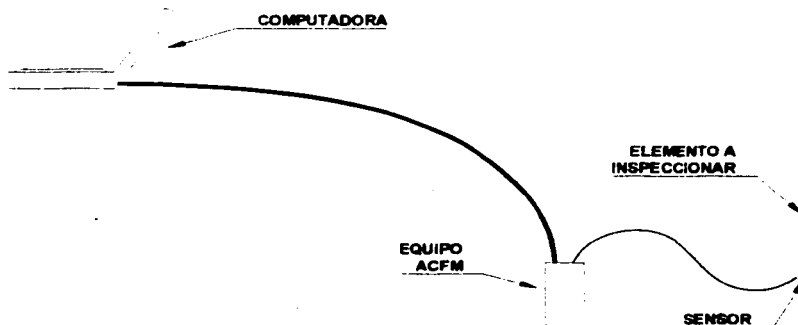


Figura 20. Diagrama de operación del equipo de ACFM

El equipo tiene la capacidad de almacenar todas las inspecciones que se realicen en una determinada estructura, la interpretación de las señales puede ser realizada in situ y en caso de alguna discordancia, cada inspección puede volverse a correr en cualquier computadora que tenga instalado el programa de ACFM.

TECLADO

El acceso a los menús del programa de ACFM puede ser logrado a través del teclado o del ratón de la computadora. La familiaridad del usuario del equipo de ACFM permitirá aprender mucho más fácilmente los aspectos prácticos del manejo y operación del equipo. En

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

este trabajo indicaremos las operaciones a realizar con el equipo de cómputo mediante las el teclado aunque para cada caso puede ser usado el ratón para acceder a las funciones del programa de ACFM:

WINDOWS

Windows es un programa de Microsoft para uso y despliegue de cierto número de programas de manera simultánea. Windows tiene un despliegue a través de iconos que cuando son seleccionados y ejecutados harán que un programa específico funcione.

Cuando una computadora portátil es conectada, esta usualmente y después de una serie de chequeos, iniciará sesión en Windows® directamente. Dentro del ambiente Windows® podemos hacer uso del explorador para llevar a cabo ciertas operaciones con los archivos creados y que serán salvados en el disco duro de la máquina.

El explorador de Windows® es uno de los programas más usados dentro del ambiente del sistema operativo. Este puede ser usado para mover, copiar, renombrar, borrar archivos, crear y borrar directorios (o carpetas como suelen ser conocidos en Windows®).

Archivos. Un archivo es un área de almacenaje de la información obtenida identificado por el nombre que se le dará al almacenar la información en el disco duro de la máquina. Por haber sido desarrollado el software de ACFM para un ambiente anterior a las versiones actuales del sistema operativo, es recomendable que los nombres de los archivos sigan la siguiente estructura:

XXXXXXXXX.EXT

Conocida como 8.3 donde las X representan el nombre que se le dará al archivo y EXT será dada automáticamente por el software de origen del archivo. así, la extensión doc se refiere a archivos de documentos de Word®, la extensión txt son textos en código ASCII, etc.

Para operar la computadora del equipo de ACFM se puede utilizar alguno de los siguientes programas: WAMI versiones 3.8b y 4 o el software QFM

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Las extensiones usadas por el software del equipo de ACFM son:

.WDF para archivos de datos
para **WAMI 3.8b, QFM** son estos:
.WAD para archivos de datos
.WAS para archivo de sonda
para **WAMI 4** son estos:
.WDF para archivos de datos (incluye archivo sonda)
.WAS para archivos de sonda.

Directorios y subdirectorios. Los directorios y subdirectorios serán tratados en este trabajo como carpetas del ambiente Windows y serán creados como usualmente se hace a través del explorador.

INSTALACIÓN Y ACCESO AL PROGRAMA DE ACFM

Instalación. El programa para acceso al equipo de ACFM es suministrado en discos floppy. Es una práctica normal para el comprador o usuario final del equipo instalar una copia en su disco duro. La instalación es sencilla y dentro del ambiente de Windows.

Acceso. Cada programa puede ser instalado y puede ser ejecutado a través de cualquiera de las dos formas por DOS o WINDOWS, nosotros entenderemos a partir de aquí, que ejecutaremos el programa a través de Windows mediante un icono en el menú de inicio o en el escritorio de Windows.

La pantalla inicial que se despliega aparece como se muestra en la figura 21. es importante notar que si el equipo de inspección no está conectado, aparecerá un cuadro de diálogo con la leyenda **CAN'T OPEN COMMS** en la pantalla. En esta situación solo es necesario hacer clic en la opción de **NO** para continuar con el programa si es que no se encuentra el equipo conectado a la computadora.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

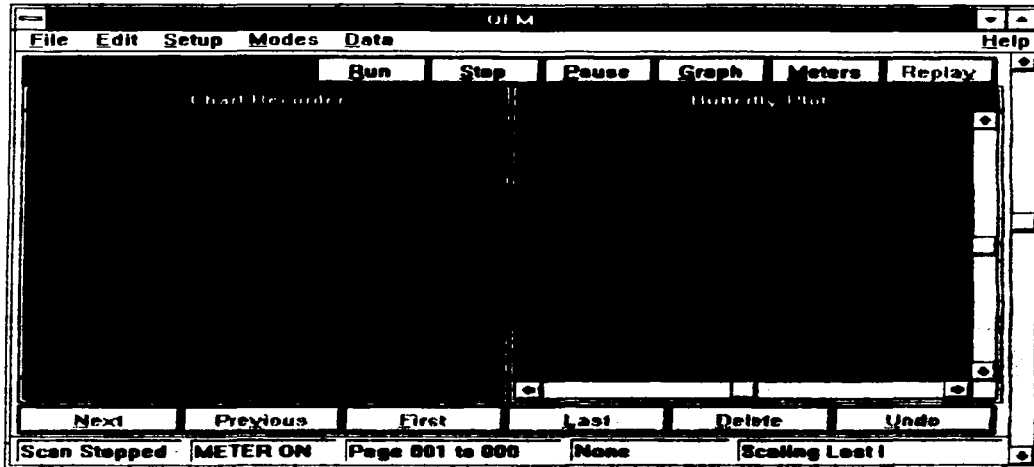


Figura 21. Pantalla de ACFM (programa QFM versión 1)

Salir desde el programa. para salir del programa sólo basta con seleccionar en el menú archivo (FILE) la opción de salir (EXIT) o con el teclado **Alt+F+X**

ESTRUCTURA DE ARCHIVOS DE ACFM

Archivos de datos (QFM v1 y WAMI 3.5b). Los archivos de datos de ACFM (extensión WAD) consisten en registros de despliegues en la pantalla de cada barrido como una página de datos. El número de página esta indicado en la parte baja de la pantalla principal del programa ACFM (puede apreciarse en la figura 21). Las diferentes paginas puedes ser vistas como se describe mas adelante y hay disponibles varias opciones para trabajar con cada página individual que también se describen más adelante. Los archivos de datos no cuentan con la información del sensor que deberá ser adicionada separadamente.

Los archivos de datos son archivos estándar de Windows y pueden ser tratados al igual que cualquier archivo con el explorador de Windows.

Archivos de sensores (programas QFM v1 y WAMI 3.8b). Los archivos de sensor (extensión WAS) contienen información acerca de las características del sensor. Los archivos de sensor son suministrados con el sensor en disquetes y pueden ser incluidos en directorios apropiados en el disco duro usando el administrador de archivos.

La información contenida en los archivos Sonda puede ser vista después de la instalación usando el menú **SETUP** y seleccionando la opción **SCALINGS**.

Sensor y archivos de datos (programas QFM v2 y WAMI 4). En estas versiones del programa, el sensor y los archivos de datos son almacenados juntos (en el programa QFM 2 un archivo con extensión wdf es usado para datos y wpf por el sensor, el programa WAMI v4 usa extensión wad y extensión wdf respectivamente) cuando los archivos de datos son abiertos en adelante los archivos del sensor son abiertos al mismo tiempo.

USANDO LOS COMANDOS DE LA PANTALLA Y ARCHIVOS SONDA PARA ADQUIRIR DATOS.

Obteniendo un archivo de sensor. Antes de que pueda tener lugar una exploración de un componente el archivo del sensor debe ingresarse al programa. El número de catálogo del sensor será la primera parte del nombre del archivo, la segunda parte será G50 o G20. Este numero hace referencia al valor de la ganancia, que deberá ser configurado usando el panel de control en el equipo U9 (programas QFM v1 o WAMI 3.8b) pero esta integrado con el archivo sonda en WAMI 4 y QFM v2. Para encontrar el archivo del sensor sonda en el programa se accede al menú **FILE** y se selecciona la opción **OPEN (Alt+F+O)**. Esto mostrará el cuadro de diálogo mostrado en la figura 22. Se selecciona con el ratón la opción **QFM probe select** y el cuadro mostrará una lista de archivos sonda que aparecerán en la caja de selección, de donde se obtendrá el archivo deseado. Si el sensor es nuevo y todavía no se ha copiado al disco duro, deberá seleccionarse la unidad A:\> para cargar el archivo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

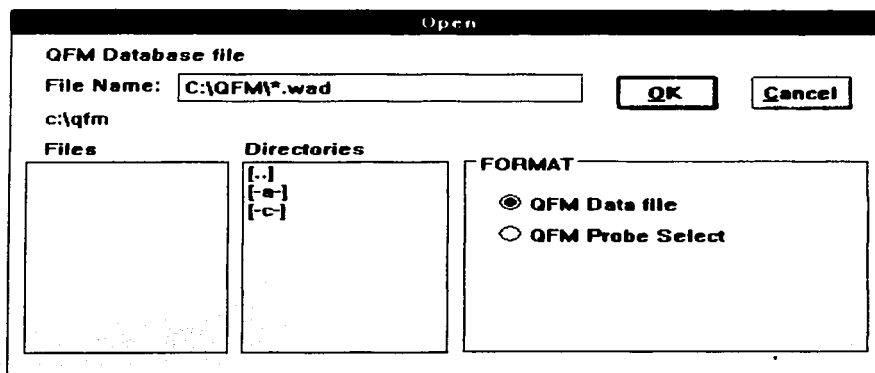


Figura 22. Abrir archivo

Cuando el archivos del sensor sonda es seleccionado, el número del mismo aparece en el fondo de la pantalla (reemplazando "Scaling Lost" en la figura 21).

