



MANUAL BÁSICO



Control de la ejecución en obra de las uniones soldadas



Región de Murcia
Consejería de Obras Públicas,
Vivienda y Transporte



COLEGIO
OFICIAL DE
ARQUITECTOS
DE MURCIA
C/ San Juan, 10 - 30001 Murcia
T. 968 32 42 43
F. 968 32 42 44
www.coamurcia.es



colegio oficial
de aparejadores
y arquitectos
técnicos de la
región
de murcia

MANUAL BÁSICO

Control de la ejecución en obra de las uniones soldadas

GESTIÓN DE CALIDAD EN LA EDIFICACIÓN
CONSEJERÍA DE OBRAS PÚBLICAS, VIVIENDA Y TRANSPORTES
COMUNIDAD AUTÓNOMA DE LA REGIÓN DE MURCIA

GRUPO DE TRABAJO

Julián Pérez Navarro	Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de la Región de Murcia
Antonio Álvarez Sandoval	Colegio Oficial de Arquitectos de la Región de Murcia
Rafael Manzano Aniorte	Eymo, S.A.
Javier Fco. Pérez Bernabé	Gaia.

COLABORAN



Universidad Politécnica de Cartagena
Departamento de Ingeniería
de Materiales y Fabricación

eymo



MANUAL BÁSICO

Control de la ejecución en obra de las uniones soldadas

EDITA:

Consejería de Obras Públicas, Vivienda y Transporte de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia

PRIMERA EDICIÓN:

Abril, 2007

DEPÓSITO LEGAL:

I.S.B.N.:

DISEÑO PORTADA:

Murcia Multimedia, S.L.

No está permitida la reproducción total o parcial de esta publicación, ni su tratamiento informático, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, por fotocopia, por registro u otros medios, sin el permiso previo y por escrito del titular del copyright.



Índice

1. Importancia actual de la unión soldada.....	9
2. Objeto de esta guía	11
3. Aceros	13
3.1. Definición	13
3.2. Clasificación y designación según UNE 10.025 de aceros en estructura metálica	13
4. Definiciones más comunes.....	15
4.1. Metal base.....	15
4.2. ZAT	15
4.3. Soldabilidad	15
4.4. Longitud de Arco	15
4.5. Penetración del pasada	15
4.6. Cordón o pasada.....	15
4.7. Cordón de raíz.....	15
4.8. Cordón de sellado	15
4.9. Electrodo.....	15
4.10. Metal depositado.....	15
4.11. Dilución.....	15
4.12. Imput Térmico	16
4.13. Preparación de la Junta	16
4.14. Posiciones de soldeo	16
4.15. Soldadura a Tope, Solape y en Ángulo.....	16
4.16. Disipación de calor.....	16



4.17. Temperatura entre pasadas	16
4.18. Pre calentamiento	16
4.19. Carbono Equivalente	16
5. Materiales utilizados	17
6. Procedimientos de soldeo	19
6.1. Soldadura Manual por Arco con Electrodo Revestido	19
6.2. Soldeo por Arco con Gas protector y Electrodo Consumible	20
6.3. Soldeo por Arco con Gas protector y Electrodo No Consumible	20
6.4. Soldeo por Arco Sumergido	21
7. Control de la ejecución en obra de la soldadura en estructuras metálicas	23
7.1. Inspección Visual	23
7.2. Ensayos No Destructivos de las Uniones Soldadas	23
8. Defectología de las uniones soldadas	25
9. Protección	35
10. Anexos	37
Anexo N.º 1: Inspección Visual	37
Anexo N.º 2: Líquidos penetrantes	41
Anexo N.º 3: Partículas magnéticas	43
Anexo N.º 4: Ultrasonidos	47
Anexo N.º 5: Radiografiado	51
11. Normas y relación de publicaciones consultadas	53



1. Importancia actual de la unión soldada

Hoy en día el principal método de unión de los metales es el conocido como UNIÓN POR SOLDADURA.

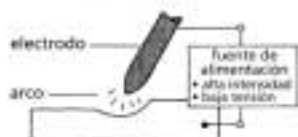
Esta unión si no se hace ninguna otra aclaración implica haber llegado a la fusión de las zonas a unir.

La fusión de los metales exige la aplicación de una fuente de calor concentrada en esas zonas, que al cesar, vuelven a enfriarse y se produce la solidificación simultánea de las zonas fundidas del metal base, así como del material de la aportación externa hecha durante el soldeo. Todo este proceso agresivo al material, requiere de un dominio de la técnica usada, para conseguir una buena unión pero se pueden producir una serie de defectos que es preciso conocer, identificar y remediar.

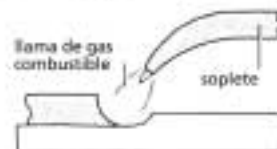
Las fuentes de calor más empleadas son: El arco eléctrico y la llama de gas.

El arco eléctrico se forma entre el metal base y la punta del electrodo.

El arco eléctrico



La llama de gas





2. Objetivo de esta guía

Se trata con ella de ayudar al técnico no especialista en la introducción en los procesos de soldadura, utilizados en la construcción de estructuras. A fin de ayudar en la comprensión de estos procesos de unión, es preciso conocer el sentido de una serie de términos y definiciones utilizadas en el lenguaje de este proceso.



3. Aceros

En la industria apenas se utilizan los metales puros, bien porque contienen elementos extraños, que se eliminan hasta aquella proporción que no perjudica el uso a que se destina el metal, o porque, a propósito se mezclan con otros metales para conseguir determinadas características. Estas mezclas, después de fundidas, cuando se solidifican quedan formando un todo homogéneo, llamado aleaciones.

En su casi totalidad, el hierro se utiliza industrialmente, aleado con carbono y otros elementos.

El acero es una aleación de hierro-carbono, con un contenido en carbono comprendido entre 0,03 y 2%. Sus propiedades dependen además de su contenido de carbono de otros elementos de aleación como el Mn, Cr, Si, Al, etc.

El acero admite ser aleado con otros elementos, formando los aceros aleados o aceros especiales.

Cuando la proporción de carbono es superior a 2%, la aleación hierro-carbono tiene la denominación de fundición.

3.1. Clasificación de los aceros

La designación de aceros para construcción metálica según norma UNE EN 10.025:1990 utiliza una notación alfanumérica que comienza con la letra S, seguida de tres dígitos que indican el valor mínimo del límite elástico expresado en N/mm² a los que se añaden otras letras y números que corresponden al grado y otras aptitudes.

Los distintos grados JR, JO, J2 y K2, así como, sus subgrados J2G3, J2G4, K2G3 y K2G4 se diferencian por su soldabilidad y por el valor específico de la energía absorbida en el ensayo de flexión por choque (resiliencia).

Tipos y grados	Productos planos	Productos largos
S 185	Opcional ^{(1) (3)}	Opcional ^{(1) (3)}
S 235 JR, S 235 JO S 275 JR, S 275 JO S 355 JR, S 235 JO	Opcional ^{(1) (3)}	Opcional ^{(1) (3)}
S 235 J2G3 S 275 J2G3 S 355 J2G3, S 355 K2G3	N	Opcional ^{(1) (3)}
S 235 J2G4 S 275 J2G4 S 355 J2G4, S 355 K2G4	A elección del fabricante (2)	A elección del fabricante (2)
E 295, E 335, E 360	Opcional ^{(1) (3)}	Opcional ^{(1) (3)}

(1) Salvo acuerdo al hacer el pedido, la condición de suministro queda a elección del fabricante.

(2) Condición de suministro a elección del fabricante.

(3) Si se pide y se suministra en estado N, se indicará en el documento de inspección

Designación según NBE-EA	Designación según UNE en 10.025
A37b	S 235 JR
-	S 235 JR G2
A37c	S 235 JO
A37d	S 235 J2 G3
A42b	-
A42c	-
A42d	-
(2) A44b	S 275 JR
(2) A44c	S 275 JO
(2) A44d	S 275 J2 G3
A52b	S 355 JR
A52c	S 355 JO
A52d	S 355 J2 G3

Nota: (2 Designación según UNE 36 080-73)

En la tabla anterior se indica las correspondencias entre las designaciones utilizadas en la norma básica NBE EA-95 y las designaciones según UNE EN 10.025 para los productos laminados en caliente más usuales.



4. Definiciones más comunes

4.1. Metal base

Término para describir el metal del cual están hecho los componentes de la unión.

4.2. ZAT (Zona Afectada Térmicamente)

Es la zona del metal base que sin haber llegado a fundir a sufrido un fuerte calentamiento y posterior enfriamiento, que ha afectado a las estructuras y como consecuencia han variado las características mecánicas.

4.3. Soldabilidad

No todos los cordones de soldadura son válidos para cualquier unión ya que ésta depende del uso que se le vaya a dar.

Por eso la ISO 581/80 define la soldabilidad teniendo en cuenta el grado exigido para esa construcción el procedimiento usado y su aplicación concreta ya que de lo que se trata es de conseguir la continuidad metálica de la unión y la perfección que se exija en ella depende de su responsabilidad.

4.4. Longitud del arco

Distancia entre la punta del electrodo y la superficie del baño de fusión.

4.5. Penetración del cordón

Zona del metal base donde se llega a fundir durante el proceso de soldeo.

4.6. Cordón o pasada

Pasada simple de metal soldado depositado sobre la superficie del metal base.

4.7. Cordón de raíz

Cuando hay varios cordones es el primer cordón que origina el cierre o unión de las dos caras de la junta. Éste se debe situar en la parte más profunda y alejada de la cara exterior o bien en su zona intermedia cuando existen cordones situados por la cara interior.

4.8. Cordón de sellado

Pasada de metal de aporte que se deposita sobre el lado opuesto de una unión a tope, a lo largo de la línea de raíz.

4.9. Electrodo

Según el proceso de soldadura corresponde a: a) la varilla recubierta de pasta protectora en la soldadura al arco manual; b) el hilo consumible en la soldadura MIG/MAG; c) el hilo de tungsteno en la soldadura TIG.

4.10. Metal depositado

Material que se aporta a la unión mediante el electrodo o hilo de aportación, con el fin de construir el perfil soldado.

4.11. Dilución

La dilución se define como la proporción en la que el

metal base participa en virtud de su propia fusión en la composición de la zona fundida.

$$\text{Dilución \%} = \frac{\text{Metal base fundido}}{\text{Total metal fundido}} \cdot 100$$

4.12. Input térmico

Es la energía bruta o total aportada en la fusión.

4.13. Preparación de la junta

Se entiende por junta el espacio existente entre las superficies que van a ser unidas por soldadura. Esta junta es preciso prepararla y posicionarla.

4.14. Posiciones de soldeo

En principio cualquier tipo de junta podrá soldarse en cuatro posiciones diferentes que son:

- a) Plana o sobremesa
- b) Horizontal o cornisa
- c) Bajo techo
- d) Vertical.



4.15. Soldadura a tope-solape y en ángulo

Se refiere a las posiciones relativas de los dos metales base a soldar según indica la propia definición, así cuando decimos a *SOLAPE* quiere decir que una de las láminas del metal base se superpone a la otra solapándose.

4.16. Disipación de calor

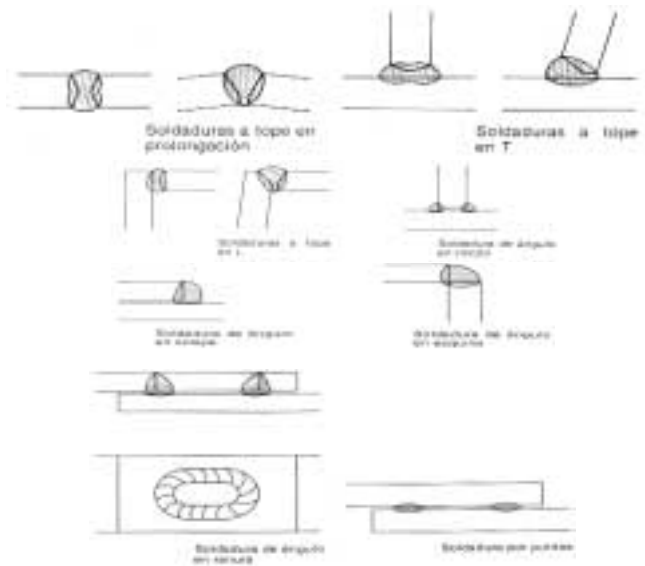
En la soldadura se considera que la disipación del calor producido, siempre se realiza por conducción a través de las secciones del metal base que se esté soldando, por lo que la velocidad de transmisión, depende del grueso de las láminas soldadas. Espesores gruesos pueden producir velocidades de enfriamiento demasiado rápidas que producen endurecimientos y peligro de agrietamiento.

