



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES.

“CAMPUS ARAGON”

**ENSAYES NO DESTRUCTIVOS EN ESTRUCTURAS
METALICAS SOLDADAS .**

288072

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A :
JUAN CARLOS VAZQUEZ SALAZAR

ASESOR :
ING. IGNACIO E. HERNANDEZ QUINTO





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.



**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGÓN
DIRECCIÓN**

UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

DUPLICADO

**JUAN CARLOS VÁZQUEZ SALAZAR
PRESENTE.**

En contestación a su solicitud de fecha 13 de abril de 1999, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el señor profesor, Ing. IGNACIO E. HERNÁNDEZ QUINTO pueda dirigirle el trabajo de Tesis denominado, "ENSAYES NO DESTRUCTIVOS EN ESTRUCTURAS METÁLICAS SOLDADAS", con fundamento en el punto 6 y siguientes del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL INDIANO"
San Juan de Aragón, Méx., 13 de noviembre de 1999.
EL DIRECTOR



M en R.I. CARLOS EDUARDO LEVY VÁZQUEZ

Nota: La aceptación del tema de tesis y asesor de la misma fue registrada en la Secretaría Académica de esta Escuela con fecha 19 de abril de 1999.

C p Secretaría Académica
C p Jefatura de la Carrera de Ingeniería Civil.
C p Asesor de Tesis.

CELVAIR P...cma*

CyB



**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGÓN
DIRECCIÓN**

UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

**JUAN CARLOS VÁZQUEZ SALAZAR
P R E S E N T E.**

En contestación a su solicitud de fecha 13 de abril de 1999, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el señor profesor, Ing. IGNACIO E. HERNÁNDEZ QUINTO pueda dirigirle el trabajo de Tesis denominado, "ENSAYES NO DESTRUCTIVOS EN ESTRUCTURAS METÁLICAS SOLDADAS", con fundamento en el punto 6 y siguientes del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
San Juan de Aragón, Méx., 13 de noviembre de 2000
EL DIRECTOR



M en R.I. CARLOS EDUARDO LEVY VÁZQUEZ

C p Secretaría Académica
C p Jefatura de la Carrera de Ingeniería Civil.
C p Asesor de Tesis.

CELVAIR B...cma*

Dedico este trabajo a la persona que complementa mi vida, ya que sin ella no hubiera logrado todo esto; gracias por tu ayuda y comprensión, y también por darme esos dos angelitos que me llenan de dicha y felicidad. Muchas gracias corazón, te quiero mucho.

Con cariño para mi esposa

Elizabeth

y para mis hijas:

Elizabeth Vianey

y

Miriam Karen.

A mis padres y hermanos:

No tengo palabras para agradecer este gran apoyo y ayuda que me han brindado durante tantos años, espero que siempre estén orgullosos de mi y no defraudarlos nunca.

Los quiero mucho.

Mis padres:

*Luis Vázquez E.
Ma. Luisa Salazar*

Mis hermanos:

*Luis Enrique
Mario Gustavo*

Con respeto y agradecimiento al Ing. Ignacio Enrique Hernández Quinto, por su gran apoyo y orientación para el desarrollo de este trabajo.

Gracias a los ingenieros que aceptaron ser parte del jurado:

Ing. Gilberto García Santamaría G.

Ing. Jorge Arturo Pantoja D.

Ing. Ma. De los Angeles Sánchez C.

Ing. Ricardo Heras Cruz

ENSAYES NO

DESTRUCTIVOS EN

ESTRUCTURAS

METÁLICAS

SOLDADAS

INDICE

1.- Introducción	1
2.- Diseño de soldadura	9
3.- Defectos en la soldadura	31
4.- Inspección visual	42
5.- Inspección con líquidos penetrantes	68
6.- Inspección con partículas magnéticas	88
7.- Inspección con ultrasonido	107
8.- Inspección con radiografía	127
9.- Conclusiones	154
10.- Bibliografía	157

CAPITULO

1

INTRODUCCION

INTRODUCCION

La soldadura que es una de las industrias mas nuevas de la metalisteria, puede remontarse hasta tiempos muy lejanos. El ejemplo mas antiguo proviene de la Edad de Bronce, en el cual se hicieron con oro pequeñas cajas redondas aparentemente uniendo a presión sus lados.

Durante la Edad de Hierro los egipcios y otros pueblos del Mediterráneo Oriental aprendieron a soldar y a unir piezas de hierro. Se han encontrado muchas herramientas y armas hechas aproximadamente hace 1000 años antes de Cristo. Asimismo, artículos de hierro y de bronce que muestran operaciones de forjado y de soldadura han sido encontrados en las pirámides de Egipto.

Durante la Edad Media el arte de la herrería se desarrollo en un alto grado y se produjeron muchos artículos de hierro, los cuales se soldaron golpeándolos con martillo. Uno de los trabajos mas importantes de ese periodo fue el Pilar de Hierro de Delhi en la India, el cual fue erigido aproximadamente en el año 310, hecho de lingotes de hierro unidos con soldadura, con una altura aproximada de 7.6 m y un diámetro de 30 cm en la parte superior y de 40 cm en la parte inferior. Existen otros ejemplos de trabajos soldados los cuales han sido encontrados en Escandinavia y Alemania.

Sin embargo, la soldadura, tal como la conocemos actualmente, fue descubierta en el siglo XIX, se atribuye a Sir Humphry Davy, de Inglaterra, el haber proporcionado las bases para la soldadura moderna a base de dos descubrimientos. Uno el del acetileno y otro, la producción de un arco entre dos electrodos de carbono sirviéndoce de una batería.

Durante el periodo de 1877 - 1903 se hizo un gran numero de descubrimientos e inventos relacionados con la soldadura y el corte con gas. Se desarrollo la soldadura de arco utilizando el arco de carbono, el arco metálico, y la soldadura de resistencia, en gran parte como la conocemos actualmente. Fue en 1881 cuando, Auguste De Meritens empleo el calor de un arco para unir placas de plomo destinadas a baterías de almacenamiento.

Sin embargo fue su alumno, el ruso Nikolai N. Bernardos, que trabajaba en el French Laboratory, a quien se le concedió una patente para soldadura. El junto con otro ruso, Stanilaus Olszewaski, obtuvo una patente británica en 1885 y una estadounidense en 1887.

Aparentemente, Bernardos no tuvo éxito con un electrodo metálico, y en 1890 se le otorgó a C. L. Coffin de Detroit, la primera patente estadounidense para un proceso de soldadura por arco que utilizaba un electrodo metálico. Esta era la primera vez que se sabía de un metal fundido desde el electrodo, y transportado a través del arco para depositar metal de aporte en la unión soldada.

Hacia 1900 Strohmager introdujo en Gran Bretaña un electrodo metálico con revestimiento. En ese tiempo utilizaban un baño de revestimiento de arcilla o de cal, el cual proporcionaba un arco mas estable. Oscar Kjellberg, de Suecia, invento el electrodo cubierto o revestido durante el periodo de 1907 - 1914, los cuales se producían sumergiendo pequeños tramos de alambre de hierro desnudo en mezclas espesas formadas de carbonatos, silicatos, etc.

La primera Guerra Mundial trajo consigo una tremenda demanda en la producción de los materiales metálicos, y la utilización de la soldadura fue puesta en marcha. Muchas compañías surgieron en Estados Unidos y Europa para manufacturar diversos tipos de maquinas de soldadura y de electrodos, a fin de satisfacer la demanda.

Inmediatamente después de la guerra, en 1919, veinte miembros del Wartime Welding Committee (Comité de soldadura en tiempos de guerra), fundaron la American Welding Society (AWS), como una organización no lucrativa dedicada al desarrollo de la soldadura y de los procesos afines.

La soldadura es la forma mas eficaz y la única posible de unir dos o mas piezas de metal para hacerlas actuar como una sola. La soldadura se usa ampliamente para fabricar o reparar las piezas o elementos hechos de metal.

Si una junta está soldada, entonces es una junta permanente. Es obvio, si está debe ser desensamblada ocasionalmente, no deberá soldarse. Por lo tanto, se debería afirmar que; la soldadura es el método mas económico de unir en forma permanente partes de metal.

La soldadura moderna de los metales, logra la unión por fusión. Sin embargo con el desarrollo de la tecnología y el mejoramiento de los métodos de prueba, se observo que podría lograrse una fusión completa entre dos o mas metales, y que el área soldada tenia mucho mayor resistencia que cualquiera de las piezas que se habían unido, utilizando las técnicas y los materiales correctos.

En los últimos años la soldadura a ido ingresando en la construcción, principalmente en la de estructuras metálicas, ya que anteriormente se utilizaban la tornillería y los remaches, pero con el avance de las técnicas de soldadura, su bajo costo y fácil aplicación le han abierto camino en el área de la construcción.

Por ejemplo para fusionar dos partes mediante pernos o remaches se requiere de orificios en ambas a efecto de acomodarlos, estos orificios reducen el área transversal en un 10 % aproximadamente, la junta también puede requerir del uso de una o dos placas de acero, incrementando así el peso del material requerido y el costo.

Este gasto puede eliminarse usando un trabajo de soldadura. Asimismo, se obtendrá mayor economía de un diseño soldado si la sección transversal de la totalidad del miembro estructural se reduce en proporción igual a la cantidad de orificios para los tornillos o pernos empleados.

Esto puede hacerse, ya que la totalidad de la sección transversal de un elemento de un diseño que requiere soldadura se utiliza para soportar la carga. La cantidad de material requerido se reduce considerablemente, asimismo su costo. Esto puede ser apreciado en la figura 1.1, a y b.

Como en todos los trabajos que se realizan es necesario hacer constar que estos se están realizando con gran calidad y la única forma de lograrlo es mediante pruebas, las cuales pueden ser destructivas o no destructivas, pero para este caso se analizaran las no destructivas.

Cuando los trabajos son efectuados en campo las pruebas no tienen que alterar la forma ni las propiedades físicas y químicas de los materiales, es por ello que se crearon las pruebas no destructivas.

Estas pruebas tienen la función de inspeccionar las uniones soldadas para garantizar la sanidad de las soldaduras sin afectarlas, ya que como se menciono anteriormente, si se emplean las técnicas y los materiales correctos, las uniones soldadas siempre tendrán mayor resistencia que la de los metales a unir.

Esto se puede ejemplificar con el acero estructural A-36 el cual tiene una resistencia de 3600 kg/cm^2 , y los electrodos que se utilizan en acero estructural son de la clase E-70-XX, los cuales tienen una resistencia de 4900 kg/cm^2 , se podrían utilizar electrodos de menor o mayor resistencia, pero no sería aplicable.

Los ensayos o pruebas no destructivas, consisten en aplicar principios de física y química para detectar defectos o discontinuidades en los materiales, sin afectar su utilidad, existen varios métodos o técnicas, sin embargo en esta tesis solo se analizaran las que normalmente son utilizadas en el área de la construcción.

Es necesario conocer los símbolos de los ensayos no destructivos, los cuales han sido establecidos por la AWS. Estos símbolos son utilizados por el diseñador para informar al ingeniero residente los ensayos y número de los mismos a efectuarse en las uniones soldadas, los símbolos empleados son muy semejantes a los de soldadura.

En la figura 1.2 se muestran los elementos del símbolo del examen y la localización estándar entre si, solo se usan aquellos elementos del símbolo que son necesarios para dar la información que sea precisa.

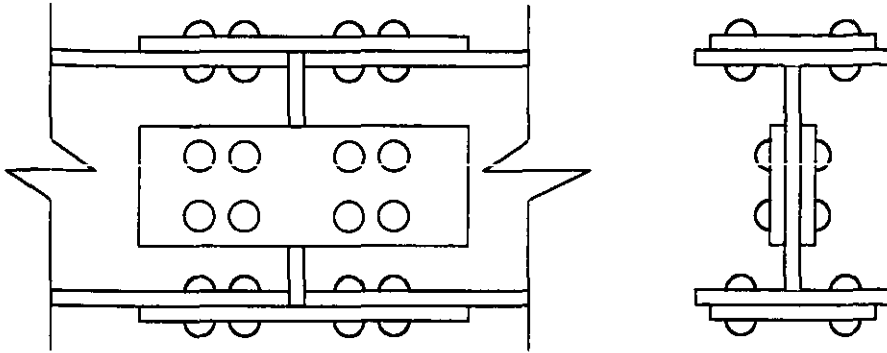


Figura 1.1 a.- Empalme remachado o atornillado

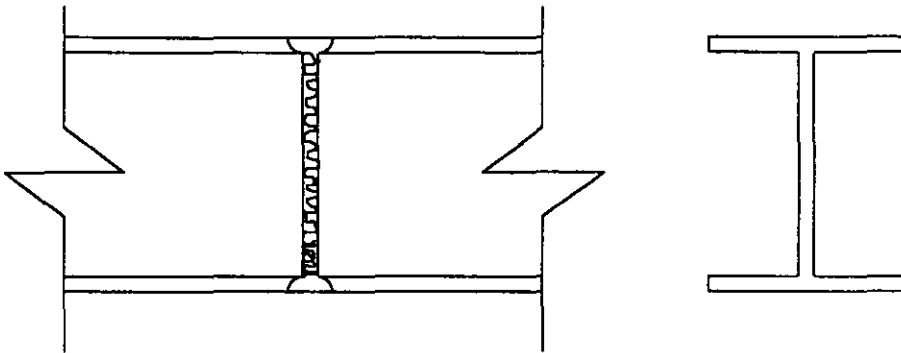
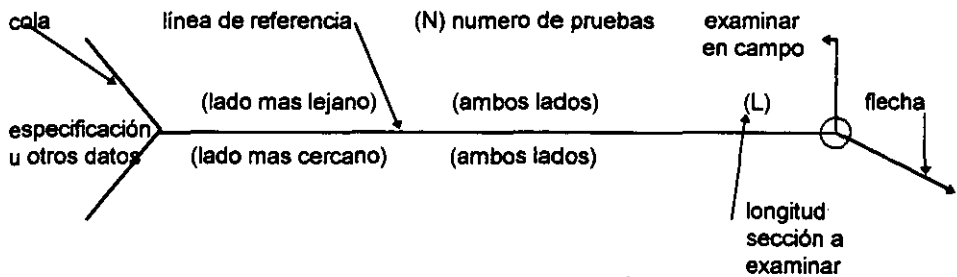


Figura 1.1 b.- Empalme soldado



Símbolos básicos del examen

Figura 1.2.- Localización de los símbolos

A continuación se muestra las letras con las que son designados los diferentes tipos de ensayos no destructivos.

Método de examen	Designación en letras
Inspección visual	VT
Líquidos penetrantes	PT
Partículas magnéticas	MT
Ultrasonido	UT
Radiografía	RT

En la figura 1.3 se ilustran los símbolos mas empleados de los ensayos no destructivos, así como sus combinaciones e información básica.

A continuación se da una breve explicación de cada método, los cuales serán analizados detalladamente en los capítulos subsiguientes.

Inspección visual; es el examen que se lleva a cabo a simple vista y con la ayuda de instrumentos y las normas o especificaciones aplicables al proceso que se evalúa. Esta inspección resulta ser de lo mas productiva y rentable, pues detecta las fallas acabando de realizar las soldaduras y en algunos de los casos puede prevenir los factores que ocasionan dichas fallas.

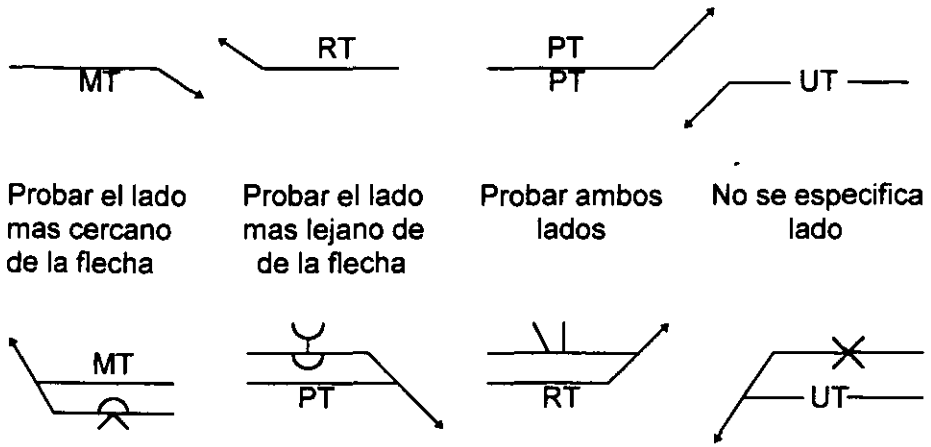
Inspección con líquidos penetrantes; son utilizados para la detección de discontinuidades superficiales, invisibles o poco detectables a simple vista. Se basa en los principios de capilaridad, tensión superficial, etc.

Inspección con partículas magnéticas; esta prueba emplea el principio del magnetismo, la prueba consiste en espolvorear polvo de hierro en la zona a inspeccionar.

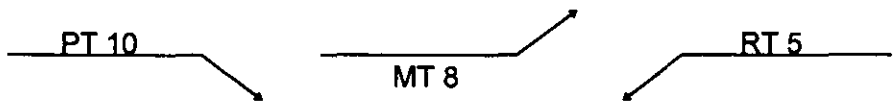
Posteriormente con la aplicación de una corriente eléctrica se crea un campo magnético, el cual se rompe en las discontinuidades, acumulándose en estas el polvo de hierro.

Inspección con ultrasonido; este método detecta y mide las discontinuidades, tanto en la superficie como en el interior, el método se basa en la velocidad de propagación del sonido y el tiempo que tarda en ir y regresar una onda a través del material a inspeccionar.

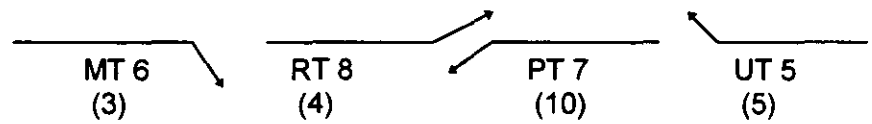
Inspección con radiografía; el principio de la inspección con rayos x consiste en la penetración de los mismos, en el material a inspeccionar detectando las discontinuidades por medio de la interpretación de las distintas densidades obtenidas en una película que recibió la carga.



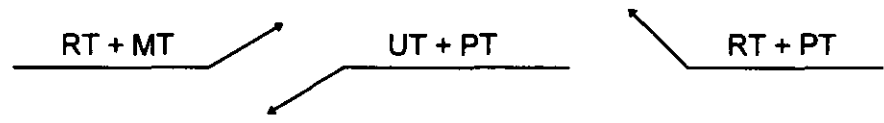
Símbolos combinados de ensayos y soldadura.



Símbolos con la longitud de la sección a examinar (en pulgadas).



Número de pruebas por hacer entre paréntesis.



Los símbolos de ensayos no destructivos también pueden ser combinados de esta manera.

Figura 1.3.- Símbolos mas empleados en ensayos no destructivos.

CAPITULO

2

DISEÑO

DE

SOLDADURA

DISEÑO DE SOLDADURA

INTRODUCCION

Los dos tipos principales de soldaduras estructurales son las de filete, y penetración, aunque también son empleadas las de tapón y de ranura, estas dos últimas son empleadas muy poco, ver la figura 2.1.

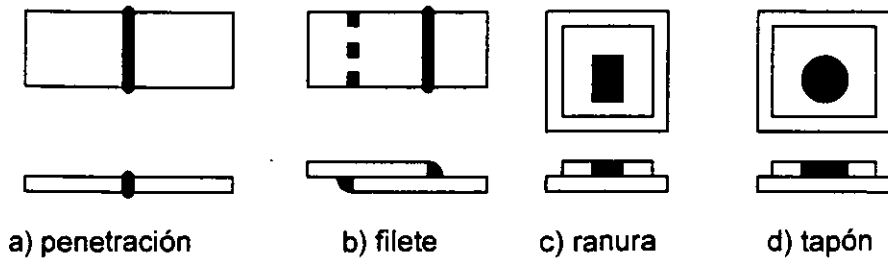


Figura 2.1.- Tipos principales de soldaduras

Las soldaduras de filete se obtienen depositando un cordón de metal de aporte fundido en el ángulo formado por los bordes de dos piezas; el calor producido por el arco eléctrico funde también las zonas de las placas en contacto con él, los metales fundidos se mezclan y cuando se produce la solidificación, se establece una liga entre las dos partes. Las secciones transversales de las soldaduras de filete son aproximadamente triangulares.

Para obtener una soldadura de penetración se deposita metal de aporte fundido entre los bordes de dos placas que pueden estar alineadas en un mismo plano; durante el proceso se funde parte del metal base, que se mezcla con el de aporte y al solidificarse se establece una continuidad entre las dos piezas. Las soldaduras pueden ser de penetración completa o incompleta si es que la fusión abarca todo o parte del espesor de las placas.

Las juntas a tope entre placas del mismo espesor sólo pueden hacerse con soldaduras de penetración; en las traslapadas se pueden utilizar filetes, tapones o ranuras, y en las juntas en T o en esquina de penetración o de filete, lo mismo en juntas a tope entre placas de

espesores muy diferentes (ver la Figura 2.2). Las juntas de borde no son estructurales; se utilizan para dar un acabado adecuado o impedir el paso de líquidos o humedad entre dos placas.

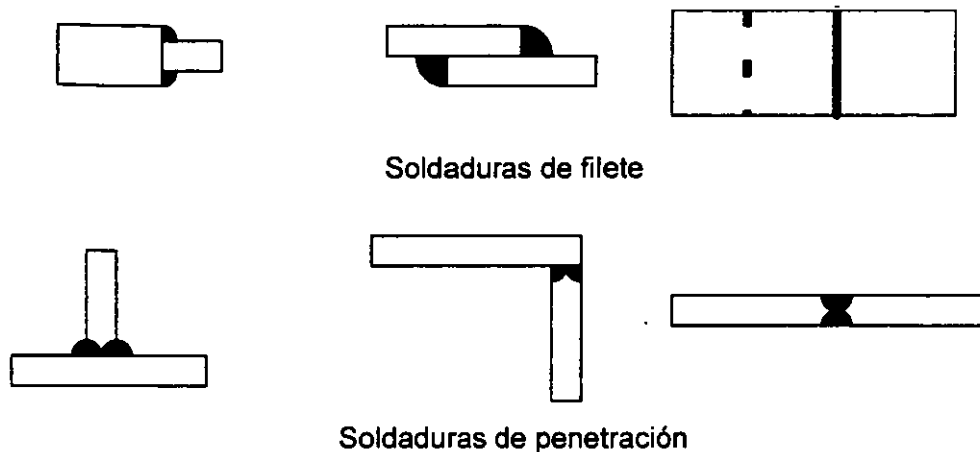
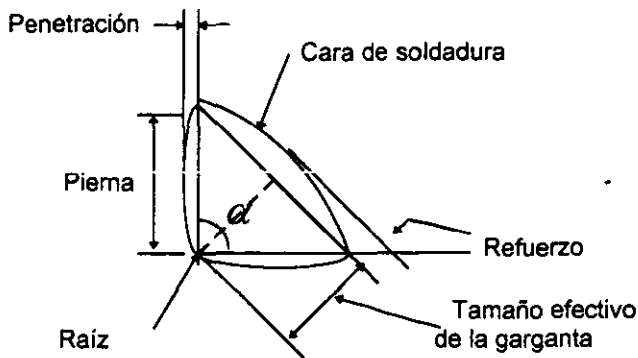


Figura 2.2.- Distintos tipos de soldadura utilizados para cada junta.

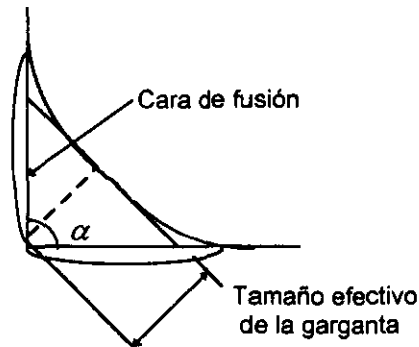
Soldaduras de filete

En la Figura 2.3 se muestran las secciones transversales más comunes en la soldadura de filete, y se indican cada una de sus partes.

El ángulo α que forman los dos planos entre los que se deposita la soldadura es, en general, de 90° (para los casos, poco comunes, en que el ángulo no es recto, se permite el empleo de soldaduras de filete para valores comprendidos entre 135° y 60° y el triángulo inscrito en la sección transversal suele ser isósceles, aunque a veces se hacen soldaduras de piernas desiguales; en este caso, el tamaño de la garganta sigue siendo la distancia más corta entre la raíz y la hipotenusa del triángulo inscrito.



a) Cara exterior convexa



b) Cara exterior cóncava

Figura 2.3.- Características y partes de una soldadura de filete

Aunque hay dudas respecto a las ventajas y desventajas de las dos secciones de la figura 2.3, se suele considerar que la convexa es preferible en estructuras con carga estática, y que la cóncava es más eficiente cuando la carga es dinámica y la fatiga una consideración de diseño, pues proporciona una transición gradual entre las dos partes unidas y evita, o al menos reduce, las concentraciones de esfuerzos en los bordes de los cordones. Las soldaduras más comunes tienen la cara exterior ligeramente convexa; las cóncavas se utilizan sólo en casos especiales.

Soldaduras de penetración

En una soldadura de penetración completa el metal de aporte debe tener acceso a todo el espesor de las piezas que se están uniendo, puesto que han de quedar ligadas entre sí en toda el área de la sección transversal, si la soldadura es de penetración incompleta, debe obtenerse el grado de penetración deseado.

Para reunir en una junta las características buscadas han de satisfacerse varias condiciones simultáneas, relativas a su geometría (grosor o posición de las partes por unir, estado en que se encuentran sus bordes), el proceso utilizado para depositar el metal de aporte, y la capacidad del operador para emplearlo satisfactoriamente; en muchos casos, la única forma de saber si se cumplen estos requisitos consiste en hacer varias juntas en condiciones análogas a las que se tendrán en la estructura real, y someterlas a pruebas, no destructivas y destructivas, para determinar su calidad.

Hay, sin embargo, un número considerable de tipos de juntas que han demostrado su eficiencia en repetidas pruebas de laboratorio y su empleo durante años, con éxito, en estructuras reales, por lo que se sabe que utilizándolas se pueden obtener soldaduras de buena calidad, si son efectuadas por operadores capacitados y se usan los materiales y procesos adecuados. Estas juntas, llamadas precalificadas, se emplean sin necesidad de efectuar pruebas previas, en la figura 2.4, se puede apreciar el ejemplo de una junta precalificada.

PROCESO DE SOLDADURA	GROSOR DEL METAL T	PREPARACIÓN DE LA JUNTA		POSICIONES PERMITIDAS
		ABERTURA R	ÁNGULO	
SMAW	U	6 mm	45°	TODAS
		10 mm	30°	P, V, SC
		13 mm	30°	P, V, SC
GMAW FCAW	U	5 mm	30°	P, V, SC
		10 mm	30°	P, V, SC
		8 mm	45°	P, V, SC
SAW	U	16 mm	20°	P

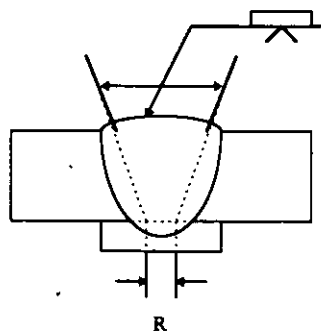
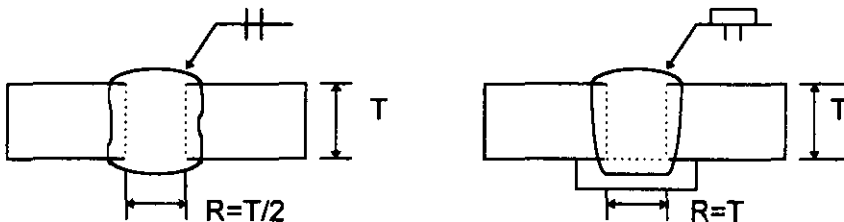


Figura 2.4.- Junta a tope precalificada

Para emplear juntas diferentes de las precalificadas tiene que demostrarse que con los procesos, electrodos, preparaciones, etc., que se quieren usar se obtienen resultados satisfactorios. Sin embargo como las juntas precalificadas cubren la mayor parte de las necesidades actuales, no suelen requerirse otras al diseñar o fabricar estructuras de acero soldadas.

El empleo de juntas no precalificadas se hace necesario cuando empieza a utilizarse un proceso de soldadura nuevo, pues la precalificación exige un cierto tiempo de uso; por este motivo, en versiones anteriores del código AWS aparecen como únicos procesos que no requieren precalificación la soldadura manual con electrodo recubierto y la automática de arco sumergido, mientras que en la versión actual se aceptan dos procesos adicionales.

Si las placas que se van a unir son delgadas puede lograrse penetración completa colocando una frente a la otra, dejando un espacio adecuado entre sus bordes, y depositando el metal de aporte por los dos lados de la junta, sin placa de respaldo, o por uno solo, con placa de respaldo. En la figura 2.5, se indican los groesos máximos para los que puede seguirse ese procedimiento en juntas a tope realizadas manualmente con electrodo recubierto.



Soldadura depositada por los dos lados

soldadura depositada por un solo lado
con placa de respaldo

Penetración completa para $T_{\text{máx.}} = 6 \text{ mm}$

Figura 2.5.-Soldaduras de penetración completa en placas sin preparación

Para obtener penetración completa en materiales más gruesos es necesario preparar los bordes de las piezas, dándoles una forma adecuada para que el electrodo tenga acceso y se pueda depositar metal de aporte en todo el espesor.

En la figura 2.6, se muestran las preparaciones más comunes; la elección de una u otra se basa, principalmente, en consideraciones económicas.

Durante la fabricación de soldadura han de tenerse en cuenta las tolerancias establecidas en las especificaciones, así las aberturas de raíz y los ángulos en juntas de penetración completa, en doble bisel y con placa de respaldo, no deben variar de los indicados en cantidades mayores que las siguientes; abertura de raíz, $+ \frac{1}{4}$ " (6.3 mm), $-1/16$ " (1.6 mm); ángulo de bisel, $+ 10^\circ$, -5° . Si no se cumple alguno de estos requisitos geométricos, la junta deja de ser precalificada.

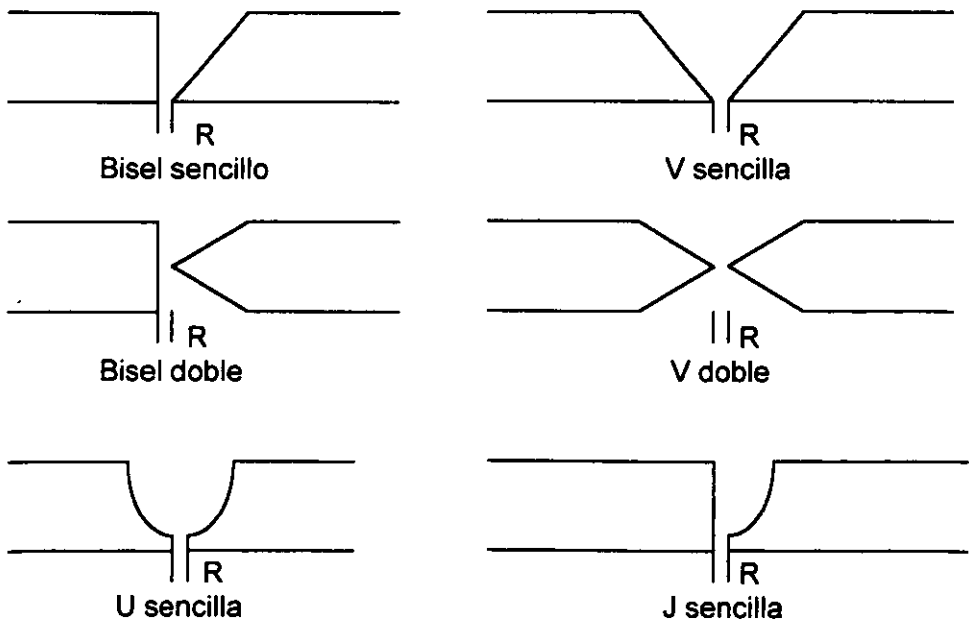


Figura 2.6.- Tipos de preparación mas comunes en juntas a tope

Resistencia de las soldaduras

Soldaduras de filete

Las excentricidades y discontinuidades propias de las soldaduras de filete, combinadas con los complejos ciclos térmicos que acompañan su ejecución, producen estados de esfuerzos muy complicados, que no se pueden estudiarse analíticamente, por lo que el cálculo de su resistencia se basa en estudios experimentales.

La mayoría de los códigos modernos basan la determinación de la resistencia de las soldaduras de filete en dos suposiciones principales:

1. La falla se presenta siempre por cortante en la garganta, cualquiera que sea el tipo de sollicitación.
2. Las fuerzas cortantes se distribuyen uniformemente en la superficie de falla, en toda la longitud del cordón.

El área efectiva de una soldadura de filete es igual al producto de su longitud por el tamaño efectivo de la garganta; de acuerdo con las suposiciones anteriores, la resistencia de una soldadura se calcula multiplicado su área efectiva por un esfuerzo constante.

En el código AWS se indica que el tamaño efectivo de la garganta de las soldaduras de filete es igual a la distancia más corta entre la raíz y la cara de la soldadura (figura 2.3), independientemente del proceso que se haya utilizado para depositarla.

Se ha demostrado experimentalmente que la resistencia de las soldaduras de filete no es independientemente de la dirección de las fuerzas que obran sobre ellas, y aunque la falla es siempre por cortante varía la inclinación del plano de ruptura.

Las soldaduras de filete con carga longitudinal están sometidas a sollicitaciones muy diferentes de las que aparecen en las transversales, lo que justifica que su resistencia difiera apreciablemente, ver la figura 2.7.