Preparando un archivo de datos. Para establecer un nuevo archivo de datos se accede al menú **FILE** y seleccionamos la opción **NEW** (**Alt+F+N** desde el teclado) y se introduce el nombre que llevará el archivo y se presiona la tecla **ENTER**. El nombre aparecerá en la parte superior de la pantalla. En los programas **WAMI 4** y **QFM v2** es necesario haber ingresado primero el archivo del sensor **antes** de iniciar una inspección.

Adquisición de datos. Para iniciar una exploración una vez completados los pasos anteriores, todo lo que se necesita expulsar la tecla **R**. Notemos que esta letra esta subrayada en el botón **RUN** en la parte superior de la pantalla. Cuando este comando es activado aparecen **Bx** y **Bz** a la izquierda de la pantalla y comienzan a dibujarse los trazos de la inspeccion. El sensor sonda puede entonces explorar a través del bloque de prueba. El movimiento del trazador en la pantalla puede ser detenido (tecleando **S**) o pausado (tecleando **P**) teclando **P** nuevamente se reestablece el trazo pausado. Cuando el trazo de las gráficas de **Bx**, **Bz** alcanzan el final del área de pantalla (hacia la derecha), queda completada la página 1 no se capturarán mas datos. Cuando se presiona de nuevo la tecla **R** empezará una pagina nueva y el número de página aparecerá en la parte baja de la pantalla. Al presionar la tecla **R**

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

cuando la exploración se encuentra pausada, se perderá la información ya obtenida y se reiniciará la adquisición de datos en la misma página.

Ajustando el visualizador de la pantalla. Cuando los archivos del sensor sonda son primeramente ingresados puede ser que la gráfica de mariposa no este centrada en la pantalla. Las flechas amarillas mostraran la posición de la gráfica si esta fuera de pantalla. Para mover la pantalla hacia la gráfica se usan las teclas del cursor. Si las flechas son muy grandes probablemente fue seleccionado un archivo de sensor erróneo. Para los programas WAMI 4 y QFM 2 es posible usar el botón para centrar la gráfica de mariposa.

Salvando datos usando el comando save. Cuando la exploración esta completa el archivo deberá ser salvado usando el comando **SAVE** en el menú **FILE**. Si el archivo no ha sido salvado y un nuevo archivo ha sido inicializado, un mensaje de error será mostrado indicando que los datos obtenidos se perderán.

USO DE COMANDOS DE PANTALLA PARA ACCEDER Y PROCESAR DATOS GRABADOS.

Los datos que han sido previamente grabados pueden ser abiertos y reexaminados. Esto se logra mediante el uso de cualquier computadora donde se tenga cargado alguno de los programas de ACFM (WAMI o QFM). Es necesario que la versión apropiada del software sea usada para abrir los datos, los archivos guardados con WAMI 4 y QFM v2 no son compatibles con los obtenidos con WAMI 3.8b o QFM v1 o con cada uno. No se necesitan instrumentos. Como ya se mencionó anteriormente, el mensaje de error "**CAN'T OPEN COMMS**" aparecerá en la pantalla y deberá pulsar el botón **NO** para iniciar el programa.

Recuperando archivos. Mediante el acceso al menú **FILE** y seleccionando la opción **OPEN (Alt+F+O)** mostrará el cuadro de diálogo de la figura 22, se selecciona la unidad, la carpeta y/o subcarpetas donde se encuentra la información seleccionamos el archivo para abrir, y tecleamos **ENTER**. Cuando se usa alguno de los programas WAMI 3.8b o QFM v1 es necesario recordar que se deberá cargar el archivo del sensor. Una vez hecho esto, la primera página de la exploración aparecerá en pantalla.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Cambio de páginas. Las páginas pueden ser cambiadas desde el teclado usando las teclas **N (NEXT)**, **V (PREVIOUS)**, **F (FIRST)** o **L (LAST)** o con el ratón pulsando los botones indicados entre paréntesis.

Borrado de páginas. Las páginas pueden borrarse de un archivo usando la tecla **D** (o pulsando el botón **DELETE**) la pagina será borrada del archivo cuando este sea salvado nuevamente. Tectleando **U** (o pulsando con el ratón el botón **UNDO**) después de borrar y antes de salvar el archivo restablece las paginas borradas.

Recorriendo una exploración. Para recorrer una exploración presionar la tecla **Y** (botón **REPLAY** con el ratón). El trazo será recreado de la exploración original tal y como fue grabada. La velocidad de recreación puede ser cambiada presionando y sosteniendo la tecla **SHIFT** y usando las teclas del cursor **UP/DOWN**.

Si es necesaria una revisión más detallada de una parte particular de la gráfica de mariposa, cuando la exploración se está reproduciendo usamos la tecla **DEL** lo cual borrará la parte de la gráfica de mariposa presentada hasta el momento permitiendo una revisión mas detallada en adelante sin la información previa.

TRABAJO PRELIMINAR CON EQUIPO

Bloque de prueba. El bloque de prueba proporcionado con el equipo deberá incluir una ranura (a forma de grieta) de 50 mm de largo por 5 mm de profundidad a un lado de una soldadura.

Configuración del sensor estándar. Todos los archivo de sensor sonda están configurados de acuerdo con el bloque de prueba con una ranura (grieta) de 50 mm de largo, 5 mm de profundidad con una corriente de 1 Amp.

La ganancia se establece para proporcionar un adecuado tamaño de señal y el ajuste final se logra con las escalas de despliegue en pantalla. Estos se ajustan para dar a la gráfica de mariposa una señal que se extienda en un 50% de la pantalla en la escala de Bx (vertical) y un 175% de la pantalla en la escala de Bz (horizontal). En la figura 23 se muestra como aparece en la pantalla.

Por lo tanto puede ser verificada la sensibilidad de un sensor en el bloque de prueba usando la ganancia como lo indica el archivo del sensor y una corriente de 1 Amp.

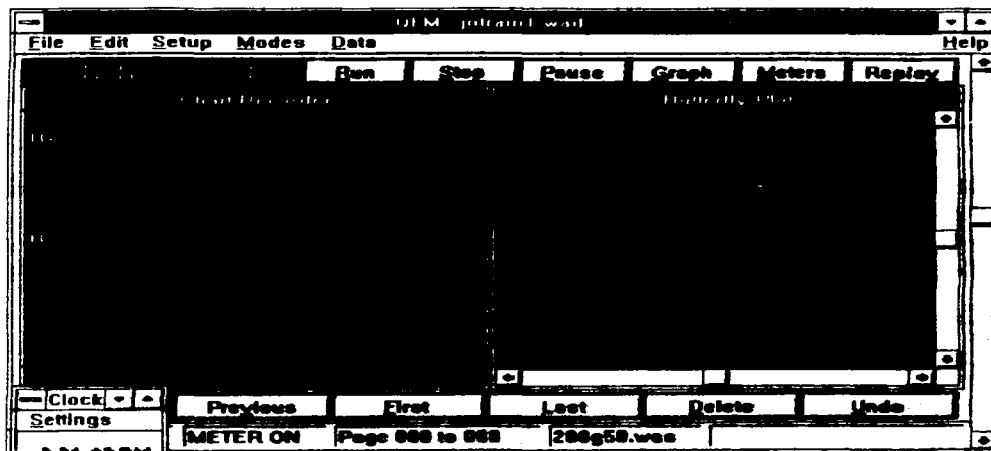


Figura 23. Barrido de una grieta de 5 mm de profundidad para la configuración de sonda estándar y corriente de 1 A

NOMBRES DE ARCHIVOS Y DIRECTORIOS.

Los nombres de archivos y directorios deberán ser escogidos de tal forma que den información acerca de la inspección, para poder localizar cualquier inspección particular de soldadura y de preferencia incluyendo la fecha de inspección un ejemplo puede ser:

C:\AKAL-E\SUBEST\NODO305\ABR03.WAD

Podría indicar una inspección en la soldadura del nodo 305 en la subestructura de la plataforma AKAL-E en Abril de 2003.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

HOJAS DE REPORTE, TÍTULOS DE PÁGINAS E IMPRESIÓN.

Hojas de reporte. Las hojas de reporte se presentan en cualquier formato y tamaño. Es importante que la hoja de reporte esté completamente llenada y los detalles más importantes para una revisión posterior (de ser necesaria) son el archivo del sensor y la longitud de los defectos.

Título de página. Con los programas QFM y WAMI es posible el almacenamiento de texto en un archivo usando el título de página en el menú **EDIT**. Este se accede mediante el teclado con **ALT+E ENTER**. Un ejemplo del tipo de información que puede ingresarse se muestra en la figura 24.

Impresión de datos. Hay varios modos de la obtención de datos impresos de las exploraciones realizadas.

1. Seleccionando **PRINT** desde el menú **FILE**.
2. Salvando como un archivo de Excel. Si el archivo es salvado como un archivo de Excel, las funciones graficas del programa Excel pueden usarse para visualizar los datos.