4.17. Temperaturas entre pasadas

Temperatura de la unión entre cada pasada realizada.

4.18. Pre calentamiento

La manera de evitar esas estructuras duras, no reco-



mendables y peligrosas es reduciendo la velocidad de disipación del calor y el método más efectivo es provocar un pre calentamiento que disminuya la diferencia de temperatura entre la zona del cordón fundido y el metal base.

4.19 Carbono equivalente

Todos los elementos de aleación del acero perjudican el proceso de soldadura. La suma ponderada de los contenidos de todos ellos determina un cifra que cuanto más baja su soldabilidad será mayor del 0,43% y que cuando supera este umbral se considera no soldable. Nos da una medida de la tendencia potencial a fisurarse durante la soldadura.

Cálculo Recomendado por INS:

$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15}, \text{ expresadas en \%}.$$



5. Materiales utilizados

Las construcciones soldadas se pueden efectuar con diversos materiales, aluminio, acero inoxidable, acero al carbono, etc. Por la importancia de su consumo vamos a referirnos a los ACEROS AL CARBONO exclusivamente.

Los *aceros soldables* que son los utilizados en las construcciones metálicas poseen un contenido en carbono limitado al 0,2% aproximadamente.

La norma actual que clasifica los aceros y su designación es la EN.10025 donde se establecen los siete tipos en función de sus características mecánicas.



6. Procedimientos de soldeo

Existen unos quince diferentes procedimientos de soldar. De estos quince son de aplicación usual en obra cuatro:

- a) SOLDEO MANUAL POR ARCO CON ELECTRODO REVESTIDO
- b) SOLDEO POR ARCO CON GAS PROTECTOR Y ELECTRODO CONSUMIBLE
- c) SOLDEO POR ARCO CON GAS PROTECTOR Y ELECTRODO NO CONSUMIBLE REFRACTARIO
- d) SOLDEO POR ARCO SUMERGIDO

Vamos a explicar someramente lo esencial de estos procedimientos.

6.1. Soldeo manual por arco con electrodo revestido (Shielded metal arc welding, SMAW) o Manual Metal Arc (MMA)

Consiste en fundir las juntas de las piezas a soldar a través del arco eléctrico formado entre el electrodo revestido y la pieza a soldar.

Los electrodos se componen de dos partes:

- a) Alma - b) Revestimiento

El *Alma* es la parte metálica interior del electrodo. Es el metal de aportación. Debe ser de composición y características mecánicas similares al metal base.

El *Revestimiento* es la parte no metálica del electrodo cuyas finalidades principales son:

- *Eléctrica*. Ayuda a iniciar el arco, lo hace más estable a la hora de soldar.

- *Física*. Produce al saltar el arco gases que protegen el arco y el baño de la atmósfera circundante. Forman escoria fundida, que flotan y se solidifica protegiendo el baño fundido y también después de solidificado.

- *Metalúrgica*. Contiene elementos que en estado fundido se incorporan al baño. Elimina impurezas.

TIPOS DE ELECTRODOS

En función del carácter del revestimiento existen electrodos de:

- a) Rutilo b) Básicos c) Celulósicos d) Gran rendimiento

Los más utilizados son los de rutilo, básicos y los de gran rendimiento.

- a) Rutilo: Estos electrodos son fáciles de encender y reencender, poco sensibles a la humedad, escasas salpicaduras y poseen una favorable eliminación de la escoria. Son adecuados para emplearse en todas las posiciones e idóneos para todo tipo de soldaduras siempre que no se requiera una elevada tenacidad. Clasificación AWS de electrodos para aceros al carbono: AWS-E-6012 (Na) y AWS-E-6013 (K).

- b) Básicos: Los electrodos básicos son más difíciles de manejar y poseen características mecánicas mejores que los anteriores. Son fuertemente higroscópicos, por lo que precisan de ciertas precauciones para evitar que una retención de humedad origine porosidades en el metal depositado y figuraciones bajo el cordón, por lo que deberán permanecer desde su apertura en estufas. Clasificación AWS de electrodos para aceros al carbono: AWS-E-7016 (K).

d) Gran rendimiento: Se denominan electrodos de gran rendimiento aquellos que, cualquiera que sea la naturaleza de la composición de su revestimiento, tienen un rendimiento gravimétrico superior al 130%, superior al rendimiento de los electrodos anteriores que suele estar entre el 80% y el 100%. Los electrodos básicos de gran rendimiento poseen elevadas características mecánicas, se utilizan en la calderería pesada y en las estructuras donde se exige altos valores de tenacidad a baja temperatura. Clasificación AWS de electrodos al carbono: AWS-E-7014 (rutilo), AWS-E-7018 (básico), AWS-E-7024 (rutilo) y AWS-E-7028 (básico).

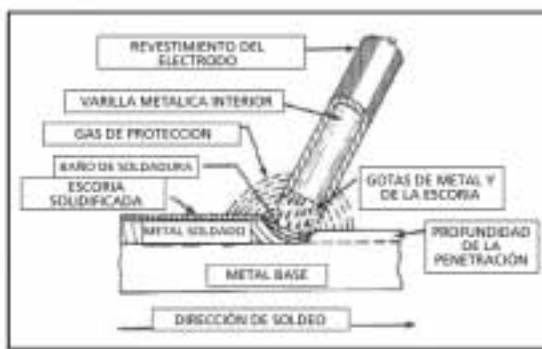


Imagen 1. Proceso de soldadura manual por arco con electrodo revestido

6.2. Soldeo por arco con gas protector y electrodo consumible (gas metal ARC WELDING, GMAW)

La soldadura por arco bajo gas protector con electrodo consumible es un proceso en el que el arco se establece entre un electrodo de hilo continuo y la pieza a soldar, estando protegido de la atmósfera circundante por un gas inerte, proceso MIG (Metal Inert Gas) o por un gas activo MAG (Metal Active Gas).

Este proceso de soldeo se caracteriza por:

- La ausencia de escoria.
- Alimentación automática del hilo.
- Alto rendimiento de soldeo con buena calidad..
- Gran flexibilidad de regulación.
- Reduce tiempo y coste de las operaciones.
- Buena Seguridad e Higiene.

Existen dos posibles gases a utilizar:

- a) Gas inerte- (MIG)-Argón b) Gas activo-(MAG)-Mezcla de CO₂ + Argón

Se utiliza hilo continuo desde donde salta el arco en su extremo que al fundirse aporta el metal al baño.

La polaridad usada es la inversa (electrodo positivo).

Existen diversos tipos de arcos llamados MODALIDADES DE TRANSPORTE.

Existe HILO TUBULAR DE APORTACIÓN CON EL ALMA RELLENA DE FLUX (FCAW).

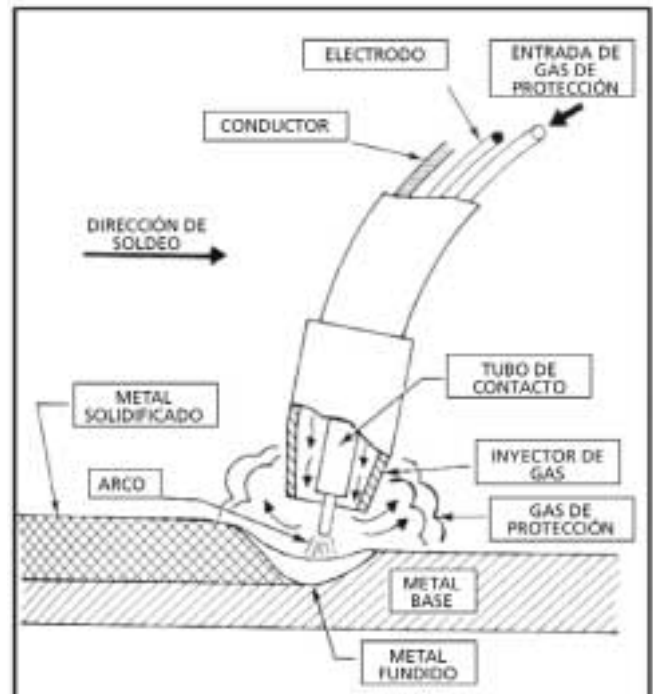


Imagen 2. Proceso de soldadura por arco con gas protector y electrodo consumible

6.3. Soldeo por arco con gas protector y electrodo no consumible (GAS TUNGSTEN ARC WELDING, GTAW-TIG)

El procedimiento de soldadura por arco gas protector con electrodo no consumible, también llamado TIG (Tungsten Inert Gas), utiliza como fuente de energía el arco eléctrico que salta entre un electrodo no consumible y la pieza a soldar, mientras un gas inerte protege el baño de fusión. La aportación cuando es necesaria se hace a través de varillas de composición adecuada al metal base. Se utiliza frecuentemente sin aportación en las pasadas iniciales de raíz.

El proceso esencialmente manual, se ha automatizado para algunas fabricaciones en serie, como tuberías de pequeño espesor soldada longitudinalmente o helicoidalmente y para la fijación de tubos a placas de intercambiadores de calor.

Puede emplearse en todo tipo de uniones o posiciones y en los materiales más diversos: aceros al carbono, inoxidables, metales no féreos, etc.



La polaridad más frecuente es la directa (electrodo negativo). Los electrodos no consumibles son en base TUGSTENO con ciertos elementos de aleación.

Con este proceso se sueldan infinidad de aleaciones y metales.

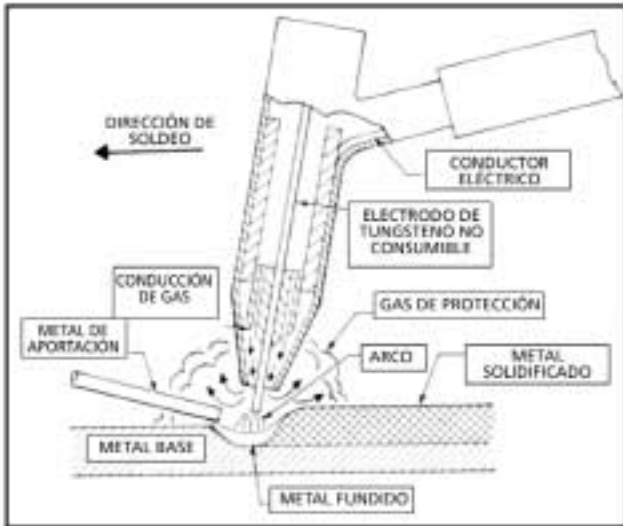


Imagen 3. Proceso de soldadura por arco con gas protector y electrodo no consumible

6.4. Soldeo por arco sumergido (SUBMERGED ARC WELDING, SAW)

Consiste en la fusión de un electrodo continuo, protegido por la escoria generada por un polvo (FLUX) con el que se alimenta el arco y lo protege.

El sistema es siempre automático.

Es un proceso de gran producción.

Frecuentemente se encuentra auxiliado por viradores y posicionadores que permiten la perfección en la soldadura.

Existen diversos tipos de fluxes en función del metal base y la composición de la aportación.

La polaridad normal es la inversa.