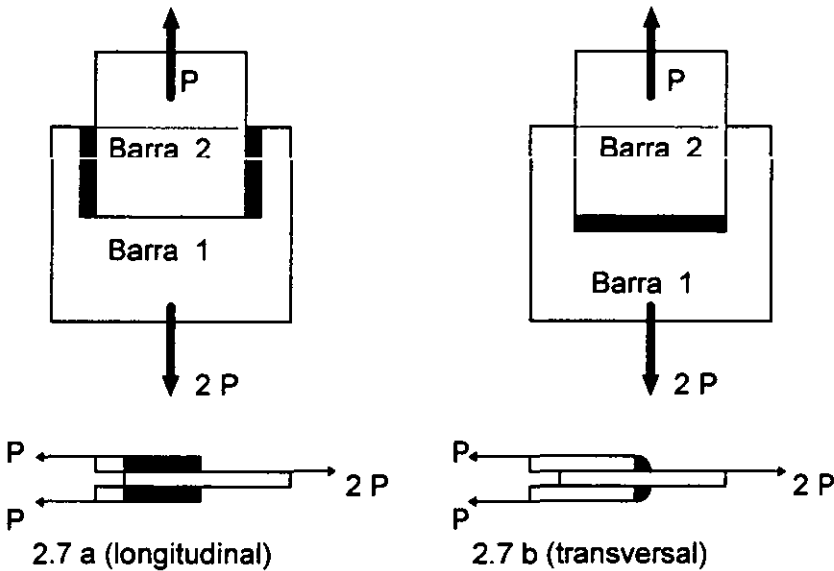


Figura 2.7.- Soldaduras de filete longitudinales y transversales

La transmisión de las fuerzas P de las barras 2 a la 1 en la junta de la figura 2.7a se efectúa a través de los cuatro filetes colocados entre ellas, que quedan sometidos a fuerzas longitudinales aplicadas en sus caras vertical horizontal.

En la figura 2.8 se muestra uno de los filetes aislados del resto de la junta; se indica las fuerzas que actúan sobre él y los esfuerzos y deformaciones, predominantemente cortantes, que ocasionan. Los esfuerzos, que cambian de intensidad a lo largo de la soldadura, son máximos en los extremos, pero cuando las deformaciones de las barras, de las soldaduras, o de ambas, sobrepasan la correspondiente al límite de fluencia, se redistribuyen y tienden a uniformizarse, de manera que cerca de la falla es correcta la suposición de que son constantes en toda la longitud, cuando menos en juntas con carga estática.

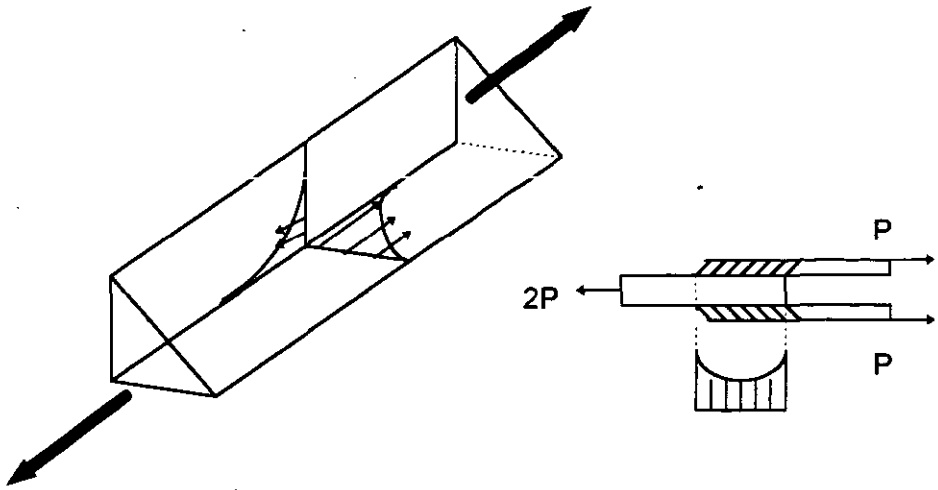


Figura 2.8.- Esfuerzos en soldaduras de filete cargadas longitudinalmente.

Se recomienda que se utilice la longitud real en cordones de hasta 2 m, y que para calcular la resistencia de soldaduras más largas se emplee una longitud reducida que se obtiene multiplicando la real por el factor:

$$n = 1.3 - 0.15 l$$

donde: l es la longitud del cordón, en metros

Pero se utiliza la longitud completa del cordón, cualquiera que sea, cuando la repartición de esfuerzos a lo largo de él corresponde a la de los elementos que une, o cuando su longitud no influye en la ley de variación de los esfuerzos. Así, en conexiones viga-columna se emplea la longitud total no reducida de las soldaduras del alma de las vigas, y lo mismo se hace en los cordones entre almas y patines de traveses armados soldados.

La distribución de esfuerzos en soldaduras con cargas transversal. Es mucho más compleja, como se ve en la figura 2.9, en la que se muestra uno de los cordones de la figura 2.7b, aislado.

Los esfuerzos que aparecen en el, medidos experimentalmente, que pueden considerarse constantes en toda la longitud de la junta; además de los cortantes, hay ahora importantes esfuerzos normales producidos por flexión.

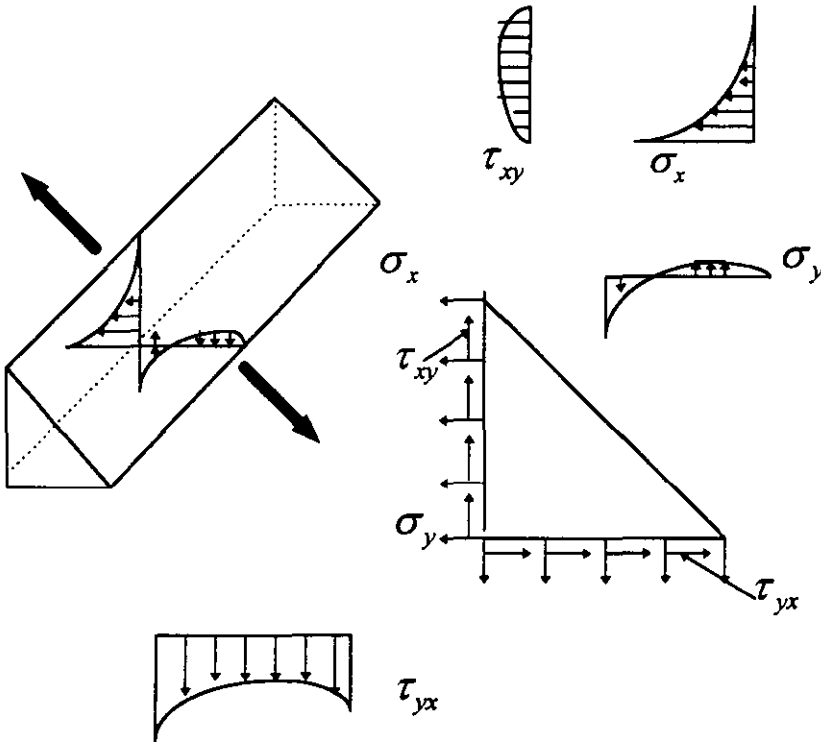


Figura 2.9.- Esfuerzos en soldaduras de filete cargadas transversalmente

El problema se complica todavía más cuando las juntas son asimétricas (por ejemplo, si se suprime una de las barras 2 de cualquiera de las juntas de la figura 2.7), pues aparecen en las soldaduras esfuerzos y deformaciones adicionales significativos, se recomienda que el esfuerzo cortante permisible en el área efectiva de las soldaduras de filete se tome, para cualquier dirección de la carga, igual a 0.3 veces la resistencia mínima a la ruptura en tensión del metal depositado.

Siempre que se utilice electrodos para soldar aceros con características mecánicas similares a las del metal de aporte; se obtiene así un coeficiente de seguridad contra la ruptura de la soldadura comprendido entre 2 y 3.

Si se supone que las soldaduras de filete fallan siempre por cortante en la garganta y que los esfuerzos están distribuidos uniformemente en toda el área efectiva, su resistencia de trabajo se obtiene multiplicando ésta por el esfuerzo permisible; si el cordón de la figura 2.3 se ha depositado con un electrodo E-70XX; por ejemplo, la fuerza que resiste en condiciones de trabajo es:

$$(D \cos 45^\circ) L (0.30 \times 4920)$$

donde:

$D \cos 45^\circ$ es el tamaño de la garganta

$(D \cos 45^\circ) L$ el área efectiva

0.30×4920 el esfuerzo permisible

$(4920 \text{ Kg/cm}^2) / (70000 \text{ Lb/in}^2)$ es el esfuerzo mínimo de ruptura en tensión del metal depositado con un electrodo E70XX .

Estos esfuerzos permisibles se recomiendan para diseño de estructuras cargadas estáticamente; para estructuras con carga dinámica, como los puentes, se especifican valores menores: 0.27 veces la resistencia nominal del metal depositado, en las soldaduras, y 0.36σ y en el metal base.

La resistencia nominal en el área efectiva se toma igual a $0.60 F_{EXX}$, donde F_{EXX} es el esfuerzo mínimo de ruptura en tensión del metal depositado; además, se recomienda un factor de resistencia de 0.75.

De esta manera, la resistencia del diseño de una soldadura de filete, R_s , es:

$$R_s = F_R \cdot F_s = 0.75 \times 0.60 F_{EXX}$$

$F_s = 0.60 F_{EXX}$ es la resistencia nominal de la soldadura.

La resistencia de diseño de un filete de tamaño D y longitud L es:

$$(D \cos 45^\circ) L (0.75 \times 0.60 F_{EXX})$$

esta expresión es semejante a la que se usa en diseño por esfuerzos permisibles, en la que se ha sustituido el factor 0.3 que multiplicada a: F_{EXX} por $0.75 \times 0.60 = 0.45$; se obtiene así una relación entre el esfuerzo de falla de diseño y el servicio de $0.45/0.3=1.5$, igual a la que se ha utilizado tradicionalmente en diseño por esfuerzos permisibles.

En el diseño de juntas con soldaduras de filete debe tenerse en cuenta que su resistencia puede quedar regida por la soldadura o por el metal base; el diseño de la soldadura está gobernada por su área efectiva, y el de las partes conectadas por las áreas de sus secciones transversales.

La figura 2.10 ilustra los planos de cortante para las soldaduras de filete y el metal base en dos juntas con soldaduras cargadas longitudinalmente; el diseño queda regido por el plano de transmisión de cortante más débil, que puede ser el 1-1 o 3-3, en los que gobierna la resistencia al cortante de las placas, o el 2-2, donde rige la resistencia de las soldaduras; plano 2-2 de la junta b es doble, puesto que la fuerza se transmite por dos soldaduras.

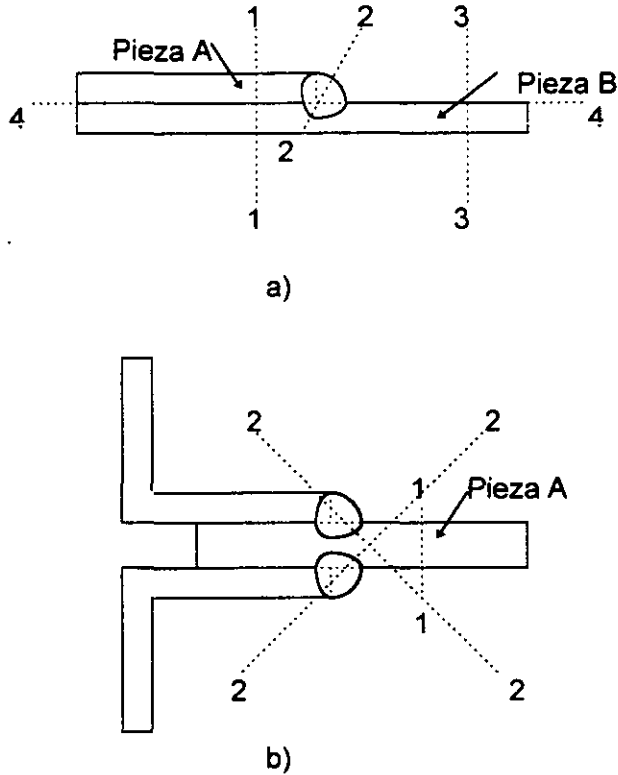


Figura 2.10 .- Planos de cortante para juntas con soldaduras de filete cargadas longitudinalmente.

Si la pieza A de la junta b trabajase en tensión, se compararía su resistencia en tensión, en el plano 1-1, con la suma de resistencias al corte de los filetes (planos 2-2); además se revisarían las resistencias de los ángulos. Los planos 1-1 y 3-3 de la figura a, están fuera de las zonas de fusión entre soldaduras y metal base, pues se ha demostrado experimentalmente que esa zona no suele regir la resistencias de las juntas.

Soldaduras de penetración

Como el metal de relleno sustituye al metal base, las soldaduras de penetración completa quedan sometidas a las mismas sollicitaciones que los elementos que unen. Si se utiliza un metal de aporte que al combinarse con el material base produce una soldadura de resistencia cuando menos igual a la de éste, no se necesita hacer ningún análisis de esfuerzos, el diseño se reduce a escoger un metal de aporte (electrodo o combinación de electrodo y fundente) adecuado al tipo de acero que se está soldando, y a utilizar las preparaciones y procesos necesarios para obtener soldaduras correctas.

En las soldaduras de penetración incompleta sí puede requerirse un cálculo de resistencia, excepto en los casos, bastantes frecuentes, en que se utilizan para ligar las placas que forman una sección compuesta y no tengan que transmitir fuerzas importantes.

El área efectiva de una soldadura de penetración es igual al producto de su longitud y gargantas efectivas; la longitud efectiva es el ancho de la parte unida medida perpendicularmente a la dirección de los esfuerzos, aunque la soldadura esté inclinada con respecto al eje de la pieza y que tenga una longitud mayor.

La garganta efectiva de las soldaduras de penetración completa es el grueso de las partes unidas, o de la más delgada si tienen espesores diferentes; no se permite ningún incremento por el esfuerzo.

En el código ANSI/AWS se indica como se determina la garganta efectiva de las soldaduras de penetración incompleta, teniendo en cuenta el proceso utilizado, la geometría de la junta y la posición en que se deposite el metal de aporte, pero este tipo de junta se emplea solo en casos especiales; por lo que no es muy conocida.

Propiedades geométricas de la soldadura

Se determinan tomando como base las dimensiones del área efectiva; como el tamaño de los filetes es casi siempre pequeño en comparación de las longitudes de los cordones, no se suele cometer errores importantes al basar los cálculos en las distancias entre ejes.

Las propiedades geométricas necesarias son:

$$A=2(b+d)G$$

$$I_x = 2 \left[\frac{Gd^3}{12} + bG \left(\frac{d}{2} \right)^2 \right] = \frac{Gd^3}{6} + \frac{bGd^2}{2} = \frac{Gd^2}{6} (d + 3b)$$

$$I_y = \frac{Gb^2}{6} (b + 3d)$$

$$J = I_x + I_y = \frac{Gd^2}{6} (d + 3b) + \frac{Gb^2}{6} (b + 3d) = \frac{G}{6} (b + d)^3$$

En el cálculo de I_x e I_y se dispersan los momentos de la inercia de los cordones respecto a sus ejes longitudinales.

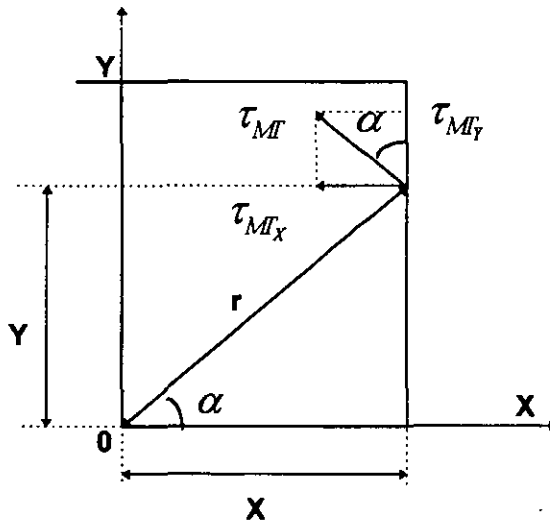
Cálculo de esfuerzos. La fuerza P, cuya línea de acción pasa por O, dentro de la gravedad del conjunto de soldaduras, produce un esfuerzo cortante uniforme en el área efectiva, de intensidad $\tau_p = P / A$.

Los esfuerzos normales máximos ocasionados por el momento M_x Cálculos suponiendo que el peralte total es de d, valen $max = (M_x / I_x) (d/2)$.

Por último, el momento de torsión M_T produce esfuerzos cortantes que se determinan con la expresión $M_T = (M_T / J)r$.

Como los esfuerzos producidos por torsión se combinan con los ocasionados por las sollicitaciones, conviene trabajar con sus componentes verticales y horizontales, que se calculan con las

ecuaciones $(\tau_{MT})_x = (M_T / J)_Y$, $(\tau_{MT})_Y = (M_T / J)_x$ (ver figura 2.11).



$$\tau_{MTx} = \tau_{MT} \operatorname{sen} \alpha = \frac{M_T}{J} r \operatorname{sen} \alpha = \frac{M_T}{J} y$$

$$\tau_{MTy} = \tau_{MT} \operatorname{cos} \alpha = \frac{M_T}{J} r \operatorname{cos} \alpha = \frac{M_T}{J} x$$

Figura 2.11 Componente del esfuerzo τ_{MT} .

En la figura 2.12 se muestran los esfuerzos en el punto b; el máximo, que se considera arbitrariamente como cortante en la garganta, se obtiene combinándolos vectorialmente.

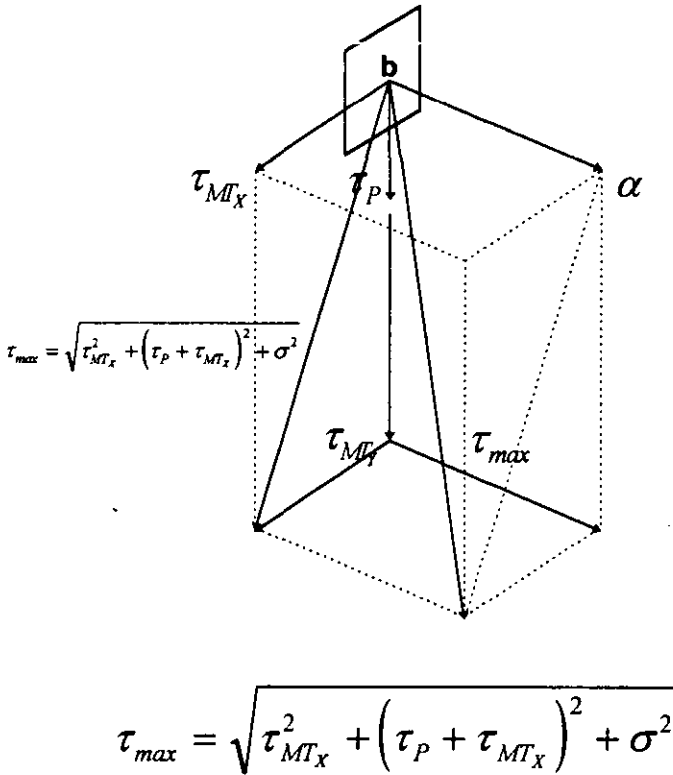


Figura 2.12 Combinación de los esfuerzos.

La suposición de que el esfuerzo máximo es la suma vectorial de los esfuerzos en el punto considerado es arbitraria, pues $\tau_M \tau_P$ son

esfuerzos cortantes mientras que σ es normal; una solución más racional consistiría en calcular el esfuerzo principal máximo; sin embargo, se han efectuado comparaciones entre los dos métodos, y entre ellos resultados experimentales, indican que ninguno de los dos es mucho más preciso que el otro, por lo que se recomienda la suma

vectorial, por ser el más sencillo, además sus resultados son siempre conservadores (a veces demasiado).

Para aplicar el método en la forma que se ha descrito se supone inicialmente un tamaño de la soldadura, y se calcula el esfuerzo nominal máximo; si resulta excesivo, o demasiado pequeño, se ajusta al tamaño del filete.

Cuando todas las soldaduras del conjunto son del mismo tamaño, el proceso numérico se simplifica considerablemente tratándolas como si fueran líneas, sin el área pero con longitud y forma definidas; se calculan así fuerzas por unidad de longitud en vez de esfuerzos, se combinan vectorialmente para determinar la resultante y se escoja un filete que tenga la resistencia adecuada.

El trabajo numérico se reduce más todavía formando tablas con las fuerzas por unidad de longitud que resisten los filetes de distintos tamaños, y escogiendo directamente de ellas el requerido. Las tablas pueden incluir las fuerzas correspondientes a esfuerzos de trabajo o a resistencia de diseños.

Las tablas 2.13 y 2.14 proporcionan esos valores para soldaduras de filete depositado manualmente con electrodos E60XX y E70xx. Y para soldaduras de arco sumergido hechas con las combinaciones de electrodo y fundente correspondiente.

Tabla 2.13
Soldaduras de filete; resistencias permisibles, Kg./cm.

TAMANO NOMINAL DE LA SOLDADURA		SOLDADURA MANUAL CON ELECTRODO RECUBIERTO Y AUTOMÁTICA DE ARCO SUMERGIDO			SOLDADURA AUTOMÁTICA CON ARCO SUMERGIDO		
PULG.	mm.	GARANTÍA EFECTIVA EN mm	FUERZA CORTANTE ADM. Kg/cm		GARANTÍA EFECTIVA EN mm	FUERZA CORTANTE ADM. Kg/cm	
			E 60 XX R60X - E00X	E 70 XX F70X - E00X		R60X - E00X	F70X - E00X
1/8	3.18	2.25	284	331	3.18	401	468
3/16	4.78	3.37	426	497	4.78	602	702
1/4	6.35	4.49	568	653	6.35	803	938
5/16	7.94	5.61	710	829	7.94	1005	1173
3/8	9.53	6.74	852	994	9.53	1205	1405
7/16	11.11	7.86	994	1160	10.65	1347	1572
1/2	12.7	8.98	1137	1326	11.77	1490	1738
9/16	14.29	10.1	1279	1492	12.9	1634	1906
5/8	15.88	11.23	1421	1657	14.02	1774	2089
3/4	17.46	12.35	1563	1823	15.14	1918	2236
7/8	19.05	13.47	1705	1989	16.26	2068	2401
1 3/8	20.64	14.59	1847	2155	17.39	2211	2579
1 1/2	22.23	15.72	1989	2320	18.51	2342	2732
1 3/4	23.81	16.84	2131	2486	19.63	2484	2898
1	25.4	17.96	2273	2652	20.76	2627	3065

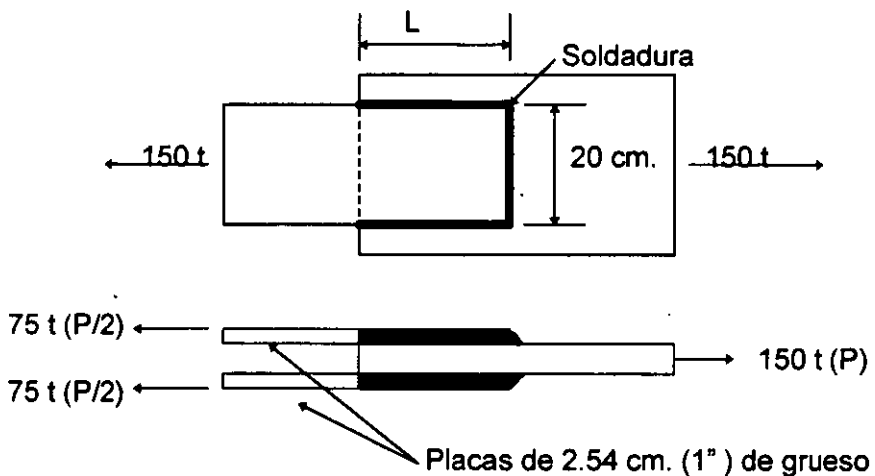
Las resistencias tabuladas no son aplicables a soldaduras bajo cargas cíclicas que puedan producir una falla por fatiga.

Tabla 2.14
Soldaduras de filete; resistencias de diseño.

TAMANO NOMINAL DE LA SOLDADURA		SOLDADURA MANUAL CON ELECTRODO RECUBIERTO Y AUTOMÁTICA DE ARCO SUMERGIDO			SOLDADURA AUTOMÁTICA CON ARCO SUMERGIDO		
PULG.	mm.	GARANTÍA EFECTIVA EN mm	FUERZA CORTANTE ADM. Kg/cm		GARANTÍA EFECTIVA EN mm	FUERZA CORTANTE ADM. Kg/cm	
			E 60 XX R60X - E00X	E 70 XX F70X - E00X		R60X - E00X	F70X - E00X
1/8	3.18	2.25	407	468	3.18	604	704
3/16	4.78	3.37	640	746	4.78	904	1054
1/4	6.35	4.49	852	994	6.35	1205	1405
5/16	7.94	5.61	1065	1243	7.94	1507	1759
3/8	9.53	6.74	1279	1493	9.53	1809	2111
7/16	11.11	7.86	1492	1741	10.65	2021	2369
1/2	12.7	8.98	1704	1989	11.77	2234	2607
9/16	14.29	10.1	1917	2237	12.9	2449	2857
5/8	15.88	11.23	2132	2467	14.02	2661	3105
11/16	17.46	12.35	2344	2735	15.14	2874	3353
3/4	19.05	13.47	2557	2953	16.26	3086	3601
13/16	20.64	14.59	2769	3232	17.39	3301	3852
7/8	22.23	15.72	2984	3462	18.51	3513	4100
15/16	23.81	16.84	3198	3730	19.63	3728	4348
1	25.4	17.96	3409	3978	20.76	3940	4598

Ejemplo:

Determinar el tamaño y longitud de las soldaduras de filete necesarias para unir las placas de la junta traslapada de la figura, suponiendo que las placas tienen resistencia adecuada. Las fuerzas indicadas corresponden a acciones nominales de trabajo. El acero es A-36 y la soldadura de arco con electrodo metálico recubierto, es con electrodos de la clase E-70XX.



La soldadura se colocará en los bordes longitudinales y en el transversal de las dos placas laterales, como se indica en la figura. Para dimensionarla no se toma en cuenta la flexión debida a las fuerzas P y P/2 que están en diferentes planos horizontales, en vista de que la excentricidad es pequeña.

a) Diseño con las normas técnicas complementarias.

Utilizando un factor de carga de 1.5

Fuerza de diseño $FD = 1.5 \times 75 = 112.5 \text{ t}$

Esto corresponde a cada una de la placas laterales

Tamaño máximo de los filetes
 $2.54 - 0.15 = 2.39$

Tamaño mínimo
 0.79

Se utilizaran filetes de 2.22 cm. (7/8")

Resistencia de diseño de un filete depositado con electrodos E-70XX
 ($F_{XX} = 70000 \text{ lb/in}^2 = 4922 \text{ Kg/cm}^2$)

$$F_{RFS} = 0.75 \times 0.60 \times 4922 = 2215 \text{ Kg/cm}^2$$

Resistencia de diseño de un filete de 2.22 cm.

$$2.22 \cos 45^\circ \times 1 \times 2215 = 3477 \text{ Kg/cm}$$

La resistencia de la soldadura no debe ser mayor que la resistencia al cortante de la placa:

$$F_R (0.6 F_u) A_{nc} = 0.75 \times 0.6 \times 4078 \times 2.54 \times 1 = 4661 \text{ Kg/cm}$$

$$4661 \text{ Kg/cm} \text{ Es mayor que } 3477 \text{ Kg/cm}$$

El diseño queda regido por la resistencia de la soldadura

La longitud necesaria de soldadura se obtiene de la expresión:

$3477 L = 112500$ por lo tanto:

$L = 32.4 \text{ cm} = 2L + 20$ entonces

$$L = \frac{32.4 - 20}{2} = 6.2 \text{ cm}$$

Se necesitan 32.4 cm de soldadura, que se obtienen con el filete transversal de 20 cm y dos filetes longitudinales de 6.2 cm.

El problema puede resolverse mas rápidamente considerando las soldaduras como líneas y utilizando la tabla 2.14.

Resistencia de diseño de un filete de 2.2 cm (7/8"), depositado con electrodo E-70XX

$$R_D = 3482 \text{ Kg/cm}$$

Longitud necesaria = $112500 / 3482 = 32.3$ cm.

Longitud de cada cordón lateral.

$$L = \frac{32.3 - 20}{2} = 6.15 \text{ cm}$$

b) Diseño por esfuerzos permisibles según ASD-AISC

Resistencia permisible de un filete de 2.2 cm. de la tabla 2.13:

$$R_P = 2320 \text{ Kg/cm}$$

Longitud necesaria = P / R_P

$$L = 75000 / 2320 = 32.3 \text{ cm.}$$

Los métodos de diseño llevan exactamente al mismo resultado, lo que no sucedería si el factor de carga utilizado en a) fuese diferente de 1.5.

CAPITULO

3

DEFECTOS

EN LA

SOLDADURA

DEFECTOS EN LA SOLDADURA

INTRODUCCION

En general, cualquier defecto en las soldadura representan un riesgo latente para esa unión o para las subsecuentes; algunos en mayor escala que otros. Estos defectos habrá que conocerlos para poder determinar sus causas y así evitarlos en trabajos posteriores; en otros casos, todo esto es importante porque es lo que las pruebas no destructivas van a revelar. En los códigos que rigen a la soldadura existe una clasificación detallada de las discontinuidades en soldadura; en éste capítulo se estudiarán estas anomalías en las soldaduras.

Por ejemplo, un defecto de soldadura es sinónimo de discontinuidad, el término preferido. Discontinuidad es una interrupción de la estructura típica de un material, como por ejemplo una falta de homogeneidad en sus características mecánicas, metalúrgicas o físicas. Una discontinuidad no es necesariamente un defecto.

Esta palabra implica una posibilidad de rechazo, una soldadura defectuosa viene a ser entonces una soldadura que contenga uno o más defectos. Para nuestros fines, consideramos a los defectos como cualquier cosa indeseable en una soldadura.

Es importante que aprendamos a reconocer los distintos tipos de discontinuidades, así como saber lo suficiente sobre ellos para poderlos reconocer, arreglarlos y evitarlos.

Las discontinuidades son imperfecciones en la soldadura. Idealmente una buena soldadura no debe tener ninguna discontinuidad, pero las soldaduras no son perfectas y las imperfecciones existen en varios grados. Una soldadura perfecta debe consistir en un patrón uniforme de átomos, ordenados línea sobre línea en un conjunto perfecto.

Fracturas

Una fractura es una discontinuidad que se caracteriza por presentar los bordes agudos y una gran relación entre longitud y anchura a desplazamiento de la abertura. Las fracturas quizá sea el más serio de los defectos de las soldaduras o de las uniones soldadas de las construcciones.

Se consideran peligrosas porque pueden crear un grave problema de reducción de resistencia. Se pueden propagar y originar súbitamente una falla. Son más serias cuando se tienen cargas de impacto y servicio a baja temperatura; todas las fracturas se deben reparar.

Hay muchos tipos diferentes de fracturas. Una forma de clasificarlas es como fracturas superficiales se pueden ver en las superficies de la soldadura usando la técnica de examen visual. Hay varios tipos de fracturas superficiales, transversales, longitudinales, y en cráter, también hay fracturas en los bordes, en el metal adyacente, que generalmente salen en la superficie.

Las fracturas internas o subsuperficiales también son de muchos tipos; algunas pueden estar dentro de la soldadura, otras en las zonas afectas por el calor a veces se denominan bajo el cordón, y algunas quedan completamente en el metal base, que a veces se conoce como desgarramiento laminar.

Otra forma de clasificar a las fracturas se refiere a la temperatura. Hay fracturas calientes, que ocurren durante o inmediatamente después de haber ejecutado la soldadura o en el ciclo de enfriamiento.

Las fracturas frías son las que se presentan después de haber terminado la soldadura, cuando se enfrían a temperatura ambiente. Las fracturas frías pueden demorar horas o unos días después de haberse terminado la soldadura. También hay fracturas de tipo de fatiga, que pueden suceder meses o años después de la fabricación, como resultado de un año de arranque y de carga de fatiga, ver figura 3.1.

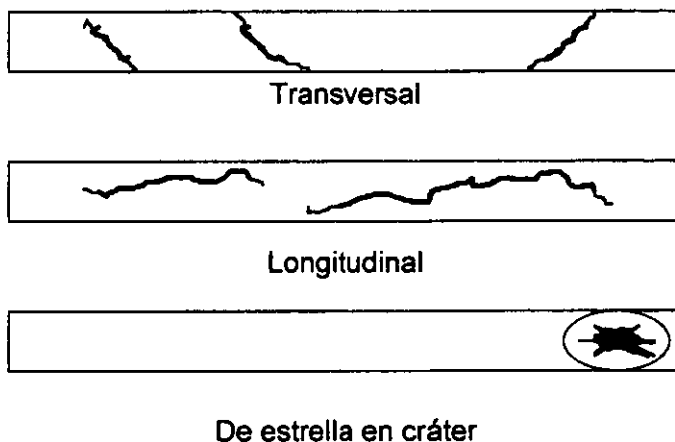


Figura 3.1.- Diferentes tipos de fracturas

Porosidad

El tipo más común de cavidad es la porosidad, que se define como discontinuidades tipo cavidad originadas por gas que no se puede salir. La porosidad también se puede dividir en dos tipos: porosidad superficial, que se puede ver y detectar por la técnica de inspección visual, y porosidad interna o subsuperficial, que solo se puede descubrir mediante las técnicas de detección interna.

La porosidad no es un defecto tan serio como las fracturas, principalmente debido a que las cavidades de porosidad tienen fracturas redondeadas, y no se propagan como las fracturas.

Hay otros tipos de cavidades algunas se conocen como vacíos de encogimiento, que se define como una discontinuidad en forma de cavidad, que generalmente es provocada por la contracción durante la solidificación; cuando la porosidad rebasa lo aceptable, según el reglamento, se debe quitar y efectuar las reparaciones necesarias, ver figura 3.2.