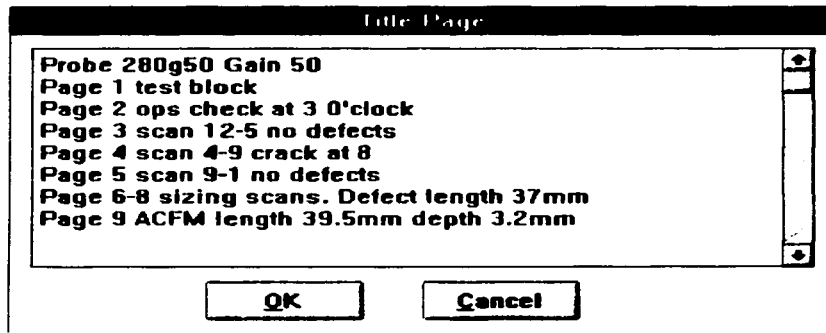


Figura 24. Ejemplo de título de página.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

RESPALDANDO Y SALVANDO DATOS.

Salvar. Esta instrucción (**ALT+F+S** desde el teclado) salva los archivos en uso al disco duro antes de una sesión de respaldo.

Sesión de respaldo. Esta operación permite que los archivos WAD y WAS puedan ser transferidos del disco duro a un disquete. Tecleando **ALT+F+B** desde el teclado y seleccionando **BACK UP SESSION** desde el menú **FILE**, insertando un disco en la unidad, seleccionando los archivos a respaldar y presionando **ENTER**. Si se presiona **ENTER** al aparecer el cuadro de diálogo de sesión de respaldo, todos los archivos de ACFM serán respaldados en el floppy.

Salvar como. El comando de salvar como es ejecutado a través del nivel 2 y desde el teclado con **ALT+F+A** y permite a un archivo ser salvado con diferentes nombres o diferentes formas. Los diferentes formatos disponibles son como archivos sonda (salvando configuración), en archivo Excel archivo usadas como hojas de calculo y archivos de datos ASCII.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPITULO 8. FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO A. C. F. M. PARA DETECCIÓN DE GRIETAS SUPERFICIALES DE FATIGA

PREPARACIÓN PREELIMINAR PARA LA EXPLORACIÓN.

Identificación de componentes. Siempre debe confirmarse la identificación del componente a explorar y es usual que se incluya la identificación como parte del nombre del archivo de datos.

Operador de sensor. El operador de sensor deberá estar calificado en inspección visual de soldaduras.

Preparación de superficie. No es necesaria una limpieza perfecta para una inspección con ACFM pero toda la corrosión floja y cualquier mancha que pueda afectar la libertad de movimiento del sensor y deberá quitarse antes si es posible. La pintura y el recubrimiento epóxico no necesitara atención particular excepto cuando se desea una exploración lo más suave posible.

Magnetismo. Cuando se haya realizado recientemente una inspección con partículas magnéticas, puede presentarse magnetismo residual por lo que es aconsejable desmagnetizar.

Marcas. El área a inspeccionar normalmente deberá ser marcada, empezando con una referencia y una numeración ascendente. En inspecciones de tuberías se usa la convención del reloj y en otros casos se pueden usar intervalos de 100 mm o menos. El software WAMI 3.8b soporta solamente la convención de reloj, otras versiones de software que pueden soportar una numeración mayor de 12.

El propósito del marcado es asegurar en el registro electrónico que todas las soldaduras se han inspeccionado. Sin embargo en algunos procedimientos solamente requieren ser marcados los defectos, así no se realizará ninguna marca a menos que se detecte un defecto.

Inspección visual. Mediante una inspección visual previa a la inspección con ACFM se verifican los siguientes puntos:

1. Limitaciones de acceso para el sensor en uso.
2. Conexión u otras estructuras metálicas cerca de la trayectoria de exploración.
3. La costura de la soldadura en la trayectoria de exploración.
4. Cualquier otra característica importante o daño evidente en el área a ser inspeccionada.

Una inspección visual de las características de la soldadura puede ser requerida posteriormente para identificar alguna fuente de señales desde un área en particular.

Selección de sensores. Después de la inspección visual puede ser necesaria la selección del sensor específico para cada área. Este es principalmente un problema de acceso, y es posible que diferentes sensores sean usados en áreas de difícil acceso previo a la exploración para garantizar que se realizará una inspección completa de la soldadura.

INTERPRETACIÓN DE SEÑALES PARA DETECCIÓN DE GRIETAS

Repaso del formato del visualizador. En el capítulo 2 se describió la base teórica para las señales de Bx y Bz. En el equipo de ACFM las señales Bx y Bz son presentadas como trazos en función del tiempo y también como una gráfica de uno contra otro. Ésta última llamada gráfica de mariposa por la forma que adquiere la señal en presencia de una grieta. Es importante entender la relación existente entre las gráficas y esto se muestra en la figura 25.

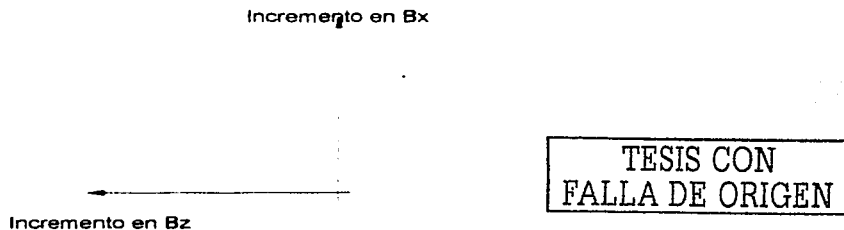


Figura 25. Convención de signos para Bx y Bz en la gráfica de mariposa

Detección general y procedimiento de examinación. En primer lugar todas las indicaciones (como desviaciones de una señal de fondo plana) en una inspección deben

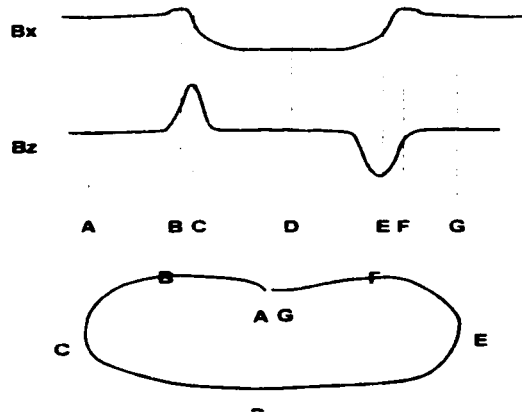
notarse. Pueden interpretarse posteriormente como señales no provenientes de grietas pero siempre deben examinarse. Las siguientes secciones mostrarán como identificar positivamente señales de grietas.

SEÑALES DE GRIETAS

Grietas semielípticas a lo largo del barrido. La forma de mariposa de una grieta semielíptica en una exploración puede verse en la figura 26. la gráfica se forma como aparece en la figura, puede distorsionarse de muchas formas pero es la señal de la gráfica de mariposa la que debe observar el operador del equipo todo el tiempo.

El trazo de la gráfica de mariposa en el equipo puede darse en sentido horario o antihorario dependiendo de la dirección del movimiento del sensor (**C** o **A** respectivamente). Esto es importante conocer esta información puesto que nos puede ayudar a distinguir entre señales de grietas y basura.

El micro sensor y el sensor para barrenas tienen sus bobinas ligeramente desplazados, dando como resultado una gráfica de mariposa como la mostrada en la figura 27.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura 26. B_x , B_z y gráfica de mariposa para una grieta por fatiga semielíptica

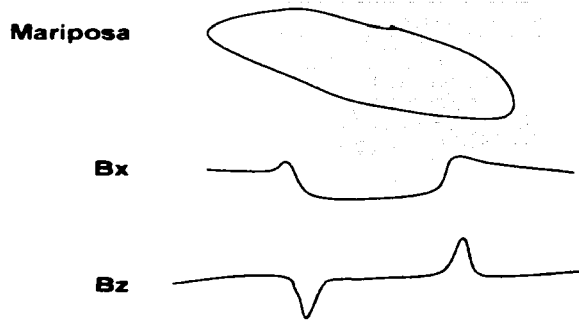


Figura 27. Apariencia de señales de grietas para micro sensores y sensores para barrenas

Grietas en ángulo durante el barrido. Las grietas en ángulo durante la exploración generan de una señal como la mostrada en la figura 28. Bz se reduce porque el sensor de la sonda solamente pasa a través del borde del pico Bx. Este tipo de señal puede aparecer cuando la grieta gira hacia una esquina de una junta.

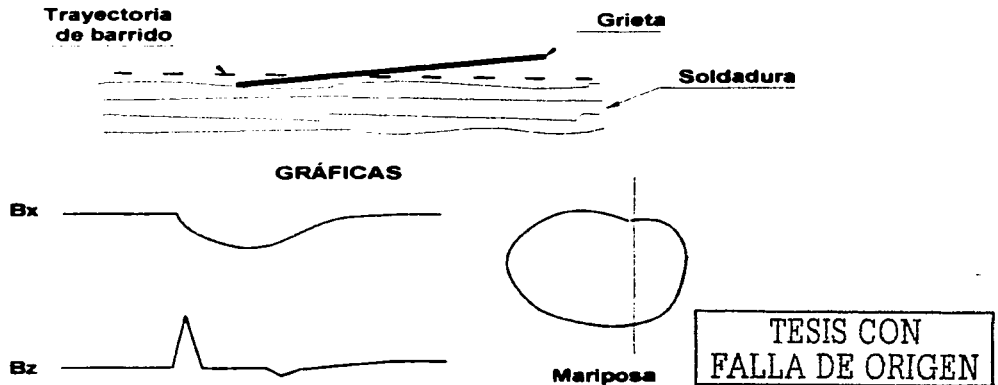


Figura 28. Barrido de una grieta en ángulo

Grietas en ángulo hacia la superficie. El efecto de una grieta en un ángulo no vertical hacia el sensor sonda (figura 29) es generalmente una reducción en la señal Bz. La señal Bx no cambia puesto que se mantiene en un campo uniforme.