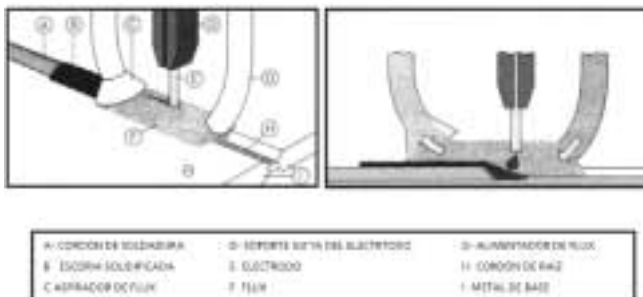


Imagen 4. Proceso de soldadura por arco sumergido



7. Control de la ejecución en obra de la soldadura en estructuras metálicas

7.1. Inspección visual

La inspección visual posee un gran alcance si se ejecuta correctamente. Comienza con la inspección de los materiales a su llegada y el control de los mismos al ser usados; controla la ejecución hasta su finalización, responsabilizándose de la aplicación correcta de códigos de diseño y de su ejecución. Se deberá poseer una buena capacidad visual.

Deberá comprobar el estado de la materia prima, de su preparación para la soldadura, bordes, etc. de su posicionamiento y ejecución.

Así mismo comprobará el buen uso y cuidado de los materiales de aporte. Durante la ejecución comprobará el cumplimiento de los procedimientos homologados y que se ejecutan por personal debidamente cualificado. Observará el uso idóneo de los parámetros de soldeo.

Al finalizar la soldadura examinará la unión intentando descubrir imperfecciones utilizando los elementos de medida precisos.

El código ASME en su sección V dedica el capítulo 9 a la inspección visual (imagen 1).

7.2. Ensayos no destructivos de las uniones soldadas

-END-

Debido a la importancia de la localización de posibles defectos en ocasiones frecuentes es preciso complementar el control visual con otros ensayos más complejos de ejecutar que adoptan el término genérico de (END) ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS entre los cuales los más importantes son:

- INSPECCIÓN POR LÍQUIDOS PENETRANTES
- INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS
- INSPECCIÓN RADIOGRÁFICA
- INSPECCIÓN POR ULTRASONIDOS

INSPECCIÓN POR LÍQUIDOS PENETRANTES

En la inspección por líquidos penetrantes se utiliza un líquido que se aplica sobre la pieza, este penetra por capilaridad en las grietas, que posteriormente una vez limpiado

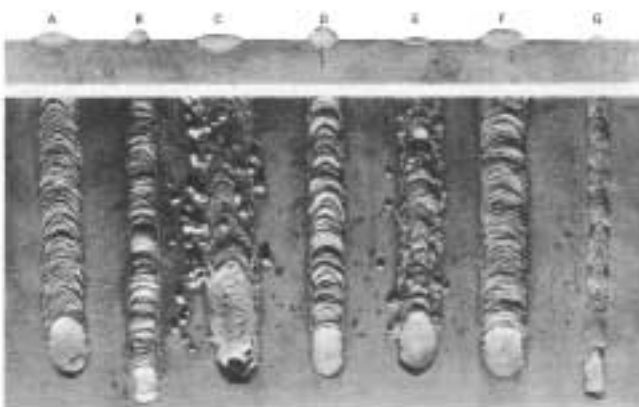


Imagen 1. Efectos de la Intensidad, Longitud del Arco y Velocidad: a) Intensidad, velocidad y arco normales: contorno uniforme y buena penetración; b) Intensidad baja: cordón estrecho, aguas no uniformes y mordeduras; c) Intensidad alta: aguas alargadas, salpicaduras, penetración excesiva y mordeduras; d) Arco corto; e) Arco largo: penetración desigual, porosidad e inclusiones; f) Velocidad lenta: sobreespesor elevado y buena penetración; g) Velocidad alta: aguas no uniformes, mordeduras y baja penetración.



externamente, el que ha quedado en el interior suda y se puede observar como nos detecta las imperfecciones superficiales.

INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

Si a una pieza se la somete entre sus extremos a un campo magnético y en su superficie se encuentra cualquier defecto que interrumpa las líneas de fuerza, en ese punto o defecto se situarán las partículas detectando el defecto. Es aplicable únicamente a materiales ferromagnéticos.

INSPECCIÓN RADIOGRÁFICA

Los Rayos X (RX) y los Rayos γ ($R\gamma$) son radiaciones que se desplazan a la velocidad de la luz. Sus longitudes de onda son mínimas por lo que poseen una gran penetración y siempre en línea recta. Los RX se producen al activar un electrodo que emite un haz de electrones. Los $R\gamma$ son emitidos continuamente por el núcleo de átomos radiactivos. Ambos al atravesar el elemento metálico detectan por la diferencia de penetración cualquier defecto que al incidir sobre una placa fotográfica queda reflejado.

Se utilizan para detectar los defectos internos en las uniones soldadas que los dos anteriores métodos no nos lo pueden detectar.

INSPECCIÓN POR ULTRASONIDOS

Se utiliza la propagación del sonido por medio de ondas. La velocidad de propagación es función de la densidad del medio por lo que una variación en ella por la presencia de un defecto determina su localización. Es un complemento a la inspección radiográfica y también se utilizan para detectar los defectos internos en las uniones soldadas que los dos anteriores métodos no nos lo pueden detectar.

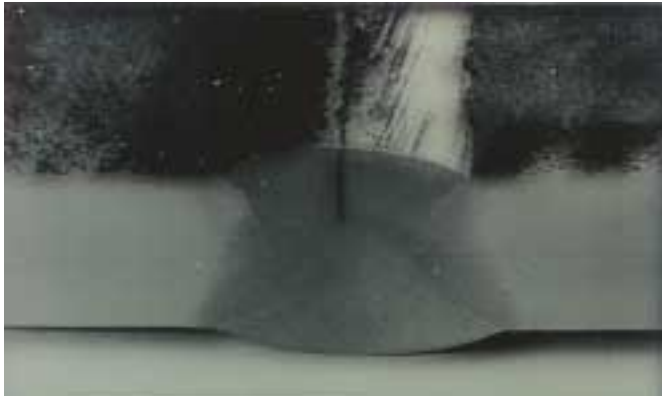


8. Defectología de las uniones soldadas

A continuación, hemos recogido los principales defectos que se producen en las uniones soldadas, identificándolo e intentando de una forma simple indicar las posibles CAUSAS del defecto y sus SOLUCIONES.



1. DE TIPO METALÚRGICO / GRIETAS



1.1 Agrietamiento en caliente durante la solidificación

Causas

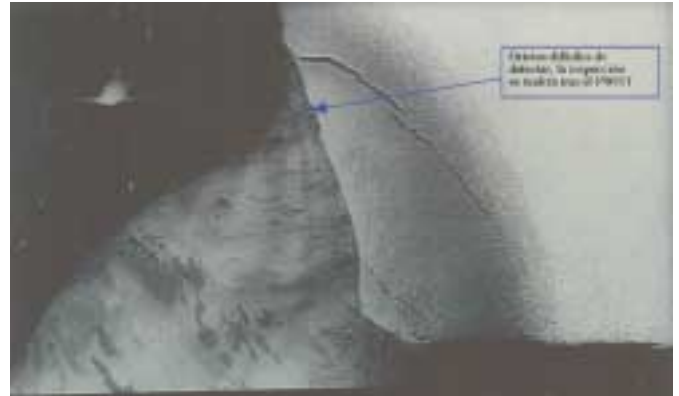
- Excesiva penetración o ancho del cordón.
- Alta corriente y/o velocidad de soldeo.
- Alta separación de bordes.
- Exceso de C, P ó S¹.
- Mayor riesgo con SAW.

Soluciones

- Cambiar corriente o velocidad.
- Soldar con SMAW negativo, buttering.
- Disminuir corriente y/o velocidad de soldeo.
- Corregir preparación bordes.
- Utilizar aceros con menor contenido en S y P.
- Reducir imput térmico

¹C = Carbono. P = Fósforo. S = Azufre.

1. DE TIPO METALÚRGICO / GRIETAS



1.2 Agrietamiento en frío

Causas

- Combinación de estructuras frágiles en la ZAT, tensiones y presencia de hidrógeno (humedad)
- El peligro crece al aumentar el espesor y el **Ceqv**².
- Alta velocidad de soldeo, alto embriamiento, separación de raíz alta, concentradores de tensiones.
- El soldeo con electrodos revestidos de rutilo y celulósicos.

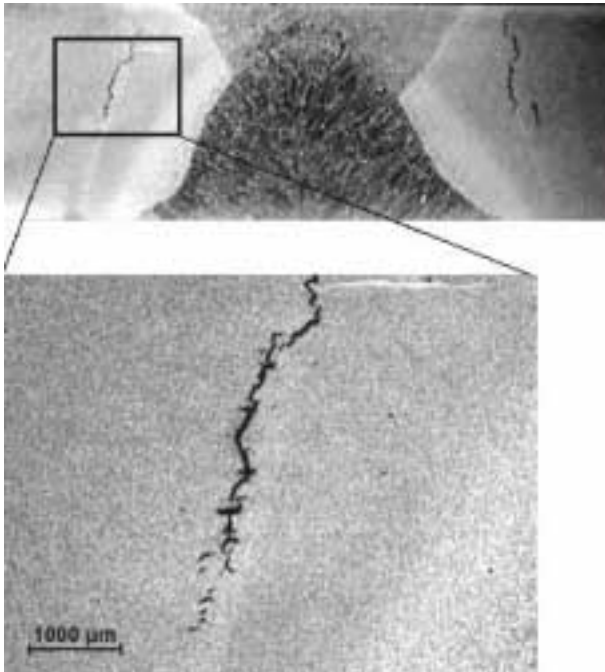
Soluciones

- Usar proceso de bajo hidrógeno.
- Precalentar y dar 2 horas de desgasificado o pwht.
- Aumentar número de pasadas.
- Rediseño de soldadura, aplicar alivio de tensiones.
- Precalentar, tratar sin dejar enfriar.
- Variar diseño disminuyendo disipación térmica.

²Ceqv = Carbono equivalente.



1. DE TIPO METALÚRGICO / GRIETAS



1.3 Agrietamiento en frío en el metal de soldadura

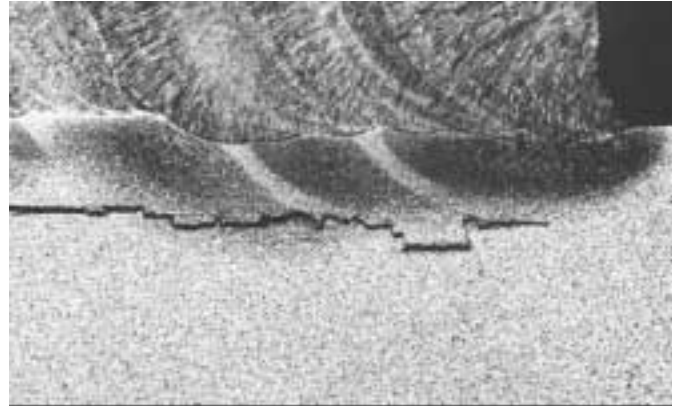
Causas

- Utilización de un metal de aporte más aleado que el metal base.
- Soldeo de secciones gruesas con electrodos no adecuadamente secados, o con un precalentamiento insuficiente.
- Alto nivel de embridamiento.
- Excesiva apertura de raíz.
- Existencia de concentradores de tensiones en la raíz.

Soluciones

- Nuevo diseño de junta.
- Aplicar postcalentamiento de disipación de H_2 .
- Precalentar.
- Aliviar tensiones mecánicamente.
- Reducir raíz o rellenar desde lados.
- Precalentar.

1. DE TIPO METALÚRGICO / GRIETAS



1.4 Desgarre laminar

Causas

- Baja ductilidad en dirección del espesor debido a la presencia de inclusiones no metálicas.
- Fallo típico de productos laminados.
- Típico fallo de uniones en ángulo, en T, en esquina, en cruz, allí donde la concentración de tensión es alta.