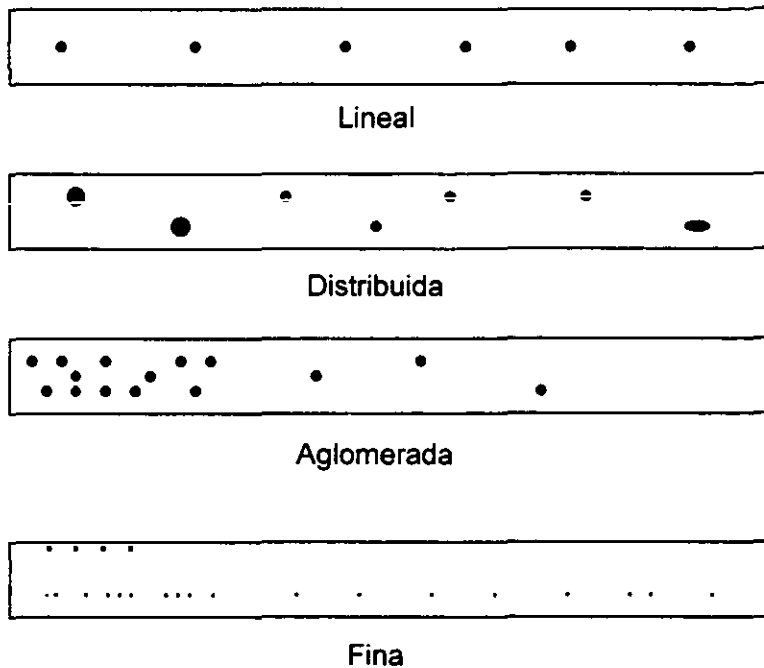


Figura 3.2.- Diferentes tipos de porosidad.

Inclusiones sólidas

Las inclusiones sólidas generalmente se consideran un defecto subsuperficial o interno que comprende cualquier material extraño o atrapado en el metal de soldadura depositado. El tipo más común de inclusión sólida es la de escoria. La cual se encuentra definida como el material sólido no metálico intercalado en el metal de soldadura o entre el metal de soldadura y el metal base. Otro tipo de inclusión muy semejante es la inclusión de fúndente de un electrodo del arco sumergido.

Las inclusiones de escoria y de fúndente pueden ser continuas, intermitentes o espaciadas muy al azar. En general, las inclusiones de fúndente o de escoria son redondeadas y no poseen esquinas agudas, y por esa razón no son tan peligrosas como las fracturas.

Las inclusiones de oxido se detectan mediante las técnicas de inspección interna. También hay otras inclusiones metálicas como las de tungsteno, que solo se pueden encontrar mediante técnicas de inspección interna, en especial por radiografía.

Todas estas inclusiones y defectos se deben evaluar de acuerdo con el reglamento o la especificación que se aplique.

Fusión incompleta

A la fusión incompleta a veces se le denomina falta de fusión o de penetración; sin embargo, el termino mas común es fusión incompleta que se denomina como una discontinuidad de la soldadura en la que no se llevo a cabo la fusión entre el metal de aporte y el metal base, o entre los cordones de soldadura.

La fusión incompleta como defecto significa que la soldadura depositada no lleno completamente la preparación de la unión o que existe un espacio entre los cordones o pasos, o un espacio en la raíz de la unión.

La palabra penetración quiere decir la profundidad a la que se extiende la soldadura de bisel en la raíz de una unión, medida en la línea del centro de la sección transversal.

El defecto es la falta de fusión completa de una unión, y esto ocasiona un aumento de esfuerzos, que es indeseable para soldaduras cargadas a la fatiga o sujetas a impactos o a servicios a bajas temperaturas.

La causa de tales defectos puede ser una superficie sucia, como por ejemplo una costra de laminación gruesa, mucho oxido o grasa; falta de remoción de la escoria de los cordones anteriores; el hecho de que la abertura de raíz puede no ser suficientemente grande; o la técnica de soldadura no es satisfactoria. El peligro del defecto es la drástica reducción en la resistencia estática y la producción de un aumento de esfuerzo, como ya se menciono, ver figura 3.3.

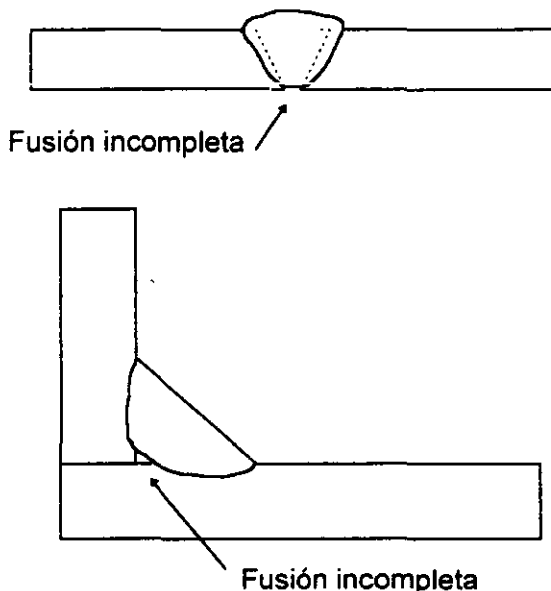


Figura 3.3.- Algunos tipos de fusión incompleta.

Socavado

El socavado no solo sucede en las soldaduras de chafalán, si no también en las de bisel y penetración completa. El socavado también produce amplificaciones de esfuerzos que causan problemas cuando hay cargas de impacto, fatiga o servicio a bajas temperaturas. Generalmente, se debe a corrientes muy altas, manipulación incorrecta del electrodo, ángulo incorrecto del electrodo, o tipo incorrecto del mismo.

El socavado en realidad abarca mas al metal base adyacente, que a la misma soldadura, pero como ya se menciono el socavado es producto de una mala técnica para el deposito de metal de aporte, ver figura 3.4.

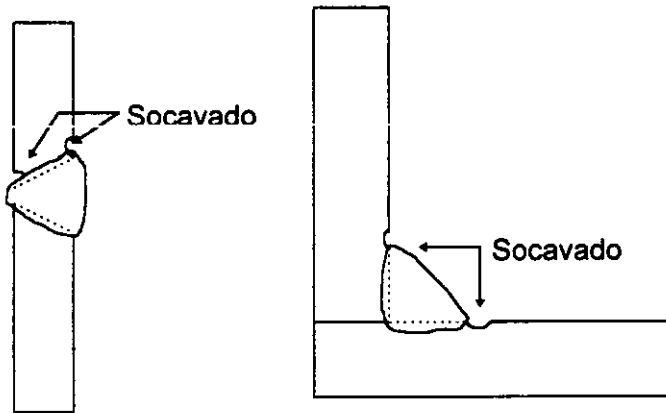


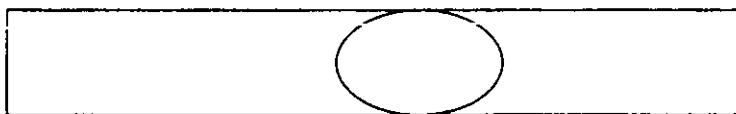
Figura 3.4.- Socavados en uniones a tope y en esquina.

Cráteres

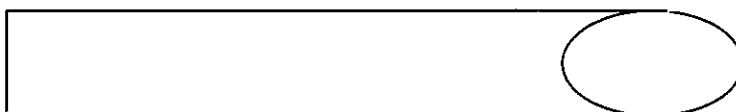
Los cráteres son rechupes en forma casi circular que se producen a la terminación de cada electrodo y se extienden de forma irregular en el metal de soldadura. Son debido a la contracción del material de aporte fundido como una consecuencia brusca del retiro del arco.

A menos que encuentre en ellos grietas o faltas de fusión, no suelen ser causas de rotura en servicio; mientras que estos se encuentren fuera de la longitud especificada por proyecto no tienen que ser reparados, en caso de que se encuentren dentro de la longitud especificada tienen que ser reparados, ver figura 3.5.

En la tabla 3.6 se puede apreciar los tipos mas comunes de discontinuidades, así como su ubicación y algunas observaciones.



Dentro de la soldadura



Al final de la soldadura



Con fractura en estrella



Con falta de fusión

Figura 3.5.- Diferentes tipos de cráteres.

TABLA 3.6
TIPOS MAS COMUNES DE DISCONTINUIDADES

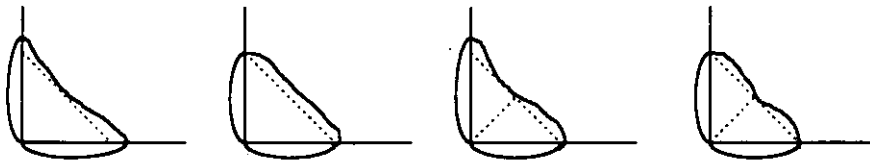
Tipos de discontinuidad	Ubicación	Observaciones
1 Porosidad (a) Uniformemente distribuida (b) Agrupada (c) Lineal (d) Tubular	MA	Comúnmente la porosidad es también encontrada en la zona afectada por el calor si el metal base es fierro fundido.
2 Inclusiones (a) De escoria (b) De tungsteno	MA	La inclusión de escoria se debe principalmente por falta de limpieza.
3 Fusión incompleta	MA, MB/MA	También se presenta en los pasos intermedios.
4 Penetración incompleta	MB	En la raíz de la soldadura
5 Socavado	MB/MA	Se presenta en el metal base adyacente a la cara o raíz de la soldadura.
6 Relleno incompleto	MA	Se presenta en la cara o raíz de la soldadura.
7 Sobremonta	MB/MA	Se encuentran en la cara, raíz u orilla de la soldadura
8 Laminaciones	MB	Generalmente se ubican en el metal base, cercano a la zona afectada por el calor.
9 Abertura o grieta por laminación	MB	Se localiza en el metal base en la zona afectada por el calor.

Continuación de la tabla 3.6

Tipos de discontinuidad	Ubicación	Observaciones
10 Fracturas (incluye en caliente y en frío)		
(a) Longitudinal	MA, ZAC	En el metal de aporte o en el metal base adyacente a la interface de la soldadura
(b) Transversal	MA,ZAC	En el metal de aporte, que podría propagarse dentro de la zona afectada por el calor y el metal base.
(c) Cráter	MA	En el metal de aporte en un punto donde el arco es terminado.
(d) Garganta	MA	Paralela al eje de la soldadura.
(e) En la orilla de la cara	MB/MA	
(f) Raíz	MA	En la superficie de la raíz
(g) Bajo la zona afectada por el calor	MB/MA	
11 Garganta insuficiente	MA	En la cara de la soldadura
12 Convexidad	MA	En la cara de la soldadura
13 Pierna insuficiente	MA	En soldaduras de filete
Nomenclatura: MA - Metal de aporte MB - metal base ZAC - Zona afectada por el calor MB/MA - Interface entre MB y MA		

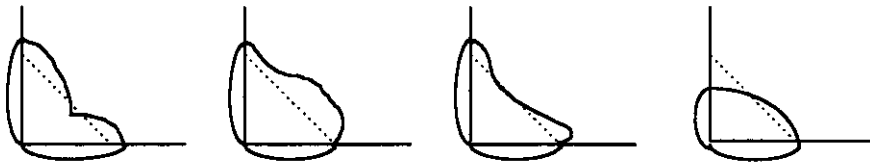
Contorno

Otro de los defectos de las soldaduras de filete es el acabado de las mismas, en muchas ocasiones estos no cumplen con lo estipulado por las normas de comparación, en la figura 3.7 se puede apreciar los perfiles de algunas soldaduras.



a) Perfiles deseables

b) Perfiles aceptables



c) Perfiles inaceptables de soldadura de filete

Figura 3.7.- Perfiles de soldaduras de filete.

CAPITULO

4

INSPECCION

VISUAL

INSPECCION VISUAL

INTRODUCCION

La inspección y pruebas, de fabricación y montaje, así como la verificación de la inspección de pruebas son funciones separadas. La inspección y pruebas de la fabricación/Montaje, debe efectuarse antes y durante el ensamble, antes y después de soldar para asegurar que los materiales y ejecución del trabajo cumpla con los requisitos del contrato. La verificación de la inspección y pruebas deben efectuarse e informarse al propietario y contratista, de tal manera que se eviten retrasos en el trabajo. La inspección y pruebas de la fabricación y montaje son responsabilidades del contratista a menos que se indique otra cosa en el contrato. El propietario puede llevar a cabo la verificación de la inspección y pruebas, o cuando se estipule en el contrato, puede efectuarse una verificación independiente, o estipular que la inspección y verificación debe efectuarlas el contratista.

El inspector es la persona debidamente designada, que actúa para y en nombre del propietario o del ingeniero responsable en todas las inspecciones y asuntos relativos a la calidad dentro del alcance dentro del contrato. El inspector de la fabricación y montaje es la persona debidamente designada, que actúa para y en nombre del contratista en toda la inspección y asuntos relacionados con toda la calidad dentro del alcance del contrato. Cuando el término inspector es usado sin más calificación, se aplica igualmente a la inspección y verificación dentro de los límites de la responsabilidad indicadas en el párrafo anterior.

Calificación del inspector.

Debe estar calificado el inspector responsable de aceptar o rechazar el material y ejecución del trabajo. Los requisitos del inspector deben estar documentados. Si el ingeniero responsable determina especificar los requisitos de la calificación del inspector, debe establecerse en el contrato.

Los requisitos para calificar son los siguientes:

- a) Certificación por una autoridad reconocida por la materia.
- b) Un ingeniero o técnico, quien mediante entrenamiento o experiencia o ambas, en fabricación de estructuras, inspección y pruebas, sea competente para llevar a cabo los trabajos de inspección.

La calificación de un inspector tiene vigencia indefinida, siempre y cuando permanezca activo en la inspección de estructuras de acero soldadas. A menos que exista una razón específica que ponga en duda su habilidad.

El inspector puede tener asistentes, quienes pueden desarrollar una función de inspección específica bajo su supervisión. Los asistentes deben calificarse en base a su experiencia y entrenamiento para desarrollar las funciones específicas que se le asignen. El inspector debe supervisar constantemente a sus asistentes.

Los inspectores y asistentes, deben presentar pruebas de agudeza visual satisfactorias, emitidas por un oftalmólogo u optometrista y cumplir lo siguientes requisitos.

- a) La agudeza visual lejana debe permitir leer como mínimo letras del tipo Sneller 20/30 ó equivalente, por lo menos en un ojo con o sin prótesis correctiva.
- b) La agudeza visual lejana debe permitir leer como mínimo letras del tipo y tamaño Jaeger No.2 en por lo menos un ojo con o sin prótesis correctiva (anteojos).

El ingeniero responsable debe tener autoridad para verificar la calificación de los inspectores.

Requisitos generales

El inspector debe asegurarse que toda la fabricación y montaje de una estructura soldada se efectúe conforme a los requisitos del proyecto.

También debe recibir todos los planos completamente detallados, indicando el tamaño, longitud, tipo y localización de todas las soldaduras a realizar, y debe recibir la parte del contrato que describe el material, requisitos y calidad de todos los productos a ser fabricados, montados o ambos.

Debe notificarse al inspector con anticipación, el inicio de las operaciones sujetas a inspección, verificación e inspección de materiales etc. El inspector debe asegurarse que solo se usaran los materiales que cumplan con los requisitos de la norma aplicable.

Inspección de la calificación del procedimiento de soldadura.

El inspector debe verificar que todos los procedimientos de soldadura sean precalificados y cubiertos por una especificación del procedimiento de soldadura que estén calificados conforme al código AWS D.1.1 o en su defecto a la norma de comparación aplicable. En la figura 4.1 se puede observar un procedimiento de soldadura calificado.

El inspector debe asegurarse que el equipo de soldadura cumpla con los requisitos generales.

El inspector debe permitir soldar solamente a soldadores, operadores de soldadura o punteadores que estén calificados con forme a los requisitos del código AWS D.1.1. En la posición que se vaya a efectuar el trabajo, u otra posición que abarque la misma.

Cuando la calidad de trabajo de un soldador, operador de soldadura o punteador, no cumple con los requisitos de la norma de comparación, el inspector debe exigir que demuestre su calidad para producir soldaduras sanas por medio de una prueba sencilla, como la prueba de ruptura de filete, o por una calificación completa, figura 4.2.

También debe exigir la recalificación de cualquier soldador u operador de soldadura cuando no han trabajado utilizando el proceso para el cual fueron contratados o no hayan trabajado por un período mayor de 6 meses.



B-0005

TOTAL NI PARCIALMENTE, SIN LA
AUTORIZACION POR ESCRITO DEL
LABORATORIO.

PQR No.	03
PAGINA:	1/3

PERSA

REGISTRO DE CALIFICACION DEL PROCEDIMIENTO

EMPRESA : IHET, S.A. DE C.V.	POR : ING. AGUSTIN ALVARADO RIZO
PQR No. : 03	FECHA : 16/06/97
REVISION : 02	FECHA : 28/11/97
PROCESO : SAW	TIPO : MANUAL SEMIAUTO. * AUTOMATICO
SOPORTE DEL WPS No. (S) : 03	

UNION
TIPO EN T CON SOLDADURA DE FILETE
SENCILLA DOBLE SOLDADURA *

RESPALDO SI

MATERIAL DE RESPALDO ASTH A-36

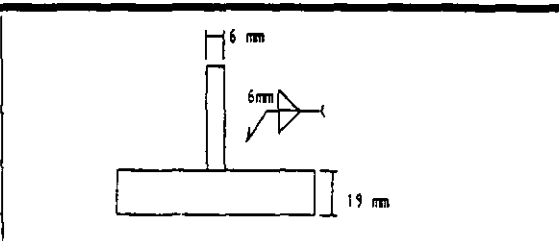
ABERTURA DE RAIZ NO APLICA

HOMBRO NO APLICA

ANGULO DE RANURA --- RADIO(J-U) ---

TRABAJO DE RAIZ NO APLICA

METODO



METAL BASE

ESPECIFICACION ASTH A36 A ASTH A36

TIPO O GRADO A

ESPEORES

RANURA NO APLICA A NO APLICA

FILETE 19 mm A 6 mm

DIAM. TUBO NO APLICA A NO APLICA

POSICION

RANURA NO APLICA FILETE IF

PROGRESION VERTICAL: ARRIBA ABAJO

METAL DE APORTE

ESP. AMS A5.17

CLAS. AMS EN12K

CARACTERISTICAS ELECTRICAS

MODO DE TRANSFERENCIA (GRAM):
CORTO CIRCUITO GLOBULAR PULVERIZADO

CORRIENTE: CA * CDEP CDEN PULSADO

OTRO:

ELECTRODO DE TUNGSTENO(GTAM):
DIAMETRO TIPO

GAS DE PROTECCION

FUNDENTE LINCOLN 860 F-72

CLAS. DE ELECTRODO-FUNDENTE

GAS NO APLICA

COMPOSICION

VEL. DE FLUJO

TAMANO DE LA COPA

TECNICA

COSTURA O EN SERIE COSTURA OSCILACION 5 VECES DIAM. ELEC.

PASOS SENCILLOS O MULTIPLES(POR LADO) SENCILLO

NUMERO DE ELECTRODOS: MULTIPLES

ESPACIAMIENTO ENTRE JUNTA Y ELECTRODO :
LONGITUDINAL LATERAL
ANGULAR

MARTILLO NO APLICA

LIMPIEZA ENTRE PASOS CEPILLO DE ALAMBRE

ESTE REPORTE SÓLO AFECTA AL (LOS)
OBJETO (S) SOMETIDO (S) A PRUEBA

PRS-TEC-21/REV 1

PERITOS EN RADIOGRAFIA Y SOLDADURA, S.A. DE C.V.

3er. Anillo de Circunvalación No. 202 Col. Granjas San Antonio Ixtapalapa C.P. 090/0 México, D.F.
Tels. 670-7745 581-9873 581-9883 586-1132



ESTE REPORTE NO PODRA SER REPRODUCIDO
TOTAL NI PARCIALMENTE, SIN LA
AUTORIZACION POR ESCRITO DEL
LABORATORIO.



D-0034

PQR No.	83
PAGINA:	3/3

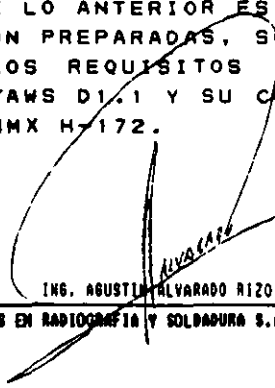
REGISTRO DE CALIFICACION DEL PROCEDIMIENTO

INSPECCION VISUAL		INSPECCION RADIOGRAFICA-ULTRASONICA	
ASPECTO	ACEPTABLE	RT - REPORTE No.:	RESULTADO
SOCAVADO	NO EXISTE	UT - REPORTE No.:	RESULTADO
POROSIDAD TUBULAR	NO EXISTE	RESULTADOS DE ENSAYES EN SOLDADURA DE FILETE	
CONVEXIDAD	NO EXISTE	TAMANO MIN. EN PASOS MULTIPLES(MACROATAQUE):	
FECHA DE LA PRUEBA	28/NOV/97	1.	2.
CONDUCCIA POR	ING. DAVID NIETO ANDRADE	3.	
COMENTARIOS		TAMANO MAX. EN PASO SENCILLO(MACROATAQUE):	
		1.	2.
		3.	

NOMBRE DEL SOLDADOR: FRANCISCO GARCIA AVILA No. DE MARCA: F 6 A

ENSAYO CONDUCCIO POR: ING. DAVID NIETO ANDRADE No. DE ENSAYO DEL LABORATORIO: 281197-82

CERTIFICAMOS QUE LO ANTERIOR ES CORRECTO Y QUE LAS SOLDADURAS FUERON PREPARADAS, SOLDADAS Y ENSAYADAS DE ACUERDO CON LOS REQUISITOS DE LA SECCION 5, PARTE B DE ANSI/AWS D1.1 Y SU CONCORDANCIA CON LA NORMA MEXICANA NMX H-172.


 ING. AGUSTIN ALVARADO RIZO
 PERITOS EN RADIOGRAFIA Y SOLDADURA S.A. DE C.V.

ESTE REPORTE SOLO AFECTARA AL (LOS)
OBJETO (S) SOMETIDO (S) A PRUEBA

PRS-TEC-21/REV 1

PERTOS EN RADIOGRAFIA Y SOLDADURA, S.A. DE C.V.

3er. Anillo de Circunvalación No. 202 Col. Granjas San Antonio Iztapalapa C.P 09070 México, D.F
Tels: 670-7745 581-9873 581-9883 686-1132



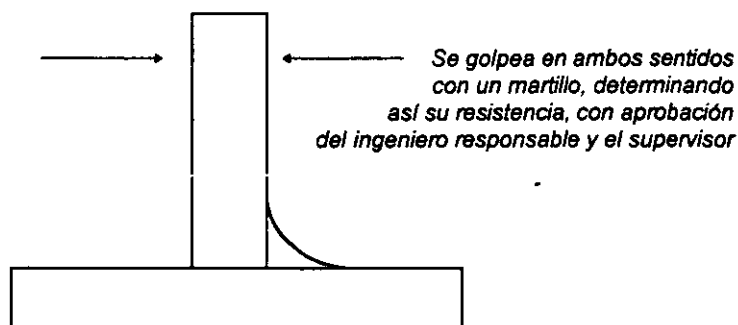


Figura 4.2.- Prueba de filete para recalificación

Inspección del trabajo y registros.

El inspector debe verificar que el tamaño, longitud y localización de todas las soldaduras cumplan con todos los requisitos de los planos de detalle o con la norma de comparación y que no existan soldaduras especificadas sin aprobación.

También debe verificar que solo se usen procedimientos de soldadura que cumplan con todos los requisitos de las secciones de la norma de comparación o del código AWS.

Secciones de la norma MNX - H -172

- 1.- Diseño de conexiones soldadas.
- 2.- Ejecución del trabajo.
- 3.- Técnica.
- 4.- Diseño de estructuras bajo cargas estáticas.
- 5.- Diseño de estructuras bajo cargas dinámicas.
- 6.- Diseño de estructuras tubulares.

Cuando sean aplicables, deben considerarse como precalificados y deben estar exentos de las pruebas o calificación. Los procedimientos de soldadura de juntas precalificadas, estos procedimientos deben cumplir con todos los requisitos mencionados anteriormente.

Debe tenerse en cuenta que el uso de un procedimiento de soldadura de juntas precalificadas, no pretenden sustituir un criterio ingenieril en la adecuada aplicación de aquellos procedimientos de juntas soldadas a ensambles o conexiones soldadas, en la figura 4.3 se puede apreciar el diseño de una junta precalificada.

PROCESO DE SOLDADURA	GRUESO DEL METAL T	PREPARACION DE LA JUNTA		POSICIONES
		ABERTURA R	ANGULO	PERMITIDAS
SMAW	U	8 mm	45°	TOODAS
		10 mm	30°	P, V, BC
		13 mm	20°	P, V, BC
GMAW FCAW	U	8 mm	30°	P, V, BC
		10 mm	30°	P, V, BC
		8 mm	45°	P, V, BC
SAW	U	18 mm	20°	P

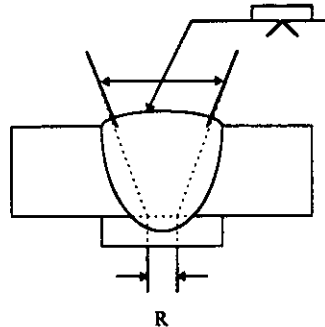


Figura 4.3.- diseño de una junta a tope precalificada.

Cuando sea necesario establecer un procedimiento de soldadura por calificación como se indica en el código AWS D.1.I por especificación del contrato, el procedimiento debe registrarse como una especificación del procedimiento.

Aplicación del metal de aporte

El inspector debe verificar que los electrodos sean usados solamente en las posiciones y con el tipo de corriente y polaridad con las cuales están calificados.

También debe observar periódicamente la técnica y ejecución del trabajo de cada soldador operador de soldadura y punteador, para verificar que se cumple con los requisitos aplicables de la norma de comparación.

El tamaño y contorno de las soldaduras, deben medirse con calibradores adecuados. Para la inspección visual de grietas y otro tipo de discontinuidades en soldaduras y en el metal base, debe emplearse buena iluminación, lentes de aumento y otros dispositivos que pueden ser útiles, en la figura 4.4 se pueden observar los perfiles recomendados para las soldaduras de filete, así como los que se consideran indeseables.

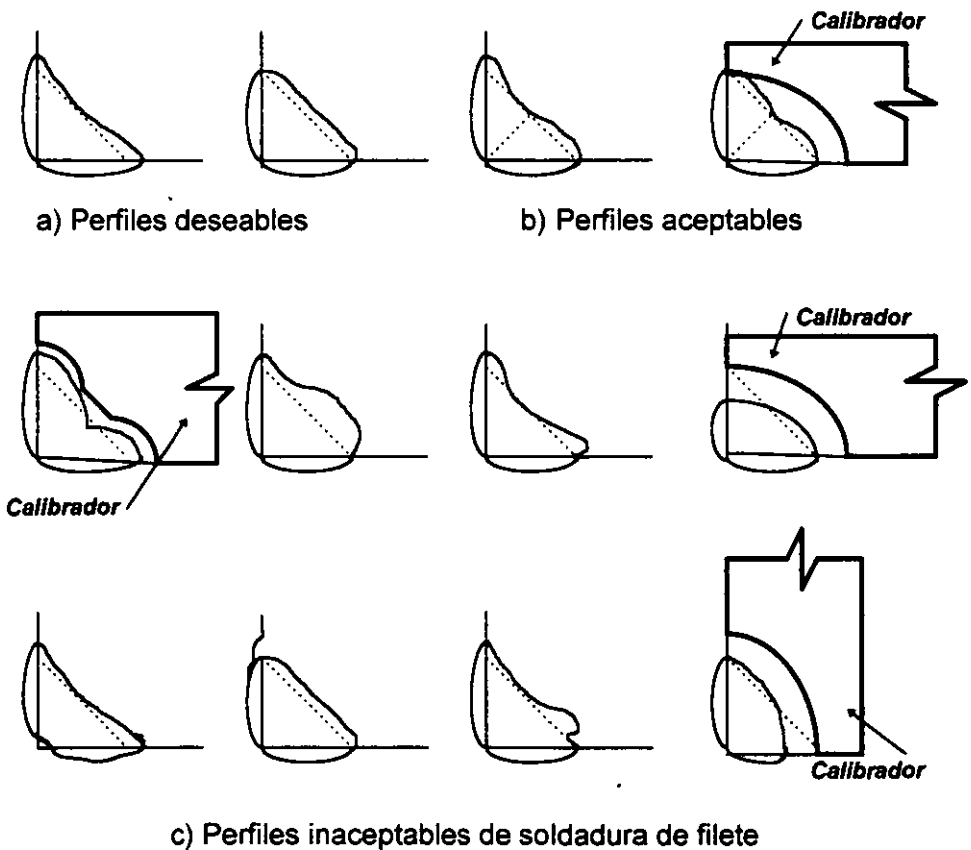


Figura 4.4.- Perfiles de las soldaduras y calibradores

El inspector debe identificar con una marca distintiva, todas las partes o juntas que haya inspeccionado y aceptado. Puede usarse cualquier método de marcado apropiado por el ingeniero responsable. Solo con autorización del ingeniero responsable pueden utilizarse marcas de golpe en elementos con cargas dinámicas.

El inspector debe conservar un registro de la calificación de todos los soldadores, operadores de soldadura y punteadores, de todas las calificaciones de procedimientos u otras pruebas que se efectúen y cualquier otra información requerida, así mismo debe de coordinar los ensayos no destructivos.

La contratista debe responsabilizarse de la inspección visual y de las correcciones necesarias de todas las deficiencias en materiales y en la fabricación.

También debe cumplir todas las peticiones de los inspectores para corregir las deficiencias en materiales y en la fabricación como se indica en el contrato.

En caso de que, a juicio del ingeniero responsable la soldadura defectuosa o su remoción para reparar el metal base no cumpla con la especificación del contrato, la contratista debe remover y reemplazar el material base dañado o compensar la deficiencia de una forma que sea aprobada por el ingeniero responsable.

Cuando se especifique ensayos no destructivos diferentes a la inspección visual, es responsabilidad del contratista, asegurarse de que todas las soldaduras especificadas cumplan con los requisitos de calidad de la norma de comparación o del código AWS D.1.1.

Fabricación

Las soldaduras no deben efectuarse en temperatura ambiente menor de -18°C , con superficies húmedas o expuestas a la lluvia, nieve o vientos de altas velocidades o cuando los soldadores estén expuestos a condiciones inclementes.

Los tamaños y longitudes de las soldaduras, no deben ser menores que las especificadas por los requisitos de diseño y planos de detalle excepto:

Se permite una soldadura de filete en cualquier soldadura continua sencilla para disminuir el tamaño de filete nominal especificado, en 1.6 mm sin corrección; siempre y cuando esa parte de menor tamaño de la soldadura no exceda el 10 % de la longitud de la soldadura. En soldaduras de alma a patín en vigas, no se permiten disminuciones en los extremos, en una longitud mayor a dos veces el ancho del patín.

Toda la costra de laminado debe eliminarse de las superficies en las cuales se vayan a realizar soldaduras; las soldaduras de alma - patín; deben estar libres de costras, cascarillas, escoria, humedad, grasa y otras sustancias extrañas.

En los cortes con oxígeno para espesores menores de 102 mm la rugosidad permitida máxima es de $25\ \mu\text{m}$ y de $50\ \mu\text{m}$ para materiales mayores de 102 mm hasta 203 mm de espesor.

Excepto los extremos de los miembros que no estén sujetos a esfuerzos calculados en los extremos, deben cumplir los valores de rugosidad de superficies de $50\ \mu\text{m}$. La rugosidad que excede estos valores y las muescas o entalladuras ocasionales que sean más profundas de 5 mm deben eliminarse mediante maquinado o esmerilado.

En bordes cortados con oxígeno, las muescas o entalladuras menores de 11 mm para espesores de hasta 102 mm y de 16 mm para espesores mayores de 102 mm, pueden repararse con soldadura, con electrodo de bajo hidrogeno por SMAW y SAW.

Esmerilando la soldadura y terminado al ras y lisa, en la figura 4.5 se puede apreciar un corte con muescas y entalladuras.

No deben presentarse socavados, no se debe disminuir el espesor del material en más de 1mm o el 5 % de espesor, lo que sea menor; debe efectuarse un esmerilado cuando se requiera acabado, la rugosidad no debe exceder de $6 \mu\text{m}$.

Las rugosidades de 3 a $6 \mu\text{m}$ deben acabarse paralelas a la dirección del esfuerzo primario; menores de $3 \mu\text{m}$ en cualquier dirección.

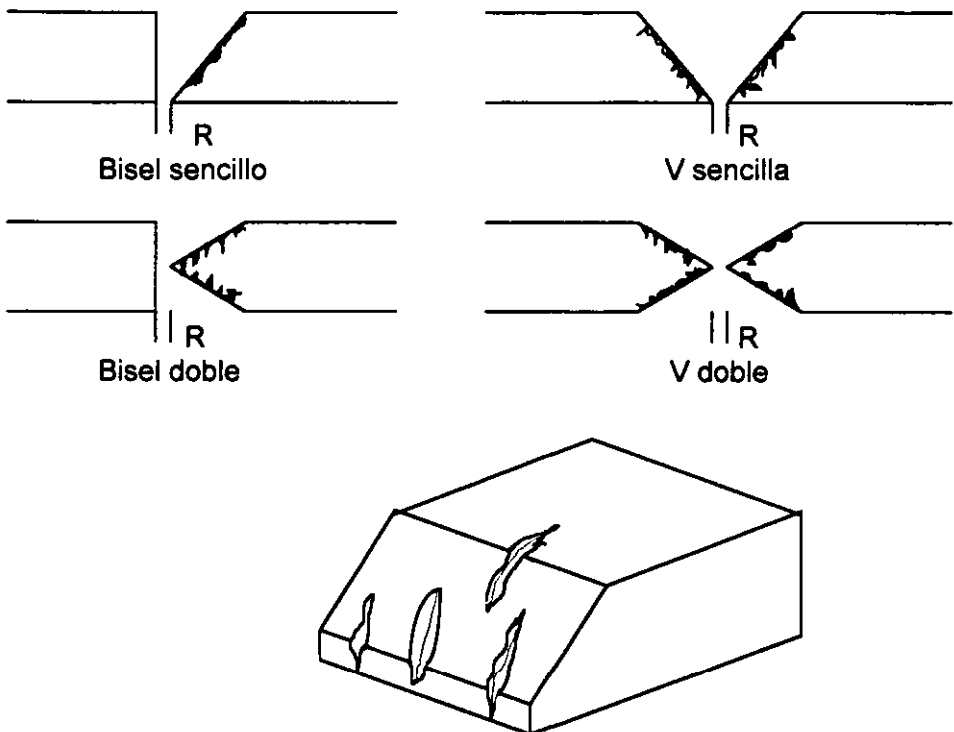


Figura 4.5.- Perfiles de cortes para juntas con muescas (representativo).