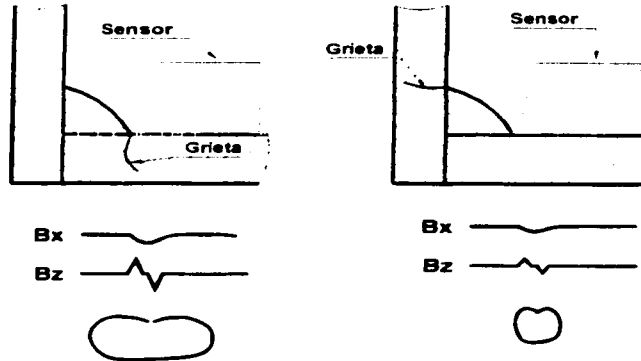


Figura 29. Ejemplo de grieta en ángulo hacia la superficie

Línea de contactos y múltiples grietas. Cuando ocurren contactos a través de una grieta entonces aparecen señales menores dentro de la señal principal en la gráfica de mariposa. Si aparece más de una grieta en la exploración entonces habrá un número de señales dentro de la señal principal.

Grietas transversales. Cuando sea probable que se presenten grietas transversales, se realizará el procedimiento descrito para detectar e identificar grietas transversales en el párrafo que se encuentra inmediatamente antes de la figura 38 de la página 53. Las grietas transversales pueden ser identificadas en una exploración normal del sensor por un pico positivo en la gráfica de Bx a través de una gráfica normal de Bz (figura 31). De la gráfica mostrada en la figura 31, podemos notar que:

- a) La exploración de la grieta transversal no se encuentra a lo largo de la línea del defecto, por lo que la gráfica de mariposa no generará su forma característica.

Cuando un defecto es paralelo al campo eléctrico en ángulo recto con el campo magnético las señales producidas son debido a la falta de flujo magnético desde la grieta como se muestra en la figura 30.

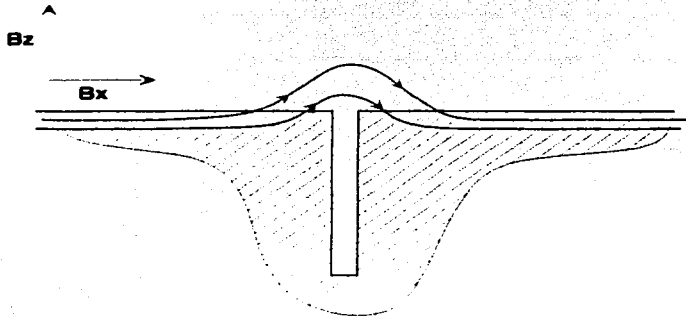


Figura 30. Campo magnético en grieta transversal

La exploración con el sensor sonda a través de tales defectos da señales como se muestra en la figura 31. El incremento en B_x debido al campo extra que escapa a la superficie, el pico y caída de B_x corresponden a las partes de la señal de cada lado de la grieta.



Figura 31. Señales de barrido en una grieta transversal

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- b) Un defecto producirá una caída en B_x cerca de 20 mm a través, esto determinando principalmente por la geometría en el campo de entrada del sensor sonda más que el tamaño del defecto. La magnitud de la caída es afectada por la profundidad del defecto.

- c) B_z puede mostrar un pico variación si el barrido pasa cerca de un extremo del defecto, pero nada si pasa por la mitad.

OTRAS FUENTES DE SEÑALES.

Otras fuentes de señales pueden distorsionar las señales de grietas y hacer una identificación positiva más difícil. Cualquiera de las otras fuentes de señales se pueden combinar con una señal de grieta simplemente por la adición de los campos magnéticos de cada fuente ajena a la señal de la grieta. Una inspección visual previa puede ser muy importante como una ayuda para la identificación de cualquier posible fuente de señales no deseadas.

Alzamiento. Cantidades pequeñas de efecto de alzamiento no afectan al sensor sonda del equipo de ACFM sin embargo un movimiento sustancial del sensor producirá señales significativas. Estas pueden identificarse usualmente por que B_x y B_z se mueven juntos mas que a diferentes tiempos como lo hacen para la mayoría de los defectos.

El alzamiento debido a una profunda reparación por esmerilado produce una señal parecida a la de una grieta y estas superficies debe ser inspeccionadas con el sensor tipo lápiz.

Geometría. Cuando un sensor sonda explora dentro de una geometría estrecha la señal B_x incrementara gradualmente (figura 32) con muy poco cambio en B_z . Esto ocurrirá en todas las juntas tubulares de cierto tamaño mientras la geometría esté cambiando continuamente.

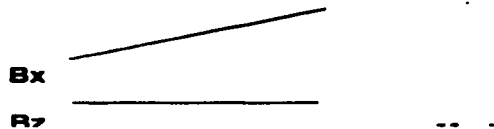


Figura 32. Barrido dentro de geometría angosta

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Magnetismo. El magnetismo residual afecta las propiedades magnéticas de los materiales y pueden por lo tanto afectar los trazos del equipo de ACFM. Para la mayoría de los aceros estructurales éste efecto desaparece en unas pocas horas, pero cuando se haya

realizado una inspección de partículas magnéticas o cualquier otro equipo haya sido usado recientemente el área deberá ser desmagnetizada.

Bordes y esquinas. Un borde produce una señal como se muestra en la figura 33 para un sensor estándar.

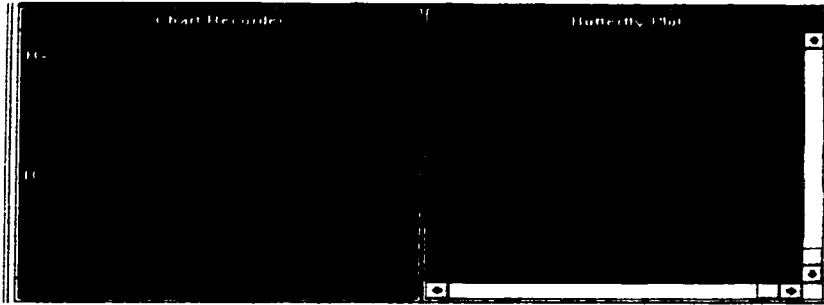


Figura 33. Efecto de orilla (barrido de bloque corto)

Combinaciones. Todas las señales descritas anteriormente (incluyendo las señales de grieta), si ocurrieran juntas, se combinarían y producen algo completamente diferente. Es particularmente importante ser capaz de identificar las señales de grieta en geometrías, bordes, esquinas y juntas. Un ejemplo de una grieta en una geometría de junta esta dado en la figura 34.

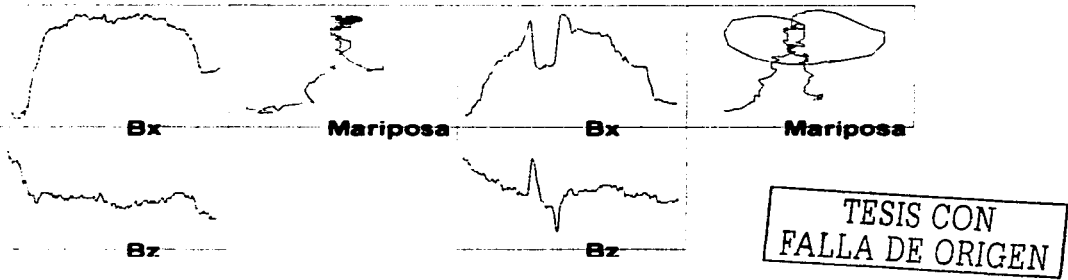


Figura 34. Señal en geometría estrecha sin grieta (izquierda) con grieta (derecha)

ESTRATEGIAS GENERALES PARA LA IDENTIFICACIÓN DE GRIETAS Y UNA INVESTIGACIÓN MÁS AMPLIA.

Teniendo en cuenta las señales anteriormente mostradas, una estrategia general para una identificación primaria de grietas y también una ulterior investigación puede ser desarrollada.

Las señales en Bx se deberán investigar completamente siempre. Una grieta puede aparecer la cual no presente características de señales esperadas. Recordando que una grieta transversal tiene un Bx positivo y una señal Bz que puede no estar presente si los extremos de la grieta no son cubiertos durante el barrido exploratorio o si la grieta se encuentra en un ángulo desfavorable hacia la superficie

Exploraciones posteriores ayudarían a distinguir algunas situaciones de los cambios de materiales o de las geometrías. Por ejemplo:

- a) Cuando hay una señal positiva en Bx con cambios mínimos o nulos en la señal de Bz, una exploración a lo largo de la soldadura con el sensor en ángulo recto con respecto al barrido original sobre el defecto transversal generará una señal Bx negativa, pero nada sucederá si se trata de un cambio de materiales.
- b) Cuando se observa una señal negativa en Bx con cambios mínimos o nulos en la señal de Bz, realizar barridos paralelos a intervalos de 5 mm para determinar si el efecto es mantenido o no sobre cierta distancia. Si las señales no cambian es muy probable que se trate de un efecto de material. La señal Bz puede aparecer si la grieta es paralela al barrido original. Una grieta con un ángulo peculiar hacia la superficie puede observarse mejor con el sensor lo más perpendicular a la grieta posible, por lo que realizar barridos con el sensor en ángulo puede ayudar a identificar esta situación.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

INSPECCIÓN PARA DETECCIÓN DE GRIETAS**VERIFICACIÓN INICIAL EN COMPONENTE BAJO INSPECCIÓN**

Estas operaciones consisten en el movimiento del sensor desde una distancia de 50 mm de la soldadura hacia el pie de la soldadura (ver figura 35) y que se deberá realizar hacia el ángulo más obtuso de la junta. El propósito de esto es:

1. Verificar la existencia de una grieta de 360° . Si el trazo en la señal se dirige hacia arriba no existe problema pero si genera una señal negativa puede señalar la existencia de una grieta grande. Si se sospecha la presencia de una grieta se continúa con el barrido de manera normal y esto puede mostrar la dimensión de la grieta. Si no es así, será necesario el uso de otra técnica para confirmar la presencia de la grieta.
2. Cuando la exploración esta completa usando las teclas de posición para examinar la gráfica de mariposa previo a una posterior exploración.