Soluciones

- Precalentar, normalizar en metal base.
- Reconocer el sentido de laminación y cambiar el sentido de uso.
- Seleccionar aceros con un índice de microinclusiones bajo.
- Estudiar secuencia que atenua tensiones.
- Rediseño de soldadura, aplicar alivio de tensiones.



1. DE TIPO METALÚRGICO / CAVIDADES



1.5 Poros vermiculares

Causas

- Atrapamiento de gases entre las dentritas (disposición en espina de pescado RX).
- Contaminación de la zona de unión y/o marcas profundas en el chaflán procedentes del corte o preparación de bordes.

Soluciones

- Usar consumible rico en desgasificantes, incrementar gas de protección.
- Limpieza de junta y zonas adyacentes.
- Eliminar mediante procedimientos mecánicos los defectos superficiales en las zonas a unir.

1. DE TIPO METALÚRGICO / CAVIDADES



1.6 Porosidad Uniforme

Causas

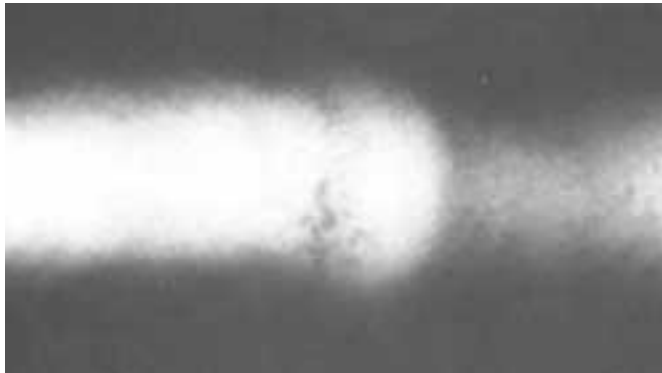
- Presencia de grasa o aceite en el metal base o de aporte.
- Humedad en el metal base o en los consumibles.
- Protección inadecuada (caudal de gas bajo o demasiado alto).
- En el soldeo MAG, la utilización de hilo con pocos desoxidante.
- Pinturas y otros recubrimientos presentes en la zona de soldeo.

Soluciones

- Limpieza de junta y zonas adyacentes.
- Utilizar consumible empaquetado, cuidar limpieza.
- Cuidar, estufar y conservar los electrodos.
- Utilización de hilo cobrizado.
- Evitar humedades ambientales
- Limpiar zona de soldeo.



1. DE TIPO METALÚRGICO / CAVIDADES



1.7 Poros de Inicio

Causas

- Arcos no estables
- Protección inicial (preflujo de gas...).
- Altos gradientes térmicos en el inicio del soldeo.
- Técnica del soldador inadecuada.

Soluciones

- Modificar condiciones y técnicas.
- Estudiar en máquina el inicio y cebado tanto de las variables eléctricas como de la secuencia del inicio del gas.
- Precalentar o aumentar ENA (Energía Neta Aportada).
- Se debe evitar el inicio o TAC, pues es causa de localización frecuente de defectos.

2. DE TIPO GEOMÉTRICO / CAVIDADES



2.1 Rechupes de Cráter

Causas

- Finalización incorrecta del cordón de soldadura.
- Caídas bruscas de intensidad al finalizar el cordón (en TIG, está aconsejado el control de pendiente y llenado de cráter).

Soluciones

- Programar máquina entre caída de variables eléctricas y caídas de caudales.
- Rampas de desplazamiento vertical de las torchas.



2. DE TIPO GEOMÉTRICO / FALTA DE FUSIÓN



2.2 Falta de fusión cordón - metal base

Causas

- Parámetros de soldeo no adecuados (baja intensidad, ángulo de trabajo inadecuado, velocidad excesiva...).
- Preparación de bordes no adecuada (talón de raíz muy grande).

Soluciones

- Seguir el procedimiento de soldadura, mantener una posición adecuada del electrodo.
- Usar adecuada geometría de junta.

2. DE TIPO GEOMÉTRICO / FALTA DE FUSIÓN



2.3 Falta de fusión entre cordones y en raíz

Causas

- Parámetros de soldeo no adecuados (baja intensidad, ángulo de trabajo inadecuado, velocidad excesiva...).
- Preparación de bordes no adecuada (talón de raíz muy grande).

Soluciones

- Seguir el procedimiento de soldadura, mantener una posición adecuada del electrodo.
- Usar adecuada geometría de junta.



2. DE TIPO GEOMÉTRICO / FALTA DE PENETRACIÓN



2.4 Falta de penetración

Causas

- Parámetros de soldeo no adecuados (baja intensidad, ángulo de trabajo inadecuado, velocidad excesiva...).
- Preparación de bordes no adecuada (talón de raíz muy grande).

Soluciones

- Seguir el procedimiento de soldadura, mantener una posición adecuada del electrodo.
- Usar adecuada geometría de junta.

2. DEFECTOS DE FORMA



2.5 Desalineamiento

Causas

- Montaje incorrecto y/o deformaciones durante la fabricación.

Soluciones

- Vigilar la alineación.



2. DEFECTOS DE FORMA



2.6 Mordedura

Causas

- Técnica de soldeo inapropiada (ángulos de trabajo e inclinación).
- Desequilibrio entre los parámetros de soldeo.

Soluciones

- Revisar parámetros eléctricos.
- Revisar ángulos de trabajo.

2. DEFECTOS DE FORMA



2.7 Exceso de penetración (descuelgue)

Causas

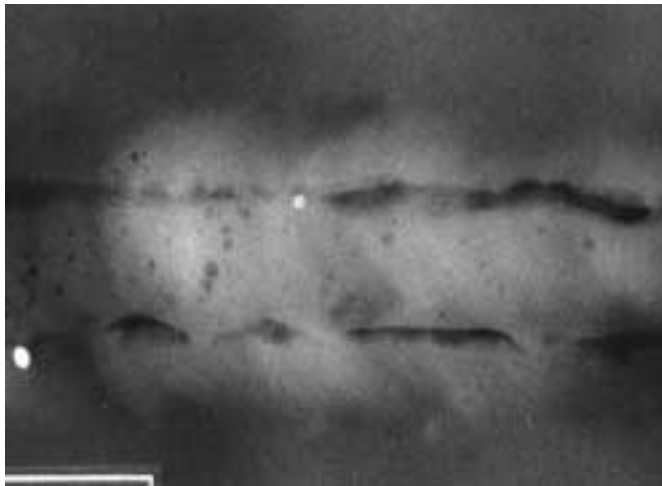
- Preparación de bordes incorrecta (no sujeta adecuadamente el baño).
- Aporte térmico excesivo

Soluciones

- Revisar la geometría de bordes.
- Revisar parámetros eléctricos.
- Utilizar placa cerámica de respaldo (backing).



3. OTROS DEFECTOS



3.1 Inclusiones lineales (escorias alineadas)

Causas

- Deficiente limpieza entre cordones.
- Relacionada con la presencia de mordedura o superficies irregulares en pasadas previas.

Soluciones

- Limpieza entre pasadas.
- Preparación previa adecuada de bordes, limpieza

3. OTROS DEFECTOS



3.2 Inclusiones aisladas

Causas

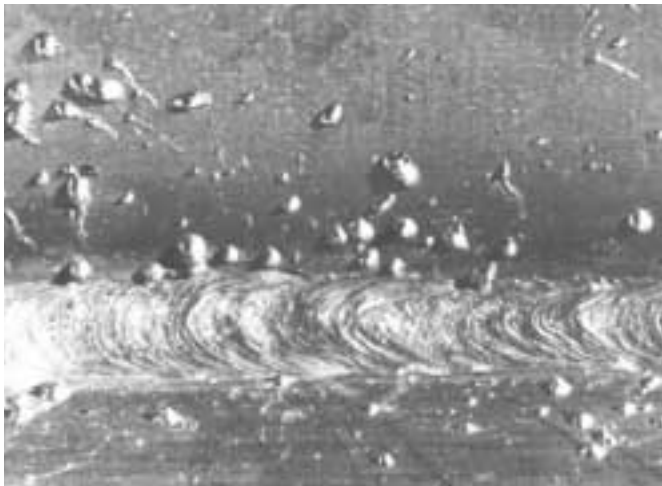
- Relacionada con trazas de óxido, restos de mecanizado.
- Uso de electrodos deteriorados (agrietados por un secado rápido).
- Presencia de mordeduras aisladas en pasadas previas.

Soluciones

- Adecuado gas de protección.
- No utilizar electrodos dañados.
- Limpieza entre pasadas.
- Preparación previa de bordes, limpieza.



3. OTROS DEFECTOS



3.3 Salpicaduras

Causas

- Corriente de soldeo excesiva.
- Consumibles contaminados que producen explosiones en el arco eléctrico.
- Selección inapropiada del gas de protección.

Soluciones

- Revisar parámetros de soldeo.
- Usar consumibles no contaminados.
- Gas de protección apropiado.

3. OTROS DEFECTOS



3.4 Depresiones superficiales (SAW)

Causas

- Secado inadecuado del fundente o con contenido bajo de desoxidantes.

Soluciones

- Limpieza inicial.



9. Protección

Una vez finalizada la ejecución de los cordones de soldadura realizados en obra, se deberán limpiar su superficie con un cepillo de alambre para eliminar todo rastro de escoria, suciedad y óxidos.

Para evitar su oxidación se deberá de aplicar a los cordones de soldadura el esquema de pintura que tengamos definido en el proyecto, que deberá adecuarse a lo estipulado en la norma UNE ISO 12944-5:1999, empezando con la mano de imprimación.

En la ejecución del pintado se deberán tener en cuenta las condiciones de uso indicadas en las fichas técnicas facilitadas por el fabricante.

Entre la limpieza y la aplicación de la capa de imprimación transcurrirá el menor espacio de tiempo posible no siendo recomendable más de ocho horas.

Entre la capa de imprimación y la segunda capa, así como, entre la segunda y la tercera, transcurrirá el plazo de secado indicado por el fabricante.



10. Anexos

ANEXO 1: INSPECCIÓN VISUAL

A) Introducción

La inspección visual se inicia cuando los materiales llegan a la obra, continúa durante todo el proceso de soldadura y finaliza cuando el técnico examina el equipo o pieza terminada, marca las zonas a reparar y completa su informe de inspección.

B) Desarrollo de la inspección

La inspección visual tiene lugar antes, durante y después de la soldadura.

B1) Antes de la soldadura:

B.1.1-Comprobación de los certificados de los materiales de base y de aportación, verificando si cumplen lo indicado en los planos y especificaciones de construcción.

B.1.2-Medición de los materiales para asegurarse que los diámetros, longitudes, anchos y espesores cumplen los requisitos aplicables.

B.1.3-Inspección de las superficies y a lo largo de sus bordes para detectar posibles defectos a fin de detectar incrustaciones, óxidos, grietas, laminaciones, cortes defectuosos o cualquier otra discontinuidad que pudiera afectar a la soldadura posterior.

B.1.4-Verificación de las secciones punteadas para soldadura, comprobando que las aberturas de raíz y diseño de la unión cumplen las especificaciones aplicables, verificando:

- Preparación de bordes, dimensiones y acabado de la superficie.

- Alineaciones y limpieza de las superficies, especialmente en los bordes al soldar.

- Los materiales de aporte, comprobando que los electrodos, varillas, fluxes y gases cumplen con sus correspondientes especificaciones de calidad.

- Cuando se empleen electrodos de bajo contenido en hidrógeno, verificará que estos consumibles se almacenan y manejan siguiendo las recomendaciones de su fabricante y que son retiradas para su uso de recipientes estancos y de estufas en las que se mantiene la temperatura correcta.

B.1.5-Revisión de las especificaciones de los procesos, procedimientos y consumibles, asegurándose que son perfectamente conocidos por los soldadores.

B.2) Durante la soldadura.

B.2.1-Se comprobará que los soldadores están previa y debidamente certificados y que se aplica correctamente el procedimiento homologado.

B.2.2-Se observará el depósito de los cordones prestando una especial atención a la pasada de raíz, más susceptible de fisurarse que las de relleno, debido a que se enfría rápidamente, para la detección de posibles grietas y para evitar que queden escorias atrapadas en ella. Se inspeccionará el saneado de la raíz para verificar si es adecuado proseguir la soldadura.

B.2.3-Se verificará que los soldadores emplean los parámetros de soldadura adecuados y que utilizan correctamente los consumibles (materiales de aporte, fundentes y gases de protección), las temperaturas de precalentamiento y las temperaturas entre pasadas.

B.2.4-Inspeccionar la limpieza de la unión, el sistema de limpieza de los cordones, la preparación para soldar el segundo lado de la unión, la secuencia de la soldadura y las deformaciones que se produzcan.

B.3-Después de la soldadura.

B.3.1-Se examinará la terminación de la soldadura, mediante reglas, galgas y escuadras para verificar que sus dimensiones son correctas. Se comprobará en las uniones en ángulo que sus catetos, gargantas, convexidad y /o concavidad cumplen las especificaciones aplicables.

B.3.2-Se limpiará cuidadosamente la superficie antes de las inspecciones, empleando un cepillo de cerdas de alambre de acero rígido y de bronce en la soldadura de aceros inoxidables. Se examinará el aspecto de las soldaduras, su rugosidad, salpicaduras y restos de escoria en las zonas colindantes.

B.3.3-Se inspeccionará para detectar las posibles discontinuidades tales como cráteres en los extremos de los cordones, grietas, falta de penetración, mordeduras, solapamientos y sobreespesores, en relación con los códigos y reglamentos aplicables.

B.3.4-Marcas con claridad las zonas a repasar empleando lápices marcadores que no se borren fácilmente.

B.3.5-Inspeccionar las zonas reparadas y marcarlas adecuadamente con la decisión adoptada preparando un informe escrito en el que se incluya el número y la denominación del trabajo, fecha, lugar y resultados de la inspección.

C) Análisis de la información

De las observaciones efectuadas, se puede obtener una información muy provechosa acerca del grado de calidad alcanzado.

A la vista del conjunto terminado, puede detectar si se han producido alabeamientos o deformaciones.

Estudiando la superficie de la soldadura, puede conocer si el trabajo se ejecutó de forma correcta, ya que cuando se suelda con los parámetros adecuados la soldadura adquiere un contorno regular con aguas y penetración uniformes.

C.1) Influencia de los distintos parámetros:

C.1.1-Intensidad. Una intensidad demasiado baja suele producir unos cordones estrechos y abultados, con surcos irregulares y faltas de penetración.

Las intensidades elevadas producen alargamientos de los surcos, salpicaduras, mordeduras, y hasta perforaciones por exceso de penetración.

C.1.2-Tensión. Las tensiones bajas producen idénticos defectos que las intensidades elevadas.

Las tensiones altas producen idénticos defectos que las intensidades bajas.

C.1.3-Velocidad.

C.1.3.1-Las soldadura efectuadas con velocidades muy lentas provocan abultamientos indicativos de poca penetración.

C.1.3.2-Las altas velocidades originan surcos estrechos y no uniformes, mordeduras y baja penetración.

C.1.4-Longitud del Arco.

C.1.4.1-Arcos largos, incluso aunque se apliquen con intensidades y velocidades adecuadas pueden producir porosidades, inclusiones y penetración irregular.

En la figura se muestran diversos aspectos superficiales debidos a las diferentes técnicas de soldaduras aplicadas.

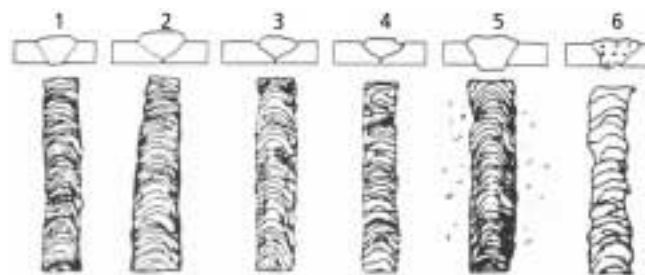


Fig.1) Intensidad, velocidad y arco normales: contorno uniforme y buena penetración.

Fig.2) Intensidad normal y velocidad lenta: sobreespesor elevado y baja penetración.

Fig.3) Intensidad baja y velocidad normal: contorno estrecho, aguas no uniformes y mordeduras.

Fig.4) Intensidad normal y velocidad alta: aguas no uniformes, mordeduras y baja penetración.

Fig.5) Intensidad alta y velocidad normal: aguas alargadas, salpicaduras, mordeduras y penetración excesiva.

Fig.6) Intensidad normal y arco largo: penetración desigual, porosidad e inclusiones.



C.2) Defectos y discontinuidades visibles:

El Inspector examinará y estudiará los defectos y discontinuidades visibles para evaluar sus características en función de los códigos o especificaciones aplicables al trabajo que inspeccionan.

-Mediante la inspección visual es posible, en ocasiones, detectar defectos internos. Cuando se produce **falta de fusión** suelen aparecer depresiones entre la superficie del cordón y el metal de base.

-La **falta de penetración** supone una depresión en la parte opuesta en donde se suelda, por lo que puede detectarse esta anomalía si es posible examinar la raíz.

-Las **mordeduras** tienen lugar cuando nos aparecen depresiones del material de base a lo largo de uno o ambos de los lados del cordón.

-Las **faltas de material** de aporte también son fáciles de descubrir y aparecen en los lugares donde el soldador no ha completado la unión.

-Las **escorias y óxidos** sólo pueden detectarse si se encuentran en la superficie. Su eliminación incrementa la resistencia a la corrosión de la soldadura.

-Las **grietas** pueden presentarse de varias formas:

Las grietas en caliente: se desarrollan a lo largo del eje central de la soldadura.

Las grietas en la zona afectada térmicamente se producen a lo largo del borde del cordón y suelen ser muy finas (se necesita el empleo de lupas).

Las grietas de cráter aparecen en los finales de los cordones y suelen tener forma de estrella.

-Los **cebados de arco** se originan cuando aquel se establece fuera de los bordes de la unión a soldar y pueden contener grietas diminutas.

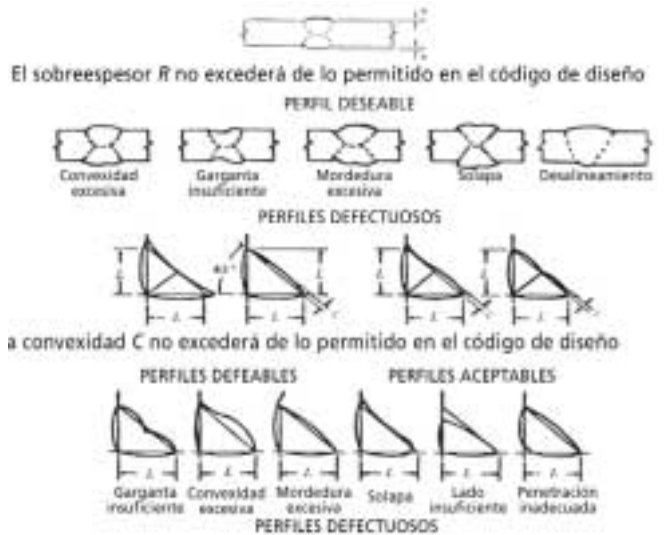
-Las **salpicaduras** son pequeñas gotas de metal despedidas del arco. Producen focos calientes sobre el metal de base pero como su tamaño es tan pequeño y no suelen originar grietas, sus efectos se consideran poco perjudiciales. Sin embargo deben eliminarse cuando el aspecto del cordón represente una exigencia.

Las grietas no se admiten en ningún, caso, otros defectos requieren reparación en función de su magnitud.

En la figura se clasifican los perfiles de soldadura a tope y en ángulo según su aspecto visual.

El sobreespesor R no excederá de lo permitido en el código de diseño en las uniones a tope.

La convexidad C no excederá de lo permitido en el código de diseño en las uniones en ángulo.





ANEXO 2: INSPECCIÓN POR LÍQUIDOS PENETRANTES

A) Fundamento del método

El examen por líquidos penetrantes es un ensayo no destructivo mediante el cual es posible detectar discontinuidades que afloran a la superficie de sólidos no porosos. Se utiliza un líquido que al aplicarlo sobre la pieza a examinar, penetra por capilaridad en las discontinuidades y una vez eliminado el exceso el líquido retenido en las discontinuidades exuda y puede ser observado en la superficie de la pieza.

B) Etapas básicas

El procedimiento deberá describir las siete etapas básicas siguientes:

- B.1) Limpieza inicial de la superficie.
- B.2) Aplicación del penetrante.
- B.3) Medida del tiempo de penetración.
- B.4) Eliminación del exceso de penetrante.
- B.5) Aplicación del revelador
- B.6) Examen.
- B.7) Limpieza final.

C) Técnicas de ensayo

Tanto la técnica de inspección como los tipos de líquidos penetrantes están divididos en dos categorías básicas:

C.1) Inspección con líquidos penetrantes fluorescentes: incorpora el uso de un líquido con pigmento fluorescente bajo luces negras o ultravioleta, que suele responder bien a la energía radiante cuya longitud de onda sea del orden de 3650 Å. Las principales fuentes de luz utilizadas son los tubos fluorescentes y las lámparas de arco de vapor de mercurio.

C.2) Inspección con penetrantes coloreados: se basa en el uso de disoluciones de pigmentos coloreados en disolventes idóneos. La ventaja de estos penetrantes es que no necesitan una fuente luminosa especial para su observación por lo que son muy utilizados en inspección a pie de obra.

D) Ensayo con penetrantes coloreados

Los penetrantes coloreados pueden aplicarse:

a) Los lavables con agua directamente: se utilizan menos sobre todo en inspecciones críticas, ya que el agua de lavado puede eliminar el penetrante de las discontinuidades.

b) Los lavables con agua después de aplicar un emulsificador.

c) Los que hay que eliminar con ciertos disolventes.

Los reveladores pueden ser polvo seco en suspensión acuosa o reveladores húmedos en suspensión no acuosa. Estos últimos son los más usados.

Las etapas que deben seguirse en una inspección por penetrantes coloreados son las descritas en el apartado número dos y que a continuación pasamos a describir.

D.1) Limpieza general de la superficie. Se pueden utilizar como agentes de limpieza: detergentes disolventes orgánicos y soluciones decapantes. Es importante conseguir que los defectos que afloran a la superficie y que pueden estar tapados por óxidos, cascarilla, escoria, grasa, aceite, pintura, etc queden libres de esta sustancia. Después de la limpieza y después de aplicar el penetrante la superficie deberá estar completamente seca y libre de los productos limpiadores empleados.

D.2) Aplicación del penetrante: el penetrante puede ser aplicado por pulverización, brocha o inmersión. El procedimiento más empleado es la pulverización por medio de spray.

D.3) Medida del tiempo de penetración: en general se tomará el tiempo de penetración recomendado por el fabricante. El tiempo de penetración, varía dependiendo de las condiciones materiales y de la temperatura.

D.4) Eliminación del exceso de penetrante: Si se ha usado un penetrante lavable con agua, el exceso podrá eliminarse con agua en forma de spray. Si se ha usado un penetrante postemulsionable se aplicará un emulsificador sobre el penetrante y después se eliminará el exceso como si se tratase de un penetrante lavable en agua.

Los métodos de eliminación de exceso de penetrante con disolvente varían. La mayor parte del exceso se elimina previamente con paños o papel absorbente, seguido de una limpieza con paños o papel humedecido de disolvente. Este proceso se repite hasta que no se manche de rojo el paño o papel.

D.5) Aplicación del revelador: Los reveladores en suspensión húmeda no acuosa son los más utilizados. Se aplican en forma de spray para depositar una capa delgada.

D.6) Examen: Después de seco el revelador, hay que esperar un cierto tiempo hasta que empiezan a aparecer las

manchas coloreadas del penetrante retenido en las discontinuidades. Las discontinuidades se manifiestan como una indicación roja y brillante sobre el fondo blanco de revelador.

D.7) Limpieza final: La pieza o área inspeccionada deberá limpiarse con disolvente, completándose así la inspección.

E) Indicaciones

Cualquiera que sea el tipo de penetrante utilizado, la indicación que origina es consecuencia de una discontinuidad que aflora a la superficie del objeto y señala su situación exacta. El contraste de color o fluorescencia sobre el revelador de fondo pone de manifiesto la cantidad de penetrantes extraída y retenida en la capa del revelador.

A la vista de una indicación se plantean de inmediato tres cuestiones:

- a) Qué tipo de discontinuidad ha dado origen a la indicación.
- b) Extensión o tamaño de la discontinuidad.
- c) Efecto sobre el comportamiento de la pieza.

De la respuesta a estas preguntas depende la aceptación o no de la pieza inspeccionada. Por la propia naturaleza del ensayo no se puede extraer de sus resultados una información rigurosamente cuantitativa acerca del tipo y tamaño de la discontinuidad.

5.1. Indicaciones reales más habituales.

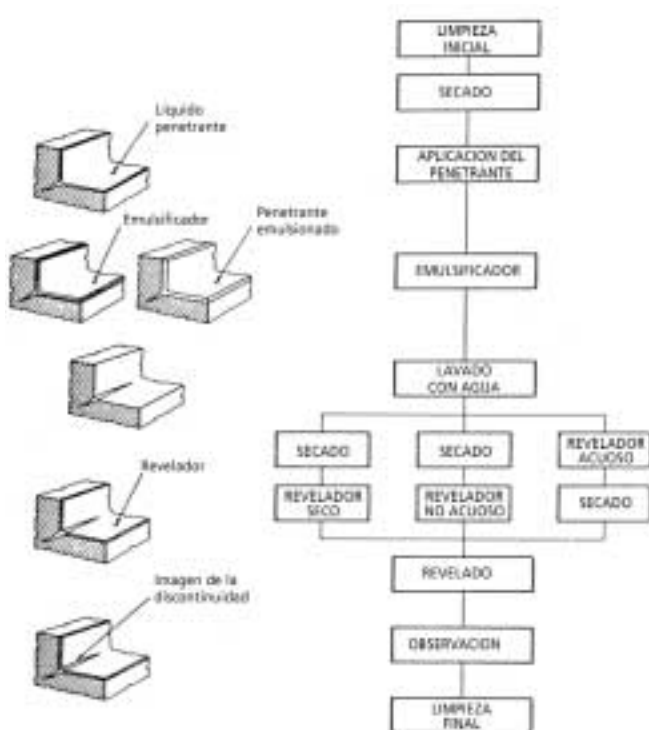
5.1.1. Líneas continuas: son las indicaciones típicas de fisuras y pliegues de forjas.

5.1.2. Lineales intermitentes: suelen estar originadas por pliegues de forja parcialmente soldados durante el proceso de conformación.

5.1.3. Puntiformes agrupadas o dispersas: son consecuencia de porosidad del material o zonas con microrrechupes o pequeñas cavidades de contracción.

5.1.4. Suelen aparecer en productos moldeados como consecuencia de sopladuras. También pueden dar origen a este tipo de indicaciones los cráteres profundos que se forman en los extremos de algunas sopladuras.

5.1.5. Difusas: originadas por la presencia de microporosidad o microrrechupes y pueden aparecer formando colonias de indicaciones puntiformes.

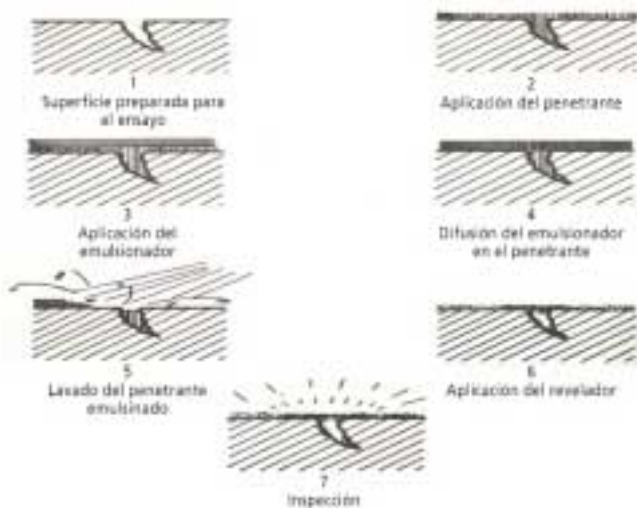




ANEXO 3: INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS.

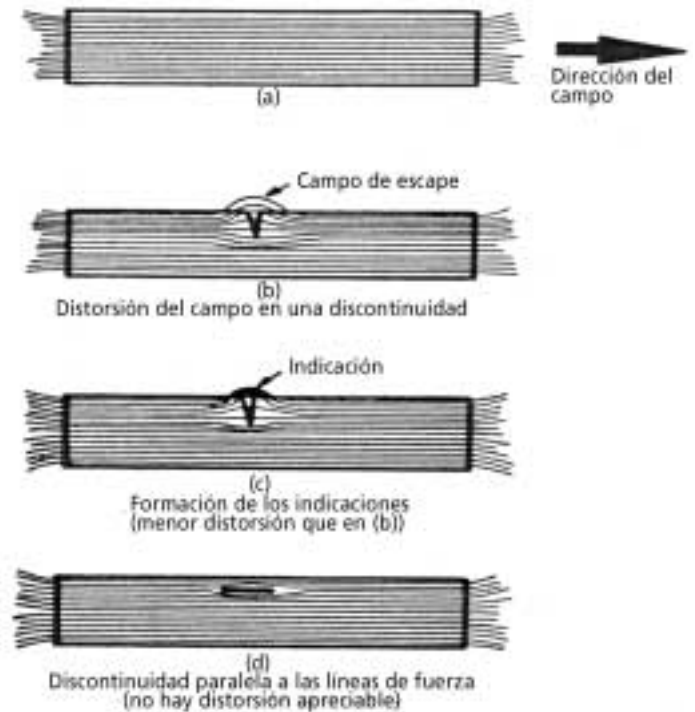
A) Introducción. Fundamento del método

El examen por partículas magnéticas es un ensayo no destructivo que en materiales ferromagnéticos permite detectar fisuras y otras discontinuidades tanto superficiales como subsuperficiales, siendo la sensibilidad máxima en las primeras, disminuyendo rápidamente a medida que aumenta su profundidad bajo la superficie.



El ensayo se funda en el siguiente fenómeno físico: Si una pieza de acero al carbono se le somete a la acción de un campo magnético cuyas líneas de fuerza están orientadas en el sentido longitudinal de la pieza y existe una discontinuidad en la superficie, cuyo plano como si se tratara de un obstáculo. Ello se traduce en una distorsión de las líneas de fuerza donde vemos como las más próximas a la superficie se ven obligadas a salir al exterior formando un campo de fuga. Si en esta situación, se extienden partículas ferromagnéticas sobre la superficie de la pieza, tendrán a acumularse en los campos de fuga para facilitar el paso de las líneas de fuerza colaborando a establecer el equilibrio del sistema y disminuyendo de esta forma la energía, que teníamos elevada por esta distorsión.

Si el plano de la discontinuidad es paralelo a las líneas de fuerza, o no hay distorsión del campo o es inapreciable. En consecuencia, para conseguir una fiabilidad total del método es necesario ensayar dos veces cada área inspeccionada con las líneas de flujo perpendiculares entre sí.



Las partículas actúan como detectoras del campo de fuga, cuya imagen aparece en la superficie de la pieza y que se corresponde exactamente con la trayectoria superficial de la discontinuidad.

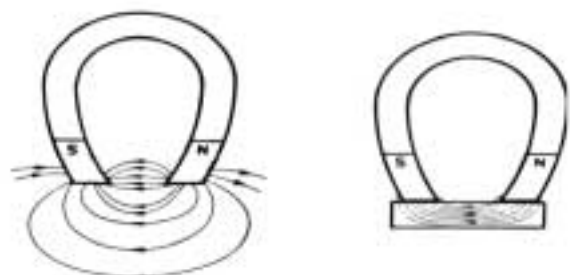
B) Aplicación del método

- El método a aplicar a las uniones soldadas consistirá en:
- B.1) Magnetizar la zona a inspeccionar.
 - B.2) Aplicar las partículas magnéticas.
 - B.3) Observar las indicaciones.

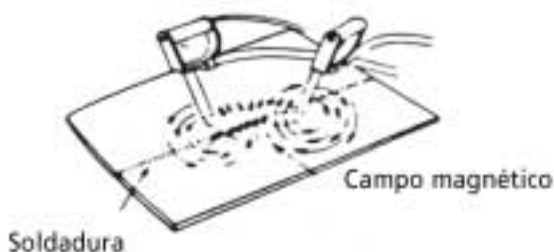
B.1) Esta primera etapa tiene por objeto sumergir la pieza en el seno de un campo magnético de intensidad y dirección conocidas.

Para producir campos magnéticos se dispone de dos sistemas de magnetización.

- B.1.1) Imanes.



B.1.2)- Corriente eléctrica.



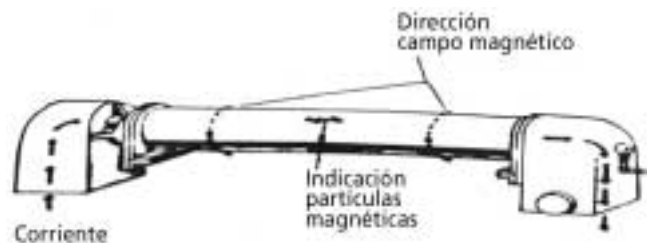
B.1.1) El primero, en la actualidad es escaso, ya que la intensidad de campo que producen suelen disminuir con el tiempo.

B.1.2) Magnetización por corriente eléctrica.

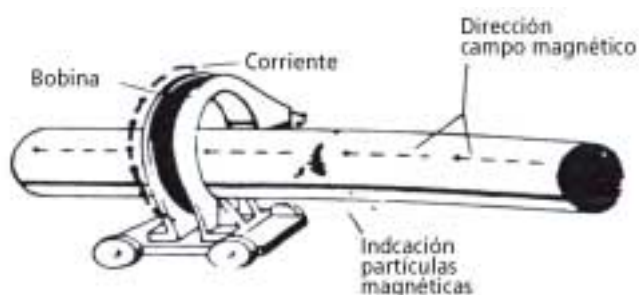
Es el procedimiento idóneo para magnetizar piezas.

- Para piezas pequeñas se suele emplear:

- Magnetización circular (Por paso de corriente a través de la pieza.)



- Magnetización longitudinal: introduciendo la pieza en el núcleo de una bobina por la que circula corriente.



Para piezas grandes, y en general, para la inspección de cordones de soldadura se emplea el método de magnetización por electrodos portátiles.

Este último método se utiliza para magnetizar pequeñas áreas de grandes piezas, haciendo pasar una corriente a través de electrodos portátiles. Se produce un campo circular localizado y distorsionado en el área situada entre los puntos de contacto. Los electrodos se apoyan en la superficie

a inspeccionar y se mantienen firmemente en posición durante el paso de la corriente. Se utilizan circuitos con una diferencia de potencial baja.

Para magnetizar las piezas o zonas a inspeccionar puede utilizarse corriente alterna, continua y alterna rectificada.

La corriente alterna sólo se usa para detectar discontinuidades superficiales. La corriente monofásica rectificada proporciona la máxima sensibilidad y se utiliza para la localización de discontinuidades subsuperficiales.

B.2) Aplicación de las partículas magnéticas.

La etapa siguiente consiste en aplicar las partículas magnéticas sobre la superficie a examinar que nos permita detectar los campos de fuga originados por las discontinuidades.

Existen dos métodos de aplicación: por vía seca y por vía húmeda.

-Por vía seca:

Las partículas ferromagnéticas, de tamaño y forma adecuadas, en forma de polvo seco se distribuyen sobre la superficie magnetizada proyectadas por medios de perilla de goma, atomizador o spray. En la práctica se obtienen buenos resultados soplando el exceso de partículas situadas alrededor de la indicación y manteniendo siempre la superficie razonablemente libre de aceite, humedad y polvo.

-Por vía húmeda:

Las partículas utilizadas en este método son más pequeñas que las secas y se encuentran suspendidas en un disolvente derivado del petróleo o en un medio acuoso. En general son de color rojizo o negro y se observan bajo la luz normal. Si las partículas van revestidas de un medio fluorescente que las hace brillar bajo una luz negra, se incrementa la sensibilidad del método, permitiendo detectar pequeñas y finas discontinuidades.

B.3) Observación y registro de las indicaciones.

La tercera fase del método consiste en registrar las discontinuidades observadas, localizándolas sobre un croquis de la pieza.

Las discontinuidades y defectos son perceptibles por retención de las partículas. Se recomienda el uso de partículas por vía seca o vía húmeda, usando laca de contraste blanco si se utilizan partículas negras y la superficie de la



pieza es oscura, y la técnica de magnetización circular por electrodos con corriente continua.

B.3.1) Interpretación de los defectos.

La forma, la nitidez el ancho y la altura con que las partículas están depositadas son las principales características por la que puede ser identificadas y distinguidas unas discontinuidades de otras.

-Grietas superficiales: El polvo está muy definido y retenido, presentando un grosor apreciable. La profundidad de la grieta está relacionada con el mayor o menor grosor de la indicación...

-Discontinuidades subsuperficiales: El polvo tiene apariencia de pelusa, menos definición en los bordes y menos adherencia...

-Grietas en cráter: Son pequeñas y se producen al final del cordón. Pueden ser una simple línea en cualquier dirección o líneas múltiples en forma de estrella.

-Falta de fusión: Acumulación de polvo que puede observarse en el borde de la soldadura, de forma mas generalmente pronunciada. Según la cantidad acumulada se encontrará más o menos cerca de la superficie.

-Falta de penetración: La indicación se parece a la producida por una discontinuidad superficial.

-Porosidad superficial: El polvo no suele estar bien definido en este caso, no apreciándose con claridad esta indicación.

-Inclusión de escoria: Similar al caso anterior.

-Evaluación final: La inspección detectará la presencia de discontinuidades en la soldadura. Esta puede ser calificada de aceptable, reparable o rechazable de acuerdo con los códigos o especificaciones de aplicación.



ANEXO 4: INSPECCIÓN POR ULTRASONIDOS

A) Introducción. Fundamento del método

El examen por ultrasonidos es un ensayo no destructivo que utiliza la propagación del sonido, tanto en sólidos como en líquidos, para realizar un control de cualquier material susceptible de ser atravesado por aquéllos. Presenta características perfectamente comparables con las de cualquier onda mecánica.

B) Onda longitudinal y transversal

B.1) La onda longitudinal:

Se denomina así, debido a que la dirección de las oscilaciones se realiza longitudinalmente, es decir en la dirección de la propagación. Este tipo de ondas se propaga tanto en sólidos, líquidos y gases.

Como puede observarse, se producen compresiones a intervalos de tiempo constantes.

Se definen las tres magnitudes siguientes:

- **La longitud de Onda:** como la distancia entre dos puntos que ejercen una misma presión.

- **La frecuencia:** se define como el número de oscilaciones que realiza cada partícula en la unidad de tiempo. Se mide en ciclos por segundo (c.p.s.)

- **La velocidad de propagación:** nos indica la velocidad con que se efectúa la propagación de la presión a lo largo del medio y se mide en m/s. Es función del medio de transmisión elegido y, por tanto es una constante del material.

- Las tres magnitudes anteriores están relacionadas mediante la expresión: $f = c/\lambda$

B.2) La onda transversal:

Se denomina así, debido a que en este caso las partículas no oscilan en la dirección de la propagación sino en ángulo recto con respecto a ésta, es decir, transversalmente. Las partículas se mueven sinusoidalmente arriba y abajo, por medio de fuerzas de corte. Este tipo de ondas sólo se propagan en sólidos, no propagándose en los líquidos y gases.

La frecuencia de la onda y su velocidad están definidas de igual forma que para las ondas longitudinales. La longitud de onda viene determinada por la distancia existen-

te entre dos planos que tengan sus partículas en un mismo estado de presión.

Corrientemente, las ondas sufren perturbaciones en cuerpos finitos debidas a reflexiones y refracciones en las superficies límites. Es decir, las ondas longitudinales pueden transformarse en ondas transversales y viceversa.

C) Propagación de ondas

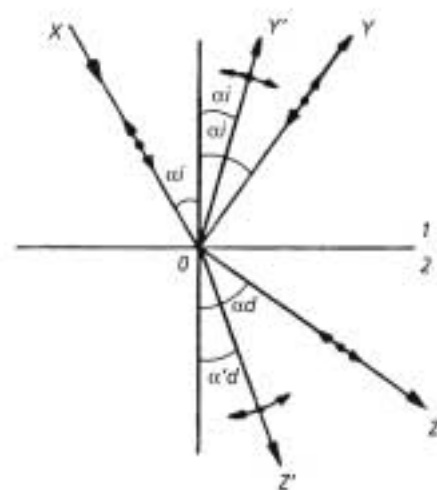
Cuando una onda sonora incide bajo un determinado ángulo respecto a la normal en una superficie que limita dos medios, parte del haz es reflejado y parte es transmitido al segundo medio, produciéndose un fenómeno de refracción que consiste en que el haz transmitido experimenta un cambio en la dirección de propagación respecto a la dirección de incidencia.

Si un haz de ultrasonidos incide sobre la superficie de separación de dos medios se produce, al igual que en óptica, una reflexión y una refracción, pero en este caso, además, ocurre un fenómeno denominado cambio de modos, que consiste en que un tipo de onda puede convertirse en otra.

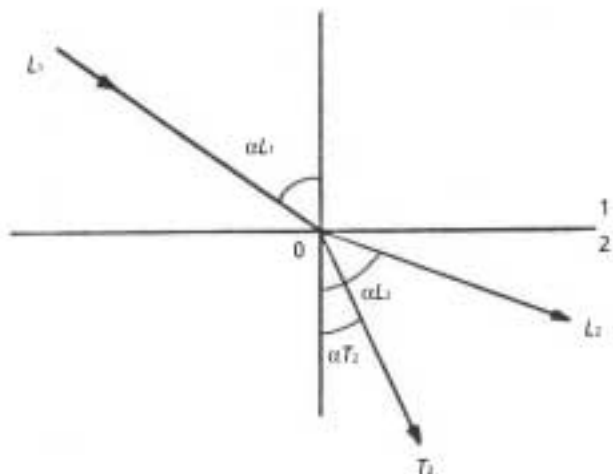
La figura muestra como el rayo longitudinal XO, que incide sobre el plano límite de separación de los medios 1 y 2, se refleja y se refracta dando lugar a los rayos OY y OZ longitudinales y a los OY' y OZ' transversales.

La relación entre ángulos incidentes, reflejados y refractados pueden expresarse por la Ley de Snell como sigue:

$$\text{sen}\alpha_i/C_1 = \text{sen}\alpha'_i/C_1 = \text{sen}\alpha_d/C_2 = \text{sen}\alpha'_d/C_2$$



En el examen de soldaduras, se procura que en el medio a examinar sólo se propague un tipo de ondas. Varian-



do el ángulo de incidencia se puede lograr que en el medio 2 la refracción de la onda longitudinal se produzca ya en la superficie límite, con lo cual únicamente tendremos una onda transversal en este medio.

Desde el punto de vista práctico, el mayor ángulo utilizado para las ondas transversales refractadas es el de 80°.

D) Generación de ondas: Palpadores

Al elemento emisor de la onda ultrasónica se le llama corrientemente palpador, de los que existen diferentes tipos con distintos diámetros y frecuencias, adaptándose el palpador al control específico que se va a efectuar.

En los palpadores existen abreviaturas estándares que nos definen sus características. La primera letra nos indica el tipo de cristal utilizado:

B = Titanato de Bario.

Q = Cuarzo.

K = Cristales especiales (sulfato de litio o metaborato de plomo).

A continuación aparece un número que indica la frecuencia del cristal del palpador, generalmente comprendida entre 0,5 y 25 MHz.

Como principales características del palpador podemos citar:

- **La sensibilidad:** que se podría comparar con el rendimiento del mismo, es decir, cuanta más energía eléctrica convierta en energía sonora, mayor será su sensibilidad.

- **El poder resolutivo:** que se puede definir como la capacidad del palpador para separar ecos de fondo de dos espesores que estén a continuación del otro.

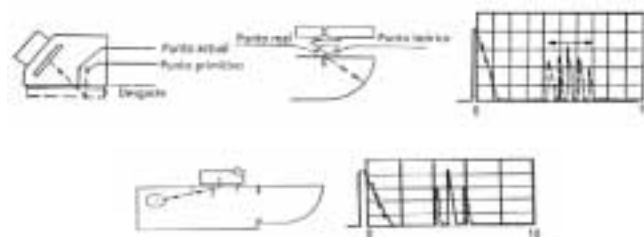
D.1) Palpadores angulares:

La inspección de uniones soldadas suele efectuarse, en la mayoría de los casos, mediante palpadores angulares, da-

do que usualmente no suele eliminarse el sobreespesor de los cordones de soldadura y muchos defectos inherentes a las soldaduras son de orientación inclinada por lo que debemos desistir del empleo de palpadores de ondas longitudinales pues en la mayoría de los casos es imposible lograr un buen acoplamiento sobre la superficie del cordón y las ondas longitudinales emitidas por éstos no constituyen buenos reflectores para detectar estos defectos inherentes.



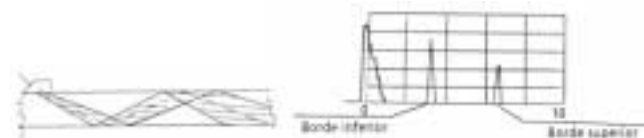
Antes de proceder a realizar una inspección se debe determinar tanto el punto de salida como el ángulo de salida del haz, sirviéndonos de la ayuda de la pieza patrón llamada V1.



E) Respuesta de una chapa a las ondas transversales

E.1) Propagación:

Cuando un palpador angular acoplado a un equipo de ultrasonidos se apoya sobre la superficie de una chapa, el haz de ondas longitudinales emitido por el cristal del palpador se refracta al atravesar la superficie límite convirtiéndose en un haz de ondas transversales. Este haz se propaga en zig-zag a través de la chapa, y si su camino, no encuentra ningún reflector de orientación favorable, continuará su propagación a través de la chapa y en la pantalla no habrá ninguna indicación.



E.2) Reflexión en el borde:

Cuando el haz de ondas transversales incide en el borde de la chapa, en este caso aparece eco en la pantalla. El eco de máxima altura corresponderá a la reflexión de la parte central del haz en el borde inferior de la chapa. A conti-

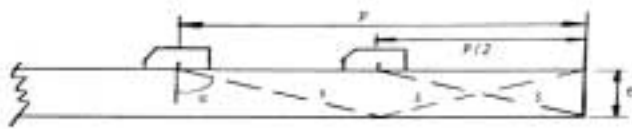


nuación, los sucesivos ecos debidos a reflexiones en los bordes serán de menor amplitud.



E.3) Barrido de la sección transversal. Salto y medio salto.

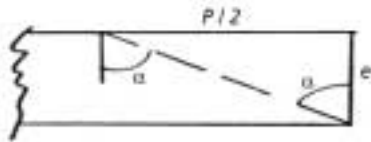
La reflexión en la esquina inferior del borde de la chapa se produce a una distancia $p/2$, entre el punto de salida del haz del palpador y el borde de la chapa y la reflexión en la esquina superior se produce a una distancia p .



A la distancia p se le denomina salto y a $p/2$ medio salto.

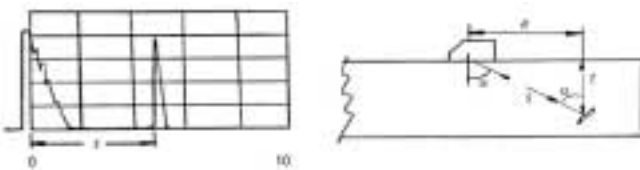
Conociendo el ángulo de incidencia del palpador α y el espesor de la chapa e , se puede calcular las distancias p y $p/2$.

$$p = 2 e \operatorname{tg} \alpha \quad \text{y} \quad p/2 = e \operatorname{tg} \alpha$$



E.4) Determinación de la situación de un defecto:

Cuando se inspecciona una chapa con un palpador angular y se detecta un defecto se produce un eco en la pantalla si su orientación es favorable al haz.



Si consideramos que el defecto dentro de la chapa es el indicado en la figura, tenemos que:

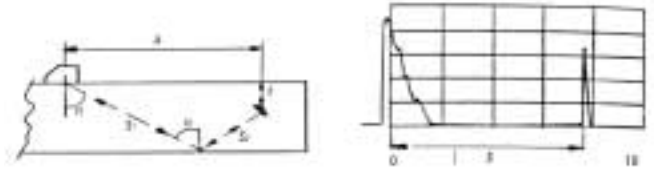
“Distancia a la cual se encuentra el defecto medida sobre la superficie de la chapa”

$$a = s \operatorname{sen} \alpha$$

“Profundidad a la cual se encuentra el defecto medida sobre la superficie de la chapa”

$$t = s \operatorname{cos} \alpha$$

Si consideramos que el defecto se localiza después de una reflexión del haz, en la superficie inferior de la chapa.



“Distancia a la cual se encuentra el defecto medida sobre la superficie de la chapa”

$$a = (s_1 + s_2) \operatorname{sen} \alpha$$

$$s = s_1 + s_2$$

$$a = s \operatorname{sen} \alpha$$

F) Información previa a la inspección

El técnico en soldadura, antes de comenzar el examen por ultrasonidos de un cordón, debe informarse acerca de los siguientes puntos:

F.1) Clase de material a examinar: Le puede ayudar a saber si en las zonas adyacentes al cordón va a encontrar estructuras de grano fino o grueso, que determinará la frecuencia a emplear.

F.2) Espesor de la chapa: Le va a servir para elegir el ángulo a emplear y para conocer las distancias del salto y medio salto entre las cuales se va a desplazar el palpador durante la ejecución del examen.

F.3) Diseño de junta.

F.4) Procedimiento de soldadura utilizado.

F.5) Si la soldadura ha sufrido, o no, algún tratamiento térmico.

F.6) Existencia de anillos de respaldo en el cordón de raíz.



ANEXO 5: INSPECCIÓN RADIOGRÁFICA

A) Introducción. Fundamento del método

La finalidad de este ensayo es conseguir una imagen nítida y estable de los defectos que puedan existir en las uniones soldadas. Con la radiografía obtenemos una imagen fotográfica producida al incidir los rayos X o γ sobre una placa sensible después de haber atravesado una unión soldada.

Los rayos X y γ son radiaciones electromagnéticas de longitudes de onda inferiores a la de la luz y, por tanto, de mayor energía. Los rayos X se producen cuando un haz de electrones animados de gran velocidad chocan contra un metal, mientras que los rayos γ son emitidos por el núcleo de átomos radiactivos.

Los rayos X ofrecen una imagen con mejor contraste que los rayos γ .

La fuente de rayos X requiere un suministro externo de energía eléctrica, por lo que su utilización es más frecuente en instalaciones fijas de taller, mientras que la fuente de rayos γ , en este sentido, goza de una mayor autonomía, siendo idónea para su empleo en obra, por resultar más manejable y versátil. El inconveniente lo encontramos en esta última, en lo referente a la seguridad, ya que el uso de isótopos radiactivos requiere un control por parte de la Junta de Energía Nuclear.

La imagen obtenida se observa en un negatoscopio por transparencia.

Para evaluar la calidad de una radiografía se recurre a los llamados indicadores de calidad de imagen o penetrámetros. Existe una gran variedad, siendo los utilizados con más frecuencia los siguientes:

- escalones
- agujeros.
- hilos.

Los defectos más importantes y peligrosos que podemos encontrar con la inspección radiográfica son:

- *Falta de penetración:*

Este defecto provoca una notable reducción en la resistencia a fatiga de la unión soldada, a la vez que resulta el lugar idóneo para que se inicien procesos de corrosión localizados.

Radiológicamente, aparece como una estrecha banda más oscura por la pérdida de espesor que supone.

- *Falta de Fusión:*

Este defecto provoca una discontinuidad en forma de entalla aguda que se comporta como iniciadora de fisuras en la mayoría de los casos de rotura, provocando una notable reducción en la resistencia a la fatiga.

Si la falta de fusión se produce en el depósito de un cordón, aparece radiográficamente como una línea lateral continua. Si por el contrario, la falta de fusión se produce en el cordón de raíz, da lugar en medios agresivos a una corrosión localizada.

- *Inclusiones sólidas:*

La importancia de este defecto depende del tamaño de la inclusión y la distancia que medie entre inclusiones. Las inclusiones son fácilmente detectables por radiografías, apareciendo como manchas oscuras a lo largo del cordón de soldadura.

B) Técnicas radiográficas

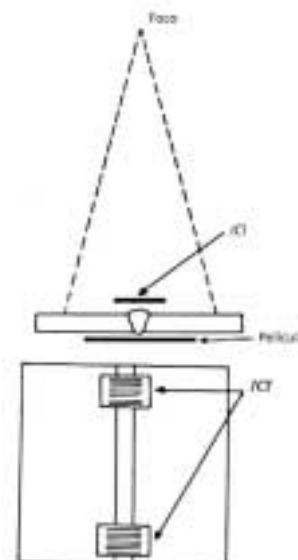
La técnica para realizar la radiografía de una soldadura depende fundamentalmente de su geometría.

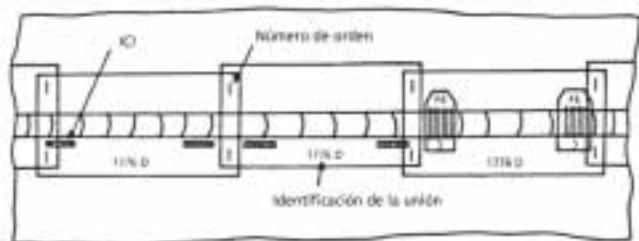
Desde el punto de vista radiográfico, las soldaduras se pueden clasificar como:

- B.1) -planas a tope.
- B.2) -circulares a tope.
- B.3) -en ángulo.

B.1) Soldaduras planas a tope:

Tenemos como ejemplo una soldadura de bisel con preparación en V. Colocaremos la película en la zona de la raíz y la fuente en la cara.

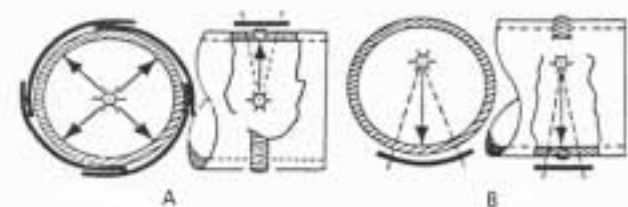




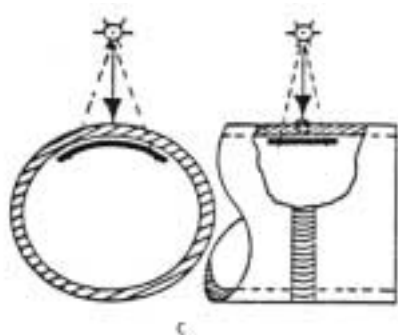
B.2) Soldaduras circulares a tope:

Para realizar las radiografías de estas soldaduras existen tres alternativas:

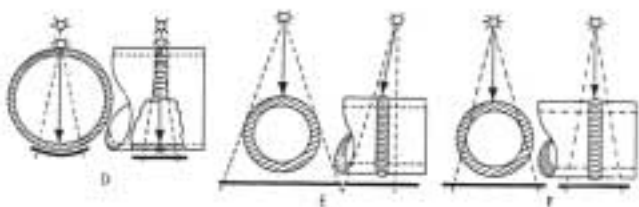
B.2.1) - Fuente interior y película exterior (Figuras A y B).



B.2.2) – Fuente exterior y película interior (Figura C).

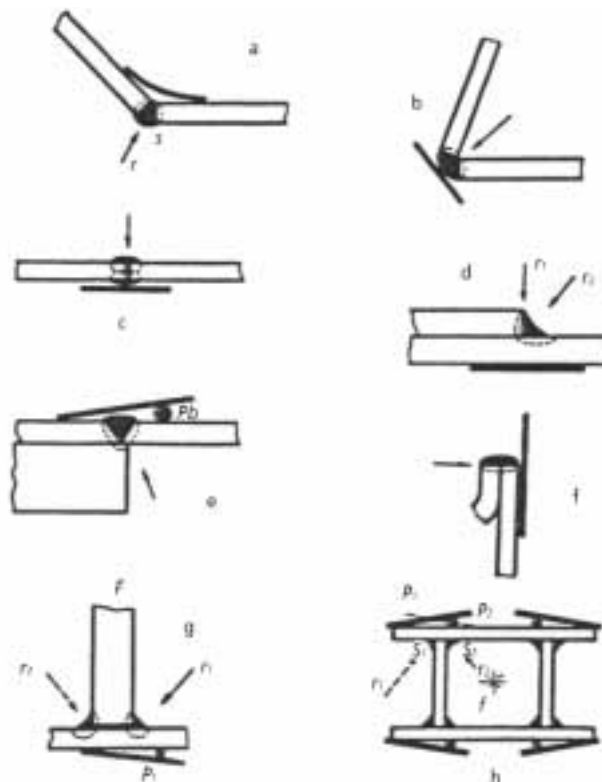


B.2.3) – Fuente exterior y película exterior (Figuras D, E y F).



B.3) Soldaduras en ángulo:

En general estas soldaduras son difícilmente radiografiables, siendo necesario estudiar cada caso en particular. En las figuras que se indican algunas disposiciones para radiografiar los tipos de soldadura que se indican.



C) Interpretación y calificación de radiografías

Se denomina interpretar una radiografía a identificar la naturaleza de los defectos cuyas indicaciones aparecen en la imagen radiográfica.

Para facilitar esta identificación, existen unas radiografías patrones con las imágenes de defectos ordenadas en orden creciente de severidad y con las cuales pueden compararse las radiografías que deseamos interpretar.

Las soldaduras se califican bajo cinco grados de severidad:

Grado 1 (negro):	Soldadura perfecta.
Grado 2 (azul):	Soldadura buena.
Grado 3 (verde):	Soldadura regular.
Grado 4 (marrón):	Soldadura mala.
Grado 5 (rojo):	Soldadura pésima.



11. Normas y relación de publicaciones consultadas

Para realizar esta guía hemos consultado las siguientes publicaciones:

-Norma UNE EN 10021-1994: Aceros y productos siderúrgicos.

-Norma UNE EN 10025-2006/2007: Productos laminados en caliente, de acero no aleado, para construcciones metálicas de uso general.

-Norma UNE EN 729-2: Requisitos de calidad para el soldeo. Soldero por fusión de materiales metálicos.

-American Welding Society: Welding Handbook.

-EVRARD, M.M.: La calidad en la soldadura. Jornadas Técnicas de Soldadura ADESOL.

-INTA: Introducción a los métodos de ensayos no destructivos.

-MANUEL REINA GOMEZ: Soldadura de los Aceros. Aplicaciones.

- AENOR: Soldadura requisitos de calidad 2002.

-COSIMET: Aceros Productos y Derivados.