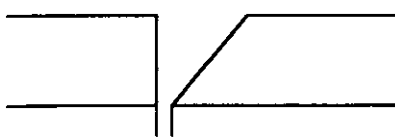
Cualquier discontinuidad de 25 mm de longitud o menor, no debe ser examinada. Cualquier discontinuidad mayor de 25 mm y una profundidad máxima de 3 mm a 6 mm, remover toda no necesita soldadura.

Cualquier discontinuidad de 25 mm y una profundidad de 6 a 25 mm removerla completamente y soldar. La suma de longitud de soldadura no debe exceder el 20 % de la longitud de la orilla del borde de la plancha que se está reparando.

Cualquier discontinuidad mayor de 25 mm y una profundidad mayor de 25 mm se deben remover con arco-aire, escopleado o esmerilado y rellenar con SMAW en capas que no excedan de 3 mm.

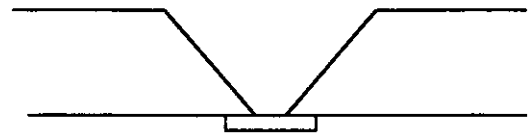
Ensamblado

En soldadura de filete las partes a unirse deben ponerse en contacto tanto como sea posible. La abertura de raíz para soldaduras de ranura no deberá exceder de 5 mm, excepto en los casos que involucren perfiles o planchas de 76 mm ó más de espesor; si después del enderezado y ensamble la abertura de la raíz no puede cerrarse lo suficiente para cumplir con esta tolerancia, en tales casos se acepta una abertura máxima de 8 mm; siempre que sea utilizada una soldadura de respaldo ó el respaldo adecuado, ver la figura 4.6.



$R = 5 \text{ mm.}$

4.6 a



$R_{\text{máx}} = 8 \text{ mm.}$

Con soldadura de respaldo o respaldo

4.6 b

Figura 4.6.- Aberturas de raíz para soldaduras de ranura.

Para soldaduras de filete si la separación es mayor de 5 mm, la pierna del filete debe incrementarse por la cantidad de la abertura de la raíz; o la soldadura debe mostrar que se ha obtenido la garganta efectiva, ver la figura 4.7.

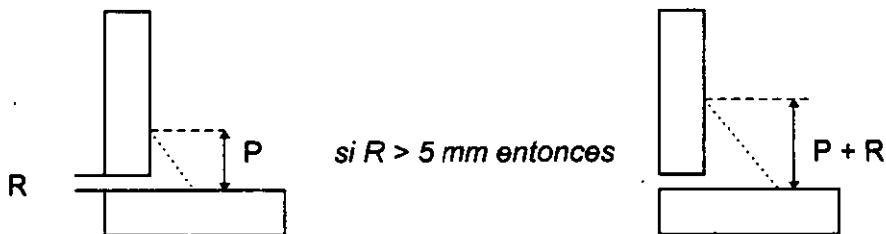


Figura 4.7.- Abertura de raíz para soldaduras de filete.

Los respaldos deben de ser de fúndente, cinta de vidrio, polvo de hierro o materiales similares. En soldaduras de ranura de penetración parcial es igual a la soldadura de filete; es necesario utilizar soldadura de respaldo o respaldo, para que la soldadura cumpla con los requisitos y tamaño de la soldadura.

Las partes a unirse por soldadura de ranuras en juntas a tope deben alinearse cuidadosamente; se puede permitir un desplazamiento que no exceda el 10% del espesor de la parte unida más delgada; pero en ningún caso mayor de 3.2 mm, como una desviación del alineamiento teórico. Las partes no deben forzarse a una pendiente (mayor de 13 mm en 304 mm, ver la figura 4.8).

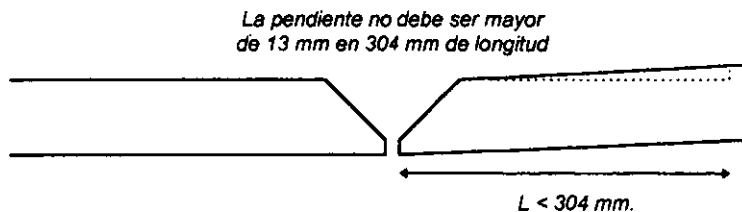
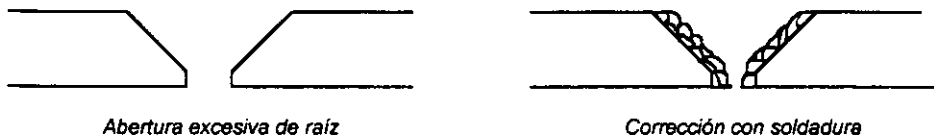


Figura 4.8.- Tolerancia del alineamiento teórico.

Las aberturas de raíz no más grandes de dos veces el espesor de la parte más delgada ó 19 mm, lo que sea menor, pueden corregirse por soldadura, dimensiones aceptables antes de unir las partes.

Las aberturas de raíz mayores a las indicadas anteriormente pueden corregirse con soldadura, solo con la aprobación del ingeniero responsable, ver la figura 4.9.



4.9 a

4.9 b

Figura 4.9.- Corrección con soldadura en la raíz.

Los miembros a soldarse deben alinearse correctamente y mantenerse en posición con tornillos, sujetadores, tirantes, puntales u otros dispositivos apropiados o por puntos de soldadura, hasta que se termine de soldar. El uso de plantillas y accesorios se recomienda en donde sea practico.

Las soldaduras de armado están sujetas a los mismos requisitos de calidad que los soldaduras finales excepto que :

- 1.- El precalentamiento no es obligatorio.
- 2.- Discontinuidades tales como socavado, cráteres sin rellenar y porosidades, no necesitan removerse antes de la soldadura de arco sumergido final.
- 3.- Las soldaduras de armado que sean incorporadas en la soldadura final deben hacerse con electrodos que cumplan con los requisitos de la soldadura final y deben limpiarse perfectamente, la soldadura de armado de pasos múltiples, debe tener los extremos en cascada.

4.- Las soldaduras de armado no incorporadas en las soldaduras finales deben removerse; excepto para estructuras de carga estática a menos que sea requerido por el ingeniero responsable.

Control de distorsión y contracción.

Al ensamblarse o unir partes de una estructura el procedimiento y secuencia deben ser tal que se minimice la distorsión y la contracción.

Todas las soldaduras deben hacerse en una secuencia que equilibren el calor aplicado de la soldadura durante el avance de la misma.

La constructora debe preparar la secuencia de soldadura para un miembro o estructura, la secuencia de soldadura y el método de control de distorsión, deben someterse a la aprobación del ingeniero responsable; antes de empezar a soldar en un miembro o estructura en las cuales la distorsión y contracción es probable que afecte al miembro o estructura .

El avance de soldadura en un miembro, debe ser desde puntos donde las partes estén en una posición relativamente fija, con respecto a otros puntos próximos que tienen una libertad de movimiento relativamente grande.

Primero se deben soldar las juntas donde se espera una mayor contracción y con la menor restricción que sea posible.

Todos los empalmes en taller de cada parte componente, deben hacerse antes de que sean soldadas las partes componentes entre sí.

Al efectuar soldaduras bajo condiciones de contracciones externas severas, la soldadura debe efectuarse continuamente hasta terminar o hasta un punto en donde se asegure la ausencia de agrietamiento antes de que la junta se deje enfriar abajo de la temperatura de precalentamiento e interpasos mínima especificada.

Tolerancias dimensionales.

Las tolerancias dimensionales de los miembros estructurales soldados deben ser conforme a las tolerancias de:

- 1.- Las especificaciones generales de proyecto.
- 2.- Las tolerancias dimensionales especiales que siguen a continuación.

Las tolerancias permisibles en rectitud de columnas soldadas y miembros principales de armaduras, sin tener en cuenta la sección transversal, no deben exceder de:

Para longitudes menores de 9 m 1mm por cada metro de longitud total.

Para longitudes de 9m a 14 m 10 mm máximo. Para longitudes mayores de 14 m se utiliza la formula

$$T = 10 + 1 (L / 14)$$

donde:

L = Número de metros de la longitud total.

T = Tolerancia permisible en mm.

Las tolerancias permisibles en rectitud de vigas o refuerzos soldados, sin tomar en cuenta la sección transversal, donde se está especificando el alabeo o curvatura, no debe exceder de:

$$T = 1 (L) \text{ donde:}$$

L = Número de metros de la longitud total.

T = Tolerancia permisible en mm.

Ver la figura 4.10.



Se mide la curvatura máxima; T en mm.

Figura 4.10.- Tolerancias de rectitud.

La tolerancia permisible en alabeo especificado de vigas o refuerzos soldados, para miembros cuyas bases de apoyo estén empotradas en concreto sin que la variación permisible, en milímetros exceda de:

$$\pm \frac{\text{(Número de metros de la longitud total)}}{5} \text{ ó } 6 \text{ mm lo que sea mayor}$$

Este inciso debe aplicarse a piezas fabricadas, antes de su montaje.

La tolerancia permisible en el alabeo especificado para vigas o refuerzos curvados horizontalmente es de:

$$\pm 1 \text{ mm (L)}$$

Con tal de que el miembro tenga suficiente flexibilidad lateral para permitir el acoplamiento de diafragmas, cruces de armaduras o sus acoplamientos a accesorios, sin dañar el miembro estructural.

La tolerancia lateral permisible entre la línea central del alma y la línea central del patín en construcción de miembros sección H o I en contacto con la superficie no debe excederse de 6 mm.

Las tolerancias de planeidad del alma para refuerzos en construcción de edificios y puentes deben cumplir con:

Las variaciones de planeidad de almas de vigas, las cuales deben determinarse midiendo el desplazamiento desde una orilla recta cuya longitud no es menor a la dimensión menor de cualquier panel. La orilla recta debe colocarse en cualquier posición de la variación máxima en el alma con los extremos de la orilla recta adyacente a los límites del panel opuesto:

Si las consideraciones arquitectónicas requieren tolerancias más restringidas que las indicadas anteriormente, deben incluirse las referencias especificadas en los documentos propuestos.

Las deformaciones combinadas e inclinaciones del patín de vigas y refuerzos soldados, deben determinarse midiendo la desviación del borde del patín a partir de una línea perpendicular al plano del alma hasta la intersección de la línea central del alma con la superficie exterior del patín, ver la figura 4.11.

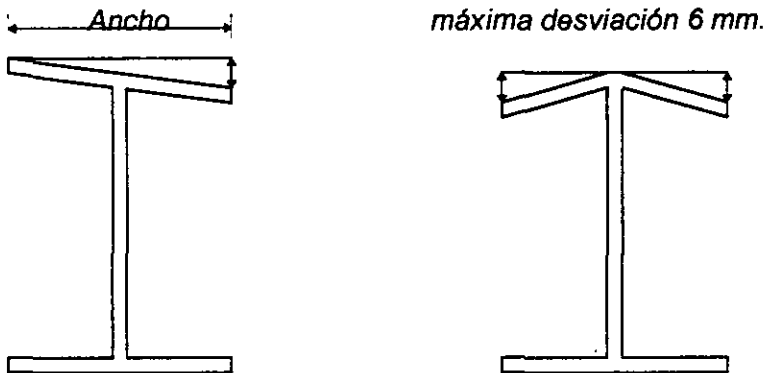


Figura 4.11.- Tolerancias permisibles en patines.

Esta desviación no debe exceder de ($\frac{1}{100}$ del ancho total del patín) o 6mm, lo que sea mayor,

Tolerancia permisible del patín del panel; la tolerancia máxima permisible del peralte (profundidad especificada). Para vigas y refuerzos soldados, medidas en las líneas central del alma, no debe exceder de:

Para peraltes de hasta; $0.9 \text{ m} \pm 3 \text{ mm}$.

Para peraltes mayores de 0.9 hasta 1.8 m; $\pm 5 \text{ mm}$.

Para peraltes mayores de 1.8; $+ 8 \text{ mm}$ y $- 5 \text{ mm}$.

Los soportes de extremos y atiezadores deben estar nivelados en ángulo recto con el alma y teniendo al menos 75% de ésta área en contacto con la superficie interior de los patines.

La superficie exterior de los patines cuando los soportes están en contra de una base o asiento de acero deben estar dentro de 0.25mm para el 75% del área proyectada del alma y de los atiezadores, y no más de 8mm para el 25% remanente del área proyectada del alma en la superficie exterior del patín, y en el ángulo incluido entre el alma y el patín no debe exceder de 90 ° en toda la longitud del soporte, en la figura 4.12 se pueden apreciar atiezadores.

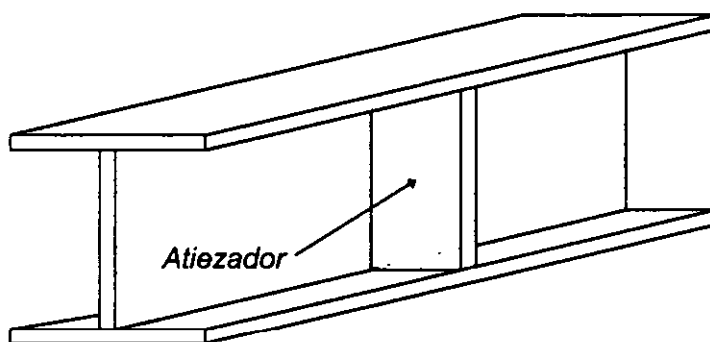


Figura 4.12.- Atiezadores

Reparaciones

La remoción del metal de aporte o porciones del metal base, puede hacerse por maquinado, esmerilado, limado, biselado, por medio de oxígeno ó ranurado por arco con electrodo de carbono y aire.

La remoción con oxígeno no debe usarse en aceros templados y revenidos. Las porciones de soldadura inaceptables deben removerse sin quitar substancialmente el metal base. La adición de metal de aporte, para compensar cualquier deficiencia en el tamaño, debe depositarse usando en electrodo de diámetro más pequeño que el empleado para hacer la soldadura original, y preferentemente no mayor de 4 mm de diámetro. Las superficies deben limpiarse perfectamente antes de soldar.

La constructora tiene la opción de reparar una soldadura inaceptable ó remover y remplazar la soldadura totalmente.

La soldadura reparada o reemplazada tendrá que volver a ser aprobada por el método original usado y debe aplicarse la misma técnica y criterio de aceptación de calidad.

Si la constructora elige reparar la soldadura esto debe hacerse como se indica a continuación.

Traslape o convexidad excesiva.- Remover el exceso del metal de aporte.

Concavidad excesiva de la soldadura o cráteres, soldadura de menor tamaño y socavados, reparar las superficies (toda la escoria debe removerse y la soldadura y el metal base adyacente, debe limpiarse con ella) depositar metal de aporte adicional.

Porosidad excesiva, inclusiones excesivas de escoria y fusión incompleta, remover las partes inaceptables y volver a soldar.

Grietas en la soldadura o metal base, eliminar la grieta y metal sano 51 mm más de cada extremo de la grieta y volver a soldar

Los miembros distorsionados por soldadura deben enderezarse por medios mecánicos o aplicando calor cuidadosamente en la zona que se quiera enderezar. La temperatura de las áreas calentadas no debe exceder de 590 °C para aceros templados y revenidos ni de 650 °C para otros aceros (un color rojo pálido).

Las partes que van a calentarse para enderezado debe estar libre de esfuerzos y de fuerzas externas, excepto aquellos esfuerzos resultantes del método mecánico de enderezado usado conjuntamente con la aplicación del calor.

Debe obtenerse la aprobación del Ingeniero responsable, para reparar el metal base de grietas mayores; reparar con soldadura de electroescoria y electrogas en defectos internos, ó para una revisión del diseño a fin de compensarlo por deficiencias.

Antes de cortar miembros soldados o ensambles inadecuados, es necesario notificárselo al ingeniero calculista.

Si después de haber hecho una soldadura inaceptable, el trabajo de reparación efectuado sigue asíndolo que la soldadura sea defectuosa o se han creado nuevas condiciones que hacen que la corrección de la soldadura inaceptable sea peligrosa o defectuosa, debe removerse toda la soldadura y en caso de que se haya afectado el metal base, este también tiene que ser removido, y volver a soldar, todo esto debe de hacerse con aprobación del ingeniero responsable.

Si esto no se realiza, la deficiencia debe compensarse con un trabajo adicional, efectuado conforme a un diseño revisado y aprobado por el ingeniero calculista.

Cuando la reparación por soldadura es necesaria para agujeros perforados o taladrados desalineados se debe seguir lo siguiente:

Cuando el metal base no está sujeto a esfuerzos de tensión dinámica; siguiendo un procedimiento para certificar la sanidad de la soldadura.

Cuando el material base está sujeto a esfuerzos de tensión dinámica puede repararse previniendo:

- 1) Que el ingeniero responsable apruebe la reparación con soldadura y la especificación del procedimiento para dicha reparación.
- 2) La inspección de la soldadura reparada que es seguida por el trabajo y sanidad del metal base reparado es verificada por los métodos de prueba no destructivos especificados en el contrato para inspección de tensión de las soldaduras de ranura o como lo apruebe el ingeniero responsable.

Además cuando los agujeros en acero templados y revenidos son reparados por soldadura:

- 1) Debe usarse metal de aporte aprobado, calor suministrado y calor térmico posteriormente a la soldadura (Cuando sea requerido este tratamiento).

- 2) Las muestras soldadas, deben hacerse usando la especificación del procedimiento para repararse con soldadura.
- 3) La inspección radiográfica de las muestras soldadas, debe verificar que la sanidad de la soldadura cumpla con los requisitos, de la norma de comparación.
- 4) La superficie de la soldadura debe ser acabada al ras y sin ninguna disminución del espesor.

Puede usarse el martillado en capas de soldadura intermedias para el control de esfuerzos de contracción en las soldaduras gruesas para prevenir el agrietamiento. No debe usarse el martillado en la raíz o en la capa superficial de la soldadura o en las orillas de la soldadura del metal base, debe tenerse cuidado para evitar el martillarse con un instrumento inadecuado, de tal manera que produzca una deformación plástica local.

Se permite el uso de martillos y cinceles, escoriadores y herramientas vibratorias de poco peso para remover escoria y salpicaduras.

Calafateo

No se permite el calafateo en soldaduras

Cráteres por contacto de arco.

Debe evitarse en el metal base los cráteres por contacto de arco en el área exterior de las soldaduras permanentes. Las grietas o defectos causados por cráteres por contacto de arco deben esmerilarse a un contorno liso o verificarse para asegurar la sanidad del metal base dañado.

Limpieza de la soldadura.

Antes de soldar sobre el metal previamente depositado, toda la escoria debe removerse y la soldadura y el metal base adyacente, deben limpiarse con cepillos.

Estos requisitos deben aplicarse no sólo a capas sucesivas sino también a cordones sucesivos y al área del cráter cuando la soldadura es reiniciada después de cualquier interrupción.

La escoria debe removerse de todas las soldaduras terminadas y la soldadura y metal base adyacente debe limpiarse por cepillado u otros medios apropiados. Las salpicaduras adheridas después de la operación de limpieza, son aceptables a menos que su remoción sea requerida para los propósitos de los ensayos no destructivos y la aplicación de pintura.

Las juntas soldadas no deben pintarse hasta después de que la soldadura sea terminada y aceptada.

Terminación de la soldadura.

Las soldaduras deben terminarse en el extremo de una junta de manera que se asegure la sanidad de las soldaduras. Siempre que sea necesario, esto debe efectuarse usando extensiones soldadas.

En estructuras de cargas estáticas, las extensiones soldadas no deben removerse hasta que la soldadura se termine y se haya enfriado y los extremos de la soldadura deben estar lisos y enrasarse con las orillas de las partes colindantes, ver la figura 4.13.

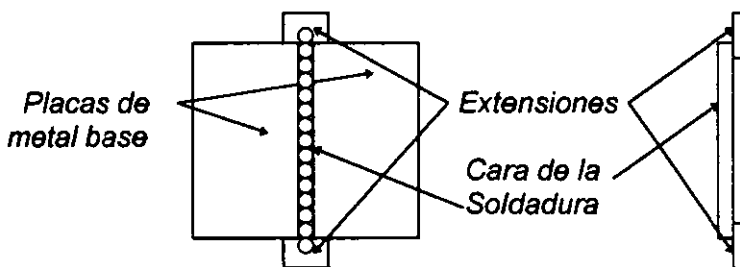


Figura 4.13.- Extensiones para dar continuidad a las soldaduras.

Los extremos de las juntas soldadas a tope requeridas para nivelar, deben terminarse de manera que no reduzca el ancho requerido o el ancho real, lo que sea mayor; por más de 3 mm. O de manera que no quede un refuerzo en cada extremo mayor de 3.2 mm

Los extremos de las juntas soldadas a tope deben ajustarse a la plancha adyacente o a la forma de las orillas en una pendiente que no exceda de 1 a 10.

Soldadura de ranura.

En la soldadura de ranura hechas con respaldo de acero, el metal de aporte debe estar perfectamente fundido con el respaldo.

El acero de respaldo debe estar continuo a todo lo largo de la soldadura. Todas las juntas necesarias con acero de respaldo deben soldarse por penetración completa de la junta, en juntas a tope y cumplir con todos los requisitos de la ejecución del trabajo.

El espesor mínimo nominal sugerido de las barras de respaldo se indican en la siguiente tabla; siempre y cuando esta sea de suficiente espesor para prevenir la sobre penetración:

Procesos	Espesor mínimo en mm,
SMAW	-----5
GMAW	-----6
FCAW con y sin protección de gas	-----10
SAW	-----10

En estructuras de cargas dinámicas.

En estructuras de puentes, debe removerse el acero de respaldo de las soldaduras que son transversales a la dirección de los esfuerzos calculados y las juntas deben esmerilarse o tener un acabado liso.

A menos que se especifique por el ingeniero calculista, no necesitan removerse el acero de respaldo de las soldaduras que son paralelas a la dirección de esfuerzos o no están sujetas a esfuerzos calculados.

Cuando el acero de respaldo de las soldaduras longitudinales en estructuras de carga dinámicas esta extremadamente fijado al metal base por soldadura, esta debe ser continua a lo largo del respaldo.

Estructuras tubulares con cargas estáticas.

A menos que sea requerido por el ingeniero responsable, para estos tipos de estructuras no necesita removerse el acero de respaldo.

CAPITULO

5

INSPECCION CON

LIQUIDOS

PENETRANTES

INSPECCIÓN CON LÍQUIDOS PENETRANTES

INTRODUCCION

La inspección por Líquidos Penetrantes se define como un procedimiento de inspección no destructivo, de tipo físico químico, diseñado para detectar y exponer discontinuidades presentes en la superficie de los materiales. El método puede detectar discontinuidades subsuperficiales, siempre y cuando se tenga una parte abierta a la superficie en la cual el líquido penetrante ha sido aplicado.

El objetivo del método de líquidos penetrantes es detectar grietas, porosidades, traslapes, costuras y otras discontinuidades superficiales rápida y económicamente con un alto grado de confiabilidad.

Debido a que este método utiliza propiedades físicas y químicas más que fenómeno eléctricos, puede emplearse en el campo, aun cuando no existan fuentes de energía.

Sin embargo, en todos los casos el éxito de la inspección depende de la limpieza de la superficie; de las piezas a inspeccionar.

Principio del método

Los líquidos penetrantes tienen la propiedad de filtrarse a través de las discontinuidades que presentan los materiales, basándose en la acción capilar, es la que origina que un líquido ascienda o descienda a través de dos paredes cercanas entre sí; también se basa en los principios físicos de cohesión, viscosidad, adherencia y tensión superficial.

Proceso de líquidos penetrantes

En la inspección por Líquidos Penetrantes se requiere realizar los siguientes seis pasos:

- 1.- Preparación de la superficie.
- 2.- Aplicación del penetrante.
- 3.- Remoción del exceso de penetrante
- 4.- Aplicación del revelador.
- 5.- Inspección
- 6.- Limpieza final.

Preparación de la superficie

La inspección por Líquidos Penetrantes requiere, además de que las discontinuidades se encuentren en la superficie, que estén abiertas a ésta, para que el penetrante tenga una vía de acceso; por lo que es esencial una limpieza de la pieza para obtener resultados confiables. Debe tenerse extremo cuidado para asegurar que las piezas estén limpias y secas.

Las indicaciones y la detección de discontinuidades depende del flujo del penetrante, aun en las pequeñas fisuras. Es evidente que el penetrante no puede fluir si la discontinuidad se encuentra tapada con aceite, agua, pintura, óxido o cualquier otra materia extraña. Para obtener mejores resultados en la inspección, se necesita una limpieza adecuada en la superficie del material. La técnica de limpieza a utilizar depende del tipo de contaminante presente en la superficie de la pieza.

Método de limpieza

Es esta parte donde se debe tener cuidado, ya que si se utiliza algún método que no sea el adecuado, este puede llegar a enmascarar las indicaciones o que actúen como contaminantes, influyendo en la sensibilidad del método. Los métodos se clasifican como:

Químicos.

Mecánicos.

Por solventes.

Limpieza por medios químicos.

Limpieza alcalina.- Remueve cascarilla, óxido, grasas, material para pulir, aceites y depósitos de carbón. Este método se emplea en grandes piezas en las cuales las técnicas manuales suelen ser laboriosas.

Limpieza ácida.- Se emplean soluciones muy ácidas para remover cascarilla muy pesada o de gran tamaño; para eliminar cascarillas ligera y manchas metálicas, se utiliza una solución débilmente ácida.

Limpieza con sales fundidas.- Se emplea para remover cascarilla muy densa y óxido fuertemente adheridos.

Limpieza por medios mecánicos.

Pulido abrasivo.- Remueve escama, rebaba, escoria de soldadura y óxido. Este método no debe utilizarse en metales suaves como aluminio, magnesio y titanio.

Aplicación de arena seca a alta presión (Sand-blasting).- Remueve escamas pesadas, capas de pintura o recubrimiento antioxidantes, depósitos de carbón, óxido, fundentes, arena de fundición, etc.

Aplicación de arena húmeda a alta presión.- Es utilizada para un mejor control del acabado superficial o dimensional, su aplicación es la misma del método anterior.

Limpieza por solventes.

Desengrasado por vapor.- Remueve aceites y grasa, por lo general emplea solventes clorados. No es recomendable para titanio y sus aleaciones.

Enjuague con solventes.- Remueve aceites y grasas, puede emplear solventes no clorados.

Los solventes más comúnmente empleados son acetona, percloroetileno, alcohol isopropílico, cloruro de metileno; todos éstos, se evaporan a la temperatura ambiente.

Aplicación del penetrante.

El penetrante se aplica sobre la superficie limpia y seca de la pieza a inspeccionar, por cualquier método que la humedezca totalmente; por ejemplo; inmersión, rociado, vaciado, con brocha, etc. Todas las superficies deben cubrirse totalmente para permitir que mediante la acción capilar el penetrante se introduzca en las discontinuidades; figura 5.1.

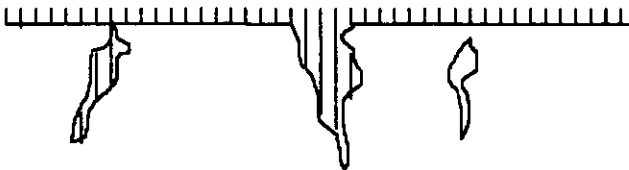


Figura 5.1.- Aplicación de penetrante.

Aspersión

Es la forma más común de aplicar el penetrante, ya que el rocío se puede obtener empleando aire a presión o mediante aerosoles. No obstante por la comodidad de su aplicación, debe tenerse cuidado en que el rocío sea homogéneo.

Tiempo de penetración.

Se define como el tiempo necesario para que el penetrante se introduzca en las discontinuidades.

El tiempo de penetración se elaboro tomando como base el rango de temperatura de 10° a 52° C. El penetrante no debe utilizarse a temperaturas menores al límite inferior, porque disminuye su actividad y no se introduce en las discontinuidades, a pesar de cumplir con el tiempo de penetración establecido; a temperaturas mayores a la indicada el penetrante se evapora y se seca antes de cumplir su función.

El empleo de tiempo de penetración es de 5 a 7 minutos, aunque cada fabricante maneja distintos tiempos; pero todos estos alrededor del antes especificado.

Cuando se utilizan tiempos mayores a los recomendados estos no afectan la sensibilidad de la inspección, a menos que se permita que el penetrante se seque sobre la superficie de prueba. Si la superficie comienza a secarse, debe aplicarse mas penetrante, de otra forma será difícil su remoción.

Remoción del exceso de penetrante.

La remoción del exceso del penetrante es el paso mas importante en el proceso de las piezas para su inspección; por ello debe mantenerse estricto control en cuanto a los diferentes parámetros que esta parte del proceso encierra, y de este modo asegurar resultados confiables.

Después de transcurrido el tiempo de penetración se elimina el exceso del penetrante; primero se limpia con un trapo con buena absorción y que no suelte pelusa ni deje hilos, para eliminar la mayor parte del penetrante.

El segundo paso consiste en humedecer un trapo limpio con el removedor, cuidando de no humedecerlo demasiado ya que al frotarlo contra la superficie de la soldadura podría llegar a eliminar el penetrante de las posibles discontinuidades; ver figura 5.2.



Figura 5.2.- Remoción del exceso de penetrante.

En caso de que se observe que quedan rastros excesivos del penetrante, se puede proceder a limpiar otra vez con un trapo seco, tratando de no frotarlo demasiado para evitar la remoción del penetrante de posibles discontinuidades; ver figura 5.3.

Si el penetrante se seca antes de empezar con su remoción es necesario iniciar la inspección desde el paso de la prelimpieza.



Figura 5.3.- Limpieza excesiva del penetrante.

Los penetrantes

En este método de inspección, el penetrante es un fluido con propiedades únicas que le permiten introducirse en pequeñas aberturas, lo cual lo hace especialmente adecuado para emplearse en la detección de discontinuidades superficiales, además un buen líquido penetrante debe reunir algunas características para efectuar apropiadamente su función:

Alta penetración en discontinuidades muy finas

Baja pérdida de solventes por evaporación

Relativamente fácil de ser removido de la superficie pero no de la discontinuidad

Permanecer en estado líquido y tener alta afinidad con el revelador

Capaz de formar películas muy finas

De color o de fluorescencia muy estable y fácilmente visible aun en bajas concentraciones

No debe reaccionar con el material sujeto a inspección

Inodoro, atóxico y con alto punto de inflamabilidad

Estable bajo condiciones de almacenamiento

Tener un precio económico

Propiedades Físicas de los Penetrantes.

Para obtener las características descritas y la sensibilidad adecuada, el penetrante debe presentar un balance correcto de sus propiedades físicas, ya que este tipo de inspección depende de la facilidad de un penetrante para mojar la superficie de una pieza y cubrirla en forma continua y uniforme. Las principales propiedades físicas son:

Adherencia.- Es la fuerza de atracción entre moléculas de sustancias distintas.

Cohesión.- Es la fuerza que mantiene a las moléculas de una misma sustancias a una distancia determinada unas de otras. Por ejemplo, los sólidos tienen alta cohesión, en comparación de los líquidos; a su vez, los líquidos tienen mayor cohesión que los gases.

Humectabilidad.- Es la capacidad de un líquido para mojar un sólido y que afecta las características de penetración y de sangrado de los líquidos penetrantes. Está controlada por el ángulo de contacto y la tensión superficial del penetrante.

Capilaridad. La capilaridad y la humectabilidad, determinan el proceso de penetración de un líquido a través de las discontinuidades. Cuando existe contacto entre un líquido y una pared sólida, como se muestra en la figura 5.4, la altura o depresión en un tubo capilar vertical esta determinada por el ángulo de contacto formado entre el líquido y la pared del tubo. Si el ángulo de contacto es menor de 90° el menisco del líquido en el tubo es cóncavo; entonces el líquido asciende por el tubo (Fig. 5.4 a). Si el ángulo es igual a 90° , no existe aumento ni disminución capilar. Si el ángulo de contacto es mayor a 90° el líquido no humedece la pared del tubo, el menisco formado es convexo y por ello el líquido desciende en el tubo (Fig. 5.4 b).

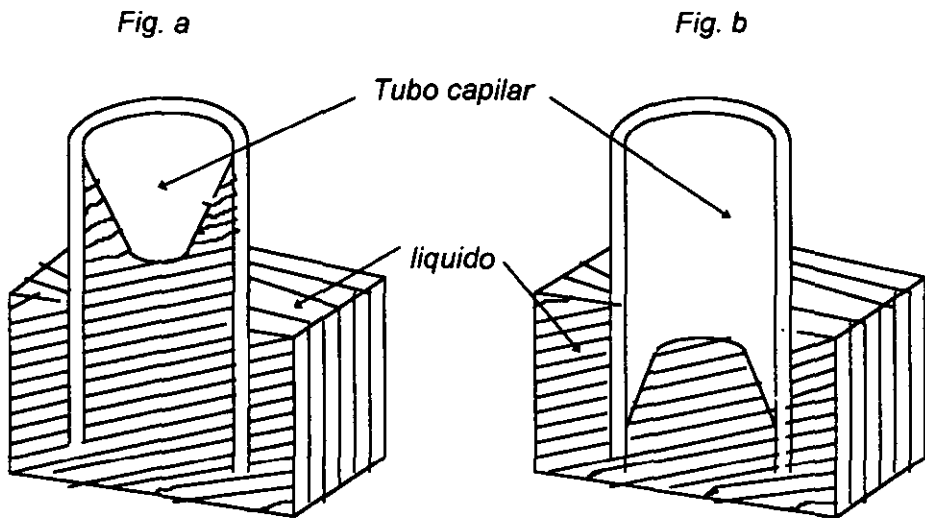


Figura 5.4.- Variación de la altura de un líquido en un tubo capilar.

Por supuesto, las discontinuidades que se presenta en el campo de trabajo no son precisamente tubos capilares. Sin embargo, el análisis hecho anteriormente ejemplifica la forma en que interactúan el líquido penetrante y una superficie sólida.

Gravedad específica.- La gravedad específica es una comparación entre la densidad de un penetrante y la del agua destilada a 4° C. El penetrante debe tener una gravedad específica menor de uno para evitar que en un tanque el agua flote en la superficie del penetrante, ya que esto puede evitar que el penetrante cubra el objeto de prueba.