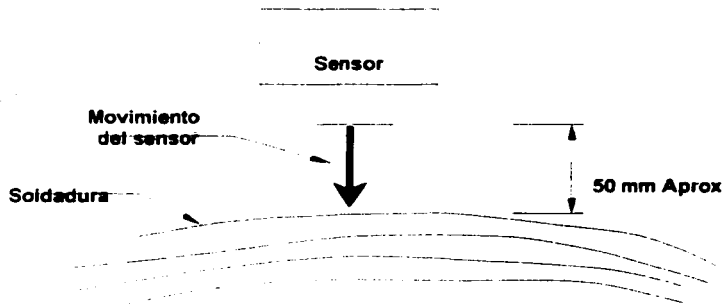


Figura 35. Movimiento del sensor durante la configuración

ESTABLECIENDO INDICADORES DE POSICIÓN.

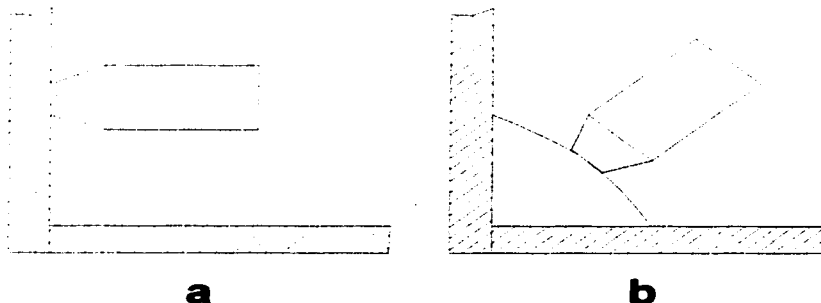
El operador del sensor y el operador del equipo deberán decidir juntos la posición de la primera marca de evento de exploración y la dirección del barrido. La dirección del barrido y la orientación del sensor (A o C) deberán ser anotadas. El establecimiento de los indicadores de

posición se harán usando el comando **CLOCK POINTS** del menú **SETUP**. Se puede acceder a este menú mediante cualquiera de las siguientes formas: **ALT+S+L** o **CTRL+C**.

Se establece un valor de número de eventos previamente acordado. La opción **clockwise** generará eventos de manera incrementada y la opción **anticlockwise** disminuirá desde el valor máximo establecido hasta el uno.

ORIENTACIÓN DEL SENSOR.

El sensor debe orientar en ángulo recto a la dirección esperada de grieta para una máxima sensibilidad. Las grietas en otras direcciones tendrán diferentes sensibilidades y formas de señal.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura 36. Orientación del sensor para (a) barrido de pie (b) barrido medio de soldadura

COMENZANDO LA EXPLORACIÓN.

El sensor sonda deberá ser situado en 50mm antes del principio de la primer marca de evento. El operador del sensor indicara al operador del equipo que esta listo para explorar, el operador del equipo presionara **R** y cuando el trazo de señales inicia en la pantalla le indica al operador del sensor que inicie el barrido. El operador del sensor indicará al operador del equipo cuando la línea central del sensor pase por la línea marcada de evento mediante la voz del

número de evento que corresponda. El operador del equipo presionará la barra espaciadora y con cada indicación del operador del sensor aparecerá en pantalla el indicador de evento.

VELOCIDAD DE EXPLORACIÓN.

La velocidad de exploración deberá ser lo suficientemente lenta para grabar el defecto menor esperado pero sin hacer que la inspección demore demasiado o que los defectos aparezcan demasiado grandes en la pantalla. Una regla general para barrido de soldaduras grandes es que un centímetro aproximado de pantalla corresponda a 10 cm de barrido en la soldadura. Esto nos daría una resolución tal que un defecto de 10 mm de longitud se mostrara razonablemente claro en la pantalla. Con el programa QFM v2 la velocidad de exploración pude incrementarse hasta 50 mm/s y la relación de comunicaciones de 1 se lograrán los parámetros descritos para una buena visibilidad de los defectos en pantalla. Con el programa QFM v1.0 esto es se logra con una velocidad de exploración de 10 mm/s y una relación de comunicaciones de 4.

Para componentes más pequeños un barrido mas lento se necesitará y la relación de comunicaciones se ajustará.

RELACIÓN DE COMUNICACIONES Y VELOCIDAD DE MUESTREO

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

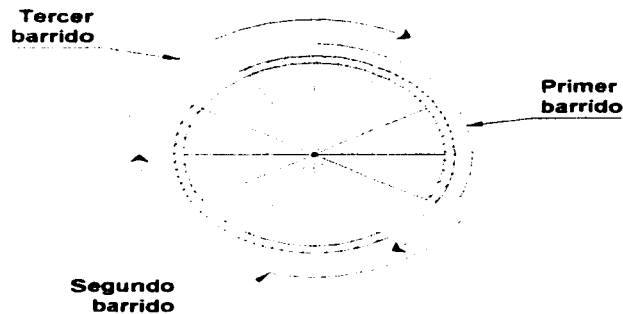
La relación de comunicaciones deberá ajustarse desde el panel frontal del emulador. La operación de la relación de comunicaciones para un valor de 1 significa que todo punto de muestreo será graficado en la pantalla. La pantalla se saturará rápidamente por lo que sólo es recomendable para barridos cortos. Al aumentar la relación de comunicaciones se reduce el número de datos mostrados y por lo tanto reduce la velocidad con la que se satura la pantalla con las señales, permitiendo el tiempo necesario para exploraciones mayores.

Si la velocidad de exploración es muy rápida para la velocidad de muestreo entonces las muestras individuales pueden verse y ya sea que la relación de comunicaciones o la velocidad de exploración sean reducidas.

PATRÓN DE BARRIDO PARA TUBERÍAS (PARA GRIETAS DE FATIGA PARALELAS A LA SOLDADURA)

Un modelo típico de exploración para tubulares y tuberías es mostrado en la figura 37. Este modelo es conveniente para de la detección grietas de fatiga en la soldadura paralelas a la soldadura. Para soldaduras de anchos mayores a 10 mm se recomienda hacer tanto el barrido de pié de la soldadura como el barrido medio de la misma para una sensibilidad máxima en grietas .

El proceso de barrido puede variar de acuerdo con las circunstancias, por ejemplo cuando se inspecciona una soldadura muy grande se puede hacer simultáneamente la exploración del pié de soldadura y del medio antes de pasar al siguiente tramo de recorrido. Nótese que los traslapes entre barridos aseguran una cobertura total de la soldadura, para garantizar la detección de grietas pequeñas que pueden encontrarse al final de un recorrido de inspección y en algunas ocasiones se logra obtener barridos completos de grietas grandes. Se puede lograr que los números de evento se continúen después de la página uno usando el modo **no repainting** (menú **MODES** selección **NO REPAINTING** o mediante la combinación **CTRL+R**).



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura 37. Barrido de componente circular

Usualmente es más efectivo realizar todas las exploraciones necesarias para completar el barrido total de la soldadura antes de cualquier análisis posterior o de dimensionar cualquier defecto.

Cuando se requiera detección de grietas transversales, obtendremos señales con el barrido pero no serán aquellas que esperamos de una señal típica de grieta longitudinal. Un barrido adicional con el sensor en ángulo recto con la soldadura permitirá que se identifiquen grietas transversales con precisión. Una vez detectadas se necesitarán barridos posteriores para confirmación y dimensionamiento.

PATRÓN DE BARRIDO PARA PIEZAS LINEALES.

El patrón de barrido para piezas lineales es similar al de piezas circulares excepto en los extremos. En los extremos de la pieza el efecto de orilla se presenta con la mayoría de los sensores y puede ser necesario el uso de mini o micro sensores. Puede hacerse el barrido total de la soldadura en la pieza con estos últimos sensores, **pero el dimensionamiento de las grietas (si existen) deberá hacerse de ser posible con el sensor estándar.**

GRIETAS TRANSVERSALES

En algunas situaciones puede ser necesario verificar los defectos transversales. Para obtener una señal con el equipo ACFM de una grieta transversal el campo eléctrico de entrada debe correr perpendicular al defecto, lo que se puede lograr con un barrido del sensor posesionándolo a 90° de su orientación normal. Para una detección inicial se realizará un barrido como el mostrado en la figura 38, realizando un número suficiente de barridos paralelos para asegurar una cobertura total de la zona con defectos. Cuando se detecte una indicación de grieta, realizar una exploración a lo largo de donde se sospeche la trayectoria de la grieta.

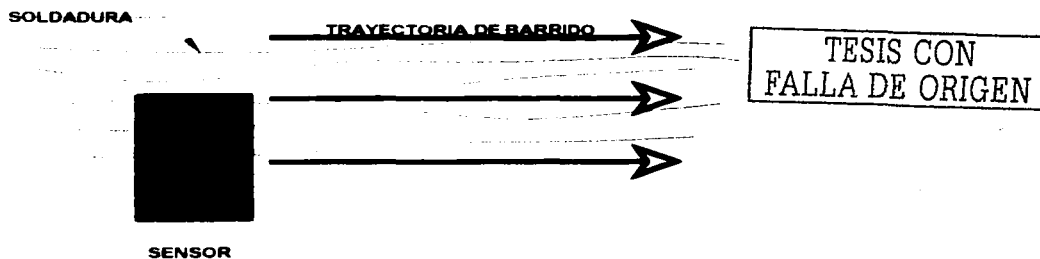


Figura 38. Barrido inicial para defecto transversal.