Volatilidad.- Es una característica definida por la presión de vapor y el punto de ebullición de un líquido, es recomendable una baja volatilidad del penetrante para evitar las pérdidas por evaporación en tanques abiertos. Un penetrante de alta volatilidad se seca más rápidamente en la superficie de prueba. Cuando se utilicen materiales con bajo punto de inflamación y/o tóxicos, la volatilidad será una consideración de seguridad.

Inflamabilidad.- El estallamiento de los aceites está relacionado con su punto de inflamación; es decir, el momento en que se incendia. De acuerdo a las especificaciones, se requiere de un mínimo de 51.6° C, como punto de inflamación. Los fabricantes consideran por lo general una temperatura mínima de 57° C.

Actividad química.- Es importante que los penetrantes sean químicamente compatibles con el material a ser inspeccionado. Los que contienen cloruros, alógenos o sulfuros están frecuentemente restringidos para la inspección de aceros austeníticos, aleaciones de titanio y aceros al alto níquel. En caso de que no exista un documento específico, el contenido de esto se limita al 1 % como máximo, (en peso residual), de acuerdo con la norma NOM-B133 y ASTM E-165.

Tipos de líquidos penetrantes.

De acuerdo con NOM-B-133 y ASME SEC. V y ASTM E-165, los líquidos penetrantes se clasifican en:

Tipo I. Líquidos penetrantes Fluorescentes.

Método A: Lavable con agua

Método B: Postemulsificable lipofílico

Método C: Removible con solvente

Método D: Postemulsificable hidrofílico

Tipo II. Líquidos penetrantes visibles.

Método A: Lavable con agua

Método C: Removible con solvente

El proceso mas empleado para la inspección de estructuras metálicas es el método C tipo II; ya que por la forma de su suministro (aerosol) es de fácil manejo, bajo costo y puede ser empleado tanto en campo como en taller; a continuación se da una breve explicación de los tipos de líquidos penetrantes.

Penetrantes Fluorescentes.

La sensibilidad de los sistemas penetrantes fluorescentes es influida principalmente por la concentración del pigmento y por la intensidad del color. Sin embargo, existen muchas otras variedades que pueden controlarse. En general, los sistemas de penetrantes fluorescentes presentan un número mayor de aplicaciones potenciales que los sistemas de penetrantes visibles.

Los materiales fluorescentes absorben energía de las ondas luminosas en la región ultravioleta del espectro electromagnético. Esta energía es convertida y emite fotones de energía en diferentes longitudes de onda. Los pigmentos fluorescentes se seleccionan para que absorban energía en el rango de longitud de onda de 350 a 400 nm y emitan luz en el rango de 475 a 575 nm. La energía emitida se encuentra en el espectro visible en el rango de color verde a amarillo.

Penetrantes Visibles.

Debido a que los penetrantes deben ser visibles después de que han sido extraídos por el revelador, en este método se emplean por lo general un pigmento de color rojo, que produce un alto contraste con un fondo de color blanco. Los pigmentos de color rojo se encuentran con mayor facilidad en una amplia gama de tonos, son baratos y fáciles de mezclar con aceite. Cuando se emplean emulsificantes o solventes para la remoción del exceso de penetrante, la pequeña cantidad de penetrante atrapado en las discontinuidades se diluye. Para compensar esta dilución, deben emplearse los pigmentos más oscuros y en la más alta concentración posible.

Los pigmentos visibles pueden emplearse en penetrantes lavables con agua, posemulsificaciones o removibles con solvente; los dos últimos son los de mayor sensibilidad. Para obtener una sensibilidad adecuada se recomienda el empleo de reveladores en polvos suspendidos en solvente.

Los penetrantes visibles regularmente no se recomienda para emplearlos con reveladores secos. La ventaja principal de emplear este tipo de penetrantes es que puede aplicarse con un pequeño conjunto de envases y en la inspección se emplea con luz ordinaria o de una planta.

Penetrantes lavables en agua.

A este penetrante se le denomina también autoemulsificable, ya que tiene incorporado un emulsificante que lo hace soluble, por lo que puede lavarse directamente con agua. Es importante que la operación de lavado se controle cuidadosamente, para evitar un sobrelavado y con ello lavar el penetrante de las discontinuidades.

Las Normas NOM-B-133 y ASTM E-165 recomiendan que la presión del agua de lavado no sea superior a 50 psi (345 Kpa) y que la temperatura de éste oscile entre los 16° y 43° C. El rociado debe efectuarse con gotas gruesas y en un ángulo no mayor a 45°; cuando no es posible disponer de sistemas de rociado también se puede remover el exceso de penetrantes empleando cepillos de cerdas suaves y cerradas o paños empapados con agua, con los cuales se

ESTA TESIS NO SALE DE LA BIBLIOTECA

talla suavemente la superficie. Una vez que ésta se ha limpiado, es conveniente secarla a la brevedad posible, ya que el agua que queda adherida puede diluir el penetrante atrapado en la discontinuidad.

Penetrante Postemulsificable.

Un penetrante posemulsificable tiene una base aceite o un vehículo al que se le ha añadido un pigmento. Este sistema difiere del lavable con agua en que no puede ser removido directamente con ese medio, pues no contiene un agente emulsificante. Los penetrantes postemulsificables generalmente tienen alta calidad de penetración. Puesto que los penetrantes utilizados en el proceso postemulsificable no son lavables con agua, es necesario aplicar sobre las piezas de prueba un emulsificante después de que ha transcurrido el tiempo de penetración y antes del proceso de lavado.

Los emulsificantes se combinan con el penetrante de la superficie de la pieza por difusión y por mezcla turbulenta cuando se drena y provoca que el penetrante y el emulsificante puedan removerse con agua corriente. De forma ideal, el penetrante que se encuentra en las discontinuidades no deben emulsificarse. Cuando se emplea esta condición es posible lavar todo el penetrante de la superficie, sin eliminar el que se encuentra atrapado en las discontinuidades.

En las figuras siguientes se muestran las condiciones ideales en las que sólo se emulsifica el penetrante que se encuentra en la superficie de la pieza.

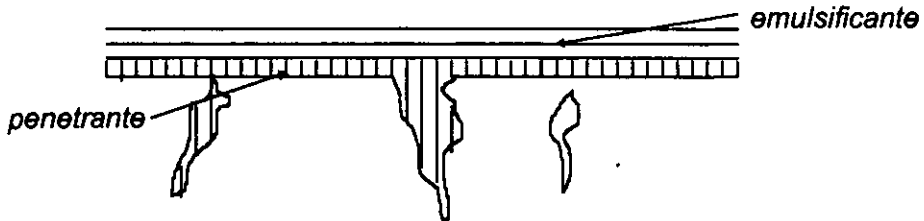


Figura 5.5.- Emulsificante aplicado al penetrante.

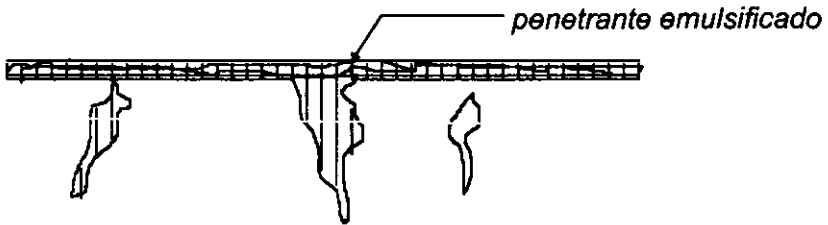


Figura 5.6.- Penetrante emulsificado en la superficie.

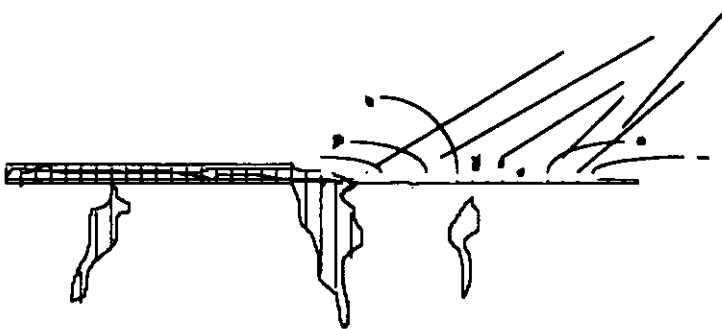


Figura 5.7.- Rocío de agua para remover el penetrante emulsificado.

El tiempo de emulsificación varía de acuerdo con la viscosidad, el método de aplicación, la composición química del emulsificante y la rugosidad de la pieza. Los emulsificantes siempre se aplican por inmersión o por rocío, pero nunca con brocha.

Penetrantes removibles con solventes.

Cuando es necesario inspeccionar superficies tersas o solamente una pequeña sección de la pieza, es conveniente el empleo de penetrantes removibles con solvente. Normalmente se utiliza el mismo solvente para la prelimpieza y para la remoción del exceso de penetrante.

El exceso de penetrantes se elimina mediante algún material absorbente, frotando la superficie de inspección. Para verificar que la pieza se encuentre libre de penetrante, es recomendable pasar un material absorbente limpio sobre la superficie, el cual debe estar exento de color. En el caso de penetrantes fluorescentes, el exceso de penetrante debe removerse bajo luz ultravioleta siguiendo el procedimiento antes descrito.

Es importante verificar que el exceso de penetrante no debe removerse aplicando directamente el solvente sobre la superficie de la pieza, ya que podría extraer el penetrante de las discontinuidades. En las figuras se muestra la secuencia de operaciones para el sistema de penetrante removible con solvente.

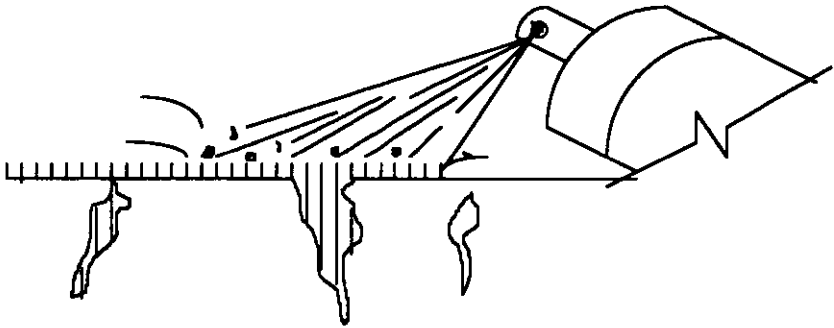


Figura 5.8.- Aplicación de penetrante.

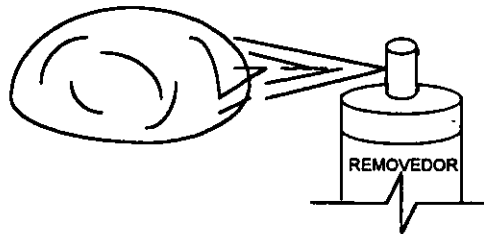


Figura 5.9.- Aplicación de removedor a un material absorbente para la limpieza de la muestra.

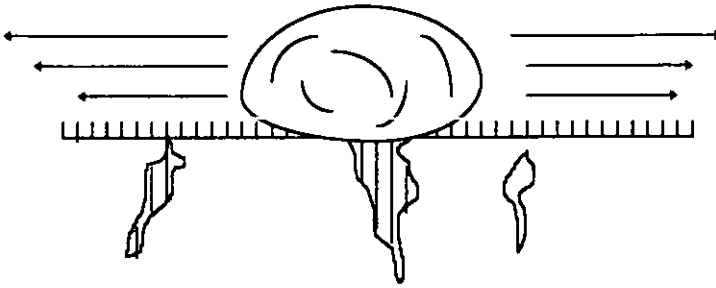


Figura 5.10.- Remoción del exceso de penetrante, con un movimiento de vaivén; cuidando de no extraer el penetrante de posibles discontinuidades.

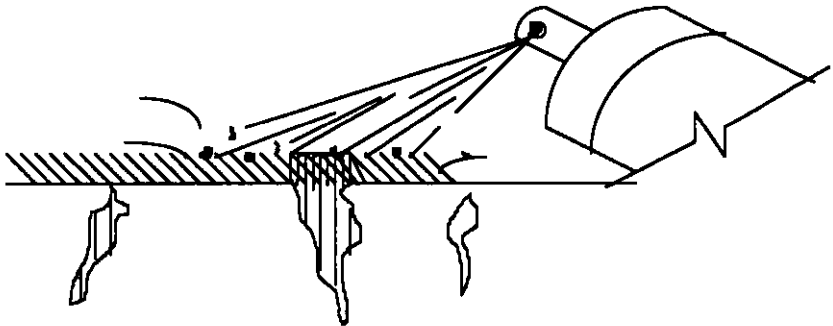


Figura 5.11.- Aplicación del revelador.

El revelador.

La cantidad de penetrante que emerge de una discontinuidad superficial es muy reducida, por lo que es necesario ampliar su visibilidad. Los reveladores están diseñados de tal forma que extraen el penetrante atrapado en las discontinuidades, para que sean visibles al ojo humano. La acción del revelado es una combinación de tres efectos: solvencia, adsorción y absorción. El revelador ejerce un efecto de adsorción y absorción sobre los residuos del penetrante, llevándolos hacia la superficie de la pieza. Cuando el penetrante se dispersa a través del polvo revelador, puede ser fácilmente observado.

En el caso de los reveladores en suspensión no acuosa, la acción solvente juega un papel importante para promover la extracción del penetrante de las discontinuidades y el mejoramiento de las indicaciones.

Propiedades de los reveladores.

El revelador debe poseer las siguientes características para efectuar de forma adecuada su función:

Alto poder de absorción del penetrante.

Un tamaño de partícula adecuada, para que el revelador se disperse y esponga el penetrante sobre la mayor área posible, además de producir indicaciones intensas y bien definidas.

Ser capaz de eliminar colores que interfieran con el fondo.

Ser de fácil aplicación.

Deben formar una capa delgada y uniforme sobre la superficie.

Gran afinidad con el penetrante.

No deben ser fluorescentes si se emplea con penetrantes fluorescentes.

De fácil remoción después de la inspección.

No deben ser tóxicos para el operador.

Presentar alto contraste con el penetrante visible con luz normal.

Existen tres tipos de reveladores los cuales son:

Secos

En solución acuosa

En suspensión

Reveladores secos

Se aplican a la superficie seca por aspersion, aspersion electrostática o inmersión. Se utilizan generalmente con penetrantes fluorescentes. Tiene poco uso con los penetrantes visibles; están constituidos de un polvo fino que, al aplicarse sobre la superficie, tiene la capacidad de adherirse en ella y formar una película muy delgada.

Reveladores en solución acuosa

Con la utilización de este tipo de reveladores, se han eliminado muchos tipos de problemas inherentes a las suspensiones, ya que proveen una capa uniforme y adecuada para la inspección.

Una limitante de este tipo de revelador es que la capa formada en la superficie se compone de material cristalizado que disminuye la capacidad de absorción del penetrante, comparada con la del revelador en suspensión. Además la capa de revelador es más delgada, motivo por el que deben emplearse penetrantes más coloridos o brillantes para observar las indicaciones.

Reveladores en suspensión

Existen diferentes tipos de reveladores en suspensión, el más empleado es una suspensión de revelador en agua y el otro es un solvente adecuado (solución no acuosa).

La formación del material para el revelador en suspensión es más complicada que para el revelador seco. Este debe contener agentes que logren una buena suspensión, son necesarios agentes dispersantes y agentes que retarden el aglutinamiento, así como inhibidores de la corrosión.

Revelador en solución acuosa; el revelador suspendido en agua es una solución el problema es agilizar la aplicación en la inspección de piezas de tamaño mediano y pequeño, mediante el proceso fluorescente.

El material para los reveladores en suspensión se suministra como polvo seco, al cual se le adiciona agua, por lo general en porciones de 50 a 150 gramos de polvo por litro de agua. Antes de secarse sobre la superficie de la pieza, la película del revelador debe poseer, en

general, las mismas características del revelador seco, esto es, la habilidad de absorber el penetrante que emerge de la discontinuidad.

Revelador en solución no acuosa

La técnica de la suspensión en solvente es un medio efectivo para proporcionar una capa ligera de revelador sobre la superficie, ya que los solventes son de secado rápido.

El solvente puede disolver o no al penetrante, en ocasiones puede servir como solvente parcial para los penetrantes coloreados visibles. Tiene la función de ayudar a extraer el penetrante de la discontinuidad y lo disuelve dándole mayor movilidad y produciendo una indicación del penetrante más grande y clara. En superficies rugosas, este tipo de reveladores no es adecuado, ya que existe todo indicio de penetrante en la superficie.

Los reveladores suspendidos en solventes, generalmente se emplean para mostrar discontinuidades muy finas, si el rociado se hace de forma rápida y ligera sobre la superficie, el penetrante es extraído de las discontinuidades, pero su función es minimizada por la rápida evaporación del solvente. Los solventes utilizados con mayor frecuencia son el alcohol o los solventes clorados, que tienen la ventaja de no ser inflamables. El queroseno se emplea con menor frecuencia por ser tóxico y altamente inflamable.

La figura 5.11 muestra esquemáticamente la formación de la película del revelado por los diferentes tipos de reveladores.

Pueden aplicarse mediante inmersión, para esto debe tenerse especial cuidado de que las suspensiones estén perfectamente bien agitadas para conservar las partículas en suspensión. Sin lo anterior no es posible controlar el espesor de la capa, lo que es de gran importancia para asegurar una inspección uniforme.

La principal ventaja del revelador no acuoso es que la evaporación del solvente es más rápida.

Los reveladores no acuosos no tiene problemas de congelación; pero sí de evaporación; sobre todo sí se tienen en tanques para inmersión.

Este problema se reduce al aplicarlo por rociado en cualquiera de sus variantes.

Cada tipo de revelador posee ciertas ventajas respecto a su sensibilidad bajo ciertas condiciones. Estudios de laboratorio han demostrado que el revelador en suspensión es ligeramente menos sensible que el revelador seco, sobre todo al mostrar los límites de las indicaciones, la sensibilidad del revelador en suspensión puede ser afectada, si la capa aplicada tiende a ser muy gruesa, ya que alcanza a tapar la indicación.

Después de un tiempo determinado en el que actúa el revelador, se procede a la inspección de la muestra; esto se lleva a cabo observando el contraste de color entre el penetrante extraído de la discontinuidad y la superficie de fondo.

La iluminación empleada en la inspección está determinada por el proceso utilizado; cuando el método utilizado es el de penetrante visible, la inspección se efectúa bajo luz normal, para el método de penetrantes fluorescentes, la observación se realiza en cuarto oscuro bajo luz ultravioleta.

Debido a que los resultados obtenidos en la inspección por cualquiera de los métodos de líquidos penetrantes dependen en gran parte de la capacidad del técnico para observar las indicaciones, la iluminación empleada en la inspección visual es de gran importancia.

Las fuentes de luz normalmente utilizadas en las pruebas de inspección con penetrantes visibles no difieren de las empleadas en otras aplicaciones de inspección visual.

Algunos medios de iluminación son.

Luz solar.

Lámparas incandescentes.

Lámparas fluorescentes.

Lámparas de vapor de mercurio.

La agudeza visual del técnico al inspeccionar se reduce conforme disminuye el nivel de iluminación; además que la brillantez del área circunvecina a la superficie a inspección también afecta la absorción visual.

Empleo de luz ultravioleta en la inspección con penetrantes fluorescentes.

Para obtener mejores resultados, la inspección de las indicaciones fluorescentes deben efectuarse en un área de inspección lo más oscura posible, puesto que de esta manera las indicaciones fluorescentes aparecerán con mayor brillantez.

Esto es particularmente importante cuando la inspección se lleva a cabo con piezas que presentan indicaciones muy finas, como pueden ser las producidas por grietas, que sólo pueden atrapar pequeñas cantidades de penetrantes. Es recomendable cuidar que el área de inspección esté libre de materiales fluorescentes que pueden interferir con la inspección.

La intensidad de luz normal en un área de inspección provoca que la observación de las indicaciones fluorescentes sea difícil, requiriéndose de mayor intensidad de luz ultravioleta para detectar las indicaciones fluorescentes.

El mejoramiento de los líquidos penetrantes fluorescentes actuales hace posible realizar inspecciones en áreas en donde no exista completa oscuridad, ya que las indicaciones con alto brillo, grandes y medianas puede detectarse con luz normal. Por consiguiente, no siempre son necesarias las áreas de inspección extremadamente oscuras y con altos niveles de luz ultravioletas, aunque éstas son de gran utilidad para facilitar la inspección.

Limpieza final

En la mayoría de las inspecciones no se requiere de una limpieza después de la inspección; a menos que se encuentre establecido en el contrato o por requerimientos del proyecto en caso de no ser así esta actividad no se realiza.

CAPITULO

6

INSPECCION CON

PARTICULAS

MAGNETICAS

INSPECCION CON PARTICULAS MAGNETICAS

INTRODUCCION

El método de inspección con partículas magnéticas indica la presencia de discontinuidades en o cercanas a la superficie en materiales que pueden magnetizarse (ferromagnéticos). Este método puede usarse para la inspección en la producción de partes componentes o estructuras y para aplicaciones en campo cuando lo portátil del equipo y la accesibilidad al área a inspeccionar son factores importantes.

El hacer más lisa la superficie proporciona movilidad de las partículas magnéticas bajo la influencia del campo magnético para congregarse en la superficie cuando ocurre la distorsión de las líneas de flujo magnético.

Principio del método.

El método de partículas magnéticas se base en el principio de las líneas del flujo magnético, cuando se presentan en un material ferromagnético; se distorsionan a causa de un cambio en la continuidad del material, tal como un cambio dimensional brusco o una discontinuidad. Si la discontinuidad es abierta o cercana a la superficie de un material magnetizado, las líneas de flujo serán distorsionadas en la superficie, lo que se conoce como distorsión de las líneas de flujo magnético ó fuga de campo. Cuando las partículas magnéticas finas se aplican sobre el área de la discontinuidad, en presencia de la dispersión de las líneas de flujo, éstas son retenidas en el lugar, y su acumulación es visible bajo condiciones apropiadas de iluminación. Mientras existan variaciones en el método de partículas magnéticas, estas dependerán de este principio; las partículas serán atraídas y retenidas en aquellos lugares donde exista distorsiones de las líneas de flujo; esto se puede apreciar en la figura 6.1.

Hay cuatro etapas esenciales en el método las cuales son:

- 1.- Las piezas deben estar limpias y libres de grasa, aceite, cascarilla, arena o cualquier sustancia que puede interferir en el resultado.
- 2.- Debe magnetizarse la pieza o la parte que se va inspeccionar.

- 3.- Las partículas deben aplicarse mientras la pieza este magnetizada.
- 4.- Debe observarse, interpretarse y evaluarse cualquier acumulación de partículas magnéticas.

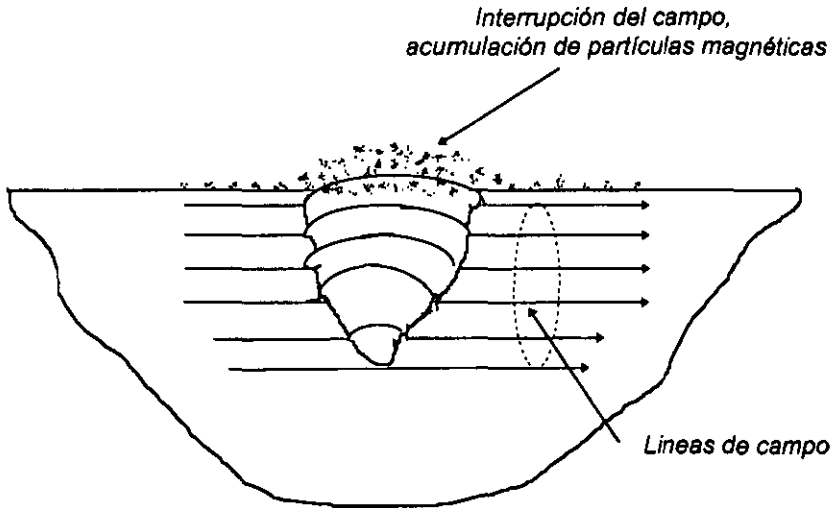


Figura 6.1.- Pérdida del campo magnético.

Preparación de las piezas

La superficie de la pieza a inspeccionar debe estar esencialmente limpia, seca y libre de contaminantes, tales como: basura, aceite, grasa, óxidos, arena, pelusa, pintura, salpicadura de soldadura, etc. Los cuales pueden restringir el movimiento de las partículas.

Cuando se inspeccione un área local, tal como una soldadura, las áreas adyacentes al área a inspeccionar, también deben limpiarse a una extensión necesaria para permitir la detección de discontinuidades, ver figura 6.2.

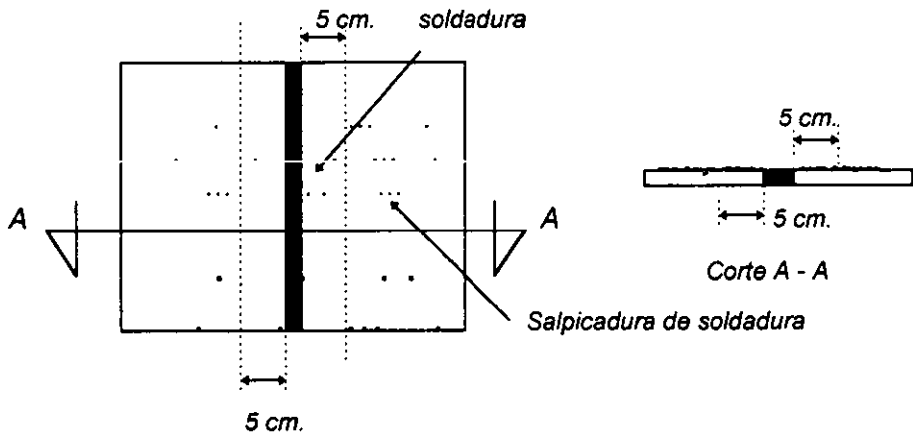


Figura6.2.- Por lo menos el área adyacente a la zona a inspeccionar debe limpiarse a una distancia de 5 cm.

Los recubrimientos delgados no conductores, como pintura con un espesor de 0.01 a 0.05 mm., normalmente no interfieren con la formación de indicaciones, pero dicho recubrimiento debe eliminarse en todos los puntos donde va efectuarse el contacto eléctrico para realizar la magnetización directa.

Un recubrimiento conductor (tal como el cromado y la cascarilla en materiales conformados) pueden enmascarar las discontinuidades. Al igual que en los recubrimientos no conductores, se debe demostrar que las discontinuidades pueden detectarse a través del recubrimiento.

Si las piezas mantienen un campo magnético residual de una magnetización previa, esto interfiere con la inspección, por lo que la pieza debe desmagnetizarse.

La limpieza de la superficie de inspección puede efectuarse con detergentes, solventes orgánicos o medios mecánicos; la forma mas común es utilizando medios mecánicos; es empleando lija, cincel, o maquinaria abrasiva como el caso de cardas y esmeriles.

Manera de magnetizar.

Un material ferromagnético puede magnetizarse pasando una corriente eléctrica a través del material o colocando el material dentro de un campo magnético originado por una fuente externa.

Como se señaló anteriormente, la discontinuidad debe interrumpir la trayectoria normal de las líneas del flujo magnético. Si una discontinuidad está abierta en la superficie, la fuga de campo será máxima para esa discontinuidad en particular. Cuando la misma discontinuidad está bajo la superficie, la fuga de campo será menor que en la superficie. Prácticamente las discontinuidades deben estar abiertas en la superficie, para crear suficiente fuga de campo para atraer y acumular las partículas magnéticas.

Si una discontinuidad está orientada en dirección paralela a las líneas de flujo magnéticas, las indicaciones no son detectables, sin embargo, las discontinuidades pueden presentarse en cualquier orientación por lo que, normalmente es necesario magnetizar la pieza en dos o más direcciones mediante el mismo método o por una combinación de métodos para inducir líneas de campo magnético en una dirección adecuada con el propósito de realizar una inspección correcta.

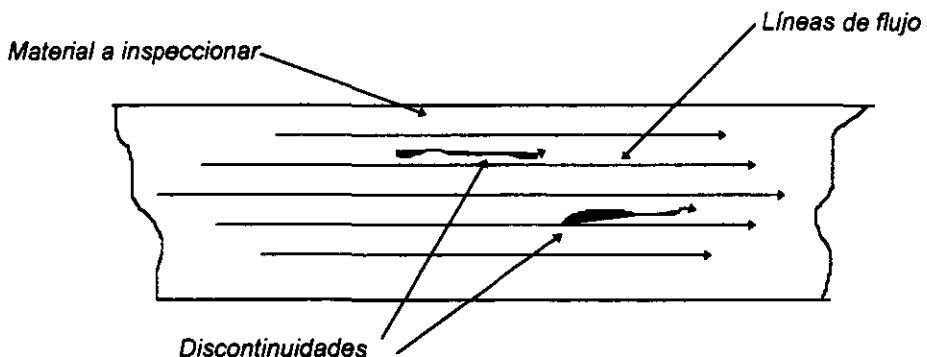


Figura 6.3.- En la figura se puede apreciar una discontinuidad paralela a las líneas de flujo, por lo que no es detecta.

Existen varios tipos de partículas magnéticas para usarse en este tipo de inspección, tales como polvos secos (fluorescentes y no fluorescentes), en suspensión de agua o de un destilado ligero de petróleo, partículas magnéticas coloreadas para untarse y partículas magnéticas dispersas en polímeros.

Equipo

Hay varios tipos de equipo para magnetizar piezas y componentes ferromagnéticos. Con excepción de un imán permanente, todos los equipos requieren de una fuente de poder capaz de proporcionar los niveles de corriente requeridos para producir el campo magnético. La corriente a usar determina el tamaño de los cables y la capacidad de los reveladores, contactos, medidores y rectificadores si la fuente de poder es de corriente alterna.

La portabilidad, o la capacidad de transportar el equipo puede obtenerse con los yugos, aunque su tamaño limita proporcionar campos magnéticos mayores, los cuales pueden ser obtenidos de equipos con capacidad de flujo mayor.

El equipo móvil esta diseñado ya sea para usarse con puntas de contacto (electrodos) en los extremos de dos cables o con únicamente los cables los cuales se ponen en contacto con la pieza que va a inspeccionarse, pasando uno de ellos a través de alguna abertura de la pieza o enrollados alrededor de ella.

Yugos

Los yugos son generalmente electroimanes en la forma de C, los cuales inducen un campo magnético entre los polos y se usan para una magnetización local. Muchos yugos portátiles tiene piernas articuladas que permiten que las piernas se ajusten para el contacto en superficies irregulares o para el contacto de dos superficies que se unen en un ángulo.

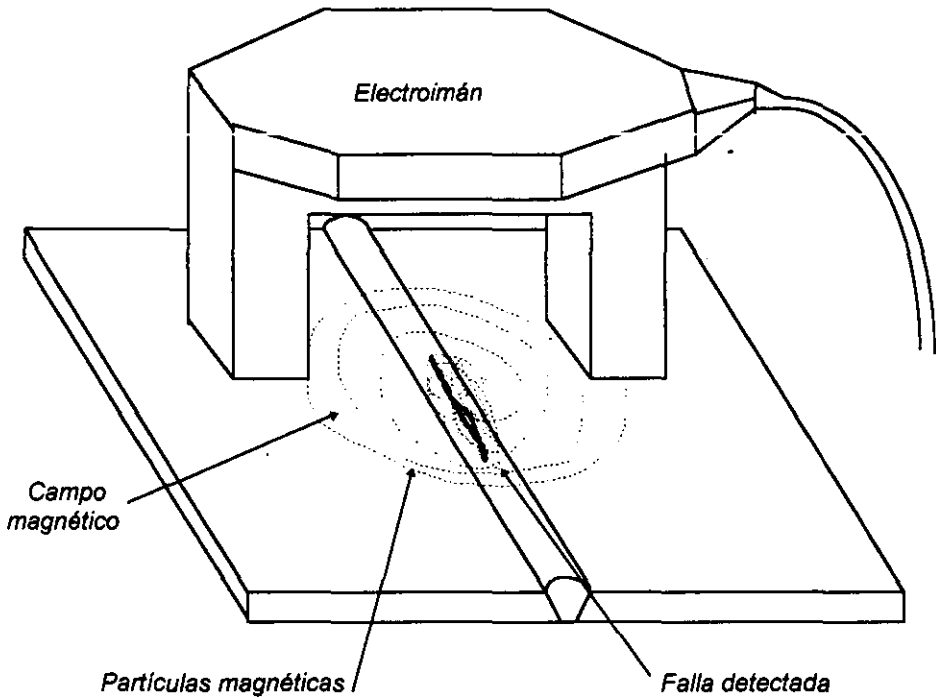


Figura 6.5.- Detección de una falla empleando un electroimán

Puntas de contacto.

Los electrodos se usan para magnetizaciones locales ver figura 6.6. Las puntas de los electrodos que hacen contacto con la pieza a inspeccionar deben ser de aluminio o cobre trenzado en lugar de cobre sólido. Con las puntas de cobre sólido, la formación de un arco eléctrico accidental durante su remoción, puede causar penetración de cobre dentro de la superficie, lo cual puede originar un daño metalúrgico (ablandamiento, endurecimiento, fracturas, etc.). La intensidad de corriente en circuito abierto no debe exceder de 25 V.

Un interruptor de control remoto, el cual puede instalarse en uno de los manerales de los electrodos, debe proporcionarse para permitir encender la corriente después de colocar apropiadamente los

electrodos y para apagar la corriente antes de quitar los electrodos, con el fin de minimizar la formación de un arco eléctrico (quemaduras por arco).

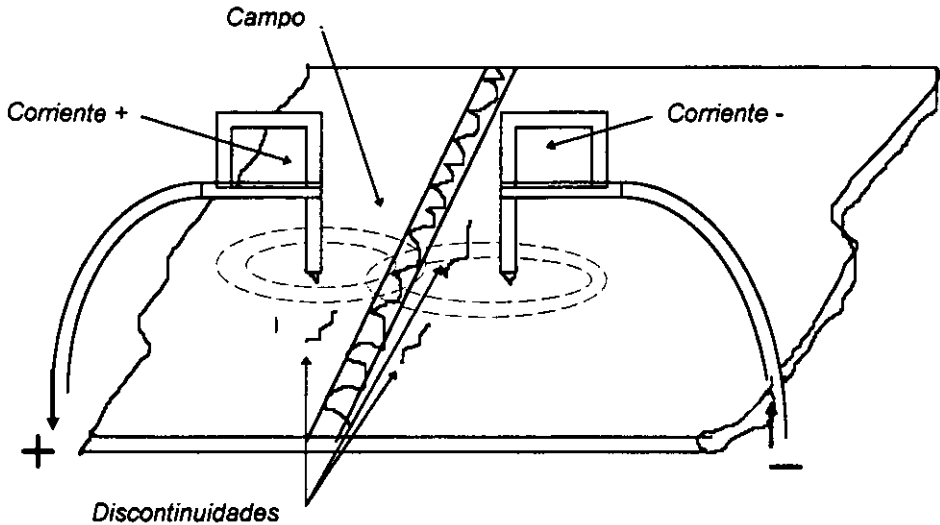


Figura 6.6.- Magnetización directa por puntas de contacto.

Luz negra.

Algunas lamparas de luz negra de alta intensidad pueden emitir cantidades inaceptables de luz amarilla verdosa, la cual puede causar que las indicaciones fluorescentes se conviertan en invisible. Una caída mayor del 10%, en la intensidad de corriente mayor de $\pm 10\%$ puede causar un cambio en la salida de la luz negra , lo que da como resultado que se realice una mala inspección.

Las indicaciones magnéticas encontradas usando partículas no fluorescentes se inspeccionan bajo luz visible. Las indicaciones encontradas usando partículas fluorescentes deben inspeccionarse bajo luz negra (ultra violeta); esto requiere de una área oscura y un control de la intensidad de la luz visible.

Para algunas inspecciones en campo cuando se usan partículas no fluorescentes, pueden utilizarse intensidades de luz visible tan bajas como sea posible.

El área de inspección debe mantenerse libre de obstáculos que interfieran con la inspección. Si se usan materiales fluorescentes, el área debe mantenerse libre de objetos fluorescentes relacionados a la pieza que va a inspeccionarse.

Tipos de partículas magnéticas

Las partículas que se usan en las técnicas de inspección con partículas magnéticas en suspensión o secas, son básicamente materiales ferromagnéticos finamente divididos; a los cuales se les ha adicionado un pigmento (fluorescente y no fluorescentes) con el fin de hacerlos altamente visibles contra el fondo de la superficie que va a inspeccionarse. Las partículas están diseñadas para usarse ya sea como un flujo libre de polvo seco o como suspensión para una concentración determinada, en un medio líquido apropiado.

Las partículas magnéticas deben tener alta permeabilidad para permitir una fácil magnetización y atracción a las discontinuidades y deben tener baja retentividad de manera que no se atraigan entre sí. Las partículas no deben ser tóxicas, y deben estar libres de óxido, grasa, pintura, suciedad y otros materiales nocivos que puedan interferir con su uso.

Partículas secas

Los polvos magnéticos están diseñados para usarse tal como se suministran y se aplican por rocío o espolvoreándolos directamente sobre la superficie de la pieza que va a examinarse .

Generalmente se emplean como un material perecedero, aunque las partículas puedan colectarse y volverse a usar .

Los polvos secos también pueden usarse bajo condiciones ambientales extremas, no les afectan el frío, por lo que se puede efectuar la inspección a temperaturas que las suspensiones se podrían espesar o congelar, también son resistentes al calor; algunos polvos puede usarse a temperaturas de hasta 315 °C.

Las partículas secas fluorescentes no pueden usarse a temperaturas altas, deben consultarse al fabricante; la técnica de partículas magnéticas secas es generalmente superior a la técnica de partículas en suspensión para detectar discontinuidades cercanas a la superficie.

Sistema de partículas en suspensión.

Las partículas en suspensión están diseñadas para ser suspendidas en un vehículo como agua; un destilado ligero de petróleo o una concentración determinada para aplicarse a la superficie de prueba por flujo, rocío o vaciado.

Las suspensiones se emplean, generalmente en equipos de partículas magnéticas horizontales, en los cuales las suspensión se recupera en un depósito y se recicla para uso continuo. La suspensión también puede usarse como un material desechable, tal como aerosol.

Debido a que las partículas empleadas son más pequeñas, las técnicas del método en suspensión se utilizan generalmente para localizar discontinuidades más pequeñas que las que se localizan con el método seco.

Generalmente se requiere de la utilización de un equipo para mantener las partículas uniformemente en suspensión.

El método de suspensión fluorescente generalmente se efectúa en áreas encerradas o en áreas donde el nivel de la luz ambiental puede controlarse y en donde se disponga del equipo apropiado para su ejecución.

En el método de suspensión fluorescente las partículas emiten una luz brillante amarilloverdosa; que se observa bajo la luz ultravioleta.

Vehículos base agua con agentes acondicionadores.

Puede emplearse agua como un vehículo de suspensión para las partículas magnéticas en suspensión, agregando agentes acondicionadores que provean una apropiada dispersión húmeda, además de una protección contra la corrosión a las piezas que se están inspeccionado y al equipo empleado.

La selección y concentración de los agentes acondicionadores debe ser la recomendada por el fabricante de las partículas magnéticas.

El vehículo debe tener buenas características humectantes, esto es, que humedezca toda la zona a inspeccionar sin que quede ninguna parte sin mojar.

Que imparta buena dispersabilidad, esto es, que disperse totalmente a las partículas magnéticas sin evidencia de aglomeración de las partículas.

Que minimice la formación de espuma, no debe producir un exceso de espuma la cual puede interferir con la formación de indicaciones o que cause que las partículas formen una nata con la espuma.

Partículas magnéticas para untarse.

Otro tipo de vehículo de inspección es el de partículas para untarse, que consiste de un aceite pesado en el cual las partículas magnéticas en forma de laminillas están suspendidas; normalmente este material se aplica con una brocha antes de que la pieza sea magnetizada.

Debido a su alta viscosidad, el material no escurre rápidamente en las superficies, facilitando con ello la inspección en superficies verticales o sobrecabeza. El vehículo puede ser combustible, el riesgo de incendio es muy bajo, los otros riesgos son muy similares a aquellos vehículos a base de aceites y de agua.

Sistema base polímeros

El vehículo que se usa en las partículas base polímeros es básicamente un polímero líquido el cual se transforma en un sólido elástico en un período determinado, formando indicaciones permanentes.

Deben manejarse con cuidado estos materiales, su uso debe ser conforme a las instrucciones, esta técnica es particularmente aplicable para inspeccionar áreas visualmente poco accesibles, tales como agujeros para tornillos.

Tipos de corrientes magnetizantes

Los cuatro tipos de corrientes usados en la inspección con partículas magnéticas para establecer la magnetización de las piezas son: corriente alterna (CA), corriente alterna rectificada monofásica de media onda (CARMMO), corriente alterna rectificada de onda completa (CAROC) y para aplicaciones especiales, corriente directa (CD).

Técnicas de magnetización

Magnetización continua

En esta técnica, las partículas secas pierden su movilidad al contacto con la superficie de la pieza; por lo que es imperativo que la pieza o área de interés este bajo la influencia del campo magnético aplicado, mientras las partículas estén suspendidas y libres para ser atraídas a las fugas de campo. Esto quiere decir que el flujo de corriente magnetizante debe iniciarse antes de aplicar las partículas magnéticas secas y terminar después de que se hayan aplicado totalmente y eliminando el exceso de estas.

La técnica de magnetización continua usando partículas en suspensión generalmente se aplica a aquellas piezas que se encuentran en piso, lo que quiere decir que las piezas no han sido montadas.

El método consiste en bañar la pieza con el medio de inspección para proporcionar una fuente abundante de partículas suspendidas en la superficie de las piezas y terminar la aplicación del baño inmediatamente antes de desconectar la corriente magnetizante. La duración de la corriente magnetizante, generalmente es de $\frac{1}{2}$ segundo con dos o mas descargas breves a la pieza.

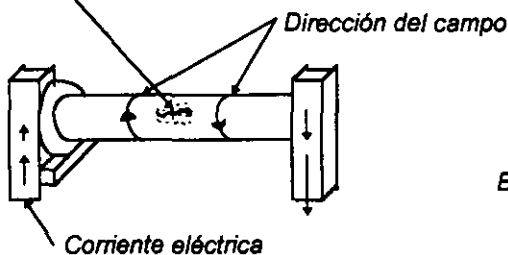
Magnetización residual.

En esta técnica, el medio de inspección se aplica después de que la fuerza magnetizante ha sido desconectada. Puede usarse únicamente si el material a probar tiene, relativamente alta retentividad de manera que el campo residual tenga suficiente fuerza para atraer y mantener las partículas y producir indicaciones.

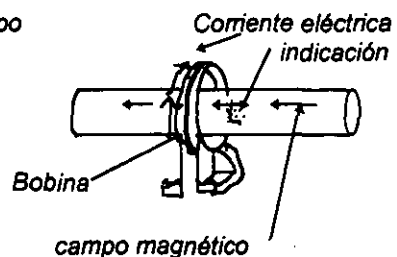
Magnetización directa e indirecta

Una pieza puede ser magnetizada ya sea directa o indirectamente, para la magnetización directa se pasa la corriente directamente a través de la pieza cuando un campo magnético circula en la pieza; con la técnica de magnetización indirecta se induce un campo magnético en la pieza, la cual puede crear un campo magnético circular, longitudinal o multidireccional, en la pieza.

Indicación de las partículas magnéticas



a) Magnetización circular



b) Magnetización longitudinal

Figura 6.7.- Diferentes direcciones de campos magnéticos.

Magnetización por contacto directo

En la magnetización directa, el contacto físico debe hacerse entre la pieza ferromagnética y la corriente llevada por los electrodos que están conectadas a la fuente de poder.

Técnicas de puntas de contacto (electrodos)

Primero se posicionan perpendicularmente y firmemente los electrodos contra la superficie de prueba, en seguida, se hace pasar la corriente magnetizante a través de los electrodos. Esto establece un campo magnético circular, en las superficies de las piezas, alrededor y entre la punta de los electrodos, el cual es suficiente para realizar una inspección local con partículas magnéticas.

Técnica manual de pinzas o electrodos imantados

Puede magnetizarse áreas locales de componentes de forma compleja mediante contactos eléctricos manualmente fijos o conectados con electrodos imantados, a la pieza.

Magnetización indirecta.

La magnetización indirecta de la pieza involucra el uso de una bobina preformada y cable enrollado, o un conductor central para inducir un campo magnético. La magnetización con bobina, cable o yugo, produce un magnetización longitudinal en las piezas.

Cuando se emplean las técnicas de bobina o de cable enrollado, la intensidad el campo magnético es proporcional a los campos amperes-vuelta y depende de una geometría simple.

Magnetización con yugo.

El campo magnético puede inducirse a la pieza por medio de un electroimán, donde la pieza o una porción de ella permite la trayectoria del flujo magnético entre los polos y las discontinuidades preferiblemente transversales a la alineación de los polos del yugo serán indicadas.

La mayoría de los yugos son energizados mediante corriente alterna, CARMO o CAROC. Un imán permanente también puede producir un campo magnético en la pieza, pero su uso está restringido.

Aplicaciones de las partículas magnéticas

Aplicación de las partículas magnéticas secas.

Las partículas secas deben aplicarse de tal manera que formen un recubrimiento delgado y uniforme sobre la superficie de la pieza, mientras la pieza está siendo magnetizada. Las partículas secas no deben aplicarse a superficies húmedas, esto limitará su movilidad, ni deben aplicarse cuando exista viento excesivo.

Generalmente se emplean aplicadores de polvo especialmente diseñados y aplicadores manuales. Las partículas secas no deben vaciarse arrojarse o espaciarse con los dedos, sobre la superficie a inspeccionar.

Aplicación de las partículas en suspensión.

Las partículas en suspensión, fluorescentes o no fluorescentes, suspendidas en un vehículo o una concentración recomendada, puede aplicarse por rocío o por flujo sobre las áreas a inspeccionar, durante la aplicación de la corriente magnetizante o una después de desconectar la corriente magnetizante.

La última descarga debe aplicarse después de que se haya terminado el flujo de partículas y mientras el baño de partículas esta sobre la pieza. Una sola descarga puede ser suficiente.

Debido a que un campo residual tiene una intensidad más baja que la de un campo continuo, tiende a formar indicaciones menos pronunciadas.

Partículas magnéticas para untarse.

Las partículas para untarse se aplican a la pieza con una brocha antes o durante la magnetización de la pieza. Las indicaciones se presentan como una línea oscura contra un fondo plateado brillante. Este tipo de partículas es ideal para la inspección con partículas magnéticas en la posición sobrecabeza o bajo el agua.

Polímeros magnéticos.

Los polímeros se aplican a la parte de prueba como suspensión líquida de polímeros. En seguida se magnetiza la parte, se dejan curar los polímeros y posteriormente se remueve el recubrimiento elástico de la superficie de prueba, para su examinación.

Este método se aplica a áreas de acceso visual limitado, tal como barrenos. Debe seguirse con detalle las instrucciones del fabricante para obtener óptimos resultados.

Interpretación de las indicaciones

Todas las indicaciones que se forman en la inspección con partículas magnéticas son el resultado de la distorsión de las líneas de flujo magnético. Las indicaciones puede ser relevantes, no relevantes, ó falsas.

Indicaciones relevantes.

Las indicaciones se producen por la distorsión de las líneas de flujo magnético, las cuales son el resultado de las discontinuidades. Estas indicaciones requieren evaluación considerando los criterios de aceptación previamente acordados entre fabricante y comprador o con el laboratorio que presenta el servicio.

Indicaciones no relevantes.

Las indicaciones pueden estar solas o en conjunto como resultado de la distorsión de las líneas de flujo magnético creado por condiciones que no requieren evaluación, tales como cambios de sección, muescas o barrenos, propiedades inherentes del material (como la orilla de una unión bimetálica), escritura magnética, etc.

Indicaciones falsas.

Las indicaciones falsas no son resultado de fuerzas magnéticas, ejemplo de esto son las partículas atrapadas mecánicamente o por gravedad en depresiones poco profundas o partículas atrapadas en el óxido o en las escamas de la superficie de la pieza.

Desmagnetización

Todo material ferromagnético retendrá algún magnetismo residual, su intensidad depende de la retentividad de la pieza. El magnetismo residual no afecta a las producciones mecánicas de la pieza.

Sin embargo, un campo magnético puede permitir que se adhieran virutas en la superficie afectando a las subsecuentes operaciones de maquinado, así como, las de pintado o revestido.

Los campos magnéticos residuales pueden también interferir en subsecuentes inspecciones con partículas magnéticas. Solamente se requiere la desmagnetización, si se especifica en los planos, normas u orden de servicio.

Métodos de desmagnetización.

La facilidad de la desmagnetización depende de la fuerza correctiva aplicada al material; en general la desmagnetización se realiza sometiendo a la pieza a un campo igual o mayor que el que se empleó para magnetizar la pieza y aproximadamente en la misma dirección, y en seguida invirtiendo continuamente la dirección del campo mientras decrece gradualmente a cero su intensidad.

Desmagnetización con bobina de corriente alterna.

La técnica mas rápida y simple es pasar la pieza a través de una bobina de corriente alterna de alta intensidad y en seguida retirar lentamente la pieza del campo de la bobina. Se recomienda una bobina de 5,000 a 10,000 amperes-vuelta.

Debe tenerse cuidado para asegurarse que la pieza se retire completamente de la influencia de la bobina antes de que la fuerza magnetizante se desconecte, de lo contrario el desmagnetizar puede tener el efecto contrario de magnetización la pieza.

Decremento de la corriente alterna.

Una técnica alterna para desmagnetizar una pieza es someterla al campo mientras se reduce gradualmente su intensidad a un nivel aceptable.

Desmagnetización con yugos.

Puede usarse yugos de corriente alterna para desmagnetización local, colocando los electrodos en la superficie y moviéndolo alrededor del área y retirando lentamente el yugo mientras está energizado.

Efectividad de la desmagnetización

Puede medirse la influencia de las operaciones de desmagnetización, por medio de los indicadores apropiados de campo magnético o de medidores de la intensidad de campo.

Limpieza después de la inspección

Remoción de las partículas.

La limpieza después de la prueba, es necesaria cuando las partículas magnéticas pueden interferir con procesos posteriores de las piezas o con los requisitos de servicio a que van a estar destinados los elementos inspeccionados.

Las técnicas de esta limpieza son:

El empleo de aire comprimido para soplar las partículas magnéticas secas.

Secado de las partículas magnéticas en suspensión (húmedas) y posteriormente su eliminación por medio de un cepillo o por aire a presión.

Eliminación de partículas en suspensión (húmedas) por medio de solventes.

Puede usarse otras técnicas adecuadas de limpieza, siempre y cuando éstas no interfieran con los requisitos subsecuentes de la fabricación.

Mantenimiento y calibración del equipo.

El equipo empleado en la inspección con partículas magnéticas debe mantenerse siempre en condiciones apropiadas de trabajo. La frecuencia de verificación de la calibración, generalmente es cada 6 meses, o cuando se sospecha de un mal funcionamiento.

El tiempo máximo entre las verificaciones puede ampliarse cuando se sustenta mediante datos técnicos actuales la confiabilidad del equipo.

CAPITULO

7

INSPECCION CON *ULTRASONIDO*

INSPECCION CON ULTRASONIDO

INTRODUCCION

El origen de la técnica de Inspección Ultrasónica se remonta al antiguo ensayo por percusión de una muestra de material con un martillo y la percepción del sonido que ésta emitía.

Así por ejemplo, durante muchos años fue práctica común entre los trabajadores ferrocarrileros, golpear las ruedas de los vagones con un martillo para detectar discontinuidades en ellas.

Los ensayos de sonoridad resultaban muy simples y poco confiables para la detección de discontinuidades, dada su baja sensibilidad.

No fue hasta 1930 cuando se reconoció el uso de la energía ultrasónica en ensayos no destructivos (END) y como consecuencia de esto, los investigadores soviéticos y alemanes se dedicaron al desarrollo del método de inspección ultrasónica.

Los avances en instrumentación y tecnología han permitido en la actualidad contar con los equipos necesarios para hacer posible el desarrollo de la inspección ultrasónica como ahora se conoce; es decir rápida y confiable.

La inspección por Ultrasonido se define como un procedimiento de inspección no destructivo de tipo mecánico, diseñado para detectar discontinuidades y variaciones en la estructura interna de un material.

Para comprender mejor el concepto de ultrasonido, es necesario revisar la información concerniente al espectro de ondas acústicas; el cual se encuentra dividido en tres zonas:

Infrasónica.- Comprendida entre el rango de frecuencia de 1 a 16 ciclos por segundo (c/s) o Hertz (Hz).

Sónica o audible.- Comprendida entre el rango entre 16 Hertz y 20 KHz. Cabe recordar que una onda es audible no sólo por su frecuencia sino también por su intensidad que se mide en decibelios.

Ultrasonica.- Es la zona del espectro que comprende las frecuencias mayores de 20 KHz. El límite superior de sus frecuencias no está definido físicamente.

Las frecuencias utilizadas en END para la detección de discontinuidades, comienzan en la proximidad de la zona audible (para hormigones) y se extienden hasta los 25 MHz. En el caso de los materiales metálicos, las frecuencias utilizables varían entre 0.2 Mhz y 25 Mhz, Fig. 7.1.

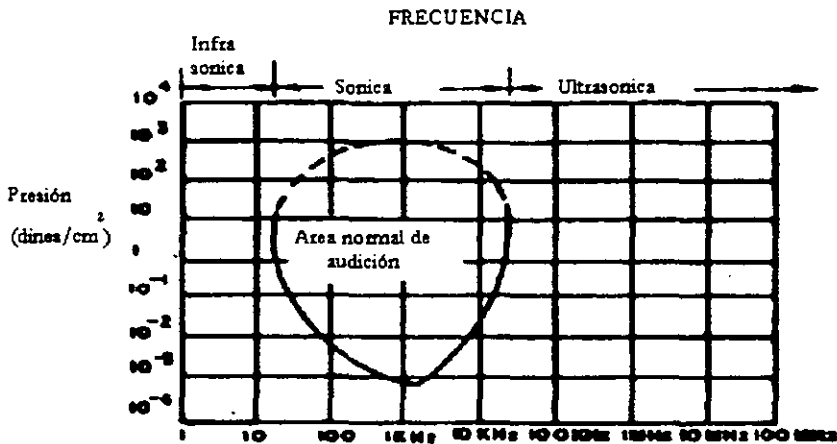


Figura 7.1.- Espectro de ondas acústicas.

Principio del Método.

El principio en el que se basa el método de inspección por ultrasonido es la impedancia acústica, que es la resistencia que oponen los materiales al paso de una onda ultrasónica y es igual al producto de la velocidad de propagación de un modo de vibración dado por la densidad del material.

Para realizar la prueba, el sonido es transmitido a través del material de prueba por medio de un transductor ultrasónico. La interacción de

ese sonido con el material puede indicar la velocidad, densidad, espesor y por supuesto, la presencia de anomalías como son las discontinuidades o fallas del mismo.

La figura 7.2 representa un diagrama general del sistema de inspección por ultrasonido, los elementos esenciales del sistema son:

1. Equipo electrónico de ultrasonido.
2. Cable coaxial.
3. Transductor.
4. Material a inspeccionar.

El equipo electrónico de ultrasonido, cuyas características se describirán más adelante, genera pulsos electrónicos muy breves, del orden de microsegundos, con una diferencia de potencial entre los 100 y los 1000 volt y con una frecuencia de repetición entre los 125 y 5,000 pulsos por segundo.

Equipo de ultrasonido

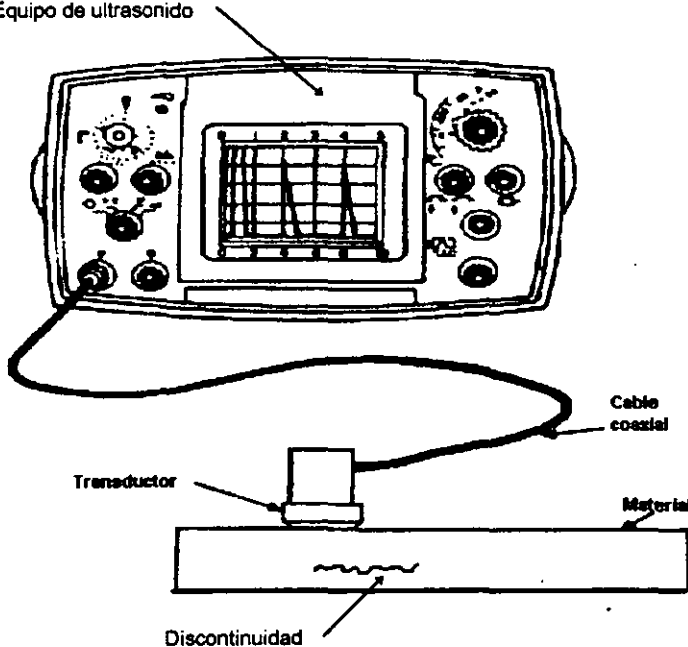


Figura 7.2.- Equipo de inspección por ultrasonido.

Proceso del método

- 1.- Preparación de la pieza
- 2.- Aplicación del acoplante
- 3.- Calibración del equipo
- 4.- Inspección
- 5.- Limpieza final

Preparación de la pieza

Las piezas a inspeccionar por el método de ultrasonido no requieren de gran preparación; lo que se necesita es eliminar todo elemento o sustancia que pueda interferir con el método como puede ser salpicadura o puntos de soldadura o por contacto de arco, agua o aceite, etc.

Todo esto puede hacerse por medios mecánicos, empleando esmeriles, cinceles, trapos y lijas; esto último para dar un terminado más uniforme a la superficie a inspeccionar y el transductor pueda ser desplazado con mayor facilidad.

Aplicación del acoplante

Se necesita el empleo de un medio acústicamente conductor interpuesto entre el transductor y la muestra bajo inspección. Esto se debe a que en el caso de aplicación del método por contacto, una película fina de aire impediría la transmisión de casi la totalidad de la presión acústica incidente, salvo en el caso de emplear frecuencias de inspección muy bajas.

Los medios de acoplamiento generalmente empleados son las grasas, geles y los aceites minerales con diversos grados de viscosidad, ya que cuanto mayor es la rugosidad superficial, mayor debe ser la viscosidad del aceite.

Al explorar paredes verticales y bóvedas se recurre al empleo de una mezcla gelatinosa de grasa pesada y petróleo, debido a que no es buena la adherencia de los aceites y de las grasas ligeras en superficies relativamente tersas; la aplicación del acoplante puede

realizarse mediante el empleo de una espátula o cuña, basta con dejar una capa relativamente delgada y uniforme de aproximadamente 2 mm de espesor.

Calibración del equipo

En las inspecciones por ultrasonido todas las indicaciones producidas por discontinuidades son comparadas con las de un patrón de referencia. Los patrones de referencia pueden ser un bloque o un juego de bloques específicos para una determinada prueba y se denominan bloques de prueba o bloque de calibración; estos son empleados para calibrar el equipo de ultrasonido y para evaluar las indicaciones de las discontinuidades de la muestra inspeccionada. Por medio de la calibración con el bloque de prueba se puede:

- a) Verificar que el sistema compuesto por el traductor, el cable coaxial y que el equipo funcione correctamente.
- b) Fijar la sensibilidad con la cual se detectarán las discontinuidades equivalentes a un tamaño especificado o mayores.

En las piezas que se inspeccionan, la evaluación se realiza comparando las indicaciones de las discontinuidades detectadas con las indicaciones obtenidas de una discontinuidad artificial, que posee una dimensión conocida y debe encontrarse aproximadamente a la misma profundidad que la indicación que se está evaluando. Las discontinuidades artificiales más comunes en estos bloques son:

- 1.- Agujeros de fondo.
- 2.- Barrenos laterales.
- 3.- Muecas.

Las discontinuidades artificiales son barrenadas o maquinadas cuidadosamente y de tal forma que únicamente se obtengan la indicación de la discontinuidad que ha sido creada intencionalmente.

Los bloques de prueba con agujeros de fondo planos se emplean principalmente para inspecciones con haz recto. El agujero de fondo plano es el más utilizado porque ofrece una superficie óptima de reflexión y representan un área conocida.

Los bloques de prueba con muescas o con barrenos laterales se utilizan generalmente para la inspección con haz angular.

Los barrenos laterales de los bloques son taladrados a una determinada profundidad y de tal forma que su longitud sea paralela a la superficie de prueba. Para algunas aplicaciones, los barrenos pueden atravesar las paredes laterales del bloque. La localización y diámetro del barreno varía en función de la aplicación y del espesor del material que se está inspeccionando, la Fig. 7.3 muestra un diseño típico de estos bloques.

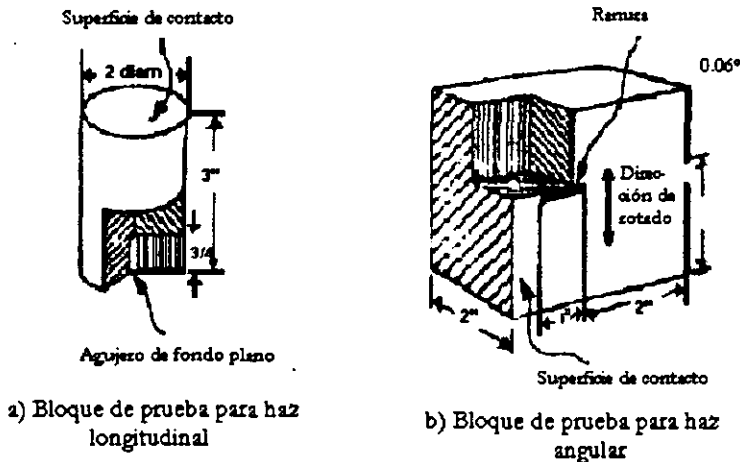


Figura 7.3.- Diseño típico de bloques de prueba usados como patrón de referencia en la detección de discontinuidades.

Bloque IIW del Instituto Internacional de soldadura. Fue diseñado por el British Standard Boureau (BS 2704). Este bloque también es conocido como bloque V-1 del Instituto Internacional de Soldadura (Internacional Institute of Welding; IIW), y existe del tipo 1 y del tipo 2.

Es el bloque más ampliamente usado, por lo que existen cuatro versiones del mismo y cuya única diferencia es el tipo de ranura utilizada para proporcionar un reflector adicional en la calibración con transductores angulares.

La versión descrita por el Instituto Internacional de Soldadura (IIW) y propuesta por la Organización Internacional de Normas (ISO) posee sólo un reflector para éste propósito; es decir, un cuadrante de 100 mm ó de 4 pulgadas (ver Fig. 7.4).

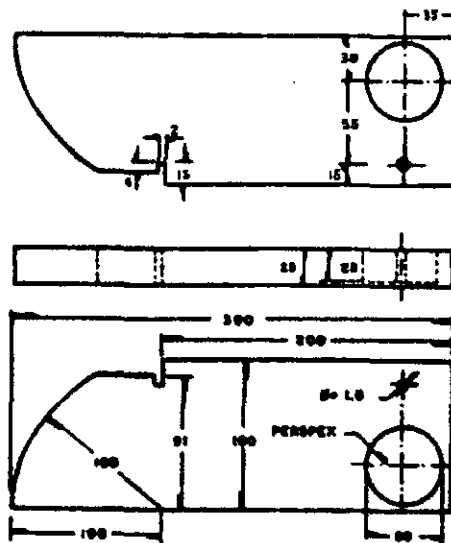


Figura 7.4.- Bloque ISO / IIW.

En el bloque de uso general, la línea grabada recomendada por ISO es sustituida por una hendidura de 0.5 mm de ancho, 4 mm de profundidad y 30 mm de longitud, la cual proporciona una indicación a intervalos de 100 mm cuando se está calibrando con haz angular (ver figura 7.5).

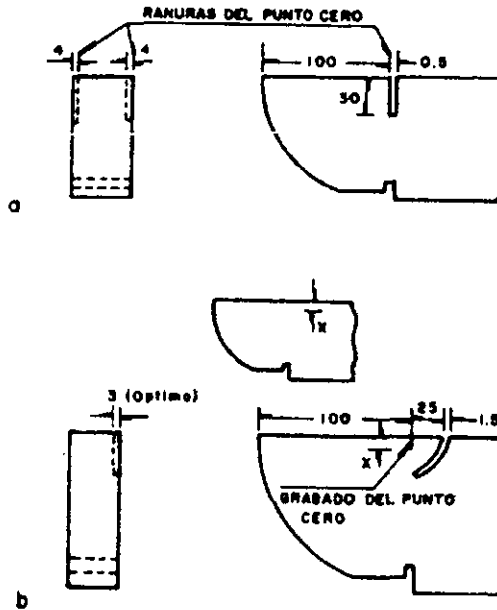


Figura 7.5.- Bloque ISO/IIW, con diferentes ranuras

Aplicaciones del Ultrasonido.

El Ultrasonido es una onda acústica, de naturaleza similar a las ondas sonoras debido a los efectos que provoca su propagación en materiales sólidos, líquidos y en algunos casos gases. Este método de prueba tiene una gran variedad de aplicaciones técnicas y científicas.

En las aplicaciones técnicas se mide la atenuación y el tiempo que requiere el ultrasonido al ser transmitido por un medio, como es en el caso de la inspección no destructiva.

El éxito de estas aplicaciones depende de la correcta selección del sistema a ser empleado, del conocimiento de las características del material a estudiar, y de la experiencia y habilidades del operador.

Las principales ventajas de la inspección por ultrasonido al compararlo con otros métodos de inspección volumétrico son:

1. La prueba se efectúa más rápidamente que empleando la técnica de radiografía.
2. Se tiene una mayor exactitud al determinar la posición de las discontinuidades internas; estimando sus dimensiones y naturaleza.
3. Alta densidad para detectar reflectores pequeños (discontinuidades).
4. Alta capacidad de penetración, lo que le permite localizar discontinuidades a gran profundidad en un material.
5. Buena resolución que le permite diferenciar dos discontinuidades próximas entre sí.
6. Sólo requiere acceso por un lado del elemento a inspeccionar.
7. Normalmente la interpretación de las indicaciones se hace de forma inmediata.
8. No requiere de condiciones especiales de seguridad como en el caso de la radiografía.

Las principales limitaciones por inspección ultrasónica al compararla con otros sistemas de inspección volumétrica o superficial son:

1. Baja velocidad de inspección cuando se emplean métodos manuales.
2. Requiere de personas con una buena preparación técnica y gran experiencia.
3. Dificultad para inspeccionar piezas con geometría compleja, espesores muy delgados o de configuración irregular.
4. Dificultad para detectar o evaluar las discontinuidades, cercanas a la superficie sobre la que se introduce el ultrasonido.
5. Requiere de patrones de calibración y referencia.
6. Es afectada por las características estructurales del material.
7. Alto costo del equipo.
8. Se requiere de agentes acoplantes.

Principios físicos

La prueba por ultrasonido consiste en el empleo de ondas mecánicas que viajan a través de un material, en el que sus partículas viajan a la misma frecuencia que a las ondas sonoras con respecto a un punto

fijo, sin embargo las partículas no viajan con ellas, sino que solo reaccionan a su energía, que es la que se mueve a través del medio.

Existe una amplia variedad de frecuencia dentro de las cuales se pueden generar ondas mecánicas, pero las ondas sonoras están restringidas a los límites de frecuencia que puede estimular el oído y el cerebro humano, al dar la sensación de sonido. Estos límites son de aproximadamente 20 ciclos/seg. hasta 20,000 ciclos/seg. Una onda mecánica cuya frecuencia es inferior al límite audible, se llama infrasónica; en el caso de que la frecuencia sea superior al límite audible, se denomina ultrasónica.

Tipos de Ondas.

Las partículas de un medio en el que se propaga una onda Ultrasónica experimentan diversos desplazamientos, lo que da lugar a diferentes tipos de ondas. Desde el punto de vista de los ensayos no destructivos, las más importantes son: longitudinales o de compresión, transversales o de corte, superficiales o de Rayleigh y de placa o de Lamb.

Ondas Longitudinales o de Compresión.- Se caracteriza por el desplazamiento de las partículas son paralelas a la dirección de propagación de ultrasonido, creando zonas de compresión y de dilatación, separadas entre sí media longitud de onda dentro del material en el que se propagan, (Fig. 7.6).