PATRONES DE BARRIDO PARA JUNTAS, ESQUINAS Y GEOMETRÍAS ESTRECHAS

El principal problema de este tipo de barridos son las señales producidas por el efecto de orilla lo que sucede con el sensor normal, de acceso justo y sensores lápiz que no siempre pueden ser eliminados con el sensor diferencial. Los sensores recomendados por lo tanto son los mini o micro sondas, que tienen un efecto de orilla de 10 mm o menos. Se muestran en las figuras 39, 40 y 41 patrones típicos de barrido recomendados para arreglos comunes de juntas anguladas. Resulta muy útil que el área que se va a examinar se marque con eventos de intervalos pequeños y que el operador marque también las posiciones de extremos (esto puede permitir un reconocimiento más fácil del inicio de una grieta en la señal). Si es posible se recomienda una comparación con alguna muestra de geometría similar que no contenga grietas. También es necesario que se repitan barridos para detección de grietas transversales.

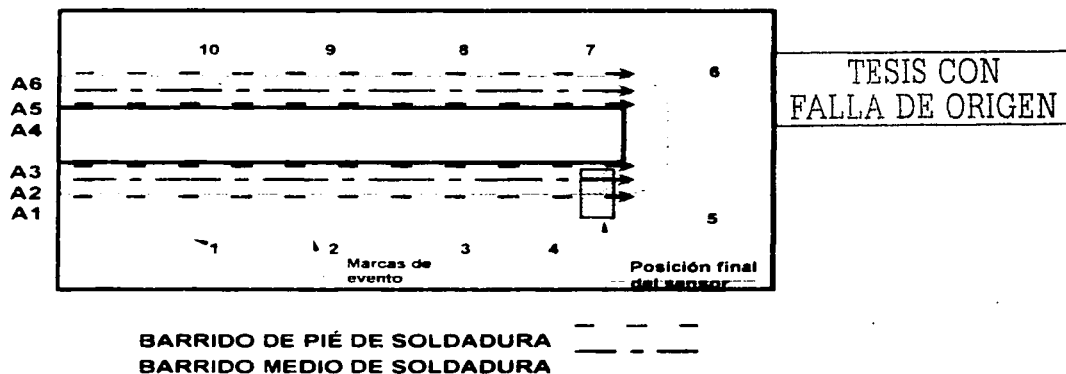
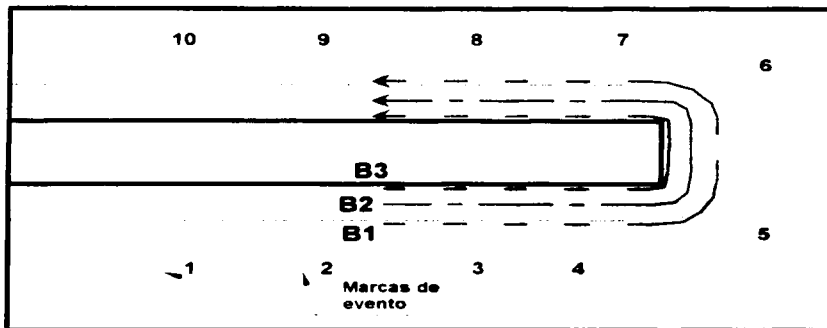


Figura 39. Barrido para aproximación a junta.



BARRIDO DE PIÉ DE SOLDADURA - - - -
BARRIDO MEDIO DE SOLDADURA — — — —

Figura 40. Barrido para extremo de soldadura.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

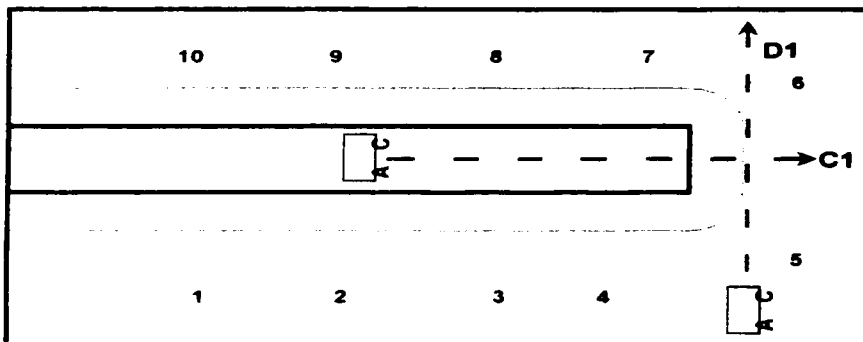


Figura 41. Barrido a través de la unión (grieta al final del pié de soldadura).

Esquinas. La dificultad con las esquinas es que el sensor no puede explorar el área y hay una señal de orilla grande mientras la exploración se aproxima hacia la unión. No puede ser posible explorar las esquinas con el equipo de ACFM.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPITULO 9 REVISIÓN DE LOS REQUISITOS DEL INFORME

El operador del sensor debe ser informado de que el sensor del equipo ACFM está fabricado con un yugo magnético, que genera un campo magnético en el material inspeccionado. Dos bobinas sensoras detectan la fuerza del campo magnético y se encuentran localizadas cerca del extremo del sensor por lo que se le deberá mostrar la posición de dichas bobinas al operador.

PREPARACIÓN DEL ÁREA DE INSPECCIÓN

1. El área de inspección debe limpiarse adecuadamente y en el caso de ambiente submarino se deberá quitar el crecimiento marino y la superficie debe encontrarse libre de corrosión suelta y otros materiales que impidan un suave deslizamiento del sensor en la superficie a explorar.
2. Es necesario marcar el área a explorar con los números de evento ya establecidos y usando cualquier tipo de marcador.
3. Cualquier observación visual que probablemente afecte el movimiento del sensor o la señal del equipo debe ser reportada por el operador del sensor así como cualquier problema de acceso del personal al área o del equipo.

SONDAS

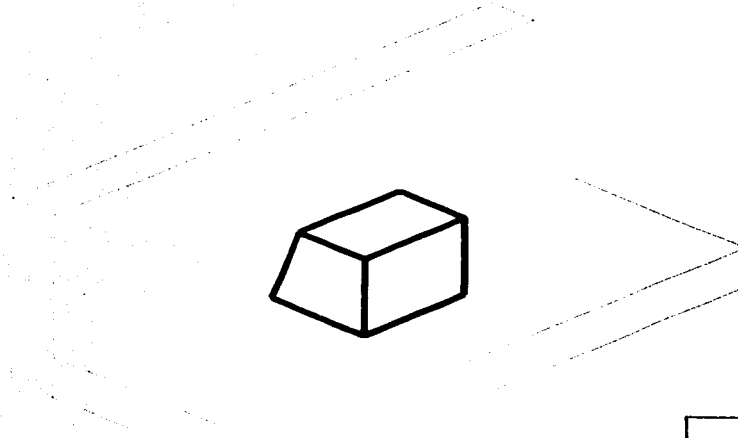
El operador del sensor deberá estar informado acerca de los siguientes puntos acerca de la sonda:

1. El número y tipo de sonda se encuentra estampado en la misma.
2. La sonda presenta dos direcciones de exploración marcadas como **A** y **C** y el barrido deberá hacerse en cualquiera de estas direcciones A o C.
3. La parte frontal del sensor tiene una placa con una línea escrita a lo largo de su centro, esto es para referenciar los puntos de evento cuando la línea pasa por ellos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

4. La sonda tiene dos apoyos en la parte trasera.
5. Normalmente hay cuatro tipos de sonda disponibles: la normal (tipo 84), para acceso angosto (tipo 80), la de lápiz (tipo 20) y la de efecto de orilla (tipo 94). Su uso depende del acceso y de situaciones especiales como en áreas de esmerilado y cerca de extremos de placas.

Uso del sensor. Todos los sensores excepto el sensor lápiz, mini o micro sondas son sostenidos como se muestra en la figura 42 con la placa de bronce colocada contra el pié de la soldadura, con la parte inferior de la sonda apoyándose completamente contra el metal base.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura 42. Posicionamiento de sonda estándar.

Cuando el operador de la sonda realice una exploración debe evitar oscilaciones y desviarse o levantar el sensor.

Para una exploración media de soldadura hay que sostener el sensor de manera similar a la descrita para el sensor estándar, con excepción de que éste se mantendrá a la

mitad de la soldadura y haciendo el barrido en dirección paralela al pié de la soldadura. La parte posterior del sensor se recargará en el metal base de manera similar.

El sensor de lápiz, mini o micro sensores se usa con la cara más larga paralela al pié de la soldadura, de manera similar a las demás sondas, preferentemente en el sentido C (figura 43) cuando se hace una exploración de media soldadura el sensor debe mantenerse perpendicular a la misma. Para cada pié de soldadura el sensor debe sostenerse de tal manera que aproximadamente biseque el ángulo entre la soldadura y el metal base. Siempre es mejor para el operador del equipo si el operador del sensor realiza las exploraciones en el sentido C.