Puede transmitirse a través de sólidos, líquidos y gases; su velocidad de viaje es la más alta respecto de los otros tipos.

Prácticamente, todos los transductores emiten ondas longitudinales a partir de las cuales se generan otras de diferentes tipos, ya sea por un ángulo de incidencia diferente al normal, o bien, por la geometría del material sujeto a inspección.

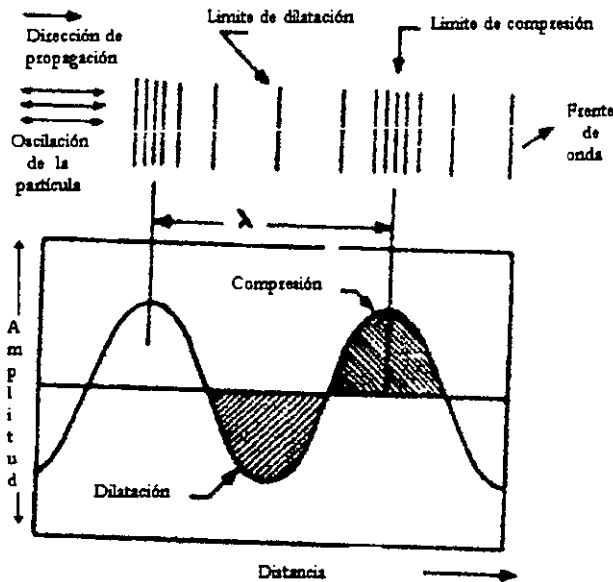


Figura 7.6.- Representación esquemática de una onda longitudinal de compresión.

Ondas Transversales o de Corte.- Se denomina de esta manera, debido a que el movimiento de las partículas es transversal a la dirección de propagación, para lo cual, es necesario que cada partícula exhiba una gran fuerza de atracción hacia sus vecinas, con lo que moverse hacia atrás y hacia delante provoque la oscilación de las demás, (Fig. 7.7).

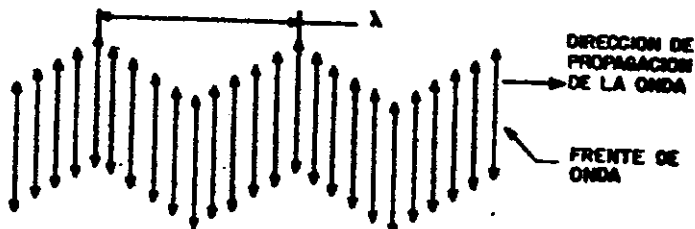


Figura 7.7.- Representación esquemática de una onda transversal o de corte

Una onda de corte viaja aproximadamente a la mitad de la velocidad de una longitudinal cuando se desplazan en el mismo material, y por lo tanto tiene longitudes de onda más cortas que las ondas longitudinales de la misma frecuencia, lo que las hace más sensibles a los reflectores de uniones. Por tales características se utiliza en la inspección de uniones soldadas.

Ondas de Superficie o de Rayleigh.- Son aquellas que se desplazan sobre la superficie del material y penetran a una profundidad máxima de una longitud de onda, su trayectoria es elíptica y su velocidad es de aproximadamente el 90% de la velocidad de las de corte, (Fig. 7.8).

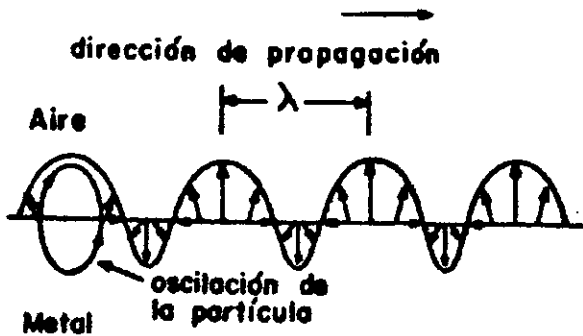


Figura 7.8.- Representación de una onda de superficie o de Rayleigh.

Son muy sensibles y se atenúan cuando existe un segundo medio en su trayectoria; por ejemplo; un líquido o un sólido en contacto con la superficie. En la práctica, se emplean para detectar discontinuidades en superficies poco rugosas.

Ondas de placa o de Lamb.- Son aquellas que se generan cuando un material muy delgado se somete a una onda de superficie. Se clasifican en:

- Simétricas o de dilatación.
- Asimétricas o deflexión.

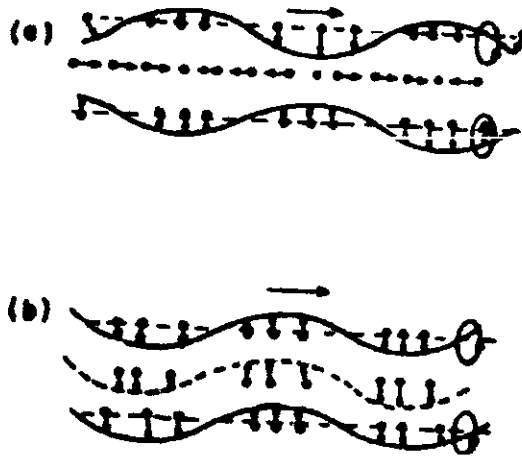


Figura 7.9.- Representación de una onda de Lamb simétrica (a) y de una onda de Lamb asimétrica (b).

La velocidad de propagación de las ondas de Lamb no se puede considerar como una constante del material, ya que depende de su espesor, de la frecuencia, ángulo de incidencia, del modo (longitudinal, transversal o superficial), y tipo de onda, (Fig. 7.9).

Descripción del comportamiento del Haz Ultrasónico.

Una vez iniciada su propagación en el medio que está inspeccionado, debe aclararse que la onda ultrasónica, al inicio de su desplazamiento no produce una compresión igual, pero conforme avanza en el medio, se homogeneiza hasta obtener resultados repetitivos y confiables.

El comportamiento del haz ultrasónico puede modificarse en función de la geometría, frecuencia y característica específicas del transductor; sin embargo independientemente de esta variables siempre presentará las siguientes características:

- Un eje central.
- Un campo o zona muerta.
- Un campo cercano o zona de Fresnel.
- Un campo lejano o zona de Fraunhofer.

Lo anterior está representado gráficamente en la figura 7.10.

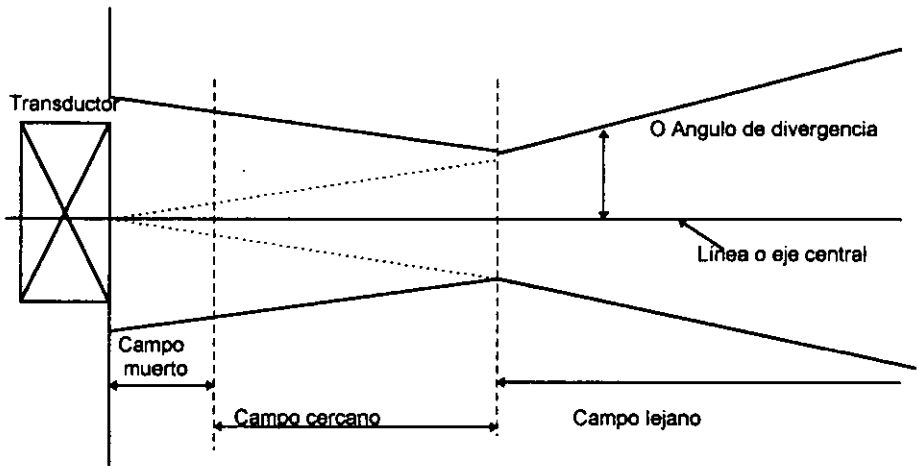


Figura 7.10.- Representación simplificada del haz ultrasónico.

Campo muerto. Es la frecuencia entre el transductor (trayectoria previa) y su extensión, es equivalente a la longitud de un pulso completo. En esta zona ninguna indicación puede detectarse, debido a que existe un lapso en el cual el transductor ha dejado de vibrar pero está saturado y en consecuencia no detecta la señal que puede generarse en el material a inspeccionar.

Campo cercano o zona de Fresnel. Es una zona de interferencia originada por la vibración irregular del material que se encuentra frente al transductor. Su formación puede explicarse de la forma siguiente; la cara del cristal de un transductor ultrasónico vibra uniformemente bajo la influencia del pulso electrónico.

Si no que lo hace de forma compleja, ya que su estructura es la de un mosaico formado por cristales individuales que vibran en la misma dirección, pero ligeramente fuera de fase con sus vecinos. Por lo que cada uno actúa como una fuente puntual y emite una onda esférica hacia afuera desde el plano de la cara del cristal.

Campo lejano o zona de Fraunhofer.- Es la región después del campo cercano y se caracteriza porque la intensidad del haz ultrasónico disminuye proporcionando la intensidad del transductor.

La amplitud de la reflexión en el campo lejano disminuye exponencialmente con el aumento de la distancia. La amplitud máxima de la reflexión se representa en el centro del haz.

Transductores

Por medio de éste, la energía eléctrica se convierte en energía mecánica (ondas sonoras o viceversa). Opera debido al efecto piezoeléctrico, el cual consiste en que ciertos cristales cuando se tensionan, se polarizan eléctricamente y generan voltaje eléctrico entre las superficies expuestas. Esto es reversible en el sentido de que al aplicar un voltaje a través de las caras de un cristal, se produce una deformación del mismo. Este efecto microscópico se origina por las propiedades de simetría de algunos cristales.

Los cristales son átomos arreglados en un patrón tridimensional definido; la mayoría de los transductores usados en ultrasonido son del tipo ferroeléctrico y se conocen como cerámicos debido a que sus propiedades físicas y mecánicas son comparables a las del material del mismo nombre. Se emplean por su alta eficiencia, en la conversión de la energía eléctrica en ondas ultrasónicas.

Existe una gran variedad de materiales que pueden ser utilizados como materiales piezoeléctricos; los cuales son:

- 1.- Cuarzo
- 2.- Sulfato de Litio
- 3.- Cerámicos Polarizados
- 4.- Titanio de Bario
- 5.- Metaniobato de Plomo
- 6.- Zirconato Titanaco de Plomo

Palpadores

Aunque es frecuente el uso de transductor y palpador como sinónimo es recomendable conocer las definiciones establecidas para estas dos palabras.

En la inspección ultrasónica se define como transductor aquel elemento que tiene por función transformar energía mecánica (vibraciones) en energía eléctrica o viceversa, que es el caso de los cristales piezoeléctricos. A sí mismo se define como palpador (sonda o unidad de búsqueda) al arreglo que permite la manipulación del transductor para efectuar la inspección.

Las partes básicas de un palpador común pueden ser:

- 1.-Carcaza metálica. Envoltente que sirve como blindaje y proporciona la resistencia mecánica.
- 2.-Cristal. Pequeña placa de un material piezoeléctrico y que es el elemento principal del palpador.
- 3.- Electrodo. Placas conductoras de la corriente eléctrica que se encuentran en las caras del cristal y que pueden depositarse sobre éste por condensación de los vapores de oro y plata.
- 4.- Placa protectora o de uso. Es un elemento de protección, su presencia en el transductor depende de las propiedades físicas y de la resistencia mecánica del cristal al desgaste con la superficie de prueba.
- 5.- Material de respaldo. Sirve como soporte del cristal y como amortiguador mecánico y acústico. Se encuentra adherido firmemente al cristal por la cara opuesta a la de contacto y tiene dos funciones: amortiguar las vibraciones por inercia del cristal para evitar que vibre libremente al ser excitado, y absorber las vibraciones generadas en el sentido opuesto deseado, ver Fig. 7.11.

Este último es importante, pues si no se eliminan las vibraciones, secundarias o inerciales del cristal, aumenta la zona muerta del palpador y la señal inicial puede presentar perturbaciones que reduzcan la resolución y la sensibilidad del transductor.

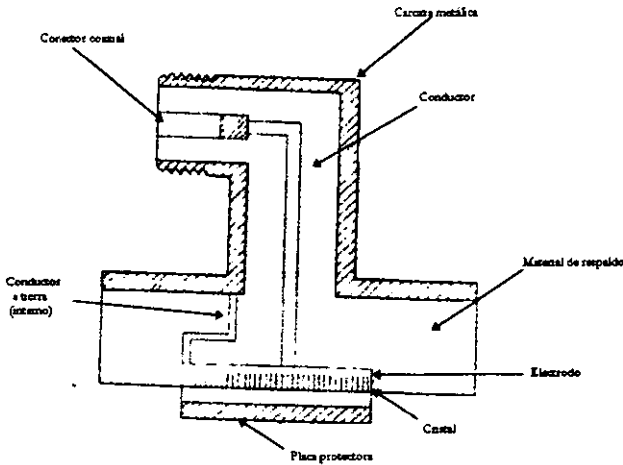
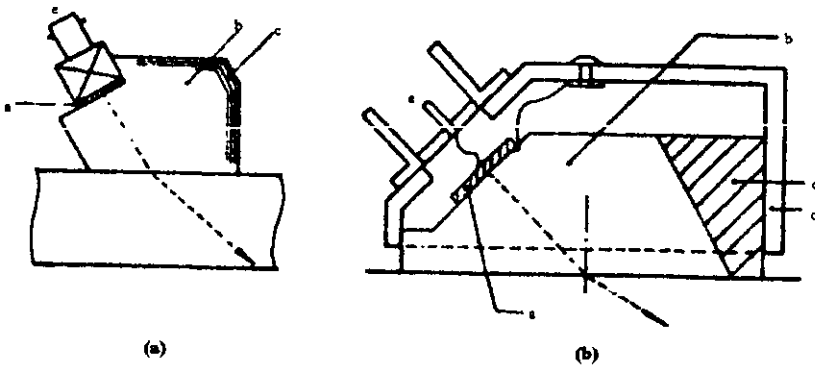


Figura 7.11.- Componentes de un transductor de onda longitudinal.

Palpador de incidencia normal o de haz recto. Emite ondas longitudinales con frecuencias de 0.5 a 10.0 MHz. Se emplea generalmente para la inspección de piezas en las que se puede colocar directamente la unidad de prueba en el área de interés y las discontinuidades son paralelas a la superficie de contacto. También es útil en la detección de discontinuidades y en la medición de espesores.

Palpador de incidencia angular. Genera ondas de corte, de superficie y de placa. Se construye acoplando una unidad de haz recto a una de las caras de una zapata de plástico, la cual, presenta determinado ángulo de refracción, se emplea en los equipos de pulso eco y su aplicación es casi exclusiva en la detección de discontinuidades orientadas perpendicularmente a la superficie de prueba, ver Fig. 7.12.



- a) cristal piezoeléctrico
- b) prisma plástico (zapata)
- c) amortiguador
- d) protector metálico o montura
- e) conexión

Figura 7.12.- Transductores angulares de contacto
 a) con zapata intercambiable
 b) de construcción compacta

Los palpadores tiene marcado en la zona lateral el ángulo de refracción del sonido dentro del material de prueba, los ángulos comerciales para acero son de: 25, 45, 60, 70, 80 y 90 grados.

A su vez estos palpadores pueden ser de ondas:

- 1.- Transversales.
- 2.- Longitudinal y transversal.
- 3.- De superficie.
- 4.- De Lamb.

Inspección

Una vez calibrado el equipo se procede a hacer la inspección o barrido de la muestra, el cual consiste en hacer un recorrido en forma de zigzag y de vaivén a todo la largo y a una distancia de por lo menos 20 cm, como se muestra en la Fig. 7.13.

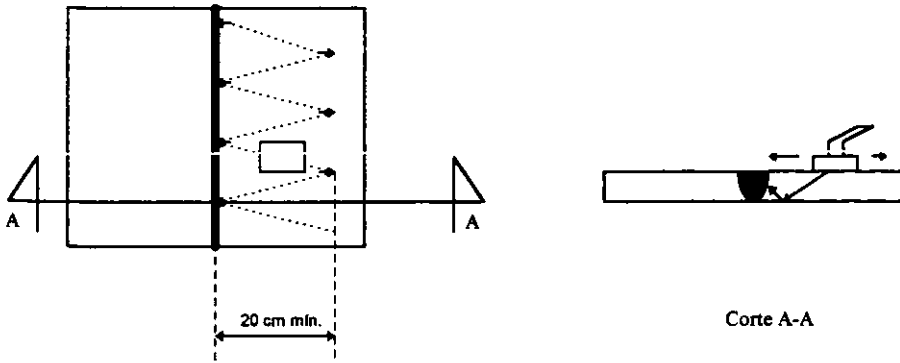


Figura 7.13.- Barrido de una muestra para su inspección.

El barrido debe ser realizado a una velocidad relativamente lenta, con la que se permita observar en la pantalla cualquier posible discontinuidad; en caso de que se presente algún indicio de una discontinuidad se deberá repetir el barrido en esa zona hasta poder determinar si la discontinuidad es aceptable o se rechaza, (Fig 7.14).

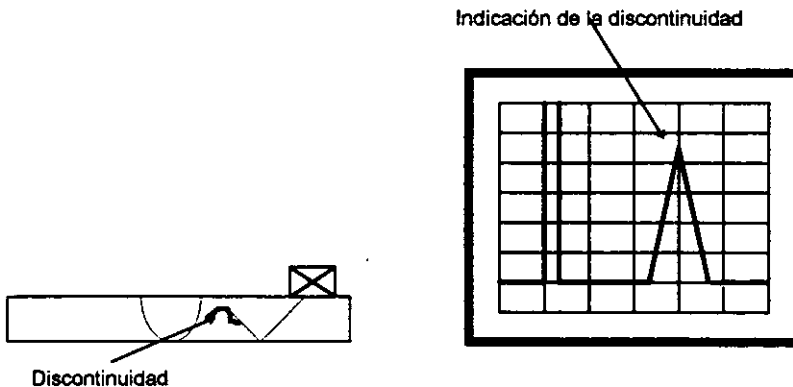


Figura 7.14.- Indicación gráfica de una discontinuidad con barrido de haz angular.

La muestra debe ser identificada, lo cual puede ser hecho con un marcador con tinta o pintura indeleble; comúnmente la muestra es identificada con las ciclas UT y el número de continuidad.

La inspección de la pieza debe efectuarse mediante el uso de palpadores con un ángulo de refracción, para así poder garantizar la detección de cualquier posible discontinuidad.

Toda discontinuidad que sea detectada y rechazada tendrá que ser reparada, una vez realizada dicha reparación se procederá a inspeccionarla otra vez para así garantizar la sanidad de la muestra.

Limpeza final

A menos que no sea estipulado, no se requiere de una limpieza después de la inspección; cuando la inspección es hecha en campo y el riesgo de un posible accidente es latente, es necesario realizar la limpieza de las muestras.

Esta limpieza puede ser hecha mediante la utilización de trapo o estopa, hasta dejar la superficie sin ningún indicio de acoplante, ya que de lo contrario pueden presentarse resbalones y caídas.

CAPITULO

8

INSPECCION CON RADIOGRAFIA

INSPECCION CON RADIOGRAFIA

INTRODUCCION

En la actualidad las obras realizadas a base de estructuras metálicas soldadas requieren de completa confiabilidad, es decir, no han de tener defectos, esto se logra con el proceso adecuado y con la supervisión constante.

Existen sin embargo, componentes que representan alto riesgo por ser tanques de almacenamiento a alta presión, estructuras metálicas de edificios, puentes o naves industriales y tuberías, entre otros; necesariamente con uniones soldadas.

Para estos componentes se requiere de un método de inspección cien por ciento confiable para asegurar a la vez, en el elemento sujeto a inspección, el cien por ciento de confiabilidad.

Podemos asegurar que los otros métodos de inspección son confiables en un alto porcentaje, pero siempre existe una pequeña duda al respecto de ellos; por ello es que la radiografía hace su aparición dentro de los ensayos no destructivos, siendo hasta la fecha uno de los mas confiables para la inspección de elementos o estructuras soldadas.

Principio del método

Los rayos x y gamma son radiaciones electromagnéticas cuyas longitudes de ondas están comprendidas entre los 10^{-6} y 10^{-9} cm, los rayos x se producen cuando un haz de electrones animados con gran velocidad y por tanto con gran energía chocan contra un obstáculo material cualquiera; siendo este obstáculo en el caso de los rayos x el material que constituye el anticátodo; y produciendo así la dispersión de los rayos.

Los rayos gamma son emitidos por el núcleo de los elementos radioactivos; ambas radiaciones son invisibles y se desplazan en línea recta y a la velocidad de la luz.

Las dos radiaciones tienen la propiedad de atravesar materiales que son opacos a la luz, y ejercen una acción sobre la emulsión fotográfica muy parecida a la de la luz.

Los rayos x se originan por el choque de electrones previamente acelerados por la materia; debido a esta interacción entre los electrones la materia emite dos tipos de radiación x; radiación característica y continua.

La radiación característica es originada cuando un electrón acelerado choca con electrón de piso interno del átomo y lo desplaza de su lugar, el átomo queda así ionizado y otro electrón de un piso mas externo del mismo cae en el lugar que dejo vacante el electrón expulsado, teniendo como consecuencia la emisión de un cuanto de energía cuya frecuencia es característica del átomo excitado.

La radiación continua se produce cuando un electrón previamente acelerado es frenado al atravesar el intenso campo eléctrico que lo rodea; dicha perdida de energía se manifiesta también como cuanto de energía de rayos x, pero con la diferencia que la frecuencia es independiente de las características del átomo causante de dicho fenómeno.

Cuanto es la menor cantidad de energía asociada con cualquier fenómeno dado.

Tubo de rayos x

El tubo de rayos x está constituido principalmente por una ampolla de vidrio, en la que en su interior se coloca el filamento (cátodo) y anticátodo, de la cual se ha extraído aire hasta alcanzar un grado de vacío del orden de 0.01 a 0.001 mm/hg.

El filamento lo forma un hilo que generalmente es de wolframio y que llevado a una temperatura determinada emite electrones (emisión termoiónica).

La cantidad de electrones emitidos dependen directamente de la temperatura alcanzada por el filamento, la cual se puede regular

variando la intensidad de la corriente de alimentación de dicho filamento.

Este haz de electrones que se origina en el filamento y que va hacia el anticátodo, crea un paso de corriente cuya intensidad se mide en miliamperios (mA), de la intensidad de la corriente depende la intensidad de la radiación que se emite en el tubo, ya que la radiación a su vez está en función del flujo de electrones.

La corriente que necesitamos para la calefacción del filamento la obtenemos de un transformador reductor, con su secundario previamente aislado para la alta tensión.

El anticátodo lo constituye un metal (buen conductor del calor) generalmente cobre, al cual se le coloca una placa posteriormente; esta debe ser de un metal de alto punto de fusión, de forma variable y con la inclinación de 23° con respecto a la dirección del eje del haz de electrones que proviene del cátodo. Esta placa generalmente es de wolframio, el cual constituye el verdadero anticátodo (polo positivo).

El ánodo se refrigera mediante un radiador acoplado o por circulación del agua o aceite, consiguiendo de esta manera un funcionamiento mas continuo del tubo.

La principal limitación del voltaje en los tubos de rayos x se debe al efecto del campo eléctrico de la corriente; este efecto se reduce con una construcción y separación adecuada de los electrodos y eliminando toda partícula desprendida del tubo, así como la completa desgasificación de los electrodos.

En la figura 8.1, se puede apreciar esquemáticamente el interior de un tubo de rayos x.

El tubo de rayos x cumple tres funciones básicas, por lo que podríamos decir que es una fuente de electrones libres, un medio para acelerar electrones y un medio para desacelerar los electrones.

Se utiliza el tungsteno (W) por tener bastantes e^- libres, es decir un número atómico alto.

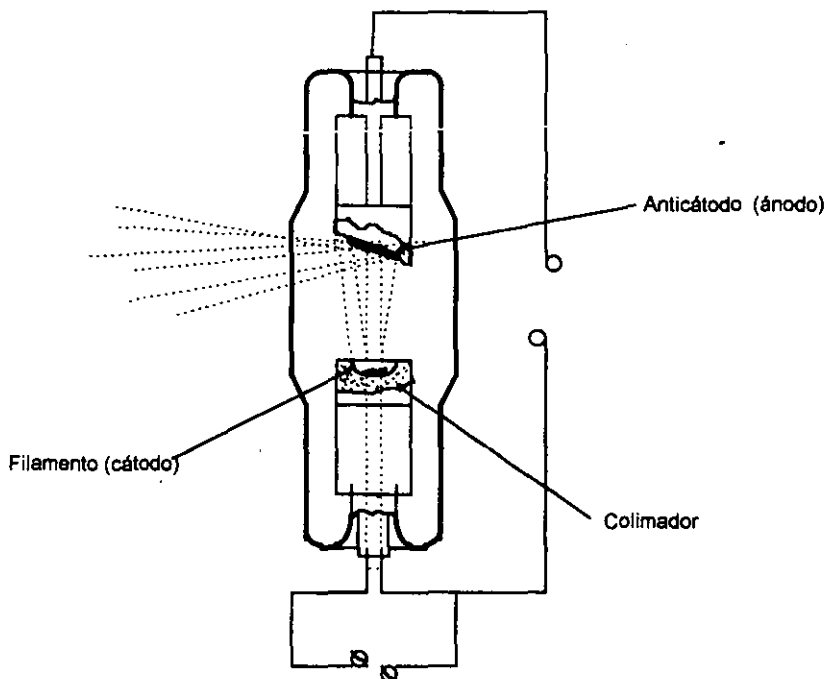


Figura 8.1.- Tubo de rayos x.

La emisión termiónica es la nube producida al circular i , de esta manera la carga negativa de los electrones del blanco W va a repeler a los electrones acelerados.

Al acelerar los electrones del cátodo al ánodo, chocan con los electrones de la placa de W los cuales no permiten que los electrones acelerados traspasen el blanco (placa W); de esta manera el blanco sirve como desacelerador; ver Fig. 8.2.

El cátodo también debe tener ciertas características por lo que esta hecho de níquel, ya que es un buen conductor y tiene un alta resistencia a la temperatura.

El ánodo esta hecho de Cobre (Cu) ya que para este caso su función va a ser la de disipar el calor, ya que dependiendo del grado de incidencia de los electrones, será la cantidad de calor a disipar.

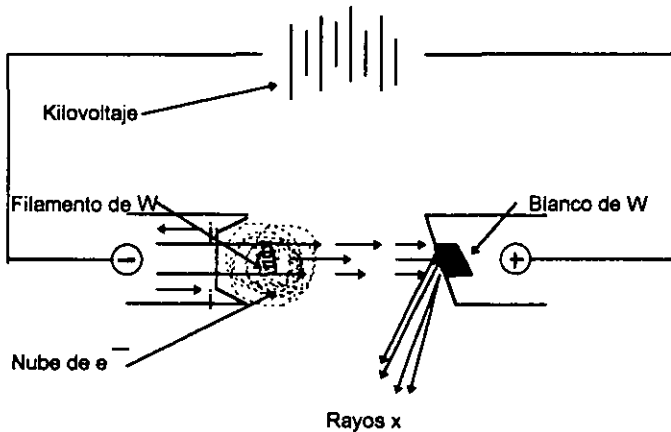


Figura 8.2.- Función básica del tubo de rayos x.

Características de los rayos gamma

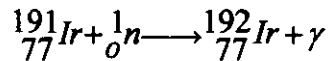
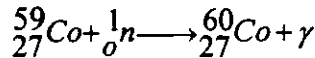
Cuando a una sustancia radioactiva se le va desintegrando el núcleo, a dicha desintegración le sucede la emisión de una o mas formas de radiación denominadas rayos α , β y γ . Así tenemos que la radiación gamma es una radiación electromagnética de la misma naturaleza física que los rayos X, pero que generalmente presentan menores longitudes de onda. Los rayos α son núcleos de helio pero que a pesar de tener una gran energía cinética su poder de penetración es muy bajo; lo mismo sucede con los rayos β cuyo poder de penetración es el mismo.

La transformación de una sustancia radioactiva es un fenómeno totalmente independiente de cualquier variación exterior y su velocidad de desintegración es un fenómeno totalmente particular, pero su radioactividad no es constante y obedece a una ley exponencial.

Cuando un núcleo capta un neutrón son posibles varios procesos, pero para la producción de radiación gamma solo la reacción tiene interés.

Dicha reacción generalmente es una reacción de neutrón término, y el material obtenido es un isótopo radiactivo del elemento original.

Ejemplo:



Durante este periodo de activación se degenera el isótopo radiactivo, de tal manera que la actividad producida tiende a un máximo. La mitad de dicho máximo es producido en un tiempo igual al periodo mediador.

Así tenemos que el Iridio 192 cuyo periodo mediador es de 74.4 días irradiando con un flujo de neutrones de 1×10^{27} neutrones/cm² /seg, alcanza una actividad específica de 175 mc/g en una semana o sea 650 mc/g a cuatro semanas, mientras su actividad es de 3,200 mc/g a saturación.

Si el núcleo del uranio 235 capta un neutrón, se da lugar a un proceso de fisión que origina un gran número de isótopos de varios elementos, muchos de los cuales son radiactivos.

Generalmente estos elementos se localizan a mitad de la tabla periódica y mediante procesos químicos se realizan en determinadas condiciones para evitar reacciones nocivas. En dichos procedimientos se pueden obtener determinadas fuentes de radiación, pero para el campo de la radiografía industrial el más importante es el cesio 137.

El espectro de radiación gamma lo forma una mínima serie de energías que se manifiesta en líneas.

Algunas características es que el decaimiento radioactivo conserva su masa y energía.

Los rayos gamma es un tipo de energía pura, en un tipo de radiación electromagnética.

Por lo tanto se tiene que al fisionar un átomo de Iridio 191 con un neutrón, éste se divide en una partícula β y en un protón, emitiendo con este proceso radiación gamma.

Gráfica de decaimiento contra tiempo.- Se tiene una curva exponencial que nunca llega a cero, ya que la substancia o elemento siempre es radiactivo; ver figura 8.3.

El decaimiento se basa en estadísticas y probabilidades.

D - Rango de decaimiento

λ - Probabilidad del decaimiento

N - No. Atómico de radioactividad $\therefore D = \lambda N$

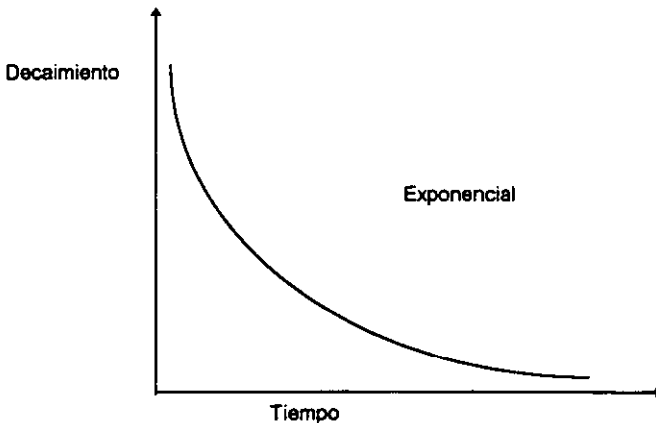


Figura 8.3.- Gráfica de decaimiento contra tiempo.

Se tiene que cuando a un átomo se le pone un neutrón extra, el núcleo se divide en un protón que se queda en el núcleo y en una partícula β que sale del núcleo.

Después de la fisión nuclear se empiezan a desintegrar primero unos átomos, después otros y así sucesivamente. Entonces cuando se empieza a desintegrar el neutrón se convierte en protón y en partícula, por lo tanto se vuelve en platino por su número atómico que es igual a 78.

La diferencia entre una partícula β y un e^- es su origen, la partícula β proviene del núcleo; ver figura 8.4.

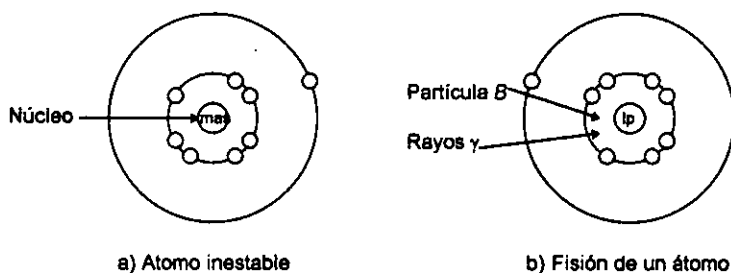


Figura 8.4.- Diferentes tipos de átomos.

Equipo emisor de la radiación

En los equipos de rayos X es producida una filtración en la radiación debido a que dicha radiación atraviesa la ventana de el tubo y el baño de aceite aislante en el que se encuentra. Por esta filtración se afecta la intensidad y la calidad de la radiación. Además el circuito eléctrico de alimentación del tubo también influye en la intensidad y la longitud de onda de la radiación.

Debido a lo mencionado tenemos que para los mismo valores de la tensión de excitación y de la corriente que circula por el tubo, el efecto radiográfico puede variar de un equipo a otro. Pero prácticamente las condiciones de exposición son reproducibles para un determinado equipo de rayos x.

Para la obtención de radiografías es posible utilizar radiación x ó γ , cuyas características ya mencionamos anteriormente. El campo de aplicación de una serie de fuente de radiación referida a la radiografía del acero, cuyo factor de equivalente radiográfico es igual a 1.0; esto se muestra en la tabla 8.1.

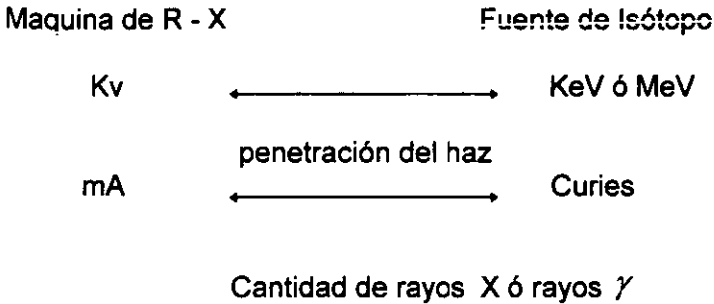
Al tratarse de otros metales o aleaciones debemos tener en cuenta sus respectivos factores de equivalencia, a fin de elegir la fuente de radiación mas adecuada para un caso determinado, debido a la calidad de la radiación producida por los isótopos radioactivos, la inspección radiográfica de materiales de espesor menor a 10 mm de acero o equivalente deberá efectuarse con equipos de rayos x de baja energía.

TABLA 8.1

Campo de aplicación de distintas fuentes de radiación, referidas a la radiografía del acero

Fuente	Espesor		Energía
	Pulgadas	mm	
Iridio 192	1/4- 3	6.4- 76	0.31-0.6 Mev
Cobalto 60	1 1/2- 5	38- 127	1.17-1.33 Mev
Rayos x	1/16	1,6	60-90 kv
	1/8	3,2	90-125 kv
	1/4	6,4	110-160 kv
	1/2	12,7	150-270 kv
	3/4	19,0	175-350 kv
	1	25,4	190-550 kv
	2	50,8	250 kv - 4 Mev
	4	101,6	670 kv -30 Mev
	6	152	1,7-30 Mev
	8	203,2	4-30 Mev
	10	254,0	7-30 Mev
	12	304,8	9-30 Mev
	14	355,6	18-30 Mev
16	406,4	25-30 Mev	

Debido a que tanto los rayos X como los rayos γ , son utilizados en radiografía industrial, se hace necesaria una comparación de sus unidades:



A mayor penetración menor calidad.

Ir-192 tiene una penetración de $\frac{1}{2}$ " a 3"

Co-60 tiene una penetración de 1 $\frac{1}{2}$ " a 5"

En promedio y en cualquier acero.

Película radiográfica

Aunque aparentemente son iguales las películas fotográficas y las radiográficas, tienen sus diferencias.

La película radiográfica requiere de una técnica especializada porque las imágenes deben de conservar un rango de densidad en la película.

La película normalmente es un plástico de acetato celulósico (parecida a la mica de las carteras), en base son aplicados otros materiales que recubren la mica; estos recubrimientos deben hacerse en un lugar donde no exista luz.

Aunque técnicamente la película esta comprendida por 4 capas y una base, para un entendimiento práctico es el siguiente:

El espesor total de la película es comparable con el espesor de la mica portacredenciales anteriormente mencionado.

El acetato es una excelente base para los propósitos de la película porque es flexible, es transparente, es compacta, ligera, se puede doblar, etc.

La mayoría de todas las hojas de película para radiografía son de tamaño comerciales dados por los fabricantes en diferentes anchos aunque en algunos casos se hacen películas de rollo para cortarias del tamaño que uno desee.

Normalmente la película es de un color amarillo verdoso y de una apariencia rugosa. Las películas radiográficas pueden estar con emulsión por uno o por ambos lados.

La apariencia rugosa es causada por un recubrimiento gelatinoso; este es hecho de granos de hueso y de la piel de los animales, se utilizan estos por que tienen la propiedad de que al secar se encogen y se disuelven en agua caliente, luego se pone en agua fría, la cual hace que tome un cierto espesor; estas propiedades hacen que la película se pueda procesar; ver Fig. 8.5.

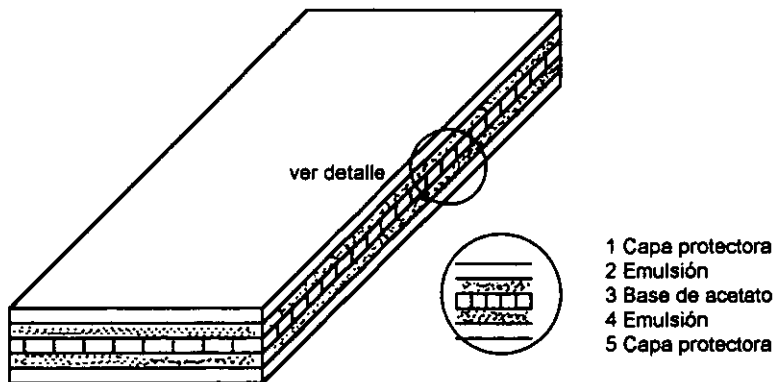


Figura 8.5.- Partes que forman una película radiográfica.

Durante la fabricación de la película esta es protegida del polvo, de la presión calor, rayos x, rayos gamma y luz visible, por lo tanto una vez terminado el proceso de la película se deberán guardar en cajas las cuales deben protegerse de todo lo anterior hasta que estas sean usadas.

Cuando una película es expuesta, visiblemente no podemos darnos cuenta cual está velada y cual no, esto se logra hasta que se mete a los químicos.

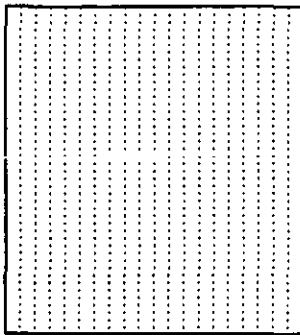
Lo que nos da la imagen en una radiografía es la plata que al meterse al fijador se convierte en placa metálica.

- 1) La exposición es causa por ionización del bromuro de plata suspendida por la emulsión.
- 2) Inmediatamente después de la exposición el cambio que se ha presentado en ese lugar no puede ser visto (imagen latente).
- 3) La imagen latente solamente será visible por el proceso de revelado.
- 4) La imagen será visible en la película por la suma total de los granos negros de plata.
- 5) Una película que tiene una imagen que ha sido tomada variará en las áreas según la radiación que haya recibido hasta con zonas transparentes.

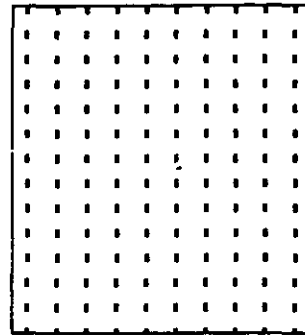
Granos de la película

La película puede tener grano fino ó grano grueso; el grano es el que nos va a dar la calidad de la radiografía. Las dos películas tienen la misma cantidad de plata pero por unidad de grano el grano grueso tiene más plata que la de grano fino debido a que la película tendrá menor cantidad de granos por su tamaño; ver Fig. 8.6.

Cuando una película es velada, sufre una ionización y el bromuro de plata se separa formando grupos de plata de acuerdo a la cantidad de radiación recibida; ver Fig. 8.7.



Película de grano fino



Película de grano grueso

Figura 8.6.- Tipos de película.

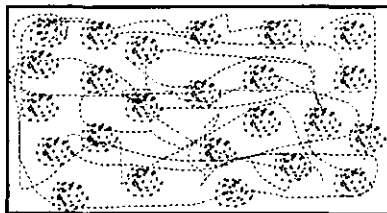


Figura 8.7.- Grupos de plata en una película después de ser velada.

La película de grano fino da mayor definición porque permite mejor la formación de los grupos de plata metálica.

La película de grano fino es mas lenta para revelarse debido a que necesitará mas rayos para ionizar la mayor cantidad de granos.

La película de grano grueso es más rápida pero tiene menor definición.

Existen películas de grano fino, mediano y grueso, comercialmente la que mas se utiliza es la de grano mediano, aunque las de grano fino tiene mayor definición.

Cuando una película se recalca o se marca por algo áspero no le afecta normalmente por la protección que tiene la película.

Casete

Cargado del casete

- 1.- No debe haber contacto de las manos con las películas.
- 2.- Colgar las películas en los ganchos tocando la película en las orillas lo menos posible.
- 3.- Al sacar la película de la caja; la película normalmente se encuentra como un sandwinch en medio de dos papeles y se le debe sacar con todo y el papel sin presionarla mucho y despacio para evitar producir cargas electrostáticas.

La limpieza de las pantallas es otro de nuestros temas, hay dos tipos de pantallas intensificadoras, las de tugsttanato de calcio y las de plomo.

Las pantallas fluorescentes son pantallas muy especiales ya que si agarramos la pantalla de calcio con los dedos queda impresa en la pantalla y puede salir en la película. Para limpiar las pantallas el fabricante da la forma para hacerlo para que no se vayan a rayar como es utilizando peróxido de hidrogeno aumentando la densidad si se rayan.

Otra forma de limpiar las pantallas de plomo es usando fibra fina. Si inmediatamente que se han limpiado las pantallas se cargan con películas, causan alta densidad para prevenir esto, los casetes que se limpian no deberán ser cargados durante 24 hrs. para dar oportunidad a que se le quite a la pantalla la electricidad electrostática.

Las pantallas deberán estar en íntimo contacto con la película para evitar la propagación, de los rayos x y gamma y tener una buena definición de la radiografía.

Indicadores de la calidad de imagen

En un principio el término penetrámetro fue usado para designar un espesor adicional del material que se colocaba sobre el objeto para confirmar que se había conseguido alguna penetración en el mismo, o comprobar que todo ennegrecimiento que presentaba la película no era producida por la radiación difusa. Pero es conveniente indicar que ningún término empleado mide la penetración.

Así el penetrámetro proporciona únicamente una formación relativa, existen además penetrámetros formados por hilos metálicos, hendiduras, perforaciones, etc. el nombre de penetrámetro es equivocado y se debe substituirse por el indicador de calidad de Imagen (I.Q.I.), y como consecuencia de acuerdo a las recomendaciones del Instituto Internacional de la Soldadura (IIW), emplear el término sensibilidad I.Q.I.

Entonces deducimos que en una pieza sometida a un examen radiográfico; y la detección de posibles defectos que se pueden presentar en ella depende de la calidad de la radiografía obtenida.

La calidad de la imagen como consecuencia de la técnica radiográfica seguida, se necesita plasmar en un valor numérico y para ello se requiere de los Indicadores de Calidad de Imagen (IQI). Cabe mencionar que indicador de calidad de imagen substituye a la palabra penetrámetro, ésta fue aprobada por el Instituto Internacional de la soldadura, aunque en la practica generalmente se le sigue llamando penetrámetro.

Existen varios tipos de indicadores de calidad de imagen, entre los mas usuales citaremos los siguientes:

1.- Indicador de hilos.- Lo forman una serie de hilos de diámetros crecientes embutidos en una lámina de goma o material plástico. Al observar la radiografía se hace notar el hilo de menor diámetro, que sea perfectamente visible, y en toda su longitud, en el caso de piezas de espesor uniforme o bien sobre la parte que mas interesa si el espesor es irregular.

2.- Indicador de indicadores.- Constituido por una placa de espesores provistas o no de varios barrenos de diámetros constante. La lectura es hecha sobre el espesor visible mas delgado, sin tener en cuenta el barreno.

3.- Indicador de escalones con cifra de referencia.- Para ellos cada espesor es provisto de cierto número de barrenos formando una cifra de referencia característica. En la lectura se nota el espesor mas pequeño cuya cifra de referencia sea visible.

4.- Indicador de Escalones con barrenos calibradores.

5.- Indicador de Barrenos calibradores sobre una placa de espesor constante.

6.- Indicadores con ranuras sobre una placa de espesor constante.

Para la utilización correcta de los penetrámetros, todo técnico debe entender perfectamente la siguiente descripción del penetrámetro:

Los penetrámetros son piezas estándar de pruebas que se usan para comprobar si con la técnica aplicada se ha logrado la sensibilidad requerida.

Los penetrámetros tiene un diseño igual al que se indica a continuación, el API 1104; este tipo de penetrámetro es el mas usado.

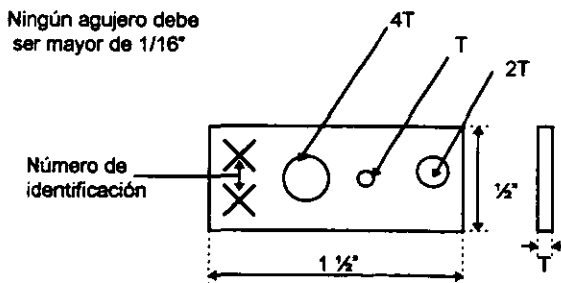


Figura 8.8.- Croquis de un penetrámetro según API 1104.

El número de identificación corresponde al espesor del penetrámetro en milésimas de pulgada, por ejemplo el penetrámetro 20 tiene un espesor de 20 milésimas de pulgadas (T).

Siempre se debe utilizar penetrámetros en la inspección radiográfica y el penetrámetro que se ha de usar para cada espesor, será el que se indique en la norma aplicable. El espesor del penetrámetro es aproximadamente el 2 % del espesor a radiografiar.

Los penetrámetros se colocan sobre la identificación, de manera de que su imagen aparezca en los extremos de la placa, dentro de la primera pulgada interpretable. También de debe usar un penetrámetro al centro de la placa.

El penetrámetro debe mostrar su imagen en la radiografía con contorno bien definido y su número de identificación, debe aparecer la imagen del agujero 2T (llamado agujero esencial) o de los tres agujeros si son iguales.

Toda radiografía debe mostrar una identificación que permite relacionarla con el tramo exacto de soldadura que fue tomada. La identificación y datos que debe contener la radiografía son los siguientes:

El nombre del cliente

La fecha en que fue tomada

El nombre y marcas del laboratorio

Tipo o nombre de la obra a que pertenece

Lugar exacto del tramo tomado; así como su orientación o en caso de no ser viable número de muestra

En cualquiera de las uniones soldadas las radiografías de estas se obtendrán por el método de transmisión, situando el objeto a radiografiar entre la película y la fuente de radiación.

En las líneas de conducción se especifica si es gasoducto, poliducto u otro. Se anotan los puntos terminales de esa línea o dos puntos de referencia para un tramo particular y el número consecutivo de la junta en tanques esféricos o de almacenamiento (verticales) se anotará si

la placa fue tomada en una soldadura horizontal o vertical y el número consecutivo de esa placa.

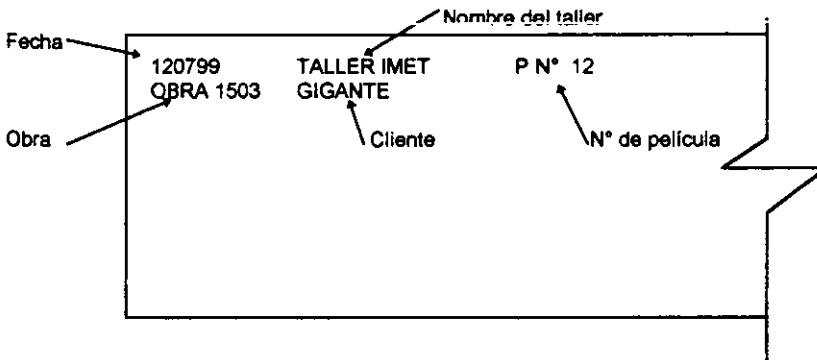


Figura 8.9.- Datos que debe tener la película radiográfica.

Las marcas en tubería se hacen en la parte superior del tubo se marca una línea transversal a la soldadura con crayón, que servirá como referencia. Debe ser de longitud suficiente para evitar su desaparición con operaciones de limpieza o manipulación del tubo. A partir de la línea de referencia, se marcan flechas de dirección que vayan en el sentido de las manecillas de reloj, cuando se ve hacia la dirección en que avanza la obra ver figura 8.10.

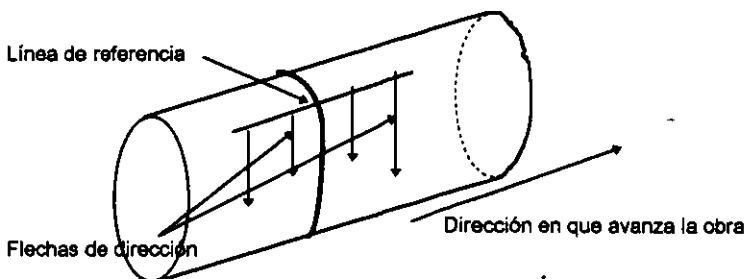


Figura 8.10.- Marcas en la tubería

El marcado de la soldadura se hará dividiendo en tramos cuya longitud sea de 2" menos que el chasis, para que haya traslape y ningún punto quede sin radiografiar.

Los cruces de soldadura siempre quedarán localizados al centro de la placa para lograr la máxima sensibilidad de pasar por alto una rotura, además esto nos asegura puntos de referencia para evitar la acumulación de errores por el marcado interior y exterior del tanque.

Técnica de exposición

Se dispone relativamente de la película y la fuente de radiación dependiendo de la forma, dimensiones de la pieza y accesibilidad de la unión soldada, y se procede como se indica a continuación:

Generalmente en uniones planas no se presenta dificultad puesto que usualmente la unión es accesible por ambos lados, y así la disposición de los distintos elementos puede ser como se indica en la figura siguiente.

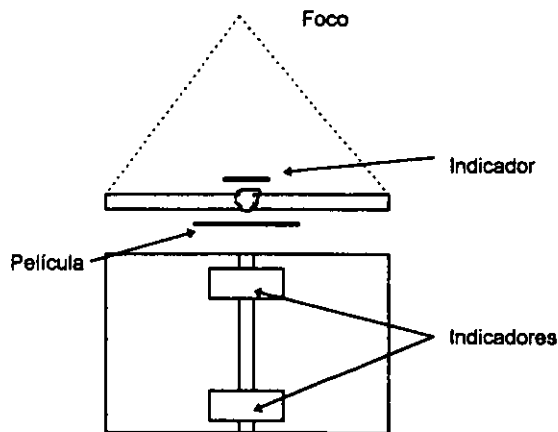


Figura 8.11.- Representación esquemática de un arreglo radiográfico en una unión plana

Las uniones en ángulo se consideran como un caso particular de las uniones planas, en la Fig. 8.12 se da la posición de la película y la fuente de radiación para ellas, donde apreciamos la necesidad del empleo de una cuña, a fin de unimizar los espesores que ha de atravesar la radiación; este tipo de casos se consideran especiales por lo que su empleo en la practica es casi nulo.

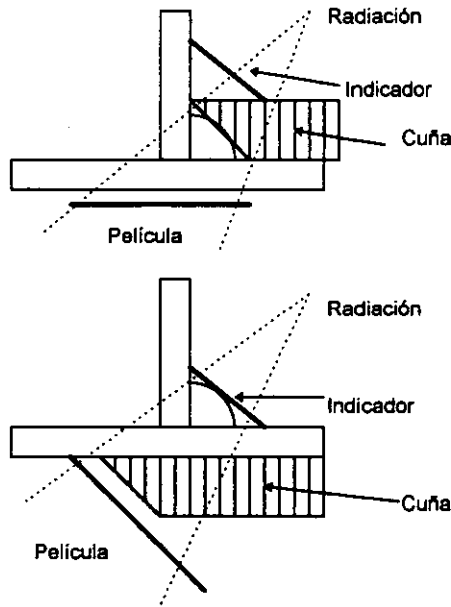


Figura 8.12.- Arreglos radiográficos para uniones en T

Seguridad radiologica

Cuando utilizamos radioisótopos, ya sea para agricultura, industria, medicina o investigación científica, se presenta un riesgo inherente a la radiación que ellos emiten, es dañino para el ser humano si no se le controla. Estos riesgos los podemos clasificar en dos grupos: aquellos que provienen de la irradiación interna de la externa.

Irradiación Externa.- Es la cantidad de radiación que llega al individuo desde una fuente radioactiva que se encuentra en el medio ambiente.

Irradiación interna.- Es la cantidad de radiación que recibe un individuo debido a los radioisótopos que se encuentran dentro del mismo individuo.

Para el caso de irradiación externa, la cantidad de radiación que el individuo recibe solo se puede controlar tomando en cuenta los siguientes tres factores:

- 1.- Tiempo de exposición.
- 2.- Distancia que hay entre el individuo y la fuente emisora.
- 3.- Blindaje de la fuente radioactiva o área del operador.

El índice de exposición se mide en Roetgens divididos en unidades de tiempo, se habla de mR/hora, mR/ min, etc.

Es de suma importancia saber que mientras mas alejado se encuentre de la fuente emisora menor será el índice de exposición recibida, esta operación se basa en la ley matemática del cuadro inverso donde; el índice de exposición varía inversamente proporcional al cuadrado de la distancia de la fuente.

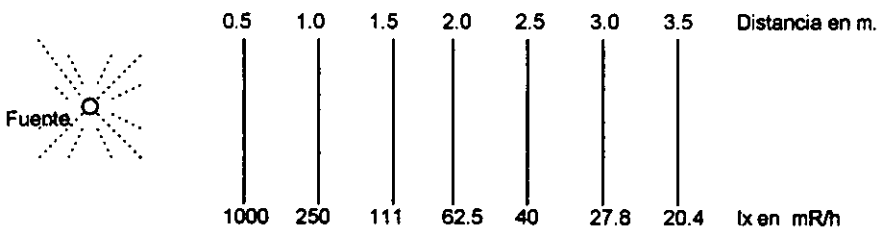


Figura 8.13.- Variación de la exposición con la distancia

Esto quiere decir que si se acerca a la mitad de la distancia que se encontraba, recibirá 4 veces la radiación recibida.

Tenemos que para Cobalto 60 el índice de exposición será diferente que para Iridio 192 ya que no emiten el mismo número de rayos gamma y la energía del fotón emitido es diferente; a continuación se muestra en la tabla 8.2 el índice de exposición para C-60 e Ir-192.

Índice de exposición estándar R/h por Ci				
Radioisótopos	Distancia en metros de la fuente			
	a 1 m	a 2.5 m	a 5 m	a 7.5 m
Cobalto 60	1.2863	0.20581	0.05145	0.022867
Iridio 192	0.48	0.0768	0.192	0.008534

Tabla 8.2.- Valores del índice de exposición para Cobalto 60 e Iridio 192

El blindaje consiste en colocar una placa de material absorbente de radiación, entre la fuente y el personal dentro del área. Solo trataremos del blindaje con radiaciones x o gamma, que son las que se emiten en todas las direcciones.

Para el blindaje de radiaciones podemos usar los siguientes materiales:

Plomo
 Concreto
 Acero

Estos elementos colocados con el espesor adelante mencionado son capaces de reducir a 1/10 ó ½ la emisión de la radiación; la tabla 8.3 nos indica los espesores mínimos requeridos para materiales que sirven de blindaje.

FUENTE RADIOACTIVA				
Material	Cobalto 60		Iridio 192	
	Capa decirreductora 1/10	Capa hemirreductora 1/2	Capa decirreductora 1/10	Capa hemirreductora 1/2
PLOMO	4.12 cm.	1.25 cm.	1.63 cm.	0.49 cm.
CONCRETO	21.95 cm.	6.61 cm.	15.74 cm.	4.83 cm.
ACERO	7.37 cm.	2.21 cm.	5.08 cm.	1.55 cm.

Tabla 8.3.- Materiales que sirven de blindaje contra radiación x y gamma así como su espesor mínimo.

Hemos mencionado como las 3 medidas de protección; tiempo, distancia y blindaje proveen seguridad contra la radiación. Los tres efectos drásticos en el índice de exposición en un nivel aceptable, pero cualquier herramienta, solo será útil en la medida que sea utilizada.

El hecho de que la radiación produzca daños biológicos se ha conocido desde hace muchos años; para estudiar los efectos biológicos de la radiación es importante reconocer ciertos factores elementales.

- 1.- Los efectos biológicos observados para un tipo de radiación pueden producirse por cualquier otro tipo de radiación.
- 2.- La cantidad de energía para producir efectos notables en el tejido, es extremadamente pequeña.
- 3.- Con la sola excepción de mutaciones biológicas muy poco frecuentes, la radiación es siempre dañina a la célula o tejido.

Para exposiciones cortas los efectos biológicos observados, siguen usualmente cierta secuencia. Para exposiciones de larga duración; estos efectos ocurren simultáneamente y no pueden ser observados.

Dispositivos para las medidas de protección en radiología

El hombre carece totalmente de sentidos capaces de detectar la radiación, es decir no posee ningún sentido capaz de avisarnos

cuando estamos en presencia de un campo radioactivo, poniendo nuestra salud y nuestra vida en peligro ya que si tuviera, podríamos tomar inmediatamente medidas para ponernos a salvo. Debido a esto es necesario tener un equipo capaz de percibir la radiación:

Un técnico debe contar con los siguientes 5 instrumentos:

- 1.- Placa monitora de dosimetría.
- 2.- Dosímetro
- 3.- Cargador de dosímetros
- 4.- Contador de Geiger Muller
- 5.- Monitor de Alarma

A continuación describiremos 3 de ellos:

1.- Placa monitora de dosimetría y porta placas.- El portaplacas, consiste en una caja plástica con varias laminitas en su interior, y una ventana.

Cada laminita es un filtro y viene de diferente material y espesor cada una; dichos filtros nos sirven para obtener un rango mayor de lecturas.

La placa monitora es un sobre blanco con una numeración, dentro de ese sobre vienen 2 películas radiográficas especiales.

Una rápida y la otra lenta, de la misma manera que los filtros, se pusieron dos películas en vez de una, para obtener un mayor rango de lecturas; el porta placas se usa en el bolsillo de la camisa u overol.

Dosímetros de bolsillo.

Es un instrumento semejante a una pluma, en un extremo tiene un orificio donde se observa una aguja plateada en el centro, en el otro extremo está un vidrio, si se asoma por ahí y ve hacia la luz, notará una escala de 0 a 200 y las letras mR, detrás de la escala se observa una línea gris o negra. Internamente tiene una cámara de ionización conectada a un par de electrodos, uno de los cuales es móvil respecto a su montaje.

El dosímetro se usa junto a la placa monitora, es decir, en la bolsa de la camisa u overol. Al iniciar las labores del día se carga a cero en el cargador de dosímetros y se vigila continuamente, en especial antes y después de cada exposición. Tiene la ventaja sobre la placa monitora, que el dosímetro nos avisa inmediatamente cuanto hemos recibido sobredosis para tomar las debidas precauciones.

Cargador de dosímetros.

Es una caja metálica o plástica generalmente de color gris o azul, que tiene una perilla y una tapa de rosca con cadena. Proporciona un potencial al dosímetro por medio de la aguja que tiene bajo la tapa con cadena, usa baterías secas y tiene en su interior un foco luminoso.

Proporciona un potencial eléctrico a las placas de los electrodos para que se separen y quede cargado el dosímetro.

Procedimiento

- 1.- Cargado de las películas o casetes.
- 2.- Delimitación del área de trabajo.
- 3.- Colocación del casete y de la fuente.
- 4.- Liberación de la radiación.
- 5.- Revelado en sitio.

El cargado de las películas deberá ser hecho dentro del cuarto oscuro o dentro de la unidad móvil de radiografía; a su vez también se debe de preparar una película con los datos de la obra, cliente, penetrámetro, etc.

Esta película con todos los datos se ira colocando en el casete cada vez que se realice la radiación de cada muestra; cambiando el número de cada película.

Es fundamental el delimitar el área necesaria para los trabajos de radiografía, ya que este tipo de radiación se proyecta en todas direcciones; lo recomendable es que este tipo de inspección se realice a la hora de la comida o cuando no haya personal laborando.

En caso de no poder ser así es necesario informar a los responsables de seguridad para que estos a su vez tenga el cuidado de detener los trabajos cercanos al área delimitada.

Una vez delimitada la zona de trabajo se procede a verificar el funcionamiento de los dispositivos de seguridad de los radiólogos; teniendo en funcionamiento dichos dispositivos se procede a la preparación del equipo.

El equipo generalmente empleado es el de radiación gamma por lo fácil de transportar y manejar.

Se procede a colocar los dispositivos periféricos del contenedor; los cuales son el chicote y la manguera, ver figura 8.14.



Figura 8.14.- En la figura se puede apreciar el contenedor, la conexión de la manguera y el chicote; para radiación gamma.

Después de esta operación se coloca el casete en la muestra a radiografiar esta muestra previamente debe ser marcada, el casete es fijado con cinta adherible para evitar que se mueva; en seguida se coloca la manguera a la distancia calculada por el técnico (ver Fig. 8.15) el cual se retira después de esta operación para poder empezar la radiación de la muestra; ver figura 8.16.

Una vez terminado el tiempo de radiación calculado por el técnico, se retira el casete y se alza separándolo de los demás casetes para evitar que vuelva a ser utilizado otra vez por equivocación.

Terminada la inspección los técnicos deberán realizar el revelado de las películas tomadas, con el fin de cerciorarse que todas las películas se encuentren en optimas condiciones, en caso de que alguna no reúna la calidad requerida para su evaluación será tomada otra vez.



Figura 8.15.- La manguera es colocada a la distancia calculada por el técnico; del otro lado de la muestra esta colocado el casete.



Figura 8.16.- En la figura los técnicos se alejan de la zona cercana a la muestra para proceder a realizar la radiación.

CONCLUSIONES

Con el gran auge que ha tenido en los últimos tiempos la construcción de estructuras metálicas soldadas, es de vital importancia para el ingeniero civil el saber identificar que tipos de pruebas se pueden aplicar a estas estructuras, sin dañar la estructura interna y externa de los elementos terminados.

Es necesario que el ingeniero civil reconozca los diferentes tipos de juntas precalificadas que existen dentro del código AWS D1.1 y su similar la norma mexicana NMX-H-172, ya que estas juntas son las mas empleadas en uniones a tope para dar continuidad a los elementos y no necesitan ser diseñadas o calificadas como procedimiento; existen también tablas para el diseño de soldaduras de filete pero para este caso es necesario hacer el calculo del diseño.

Así tenemos también que es necesario saber reconocer los diferentes tipos de defectos que se pueden llegar a presentar en las uniones soldadas; sus posibles causas, sus soluciones y sus reparaciones.

Se ha comprobado que al tener una supervisión visual constante durante los trabajos de soldadura se obtiene una mayor calidad en los mismos; ya que genera que los soldadores se sientan presionados con el inspector y realicen mejor su trabajo, además un inspector nunca dejara soldar a un soldador que no presente su calificación en la posición a soldar o a menos que realice su prueba y la califique.

Al tener esta supervisión se garantiza que en caso de tener defectos estos estarán dentro de los parámetros de aceptabilidad de la norma de comparación aplicable o en caso contrario serán identificados para su reparación e inspeccionados nuevamente para que sean aceptados.

Los líquidos penetrantes se localizan dentro de los ensayos no destructivos (END) superficiales; y es el método mas empleado para inspeccionar soldaduras de filete, aunque también se emplea en la inspección de soldaduras abocinadas o de campana.

Al igual que los líquidos penetrantes las partículas magnéticas nos ayudan a detectar defectos superficiales y además subsuperficiales pero demasiados cercanos a la superficie.

Este método esta basado en el principio de las fuerzas de las líneas magnéticas distorsionadas por un cambio en la estructura del material, la soldadura puede magnetizarse por la aplicación de corriente eléctrica a través de ella.

Este tipo de inspección no es muy empleado en estructuras metálicas; se restringe mucho por el uso de polvo metálico como partículas, en campo su aplicabilidad es muy limitada su uso esta mas enfocado en la etapa de fabricación donde es mas fácil su aplicación por tener los elementos estructurales en piso.

El método de inspección por ultrasonido se cataloga dentro de los END volumétricos, este método nos permite la detección de defectos dentro de la estructura interna del elemento sin dañarlo mediante el uso de un haz de ultrasonido enviado mediante un pulso eco el cual utiliza un tubo de rayos catódicos para representarlo en una pantalla.

El ultrasonido nos permite inspeccionar grandes espesores por un solo lado del elemento y nos proporciona la profundidad del defecto con lo que se puede determinar por que lado hay que atacar para la reparación; pero este método no detecta discontinuidades paralelas al haz de sonido, está es una razón por la cual se utilizan los métodos de haz recto y angular, para detectar la mayor cantidad de discontinuidades.

La inspección radiográfica utiliza la radiación para penetrar la soldadura y revelar la información interna de la unión; el principio se basa en la absorción de la radiación de los materiales, debido a la densidad o a la diferencia de espesores, una placa radiográfica es lo que queda como testigo de la soldadura inspeccionada por algunos años.

Las dos fuentes de radiación comúnmente usadas son las de rayos x y gamma, aunque esta ultima es mas empleada ya que lo portátil del equipo influye mucho en las inspecciones.

Los rayos x son generados por maquinas, la radiación gamma es emitida por radioisótopos y los mas usados son el Cobalto 60 y el Iridio 192.

Una de las desventajas del método es que no imprime discontinuidades perpendiculares al haz de radiación o un poco inclinadas solo imprime discontinuidades paralelas al haz de radiación, y su rango de penetración es limitado.

Podemos decir entonces que existen pruebas no destructivas superficiales y volumétricas; las superficiales como su nombre nos lo indica, nos ayudan a detectar defectos en la superficie del elemento a inspeccionar los cuales no pueden ser identificados a simple vista o su detección es muy difícil.

Las pruebas volumétricas sirven para detectar defectos dentro de la estructura interna del elemento a inspeccionar, por lo que son mas aceptadas que las superficiales; aunque también tienen ciertas limitantes.

Bibliografía

Norma oficial mexicana NMX-H-172-1992
Procedimientos para soldar acero estructural
Dirección general de normas

American Welding Society AWS D1.1

Norma oficial mexicana NMX-B-133-1994
Método de prueba para la inspección con líquidos penetrantes
Dirección general de normas

Soldadura aplicaciones y práctica
Henry Horwitz, P. E.
Editorial Alfaomega

Soldadura industrial, clases y aplicaciones
Pere Molera Solá
Boixareu editores

Soldadura y metalurgia
Guillermo Fernández Flores
Editorial continental

Tratado de soldadura
Paul Schimpke y Hans a. Horn
Editorial Gustavo Gili

Diseño de estructuras de acero
Boris Bresler, T. Y. Lin y John B. Scalzi
Editorial Limusa

Normas técnicas complementarias para diseño y construcción
de estructuras metálicas, DDF.
Series del instituto de ingeniería
Instituto de ingeniería, UNAM

American Society for Testing and Materials ASTM-E-165-91
Standard test method for liquid penetrant examination

Ensayos no destructivos por la técnica de líquidos penetrantes
Alfonso R. García Cueto; 2º Edición, México 1992

Peritos en radiografía y soldadura S.A. de C.V. PRS-DPT-001
Inspección con líquidos penetrantes; Abril 1999

Norma oficial mexicana NMX-B-124-1996
Guía para la inspección con partículas magnéticas
Dirección general de normas

American Society for Testing and Materials ASTM-E-709-1991
Standard guide for magnetic particle examination

Peritos en radiografía y soldadura S.A. de C.V. PRS-DMT-001
Inspección con partículas magnéticas en estructuras metálicas de
acero; Octubre 1998

Pruebas no destructivas para soldadura industrial
Miguel Angel Espinosa Hernández
Instituto Politécnico Nacional; México 1993

Peritos en radiografía y soldadura S.A. de C.V.
Aplicación de los ensayos no destructivos mas usados en
estructuras metálicas; Curso, Marzo 1999