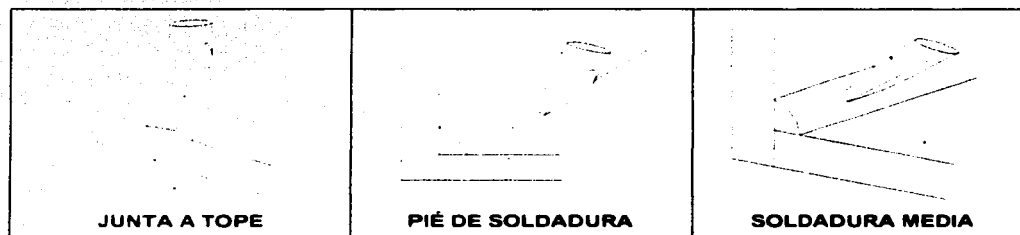


Figura 43. Posiciones del lápiz y sondas mini y micro

Durante una exploración hay que sostener las sondas aplicando una presión ligera. Un exceso de presión en la superficie sólo traerá consigo un desgaste exagerado (iniciando con el bronce de la placa exterior y concluyendo con el cuerpo de la sonda y los sensores) lo que también concluirá con un barrido inservible. El barrido ideal debe ser suave y a una velocidad constante (aproximadamente 10 mm/s).

Procedimiento de exploración. El operador del sensor sonda indica el número de sonda, dirección de barrido A o C (misma que se confirmará sólo si se cambia la dirección o el sensor sonda), reporta cualquier evento detectado visualmente o problema de acceso y que se encuentra en posición (aproximadamente a 50 mm del primer evento marcado) y listo para el barrido. Si hay el tiempo suficiente, una buena práctica consiste en hacer un barrido rápido para verificar posibles señales de defecto, accesibilidad y facilidad para el barrido del sensor sonda.

Existe un pequeño retardo aproximado de 10 s antes de que el operador del equipo le indique al operador del sensor sonda que inicie el barrido.

La velocidad de exploración normal es de cerca de 10 mm por segundo, a menos que se esté dimensionando grietas o realizando una nueva inspección para verificación de defectos, donde un barrido más lento será solicitado al operador del sensor sonda.

El operador del sensor sonda notificará cada uno de los eventos marcados o cualquier anomalía que el operador del equipo desee marcar mientras el centro del sensor sonda pasa por los eventos.

Cualquiera de los operadores puede detener el barrido.

La siguiente exploración se hará con un traslape de un evento de inspección o con una distancia mínima de 100 mm.

Una vez que cada pié de soldadura es inspeccionado, se inspecciona el siguiente pié de soldadura y finalmente se hace la inspección a media soldadura.

Si existen problemas de acceso con el sensor estándar, se cambia sensores lápiz o para acceso justo.

DIMENSIONAMIENTO DE DEFECTOS

El operador del sensor sonda deberá estar informado que:

- a. Se deben realizar una nueva serie de exploraciones para localizar los extremos del defecto.
- b. Se le indicará al operador del sensor sonda que se posicione a 50 mm del evento de referencia.
- c. Se explorará más lento de lo normal hasta que se le indique que se detenga. El operador del sensor deberá probablemente explorar hacia atrás y hacia delante hasta que se le indique que se detenga.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- d. Se coloca una flecha magnética (preferentemente) para indicar el inicio de una grieta. Se repite el procedimiento para encontrar el otro extremo.
- e. Cuando se encuentran marcados ambos extremos de la grieta se realiza un barrido final para verificación que incluirá por lo menos 50 mm antes y después de los extremos de la grieta localizada. Durante este barrido el operador del sensor deberá indicar al operador del equipo cualquier marca de evento o de defecto localizado.
- f. El operador de la sonda mide la dimensión de la grieta en milímetros y la distancia de inicio desde el evento de referencia (ejemplo: desde las 10 hrs.)
- g. Si existen más defectos en el área explorada, se realiza este procedimiento las veces que sea necesario para dimensionarlos todos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPÍTULO 10 DIMENSIONAMIENTO DE LONGITUD.

DEFECTOS SENCILLOS

Donde la señal de grieta produce un giro único en la gráfica de mariposa se dimensiona usando los picos en la señal B_z como se marca en la figura 44.

El operador del sensor sonda inicia el recorrido a 50 mm del primer extremo de la grieta y se mueve lentamente en la grieta mientras el operador del equipo observa las gráficas. Cuando B_z alcanza un pico el operador del sensor lo marca en la soldadura (con una flecha magnética u otro marcador). La operación se repite para determinar el otro extremo de la grieta ya sea continuando el barrido o iniciando uno nuevo.

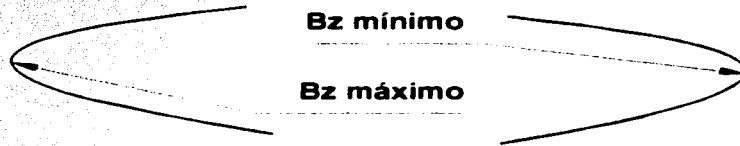


Figura 44. Dimensionamiento de longitud (una sola grieta)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Una exploración final del defecto se hace en ese momento. Este barrido consiste en un archivo mostrando los indicadores de posición y presionando la tecla **ENTER** cuando la línea del sensor pasa por los extremos marcados de la grieta. El barrido deberá incluir una longitud razonable (aprox. 50 mm) a cada extremo de la grieta. El operador del equipo deberá verificar que las marcas de los extremos de la grieta coinciden con los picos en la gráfica de B_z . De no ser así, los marcadores deberán ser reposicionados. Una vez logrado esto, el operador del sensor medirá la longitud de la grieta entre los marcadores y el operador del equipo lo anota.

MÚLTIPLES DEFECTOS

Cuando se presente más de una grieta, el dimensionamiento de las mismas se realizará de la misma manera que para una señal con una sola grieta, sólo que será necesario repetir cuantas veces sea necesario para cada defecto detectado, realizando una exploración para cada señal.

DIFICULTADES Y FUENTES DE ERROR.

Señales ruidosas de B_x/B_z . Si el fondo de la señal B_x permanece continuamente ruidoso entonces puede ser difícil identificar un valor apropiado de la señal de fondo para el inicio de la grieta. El ruido de fondo puede ser causado por pequeñas grietas en los extremos de grietas mayores.

El ruido de fondo de la señal B_z también puede influenciar la localización de los extremos de la grieta.

Cuando exista cualquier duda en la posición de los extremos de una grieta es mejor realizar tantas exploraciones como sean necesarias e ir descartando diferentes posibilidades.

Resolución del sensor. La resolución del sensor sonda tiene influencia en la precisión con la cual el detalle de una grieta puede ser evaluada y en consecuencia la precisión de la medición de longitud. La figura 45 explica este efecto.

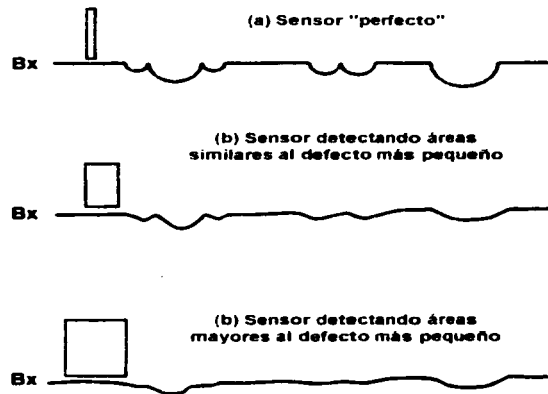


Figura 45. Efecto de resolución de sensores en señales obtenidas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPITULO 11 DIMENSIONAMIENTO DE PROFUNDIDAD

GRIETAS AISLADAS

Marcado de picos. Usando la exploración final para medir la profundidad de la grieta, desde el menú **DATA** y seleccionando la opción **PEAK MARKING** o desde el teclado mediante **ALT+D+P**, mantenemos presionada la tecla **SHIFT** y con las flechas del cursor izquierda y derecha; logramos hacer que la gráfica sea recorrida por un cursor que pasará a través de las señales de Bx y Bz y simultáneamente a través de la gráfica de mariposa para cada punto de la gráfica, asimismo; en la parte superior izquierda de la pantalla podemos ver los valores leídos de Bx y Bz en cualquier instante de la exploración.

Señal de fondo. Para poder usar el software en el cálculo de profundidad de la grieta, necesitaremos leer un valor adecuado de la señal de fondo en la gráfica de Bx y una vez establecido ingresamos al menú **DATA** y seleccionamos la opción **SET MAX/MIN** o mediante el teclado con la combinación **ALT+D+S** marcamos la opción **BACKGROUND Bx READING** y de esta manera hemos ingresado el valor de la señal de fondo para el cálculo de la profundidad de la grieta. Repetimos el procedimiento para encontrar el valor mínimo de la grieta en la señal de Bx, una vez hecho esto tecleamos nuevamente **ALT+D+S** y esta vez seleccionamos la casilla que dice **MINIMUM Bx READING** y apretamos el botón **OK** o tecleamos **ENTER**. Con los valores ya ingresados en el programa, desde el menú **DATA** seleccionamos la opción **CALCULATE DEPTH** desde donde hacemos clic en el botón **OK** y aparecerá un cuadro de diálogo indicando la profundidad de la grieta así como su longitud. Es preciso observar que para el que este cálculo se realice adecuadamente, la medida obtenida en campo mediante el procedimiento señalado anteriormente deberá ser ingresada en los valores solicitados por la opción de la ventana para el cálculo de la profundidad de la grieta.

En la figura 46 se observan los puntos donde se deben tomar las lecturas de Bx de fondo y Bx mínimo correspondientes a los puntos **P** y **Q** para el cálculo de profundidad de una grieta detectada con el equipo ACFM.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

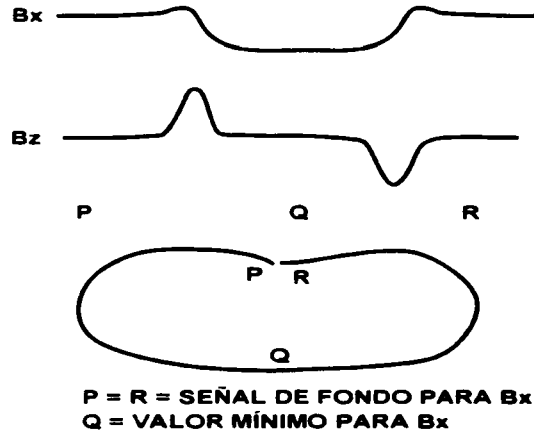


Figura 46. Posición de lecturas Bx para dimensionamiento de profundidad.

Señal de fondo irregular. Para el caso en el que la señal de fondo es muy desigual, se tomará un promedio de una línea aproximada que cruce la señal irregular promediándola. Posteriormente se tomará ese valor promedio para el cálculo de la profundidad y se procederá como ya se vio en párrafos anteriores.

MÚLTIPLES DEFECTOS.

El procedimiento para defectos múltiples es el mismo que para una grieta aislada, realizándolo para cada señal por separado.

CAUSAS DE ERRORES Y LIMITACIONES.

Los cálculos de profundidad efectuados por el equipo de ACFM suponen la existencia de una grieta semielíptica sin contacto interno. También vale la pena mencionar que la dimensión obtenida de profundidad es en el sentido de la grieta, no en el sentido del espesor del elemento.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Si estas suposiciones son correctas, entonces es posible obtener valores precisos de la profundidad de una grieta. Sin embargo, para el caso en que las suposiciones sean incorrectas es de esperarse que los valores que se obtengan de esta circunstancia sean menos precisos.

Errores en la toma de la lectura. Ya se vio anteriormente que el valor estimado de la longitud de una grieta detectada puede verse afectada por el ruido de la señal de fondo. Una falla más severa al respecto sería una mala interpretación del operador del equipo para detectar una señal de grieta, para interpretar correctamente una señal de múltiples grietas u obtener un valor inadecuado de los picos de Bx (fondo y mínimo).

La señal de fondo puede también ser tomada de manera errónea en una situación de mucho ruido en la señal de fondo. Una estimación del dimensionamiento hecho por el equipo de ACFM puede lograrse al variar los cálculos introduciendo diferentes valores de la señal de fondo y el valor mínimo en Bx, correspondiendo en valores a las señales máxima y mínima del ruido de fondo.

Es también necesario que el sensor sonda pase de manera precisa por la grieta para poder obtener señales con valores correctos para el cálculo.

Limitaciones teóricas. Las suposiciones de la teoría requieren que se trate de una grieta semielíptica sola sin contacto entre sus paredes sumergida en un campo uniforme. Los siguientes casos reducirán la precisión del método:

1. La presencia de grietas múltiples paralelas incrementarán la profundidad aparente de la señal
2. Si existen líneas de contacto en las paredes de la grieta detectada, entonces la lectura de profundidad quedará reducida
3. Las grietas de fatiga son semielípticas normalmente. Cualquier grieta no semielíptica puede reconocerse por la señal Bx, lo que significa que las grietas debidas a separación del material pueden no ser medidas adecuadamente.
4. La presencia de un campo no uniforme. Esto puede ocurrir en geometrías donde el campo magnético es distorsionado por las áreas de soldadura estrecha, bordes y esquinas.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Después de haber presentado todas las características y funciones; alcances y limitaciones del equipo de ACFM para la detección de grietas de fatiga en juntas soldadas y que no repetiré aquí por haberlas descrito detalladamente en el cuerpo de este trabajo, puedo concluir lo siguiente:

La técnica permite una detección aceptable de grietas en inspecciones sin mucho problema, pero cuando una inspección incluye geometrías estrechas se generan señales con demasiado ruido que dificultan la interpretación inmediata de los resultados.

El costo de un equipo de ACFM es aproximadamente en la actualidad de \$30,000 USD, lo que lo hace caro para las aplicaciones que tiene.

Es necesario un entrenamiento de 40 horas para poder obtener una certificación como inspector nivel I en la técnica. La capacitación del personal no está incluida en el valor del equipo, teniendo un valor aproximado de 100 USD/hora del instructor con un grupo máximo de 20 personas, lo que lo encarece aún más.

A pesar de estas inconveniencias, el método es de gran apoyo para establecer programas de mantenimiento correctivo en estructuras metálicas sometidas a cargas cíclicas, puesto que nos ofrece un panorama de los puntos en nuestra estructura que pueden considerarse críticos y que al final de cuentas nos ofrece un gran beneficio en contraparte al costo del equipo, por que nos permite destinar recursos materiales, humanos y económicos en donde realmente son necesarios y que sin la visión dada por la técnica del estado de una estructura metálica podríamos incurrir en un uso inadecuado de recursos. Estoy seguro de que la técnica es de gran ayuda para los ingenieros o el personal encargado de mantener las estructuras funcionales.

No hay que olvidar además que existen otras técnicas para detección de grietas en estructuras metálicas que pueden ayudarnos a complementar cualquier información recabada durante inspecciones con técnicas electromagnéticas. Es deber y responsabilidad del ingeniero a cargo del mantenimiento de una estructura considerar todas estas técnicas y

complementarias a su vez de manera económica para lograr el objetivo del mantenimiento preventivo: mantener una estructura funcional a bajo costo sin descuidar su integridad.

Otra parte importante del mantenimiento incluye el seguimiento de daños detectados, puesto que son un excelente termómetro del comportamiento de una estructura.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

BIBLIOGRAFÍA

Materials and processes for PND Technology. ASTN

An Introduction to ACFM. M Lugg

Use of AC Field Measurement for Non – Desctructive Testing. R Collings and M C Lugg

Inspection of Duplex and Super Duplex Steeis using the ACFM Technique. A Raine
M Lugg (Insigh Vol 37: No. 6 June 1995)

A Beginners Guide to Eddy Current Testing. J Rudlin. The British Institute of PND
Journal Vol 31 No. 6 june 1989

The ACFM Technique and its Application to the Inspection of Oil and Gas Installations.
D Topp. 32nd Annual British Institute of PND Conference (Insigh Vol 36 No. 6 June 1994)

Operational Experience with ACFM Inspection Technique for Sub-Sea Weld Inspection.
D Topp

The Use of Manual and Automated ACFM Inspection Techniques for Sub-Sea and
Topside Crack Detection and Sinzing. D Topp. Offshore S E Asia Decemeber 1994 OSEA
94.137

ROV Inspection of Welds – A Reality. A Raine. The British Institute of PND Conference
1995.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ANEXO

ÍNDICE DE TABLAS E ILUSTRACIONES

<i>Figura 1. Medición de grietas mediante equipos electromagnéticos.....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 2. Campo magnético alrededor de un conductor mientras circula una corriente.....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 3. Ciclo de Histéresis.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 4. Frecuencia y Profundidad de Penetración.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 5. La corriente en un circuito produce corriente en un circuito adyacente.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 6. Representaciones del campo magnético.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 7. Condiciones iniciales para el flujo de corrientes remanentes.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 8. Efecto de alzamiento.....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 9. Efectos de orilla.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 10. Efecto de grietas.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 11. Principio básico de ACPD.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 12. Flujo de corriente alrededor de las orillas de grietas.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 13. Factor de corrección (M) para grietas cortas semielípticas (ACPD).....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 14. Campos uniformes y corrientes en la superficie.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 15. Campos alrededor de una corriente en un arco circular.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 16. Corrientes alrededor de una grieta debidas a un campo uniforme.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 17. Densidad de flujo magnético superficial y corriente alrededor de grietas.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 18. Corrientes y generación de campos magnéticos perpendiculares.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 19. Arreglo externo de sonda para producir un campo eléctrico uniforme desde un yugo magnético.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 20. Diagrama de operación del equipo de ACFM.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 21. Pantalla de ACFM (programa QFM versión 1).....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 22. Abrir archivo.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 23. Barrido de una grieta de 5 mm de profundidad para la configuración de sonda estándar y corriente de 1 A.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 24. Ejemplo de título de página.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 25. Convención de signos para Bx y Bz en la gráfica de mariposa.....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 26. Bx, Bz y gráfica de mariposa para una grieta por fatiga semielíptica.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 27. Apariencia de señales de grietas para micro sensores y sensores para barrenas... </i>	<i>56</i>
<i>Figura 28. Barrido de una grieta en ángulo.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 29. Ejemplo de grieta en ángulo hacia la superficie.....</i>	<i>57</i>

<i>Figura 30. Campo magnético en grieta transversal</i>	58
<i>Figura 31. Señales de barrido en una grieta transversal</i>	58
<i>Figura 32. Barrido dentro de geometría angosta</i>	59
<i>Figura 33. Efecto de orilla (barrido de bloque corto)</i>	60
<i>Figura 34. Señal en geometría estrecha sin grieta (izquierda) con grieta (derecha)</i>	60
<i>Figura 35. Movimiento del sensor durante la configuración</i>	62
<i>Figura 36. Orientación del sensor para (a) barrido de pie (b) barrido medio de soldadura</i>	63
<i>Figura 37. Barrido de componente circular</i>	65
<i>Figura 38. Barrido inicial para defecto transversal</i>	66
<i>Figura 39. Barrido para aproximación a junta</i>	67
<i>Figura 40. Barrido para extremo de soldadura</i>	68
<i>Figura 41. Barrido a través de la unión (grieta al final del pie de soldadura)</i>	68
<i>Figura 42. Posicionamiento de sonda estándar</i>	71
<i>Figura 43. Posiciones del lápiz y sondas mini y micro</i>	72
<i>Figura 44. Dimensionamiento de longitud (una sola grieta)</i>	75
<i>Figura 45. Efecto de resolución de sensores en señales obtenidas</i>	76
<i>Figura 46. Posición de lecturas Bx para dimensionamiento de profundidad</i>	78

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN