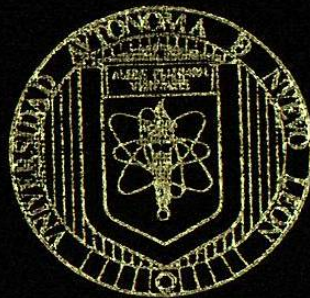


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA  
Y ELECTRICA.

DIVISION DE ESTUDIOS SUPERIORES



INSPECCION RADIOGRAFICA DE  
SOLDADURAS

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO  
EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA MECANICA  
CON ESPECIALIDAD EN METALURGIA

PRESENTA

ING. HERIBERTO RUIZ CABALLERO

CD. UNIVERSITARIA

OCTUBRE DE 1993

TM

Z5853

.M2

FIME

1993

R8

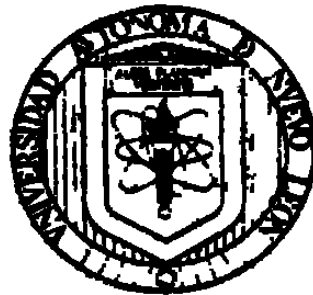


1020070662

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON**

**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA  
Y ELECTRICA**

**DIVISION DE ESTUDIOS SUPERIORES**



**INSPECCION RADIOGRAFICA DE  
SOLDADURAS**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO  
EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA MECANICA  
CON ESPECIALIDAD EN METALURGIA**

**PRESENTA**

**ING. HERIBERTO RUIZ CABALLERO**

**CD. UNIVERSITARIA**

**OCTUBRE DE 1993**

TM  
Z

T  
1992  
18



**FONDO TESIS**

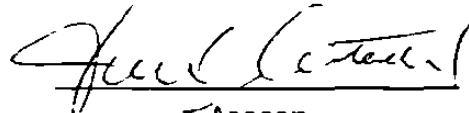
24697

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA  
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

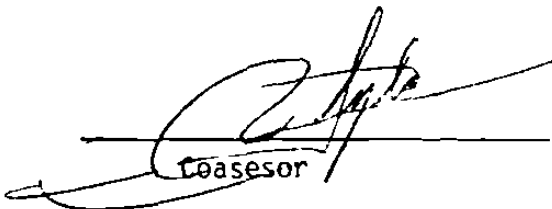
Los miembros del Comité de Tesis recomendamos que la presente tesis realizada por el Ing. HERIBERTO RUIZ CABALLERO sea aceptada como opción para obtener el grado de MAESTRO EN CIENCIAS DE INGENIERIA MECANICA - con especialidad en METALURGIA.

EL COMITE DE TESIS

M.C. JOSE ESTRADA RODRIGUEZ

  
Asesor

M.C. RODOLFO AYALA ESTRADA

  
Coasesor

M.C. NOE HINOJOSA TREVIÑO

  
Coasesor

Dedico esta Tesis

A DIOS

Por haberme dado la oportunidad de estudiar y la fortuna de terminar esta Maestría.

A MIS PADRES

Sra. Trinidad Caballero de Ruiz (Q.E.P.D.)

Sr. Antonio Ruiz Estrada (Q.E.P.D.)

Como un homenaje a sus memorias, que Dios los guarde.

A MI ESPOSA

Rosalinda Martínez de Ruiz

Dicen que con amor se logran los más altos ideales, tu lo has demostrado

A MIS ASESORES

M.C. José Estrada Rodríguez

M.C. Rodolfo Ayala Estrada

M.C. Noé Hinojosa Treviño

Por su valiosa y desinteresada colaboración

A MIS HIJAS

Nancy

Rosalinda

Linda Azucena

Por ser junto a su madre la razón de mi existencia y superación

A MI HERMANA CONCHITA

Que siempre estuvo pendiente de que no me faltara nada durante mi carrera

A MI COMPADRE

Ing. José Estrada Rodríguez

Por su apoyo en el desarrollo de esta Maestría.

## P R O L O G O

Diariamente se invierten sumas considerables en ejecutar soldaduras que apenas terminadas resultan inadecuadas para su empleo, debido a los defectos que presentan.

Estos rechazos contribuyen en gran manera a mantener en un nivel superior el precio medio de los procesos de soldadura.

Los soldadores que saben, pues la experiencia se los ha demostrado, que los defectos representan un cierto porcentaje del número de piezas soldadas, tienen en cuenta este hecho a la hora de determinar los precios del costo, de los cuales se derivan los de la venta.

Todo aumento del número de rechazos no puede traducirse para el soldador más que por una disminución a veces catastrófica, del beneficio de explotación. Por el contrario la reducción de rechazos es una de las causas más importantes del aumento del beneficio.

Toda soldadura rechazada debe rehacerse, y en ocasiones varias veces. Ello exige entre otras cosas: Mano de obra, material, horas extras de trabajo e inspección.



## S I N T E S I S

Esta tesis está dedicada al estudio de los procedimientos de soldadura y causas que puedan dar lugar a la formación de defectos, que puedan ocasionar fallas en el material, y presenta una amplia cobertura sobre el equipo radiográfico así como un panorama sobre la calificación del procedimiento de soldadura y pruebas mecánicas, con el objeto de obtener un registro que nos muestra los defectos en soldaduras con el fin de corregirlos.

## I N T R O D U C C I O N

El objetivo de esta tesis es poner a disposición del lector una enseñanza sobre los procedimientos a seguir en la técnica de la soldadura, así como métodos de interpretación de defectos mediante pruebas radiográficas.

La razón fundamental para utilizar la prueba radiográfica, es la de garantizar la máxima confiabilidad de soldaduras o artefactos para uso espacial o terrestre, para lograr tal confiabilidad se han establecido - - normas, las cuales deben cumplir los resultados de la prueba.

El propósito de esta tesis es brindar un apoyo a los estudiantes de la carrera de Ingeniero Mecánico Metalúrgico.

## INSPECCION RADIOGRAFICA DE SOLDADURAS

### I N D I C E.-

A.- SOLDADURA	
I.- Terminología .....	1
II.- Principales procedimientos .....	34
1.- Arco eléctrico .....	34
2.- Autógena .....	36
3.- Técnicas para depositar soldadura .....	36
a. En tanques de almacenamiento .....	36
b. En tuberías .....	39
III.- Preparación de las uniones .....	42
1.- Ranuras .....	43
2.- Separación y alineación .....	44
3.- Limpieza .....	45
4.- Influencia del medio ambiente .....	46
IV.- Defectos de soldadura .....	47
Su origen, influencia en la soldadura y su corrección....	47
1.- Defectos dimensionales .....	48
2.- Discontinuidades estructurales en la soldadura .....	52
a. Porosidad .....	52
b. Inclusiones no metálicas .....	53
c. Fusión incompleta .....	56
d. Penetración incompleta .....	56
e. Roturas .....	57
f. Defectos superficiales .....	63
3.- Defectos en las propiedades del metal de la soldadura o de la unión soldada.....	66
B.- INSPECCION RADIOGRAFICA	
I.- Finalidad .....	67

II.- Terminología .....	68
III.- Fuentes de radiación .....	71
IV.- Sistemas de rayos X .....	72
1.- Equipo .....	73
2.- De rendimiento .....	86
3.- De seguridad .....	87
V.- Calificación de las radiografías .....	89
1.- Registro .....	90
2.- Sensibilidad .....	90
3.- Contraste .....	92
4.- Definición .....	93
5.- Identificación y localización .....	97
6.- Defectos por mal procesado .....	98
VI.- Interpretación de radiografías .....	104
1.- Normas de aceptabilidad .....	104
2.- Prácticas de interpretación .....	106
3.- Reportes .....	107
C.- PRUEBAS FISICAS Y ANALISIS QUIMICOS	
I.- Finalidad .....	108
1.- Calificación del procedimiento de soldadura .....	108
2.- Calificación de soldadores .....	115
3.- Calificación de Materiales .....	116
4.- Control de calidad durante la instalación de líneas de tubería .....	117
D.- ALINEADO Y SOLDADO DE TUBOS	
E.- PRUEBAS MECANICAS	
1.- Prueba de rotura por tensión "RT" .....	137
2.- Prueba de ranura y rotura "RR" .....	138
3.- Prueba de doblado de raíz "DR" .....	139
4.- Prueba de doblado lateral "DL" .....	140

F.- PRODUCCION DE SOLDADURAS

1.- Prueba radiográfica .....	158
2.- Standares de aceptabilidad por pruebas no destructivas ...	159
3.- Distribución máxima permitida de cavidades de gas .....	169
4.- Tira típica comparativa .....	167
5.- Procedimiento radiográfico .....	180
6.- Longitud máxima aceptada de película .....	170
7.- Penetrámetros .....	172
8.- Soldado automático .....	176
9.- Reparación de soldaduras .....	181

BIBLIOGRAFIA

A.- SOLDADURA:

I.- TERMINOLOGIA:

La terminología, como aquí se define, ha sido estandarizada y su empleo - adoptado por numerosas sociedades, que han fijado los lineamientos en sus normas y códigos, para la construcción de diversas instalaciones en las - que se emplean procesos de soldadura.

Esta estandarización ha permitido que los ingenieros puedan transmitir sus instrucciones al taller y al campo, con la seguridad de que serán clara- - mente entendidas.

La terminología estandar ha sido formulada y definida por la Sociedad Ame- ricana de Soldadura (A.W.S.) en su norma AWS A3.0, Definiciones en Solda- - dura y Corte, la cual podrá ser consultada para entender los términos co- - mumente usados en soldadura y su significado.

A continuación aparece la traducción de los que hemos considerado como más importantes:

- A -

ABERTURA DE LA RAIZ (Root Opening): - La separación entre los miembros que van a unirse, en la raíz de la unión. (Ver fig. (a)).

ACHAFLANADO (Chamfering): La preparación de un contorno, que no sea para - una soldadura de ranura cuadrada, sobre la orilla de un miembro a soldar.

ANGULO DE LA RANURA (Groove Angle):- El ángulo total de la ranura entre -- las partes a unirse por una soldadura de ranura. Ver Fig. (a).

ANGULO DEL BISEL (Bevel Angle):- El ángulo formado entre el canto prepara- do de un miembro y un plano perpendicular a la superficie del miembro. (Ver Fig. (a)).

ANILLO DE RESPALDO (Backing Ring):- Respaldo en forma de anillo, generalmente usado al soldar tuberías y recipientes.

AREA DEL METAL DE SOLDADURA (Weld Metal-Area):- El área del metal de soldadura como está medida sobre la sección transversal de la soldadura. Ver Fig. (v).

- B -

BISEL (Bevel):- Un tipo de preparación de los cantos de las partes por unir.

BOLSA DE GAS (Gas Pocket):- Una cavidad en la soldadura causada por gases atrapados.

BORDE DE LA RAIZ (Root Edge):- Cara de la raíz de ancho igual a cero. Ver Fig. (b).

- C -

CALIBRADOR DE SOLDADURA (Weld Gage):- Un dispositivo diseñado para verificar la forma y tamaño de soldaduras.

CALIFICACION DEL PROCEDIMIENTO (Procedure Qualification):- La demostración de que las soldaduras hechas con un procedimiento específico pueden cumplir con las normas prescritas.

CALIFICACION DEL SOLDADOR (Welder Qualification):- La demostración de la habilidad del soldador para producir soldaduras que cumplen con las normas prescritas.

CAPA (Layer):- Un estrato de metal soldado consistente de uno o más cordones de soldadura.

CARA DE LA RAIZ (Root Face):- Es la parte de la cara de la ranura adyacente a la raíz de la unión. Ver Fig. (b).

**CARA DE LA RANURA (Groove Face):**- La superficie de un miembro comprendida dentro de la ranura. Ver fig. (b)

**CARA DE LA SOLDADURA (Face of Weld):**- La superficie expuesta de una soldadura, producida por un proceso de soldadura de arco o gas, del lado del cual se hizo la soldadura. Ver Fig. (c).

**CERTIFICACION DEL SOLDADOR (Welder Certification):**- Certificación por escrito de que un soldador ha producido soldaduras que cumplan con las normas prescritas.

**CHAFLAN (Chamfer o Edge Preparation):**- El contorno preparado sobre la orilla de un miembro a soldar.

**CONCAVIDAD (Concavity):**- La máxima distancia de la cara de una soldadura de filete cóncava, perpendicular a la línea que une las orillas de la soldadura. (Ver Fig. (d)).

**CONEXION A TIERRA (Ground Lead o Work Lead):**- El conductor eléctrico entre la fuente de corriente del arco de soldadura y el trabajo.

**CONVEXIDAD (Convexity):**- La máxima distancia de la cara de una soldadura de filete convexa, perpendicular a una línea que une las orillas de la soldadura. Ver Fig. (e).

**CORDON DE SOLDADURA (Weld Bead):**- El depósito de soldadura que resulta de un paso.

**CORDON OSCILADO (Weave Bead):**- Un tipo de cordón de soldadura efectuado con oscilación transversal.

**CORRIENTE DE SOLDADURA (Welding Current):**- La corriente que fluye por el circuito para soldar durante la ejecución de una soldadura.



**CORTE DE ARCO DE CARBON (Carbon-Arc Cutting):-** Un proceso de corte por arco donde el corte de metales se lleva a cabo por medio de la fusión que produce el calor que genera un arco entre un electrodo de carbón y el metal base.

**CORTE CON ARCO DE CARBON Y AIRE (Air Carbon-Arc Cutting):-** Un proceso de corte por arco en el cual la separación de metales es efectuado por la fusión producida por el calor del arco entre un electrodo y el metal base y es usada una corriente de aire para facilitar el corte.

**CORTE CON OXI-ACETILENO (Oxy-Acetylene Cutting):-** Un proceso de corte con oxígeno donde se efectúa la separación del metal por medio de la reacción química del oxígeno con el metal base a temperaturas elevadas, manteniéndose la temperatura necesaria por medio de flamas de gas obtenidas de la combustión del acetileno con el oxígeno.

**CRATER (Crater):-** En soldadura de arco, una depresión en la terminación de un cordón de soldadura o en el charco de soldadura bajo el electrodo.

- D -

**DISEÑO DE LA UNION (Joint Design):-** La geometría de la unión en conjunto con los requisitos dimensionales de la unión soldada.

- E -

**EJE DE UNA SOLDADURA (Axis of a Weld):-** Es una línea a lo largo de una soldadura, perpendicular a la sección transversal en su centro de gravedad. Ver Figs. (f) y (g).

**ELECTRODO DE CARBON (Carbon Electrode):-** Un electrodo no metálico ni de aporte, usado en soldadura de arco (y corte), que consiste de una varilla de carbón o grafito.

**ELECTRODO DESCUBIERTO (Bare Electrode):**- Un electrodo de metal de aporte, usado en soldadura de arco, que consiste de un alambre de metal sin más -- recubrimiento que el incidental al estirado del alambre.

**ELECTRODO DE TUNGSTENO (Tungsten Electrode):**- Un electrodo de metal que no se deposita, usado en soldadura por arco, consistente en un alambre de tungsteno.

**ELECTRODO METALICO (Metal Electrode):**- Un electrodo de metal de aporte o de no aporte utilizado en soldadura de arco, el cual consiste de un alambre de metal con o sin recubrimiento o forro.

**ELECTRODO RECUBIERTO (Coated Electrode o Covered Electrode):**- Un electrodo de metal de aporte, usado en soldadura de arco, formado por un alambre como núcleo metálico con un recubrimiento relativamente grueso el cual proporciona protección de la atmósfera al metal fundido, mejorando las propiedades del metal de soldadura y estabilizando el arco.

**ESFUERZO RESIDUAL (Residual Stress):**- El esfuerzo que permanece en una estructura o miembro como resultado del tratamiento térmico o mecánico o - - ambos.

**ESPACIADOR (Spacer Strip):**- Una tira o barra metálica insertada en la - - raíz de una unión preparada para una soldadura de ranura, para servir como un respaldo y mantener la raíz abierta durante el proceso de soldadura.

- F -

**FUNDENTE (Flux):**-Material utilizado para prevenir, disolver o facilitar la remoción de óxidos y de otras sustancias indeseables.

**FUSION (Fusion):**- La licuación en conjunto del material de aporte y del -- material base, o sólo del material base, que resulta de la aplicación del calor necesario.

FUSION COMPLETA (Complete Fusion):- La fusión que se ha producido sobre -- toda la superficie del metal base expuesta para soldar.

FUSION INCOMPLETA O FALTA DE FUSION (Incomplete Fusion o Lack of Fusion):- Fusión en la unión que sea menor que la completa.

- G -

GARGANTA DE UNA SOLDADURA DE FILETE (Throat of a Fillet Weld):-

Teórica:- Es la distancia desde el principio de la raíz de la unión per- - pendicular a la hipotenusa del triángulo rectángulo más grande que puede inscribirse dentro de la sección transversal de la soldadura de filete. Ver figuras (d) y (e).

Real.- La distancia más corta desde la raíz de una soldadura de filete - - hacia su cara. Ver figuras (d) y (e).

GENERADOR PARA SOLDAR (Welding Generator):- Un generador usado para pro- - porcionar corriente para soldar.

GEOMETRIA DE LA UNION: (Joint Geometry):- La forma y dimensiones de una - - unión en la sección transversal anterior al proceso de soldadura.

- I -

INCLUSION DE ESCORIA (Slag Inclusion):- Material sólido no metálico atra-- pado en el metal de soldadura o entre el metal de soldadura y el metal - - base.

- L -

LONGITUD EFECTIVA DE SOLDADURA (Effective Length of Weld):- La longitud de soldadura a través de la cual existe una sección transversal correctamente

proporcionada.

MAQUINA SOLDADORA (Welding Machine):- Equipo para efectuar la operación de soldadura. Por ejemplo, máquina soldadora por puntos, máquina soldadora por arco, etc.

METAL BASE (Base Metal o Parent Metal):- El metal que se suelda o corta.

METAL DE APORTE (Filler Metal):- Metal que se agrega al hacer una soldadura.

METAL DE SOLDADURA (Weld Metal):- Aquella porción de una soldadura que se ha fundido durante el proceso de soldadura.

METAL DEPOSITADO (Deposited Metal):- Metal de aporte que se ha agregado durante la operación de soldadura.

- 0 -

OPERADOR DE SOLDADURA (Welding Operator):- La persona que opera la máquina o el equipo automático de soldadura.

ORILLA DE LA SOLDADURA (Toe of Weld):- La unión entre la cara de una soldadura y el metal base. Ver Fig. (c).

- P -

PASO (Pass):- Una progresión longitudinal simple de una operación de soldadura a lo largo de una unión o depósito de soldadura. El resultado de un paso es un cordón de soldadura.

PENETRACION A TRAVES DE TODA LA UNION (Melt-Thru):- Penetración completa de la unión por el metal de soldadura en una unión soldada por un solo lado, con un esfuerzo visible en la raíz.

**PENETRACION COMPLETA (Complete Penetration o Complete Joint Penetration):-** Penetración en la unión la cual se extiende completamente a través de la unión. Ver Fig. (y).

**PENETRACION EN LA RAIZ (Root Penetration):-** La profundidad que una soldadura de ranura se extiende dentro de la raíz de una unión medida sobre la línea central de la sección transversal de la raíz. Ver Fig. (h).

**PENETRACION EN LA UNION (Joint Penetration o Weld Penetration):-** La profundidad mínima que una soldadura de ranura se extiende desde la cara hacia adentro de la unión, excluido el refuerzo. Ver Fig. (h).

**PENETRACION INADECUADA EN LA UNION O FALTA DE PENETRACION EN LA UNION - - (Inadequate Joint Penetration o Lack of Joint Penetration):-** Penetración en la unión que sea menor que la especificada.

**PENETRACION PARCIAL DE UNA UNION (Partial Joint Penetration):-** Penetración de la unión que sea menor que la completa. Ver fig. (i).

**PIERNA DE UNA SOLDADURA DE FILETE (Leg of a Fillet Weld):** La distancia de la raíz de la unión a la orilla de la soldadura de filete. Ver figuras (d) y (e).

**POLARIDAD DIRECTA (Straight Polarity):-** La colocación de las terminales al emplear corriente directa en el proceso de soldadura por arco, cuando el trabajo es el polo negativo y el electrodo el polo positivo del arco para soldar.

**POROSIDAD (Porosity):-** Escasas de gas o huecos en el metal.

**PORTA ELECTRODO (Electrode Holder):-** Un dispositivo usado para sostener mecánicamente el electrodo y conducir la corriente hacia él.

**POSCALENTAMIENTO (Postheating):-** La aplicación de calor a una soldadura o

unión soldada inmediatamente después de una operación de soldadura o corte.

POSICION HORIZONTAL FIJA (Horizontal Fixed Position):- En soldadura de tubería.- Posición de una unión de tubería en la que el eje del tubo está - aproximadamente horizontal y la tubería no se gira durante el proceso de soldadura.

POSICION HORIZONTAL (Horizontal Position):-

En soldadura de filete.- Es la posición al soldar en el cual se efectúa la soldadura del lado superior de una superficie aproximadamente horizontal - que se unirá con otra superficie aproximadamente horizontal y la cara de la soldadura está en un plano aproximadamente vertical. Ver Fig. (g).

POSICION HORIZONTAL GIRANDO EL TUBO (Horizontal Rolled Position):-

En soldadura de tubería.- Es la posición de una unión de tubería en la - - cual la soldadura se efectúa en posición plana girando el tubo.

POSICION PLANA (Flat Position o Downhand):- Es la posición al soldar donde la soldadura se efectúa por la parte superior de la unión, estando la cara de la soldadura aproximadamente horizontal. Ver figuras (f) y (g).

POSICION SOBRE CABEZA (Overhead Position):- Es la posición al soldar en la cual la soldadura se lleva a cabo por la parte inferior de la unión. Ver - figuras (f) y (g).

POSICION VERTICAL (Vertical Position):- Es la posición al soldar donde el eje de la soldadura es aproximadamente vertical. Ver figuras (f) y (g).

POSICION VERTICAL (Vertical Position):-

En soldadura de tubería.- Es la posición de una unión de tubería donde la soldadura se efectúa en posición horizontal y el tubo puede o no ser girado.

PRECALENTAMIENTO (Preheating):- La aplicación de calor al metal base in---

mediatamente antes de la operación de soldadura o corte.

PRECALENTAMIENTO LOCAL (Local Preheating):- Precalentamiento de una parte específica de una estructura.

PREPARACION DEL CANTO (Edge Preparation):- El contorno preparado sobre la orilla de un miembro a soldar.

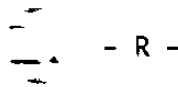
PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (Welding Procedure):- Los métodos y prácticas detallados que incluyen los procedimientos para soldar uniones involucrados en la ejecución de un ensamble soldado.

PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA DE UNA UNION (Joint Welding Procedure):- Los materiales, métodos detallados y prácticas empleados para soldar una unión particular.

PROCESOS DE SOLDADURA (Welding Process):- Un proceso para unir metales donde la fusión se produce por el calentamiento a temperaturas adecuadas, con o sin la aplicación de presión, y con o sin el uso de metal de aporte.

PROFUNDIDAD DE FUSION (Depth of Fusion):- La distancia que la fusión se extiende dentro del material base desde la superficie fundida durante el proceso de soldadura. Ver Fig. (j).

UNTOS DE SOLDADURA (Tack Weld):- Una soldadura efectuada para mantener sujetas las partes a soldar con el alineamiento apropiado hasta que se efectúen las soldaduras finales.



RADIO DE LA RANURA (Groove Radius):- Es el radio de una ranura tipo J o U. Ver Fig. (a).

RAIZ DE LA SOLDADURA (Root of Weld):- Los puntos, como se muestra en

sección transversal, en los cuales el fondo de la soldadura intersecta las superficies del metal base. Ver Fig. (k).

RAIZ DE LA UNION:- (Root of Joint):- Es aquella porción de una unión que se va a soldar donde los miembros se acercan lo máximo posible, uno a otro. En sección transversal la raíz de la unión puede ser un punto, una línea o una área. Ver Fig. (l).

RANURA (Groove):- La abertura prevista para una soldadura.

REFUERZO DE SOLDADURA (Reinforcement of Weld):- Metal de aporte sobre la cara de una soldadura en exceso del metal necesario para el tamaño de soldadura especificado.

RESPALDO (Backing):- Material (metal, metal de aporte, asbesto, carbón, -- fundente granulado, etc.) colocado sobre la parte posterior de la unión - durante el proceso de soldadura para facilitar la obtención de una soldadura sólida en la raíz.

ROTURA BAJO EL CORDON (Underbead Crack):- Una rotura en la zona afectada - por el calor que no se extiende a la superficie del metal base.

ROTURA DE CRATER (Crater Crack):- Una grieta en el cráter de un cordón de soldadura.

ROTURA EN LA ORILLA DE LA SOLDADURA (Toe Crack):- Una grieta en el metal base que se presenta en la orilla de una soldadura.

ROTURA DE RAIZ (Root Crack):- Una grieta en la soldadura o en la zona - - - - - afectada por el calor que ocurre en la raíz de una soldadura.

- 5 -

SECUENCIA DE PASO ATRAS (Backstep Sequence):- Una secuencia longitudinal



en la cual los incrementos del cordón de soldadura se depositan en dirección opuesta al avance de la ejecución de la unión. Ver Fig. (m)

SECUENCIA DE SOLDADURA (Welding Sequence):- El orden en que se realizan las soldaduras en un conjunto soldado.

SECUENCIA DE DEPOSITO (Deposit Sequence o Deposition Sequence):- El orden en el cual los incrementos de metal de soldadura son depositados.

SOBREMONTA (Overplat):- La parte del metal de soldadura que sobresale más allá de la orilla de la unión. Ver Fig. (n)

SOCAVACION (Undercut):- Una ranura producida por derretimiento del metal base adyacente a la orilla de una soldadura y dejada sin rellenar con metal de aporte. Ver Fig. (n).

SOLDABILIDAD (Weldability):- La capacidad de un metal para poder soldarse bajo las condiciones de fabricación impuestas en una estructura específica, diseñada convenientemente y para desempeñar satisfactoriamente el servicio deseado.

SOLDADOR (Welder):- Una persona capaz de ejecutar una operación de soldadura manual o semiautomática.

SOLDADURA (Weld):- Una fusión localizada de metal donde la fusión es producida por el calentamiento a temperaturas adecuadas, con o sin la aplicación de presión y con o sin el uso de metal de aporte. El metal de aporte tiene ya sea un punto de fusión aproximadamente igual al de los metales base o un punto de fusión abajo del de los metales base, pero arriba de 800°F.

SOLDADURA A TOPE (Butt Weld): - Una soldadura de una unión a tope.

SOLDADURA AUTOMATICA (Automatic Welding):- Soldadura con un equipo que - -

realiza la operación de soldar sin la constante observación y ajuste de -- los controles por un operador.

SOLDADURA CON EL APORTE ATRAS DE LA FLAMA (Backhand Welding):- Técnica de soldadura con gas en la cual la flama se dirige en sentido contrario al del avance de la soldadura. Ver Fig. (q)

SOLDADURA CON EL APORTE DELANTE DE LA FLAMA (Forehand Welding):- Una téc-- nica de soldadura con gas donde la flama es dirigida hacia el avance de la soldadura. Ver Fig. (r)

SOLDADURA CON OXI-ACETILENO (Oxi-Acetileno Welding):- Un proceso de solda-- dura con gas donde la fusión se produce por calentamiento con flama o fla-- mas de gas obtenidas de la combustión del acetileno con el oxígeno con o sin la aplicación de presión y con o sin el uso de metal de aporte.

SOLDADURA DE ARCO (Arc Welding):- Conjunto de procesos de soldadura donde un arco o arcos eléctricos producen el calor que causa la fusión, con o -- sin la aplicación de presión y con o sin el uso de metal de aporte.

SOLDADURA DE ARCO DE TUNGSTENO CON GAS (Gas Tungsten-Arc Welding):- Un proceso de soldadura por arco en donde la fusión es producida por calenta-- miento con un arco eléctrico entre un solo electrodo de tungsteno (no con-- sumible) y el trabajo. La protección se obtiene de un gas o mezcla de ga-- ses (la cual puede contener un gas inerte). Puede o no utilizarse presión y puede o no utilizarse material de aporte.

SOLDADURA DE ARCO METALICO CON GAS (Gas Metal-Arc Welding):- Un proceso de soldadura de arco en donde la fusión es producida por el calentamiento con un arco eléctrico entre el electrodo de metal de aporte (consumible) y el trabajo. La protección se obtiene de un gas o mezcla de gases (la cual -- puede contener un gas inerte) o una mezcla de un gas y un fundente.

SOLDADURA DE ARCO METALICO CON GAS INERTE (Inert-Gas-Metal-Arc Welding):- Ver soldadura de Arco Metálico con Gas (Gas Metal-Arc Welding) y, solda--

dura de Arco de Tungsteno con Gas (Gas Tungsten-Arc Welding).

SOLDADURA DE ARCO METALICO DESCUBIERTO (Bare Metal-Arc Welding):- Un proceso de soldadura de arco donde la fusión es producida por el calentamiento de un arco eléctrico entre un electrodo metálico descubierto o ligeramente cubierto y el trabajo, y no se utiliza protección contra el oxígeno del aire. No se utiliza presión y el metal de aporte se obtiene del electrodo.

SOLDADURA DE ARCO METALICO PROTEGIDO (Shielded Metal-Arc Welding):- Un proceso de soldadura por arco donde la fusión se produce por el calentamiento que genera un arco eléctrico entre un electrodo de metal recubierto y el trabajo. La protección se obtiene de la descomposición del recubrimiento del electrodo. No se usa presión y el metal de aporte se obtiene del electrodo.

SOLDADURA DE ARCO SEMIAUTOMATICA (Semi-Automatic Arc Welding):- Soldadura de arco con equipo el cual solamente controla la velocidad de alimentación del metal de aporte. El avance de la soldadura (depositada) es controlada manualmente.

SOLDADURA DE ARCO SUMERGIDO (Submerged Arc Welding):- Un proceso de soldadura por arco donde la fusión se produce por el calentamiento que genera un arco o arcos eléctricos entre el trabajo y un electrodo o electrodos metálicos descubiertos. La soldadura es protegida por una cubierta de material granular fusible sobre el trabajo. No se utiliza presión y el metal de aporte se obtiene del electrodo y, algunas veces, de una barra de soldadura suplementaria.

SOLDADURA DE FILETE (Fillet Weld):- Una soldadura de sección transversal aproximadamente triangular que une dos superficies aproximadamente a ángulos rectos, una con respecto a otra, en una unión traslapada, en una unión tipo T, o en una unión de esquina.

**SOLDADURA DE FILETE COMPLETA (Full Fillet Weld):-** Una soldadura de filete cuyo tamaño es igual al espesor del miembro más delgado que se une.

**SOLDADURA DE FILETE CONCAVA (Concave Fillet Weld):-** Una soldadura de filete que tiene la cara cóncava. Ver Fig. (d).

**SOLDADURA DE FILETE CONVEXA (Convex Fillet Weld):-** Una soldadura de filete que tiene la cara convexa. Ver Fig. (e).

**SOLDADURA DE GAS (Gas Welding):-** Un conjunto de procesos de soldadura en donde la fusión se produce por medio del calentamiento a base de flama o flamas de gas con o sin la aplicación de presión y con o sin el uso de material de aporte.

**SOLDADURA DE MAQUINA (Machine Welding):-** Soldadura efectuada con equipo que realiza la operación de soldadura bajo la observación y control de un operador.

**SOLDADURA DE RANURA (Groove Weld):-** Una soldadura efectuada en la ranura entre dos miembros a unirse. Los tipos estandar de soldadura de ranura, son los siguientes Ver Fig. (p).

Soldadura de ranura cuadrada

Soldadura de ranura de una sola V

Soldadura de un solo bisel

Soldadura de ranura de una sola U

Soldadura de ranura de una sola J

Soldadura de ranura de doble V

Soldadura de ranura de doble bisel

Soldadura de ranura de doble U

Soldadura de ranura de doble J

**SOLDADURA DE RESPALDO (Backing Weld):-** Respaldo formado por una soldadura.

**SOLDADURA MANUAL (Manual Welding):-** Soldadura en la cual la operación - - completa se efectúa y controla a mano.

SOLDADURA POSICIONADA (Positioned Weld):- Una soldadura efectuada en una unión la cual ha sido colocada de tal manera que facilite la ejecución de la soldadura.

SOLDADURA POSTERIOR (Back Weld):- Soldadura depositada en la parte posterior en una unión de una sola ranura. (Después de efectuada la soldadura frontal).

SOLDADURA ROTA (Weld Crack):- Rotura en el metal de la soldadura.

- T -

TAMAÑO DE SOLDADURA (Size of Weld)

La soldadura de ranura.- La penetración de la unión (profundidad del ranurado más la penetración en la raíz cuando se especifique). Ver Fig. (s).

En soldadura de filete.- Para soldaduras de filete de piernas iguales, es la longitud del lado del triángulo rectángulo isóceles más grande que pueda ser inscrito dentro de la sección transversal de la soldadura de filete. Ver Fig. (t).

Para soldadura de filete de piernas desiguales, es la longitud del lado del triángulo rectángulo mayor que puede ser inscrito dentro de la sección transversal de la soldadura de filete. Ver fig. (t).

Para soldadura de filete de piernas desiguales, es la longitud del lado del triángulo rectángulo mayor que puede ser inscrito dentro de la sección transversal de la soldadura de filete. Ver fig. (t).

TECNICA DE SOLDADURA (Welding Technique):- Los detalles de una operación de soldadura manual, a máquina o semiautomática que, dentro de las limitaciones del procedimiento de soldadura prescrito, son controlados por el soldador o por el operador de soldadura.

TEMPERATURA DE PRECALENTAMIENTO (Preheat Temperature):- La temperatura especificada que el metal base debe alcanzar en el área a soldar o cortar inmediatamente antes de que estas operaciones sean efectuadas.

TEMPERATURA ENTRE PASOS (Interpass Temperature):- En una soldadura de pasos múltiples, la temperatura más baja del material de aporte depositado antes de iniciarse el paso siguiente.

TERMINAL DE ELECTRODO (Electrode Lead):- El conductor eléctrico entre la fuente de la corriente de soldadura de arco y el porta electrodo.

TIRA DE RESPALDO (Backing Strip):- Respaldo en forma de tira.

TRANSFORMADOR PARA SOLDAR (Welding Transformer):- Transformador usado para proporcionar corriente para soldar.

TRATAMIENTO TERMICO DE RELEVADO DE ESFUERZOS (Stress-Relief Heat Treatment):- Calentamiento uniforme de una estructura o porción de ella a suficiente temperatura, abajo del rango crítico, para eliminar la mayor parte de los esfuerzos residuales, seguido por un enfriamiento uniforme. (Nota: Los términos normalización, destemple, etc., son nombres equivocados para esta aplicación.

TRATAMIENTO TERMICO LOCAL PARA RELEVADO DE ESFUERZOS (Local Stress-Relief Heat Treatment):- El tratamiento térmico para relevado de esfuerzos de una porción específica de una estructura.

- U -

UNION A TOPE (Butt Joint):- Una unión entre dos miembros que se encuentran aproximadamente en el mismo plano.

UNION DE CANTO (Edge Joint):- Una unión entre los cantos de dos o más miembros paralelos o casi paralelos.

UNION DE ESQUINA (Corner Joint):- Una unión entre dos miembros localizados aproximadamente a ángulos rectos, uno con respecto al otro, en forma de una L.

UNION O LINEA DE LA SOLDADURA (Bond o Weld Line):- La confluencia del metal de soldadura y el metal base, o la confluencia de las partes del metal base donde el metal de soldadura no está presente. Ver Fig. (u).

UNION (SIN SOLDAR) (Joint) (Unwelded):- El lugar en donde dos o más miembros van a unirse con soldadura.

UNION SOLDADA (Welded Joint):- Una unión de dos o más miembros producida por la aplicación de un proceso de soldadura.

UNION SOLDADA DOBLE (Double-Welded Joint):- En soldadura de arco y gas, cualquier unión soldada por ambos lados. Ver Fig. (w).

UNION SOLDADA SENCILLA (Single-Welded Joint):- En soldadura de arco y gas, cualquier unión soldada solamente desde un lado. Ver Fig. (x).

UNION TRASLAPADA (Lap Joint):- Una unión entre dos miembros traslapados.

- V -

VARILLA PARA SOLDAR (Welding Rod):- Metal de aporte, en forma de alambre o varilla, usado en procesos de soldadura con gas y soldadura con latón, y en aquellos procesos de soldadura por arco donde el electrodo no suministra metal de aporte.

VOLTAJE DEL ARCO (Arc Voltage):- Es el voltaje a través del arco de soldadura.

ZONA AFECTADA POR EL CALOR (Heat-Affected Zone):- Aquella parte del material base que no ha sido fundida, pero cuyas propiedades mecánicas o su microestructura han sido alteradas por el calor de la soldadura o del corte. Ver Fig. (v).

ZONA DE FUSION (Fusion Zone):- El área del material base fundida como se

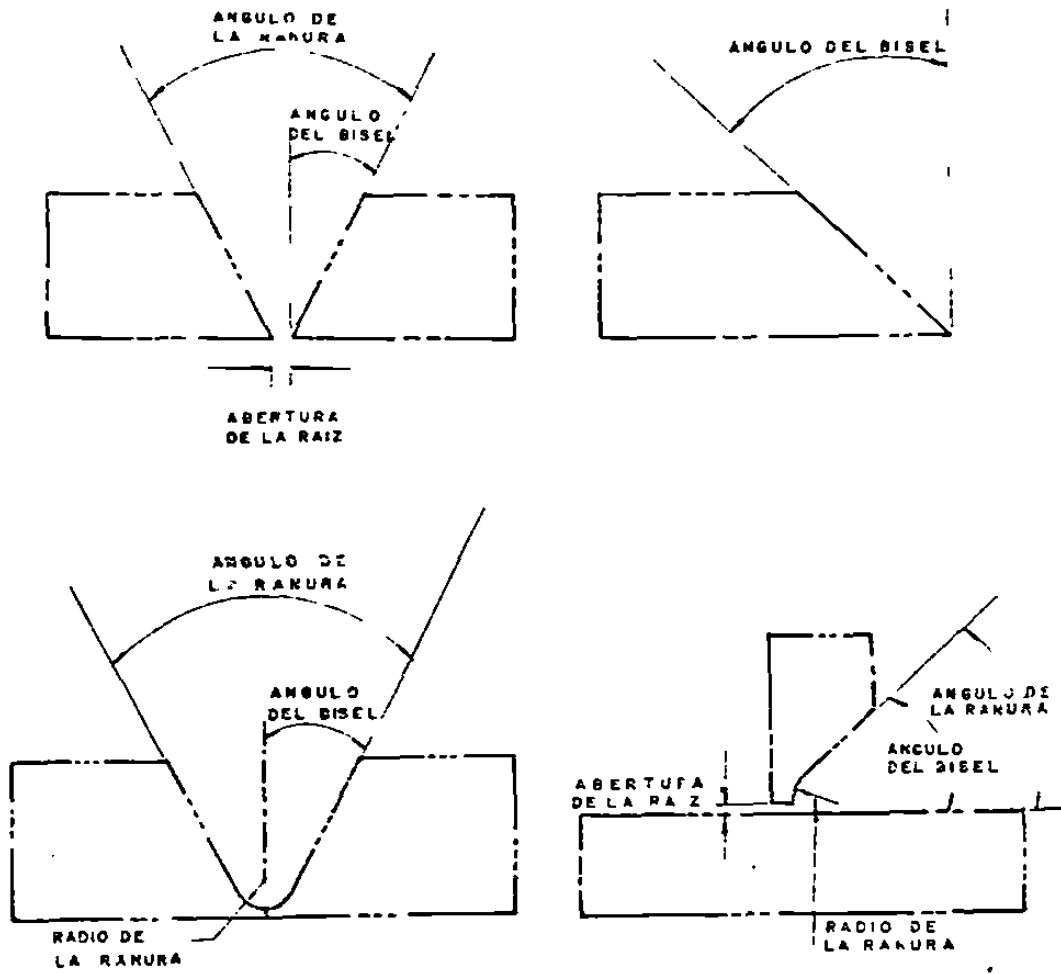


Fig. a -- ANGULO DEL BISEL, ANGULO DE LA RANURA, RADIO DE LA RANURAY ABERTURA DE LA RAIZ



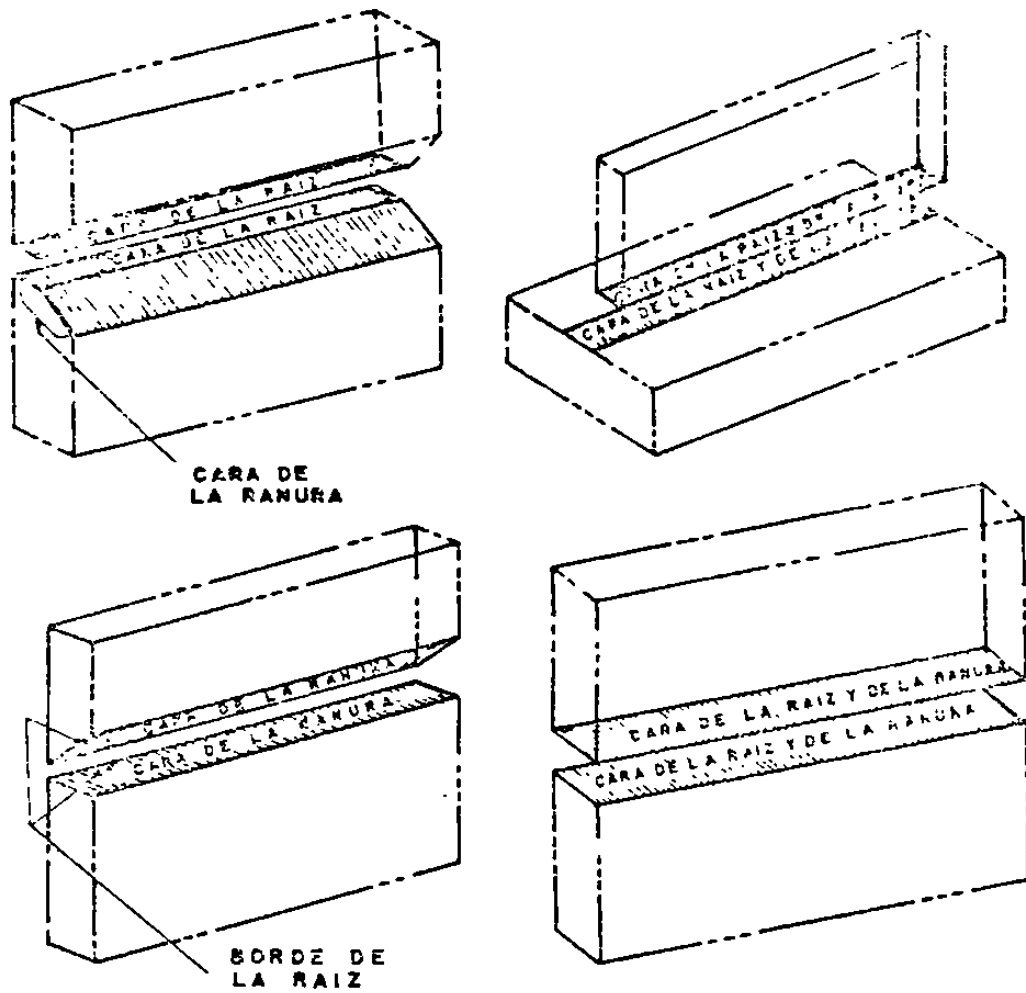
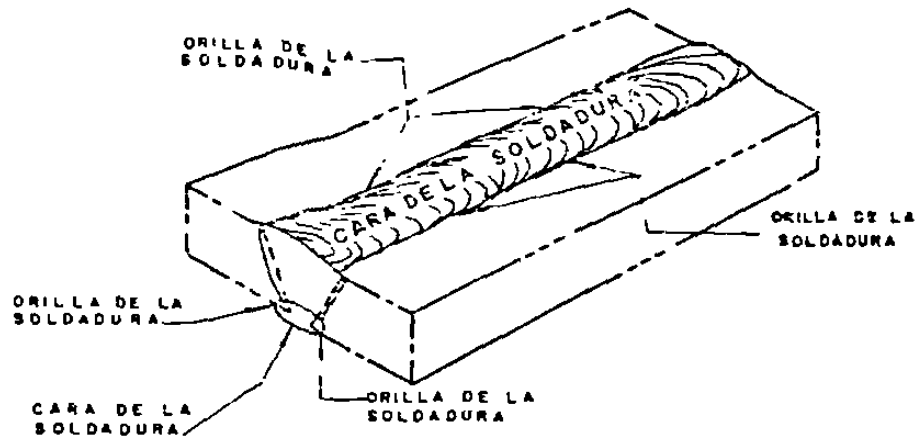
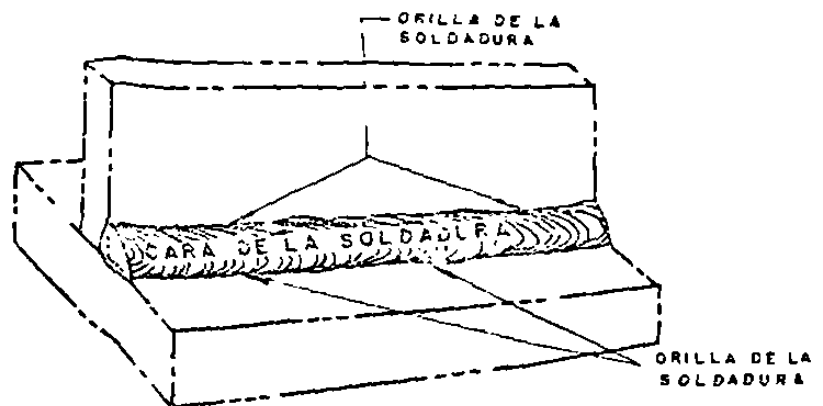


Fig. b.—CARA DE LA RANURA, CARA DE LA RAIZ Y BORDE DE LA RAIZ



SOLDADURA DE RANURA



SOLDADURA DE FILETE

10. 6.-CARA Y ORILLA DE LA SOLDADURA

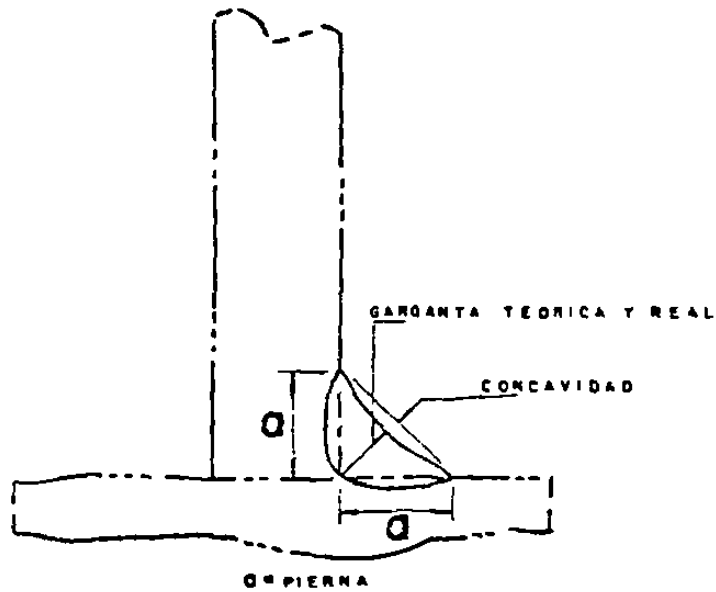


Fig. 5.-SOLDADURA DE FILETE CONCAVA

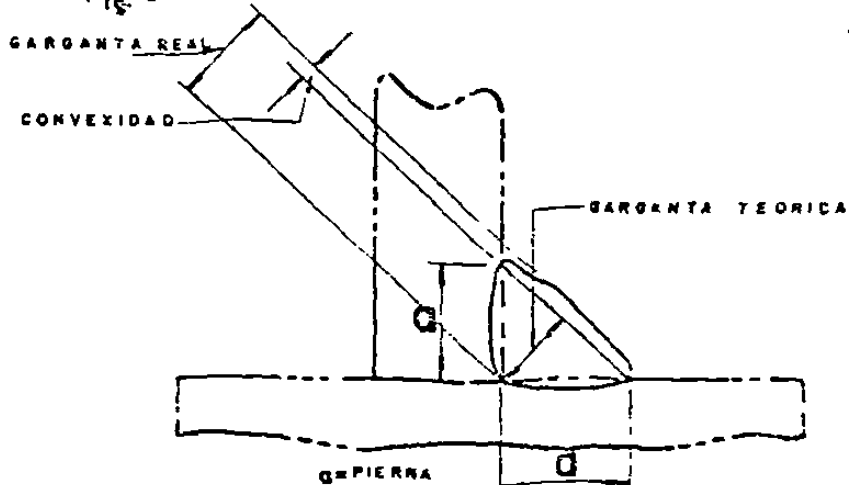


Fig. 6.-SOLDADURA DE FILETE CONVEXA

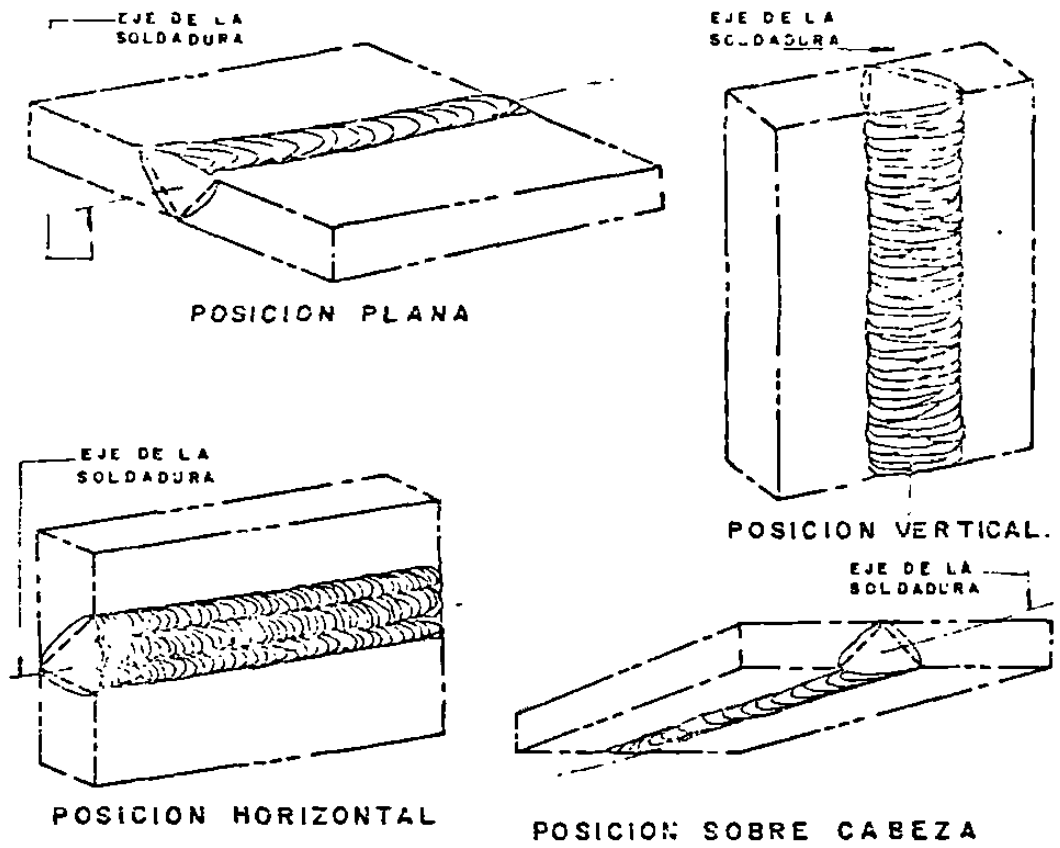


Fig. 1--POSICION AL SOLDAR PARA SOLDADURA DE RANURA

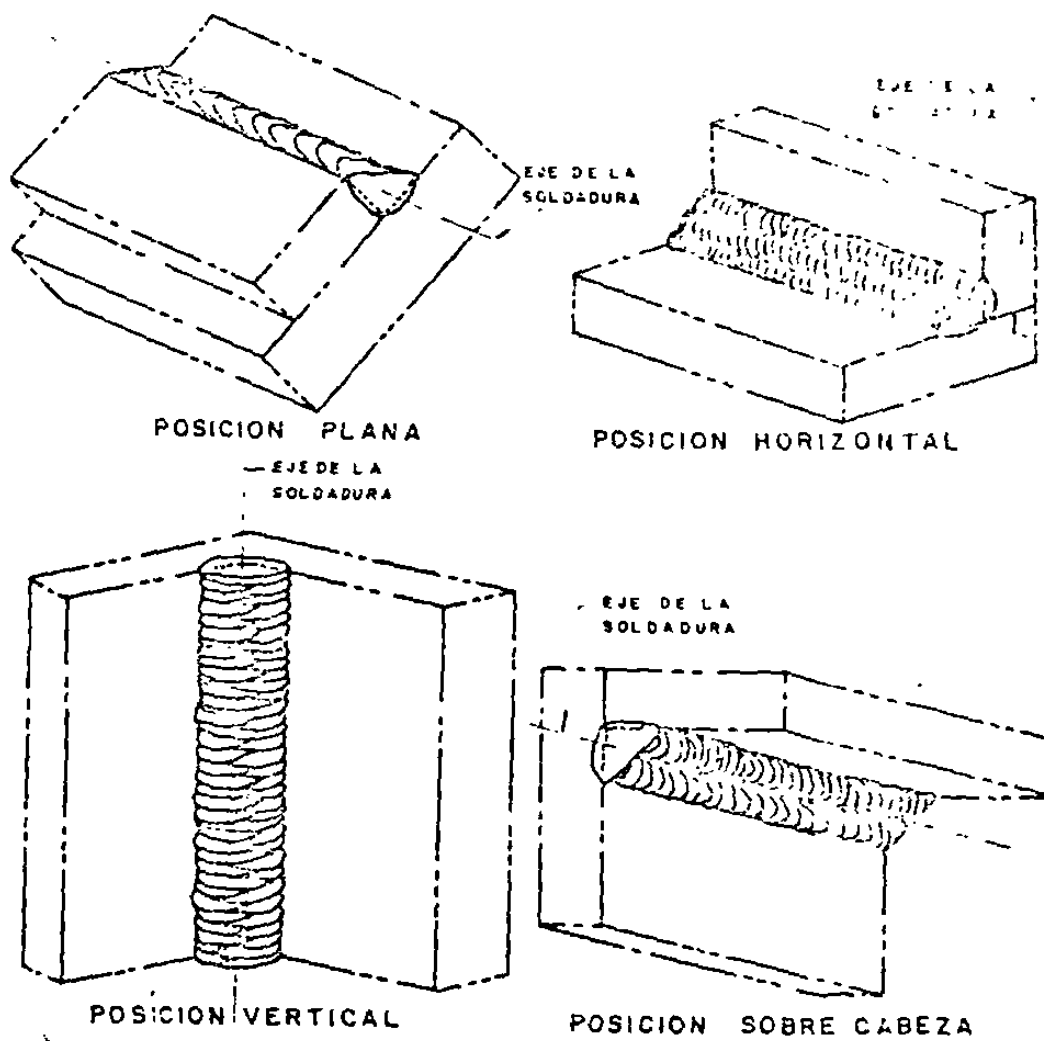


Fig. 9 -- POSICION AL SOLDAR PARA SOLDADURA DE FILETE

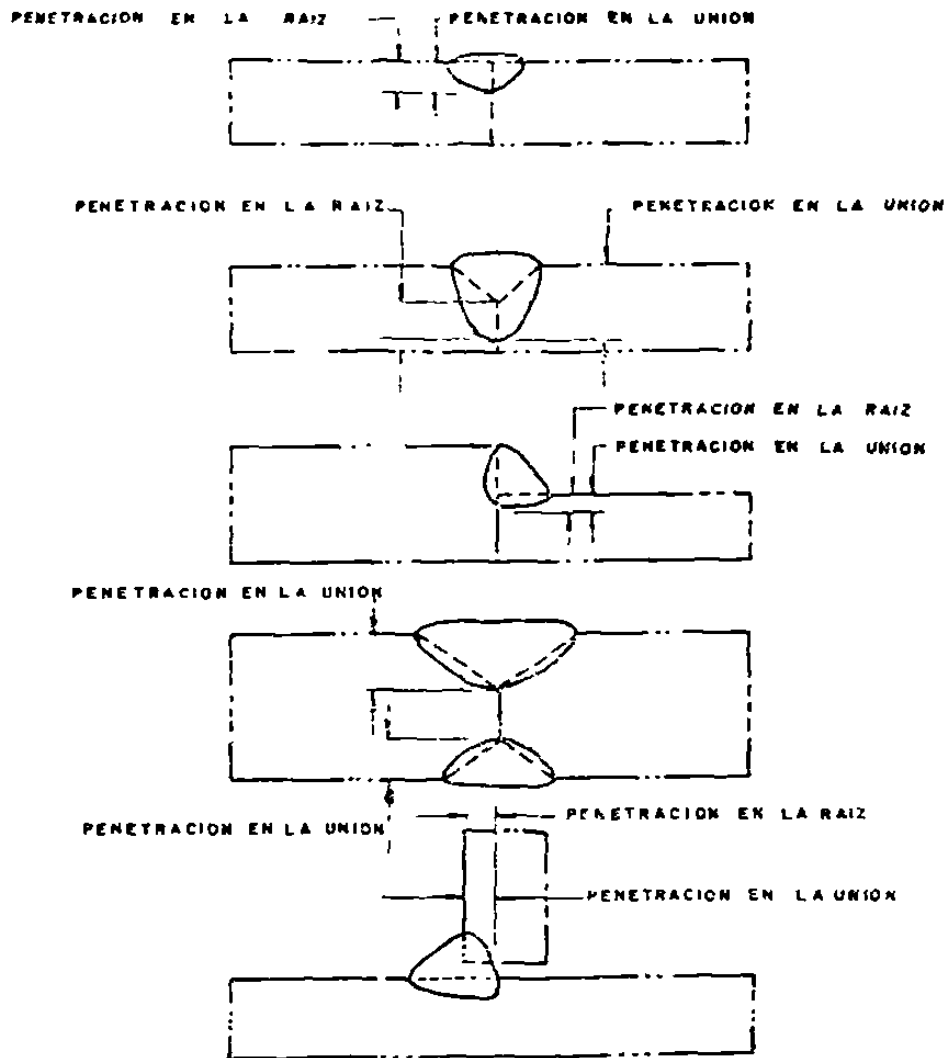


Fig.h.—PENETRACION EN LA RAIZ Y PENETRACION EN LA UNION DE SOLDADURA DE RANURA

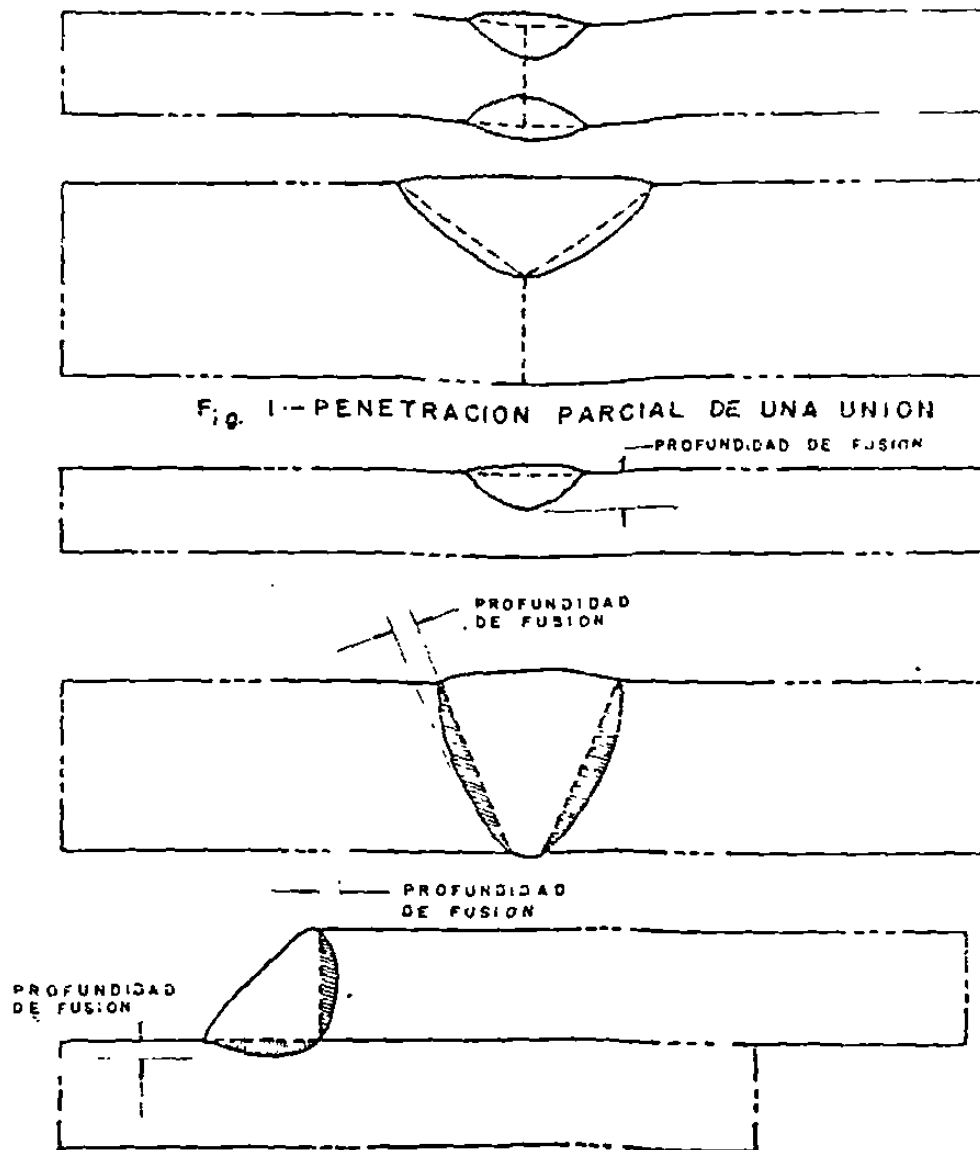


Fig. i--PENETRACION PARCIAL DE UNA UNION

Fig. j-- PROFUNDIDAD DE FUSION

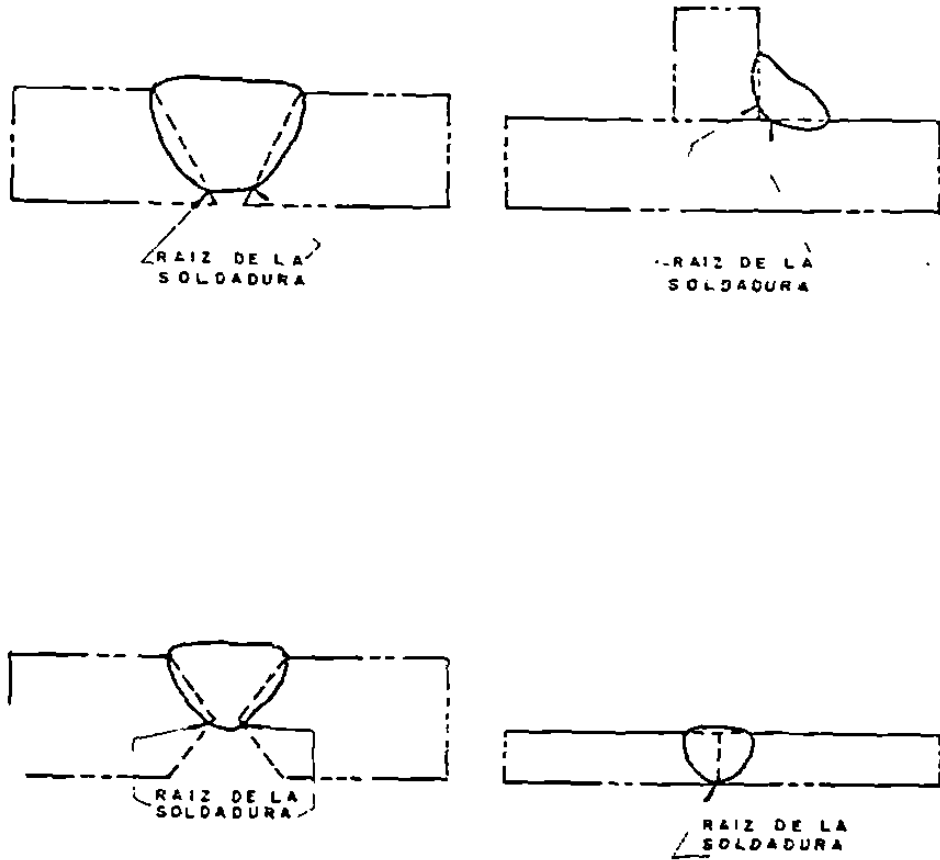


FIG. k- RAIZ DE LA SOLDADURA



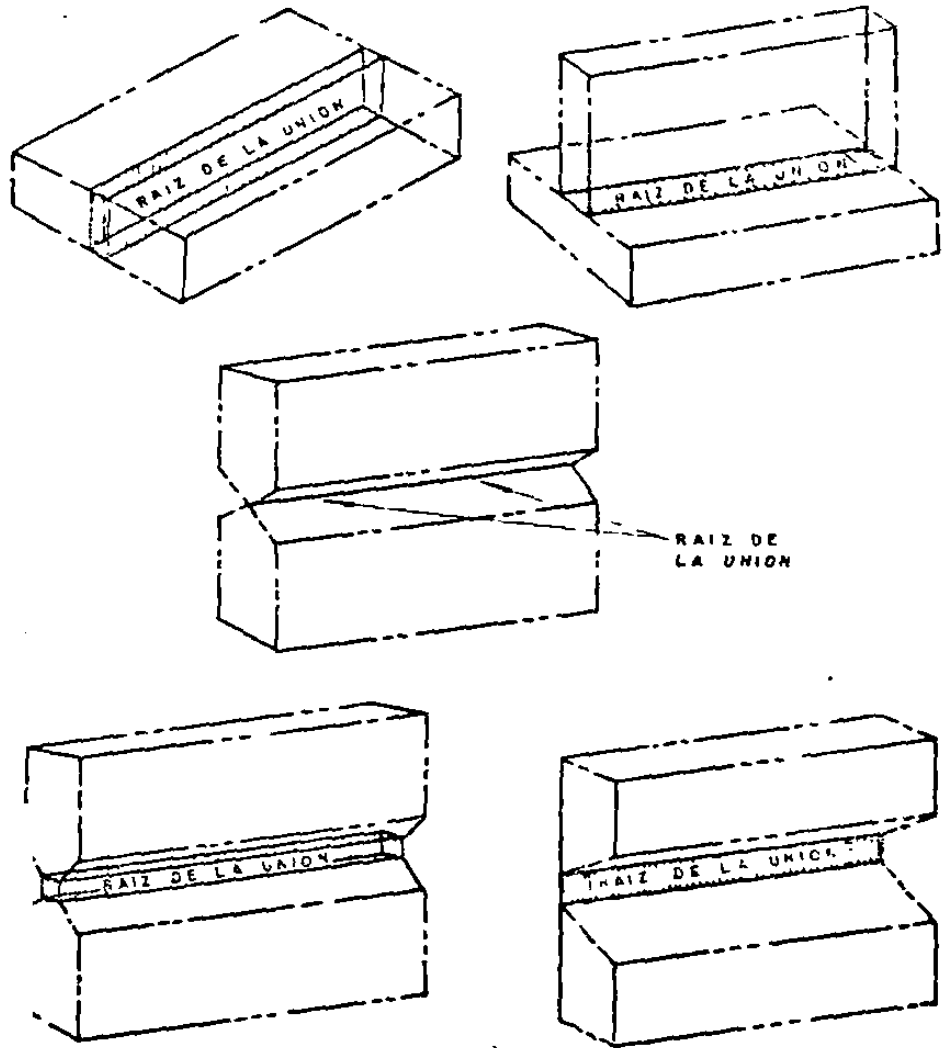


Fig. 1- RAIZ DE LA UNION

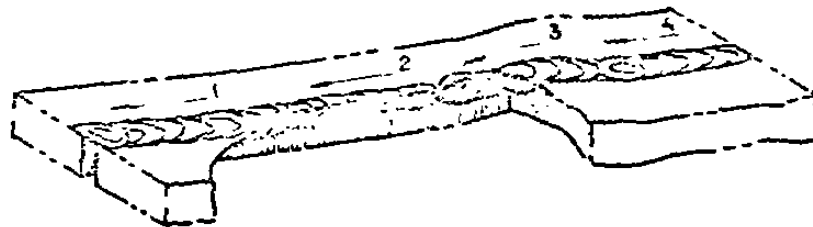


Fig. m.—SECUENCIA DE PASO ATRAS

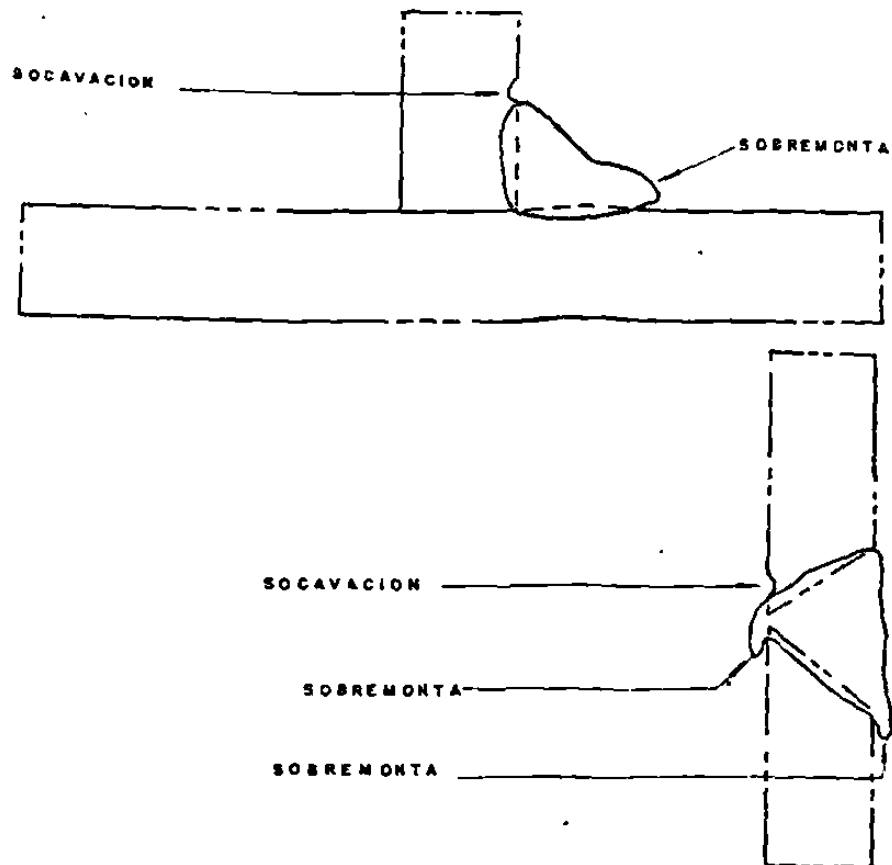


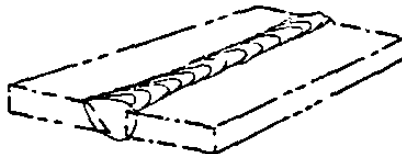
Fig. n.—SOCAVACION Y SOBREMONTA



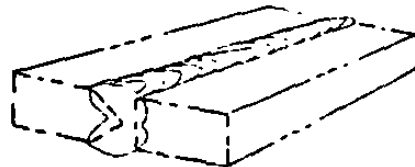
SOLDADURA DE  
RANURA CUADRADA



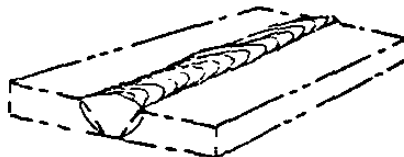
SOLDADURA DE  
RANURA CUADRADA



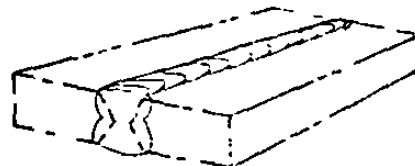
SOLDADURA DE RANURA  
DE UN SOLO B'ISEL



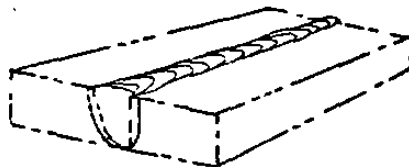
SOLDADURA DE RANURA  
DE DOBLE B'ISEL



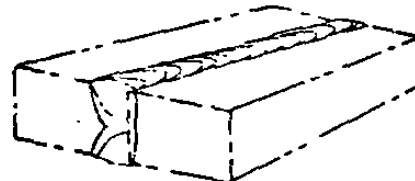
SOLDADURA DE RANURA  
DE UNA SOLA V



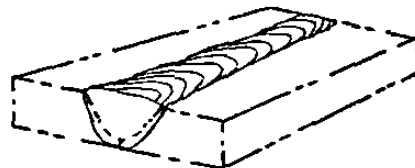
SOLDADURA DE RANURA  
DE DOBLE V



SOLDADURA DE RANURA  
DE UNA SOLA J



SOLDADURA DE RANURA  
DE DOBLE J



SOLDADURA DE RANURA  
DE UNA SOLA U



SOLDADURA DE RANURA  
DE DOBLE U

Fig. p.—TIPOS DE SOLDADURAS DE RANURA

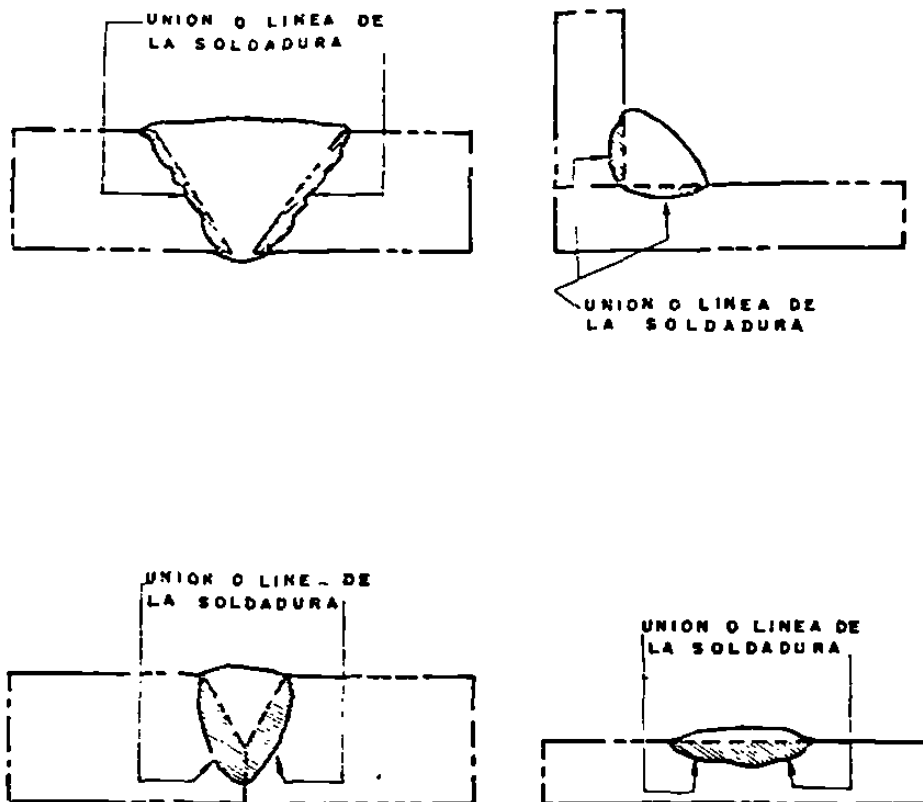


Fig. 4-UNION O LINEA DE LA  
SOLDADURA Y ZONA DE FUSION

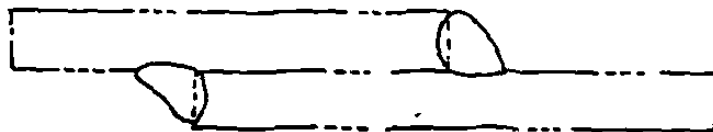
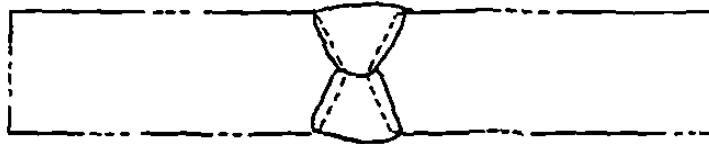


ZONA AFECTADA POR EL CALOR



AREA DEL METAL DE LA SOLDADURA

Fig.V— ZONA AFECTADA POR EL CALOR



F.W.— UNION SOLDADA DOBLE

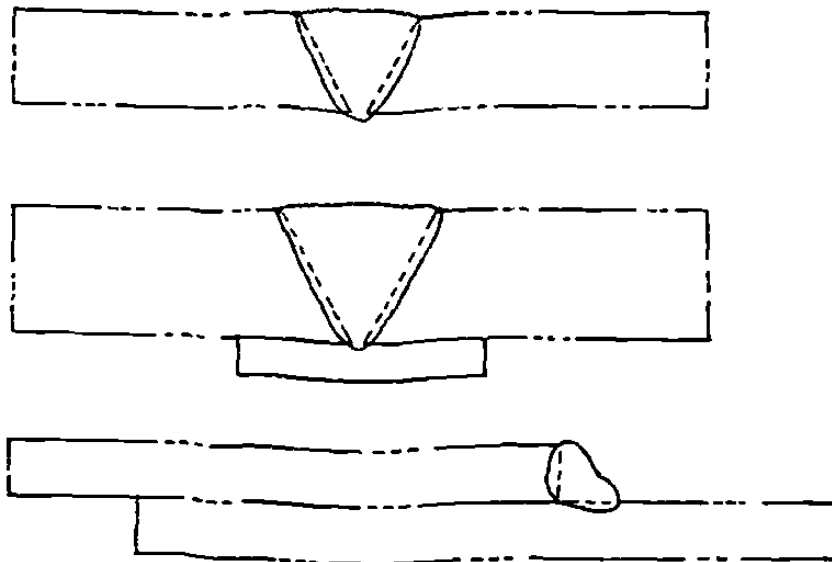


Fig. x.- UNION SOLDADA SENCILLA

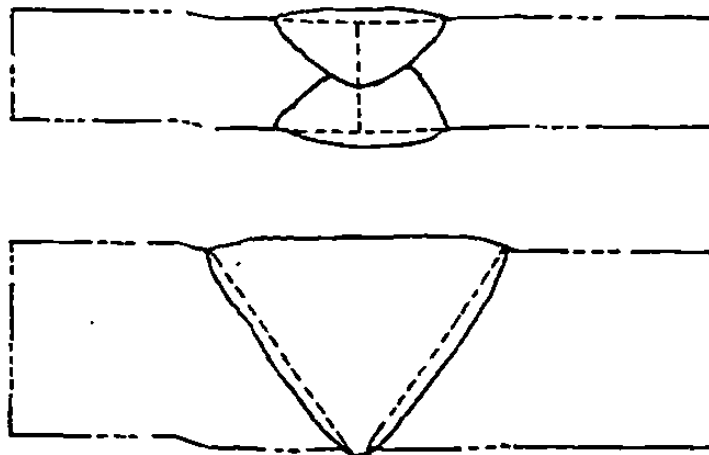


Fig. y.- PENETRACION COMPLETA

determina sobre la sección transversal de una soldadura. Ver Fig. (u).

## II.- PRINCIPALES PROCEDIMIENTOS

Los principales procedimientos de soldadura empleados para la instalación de tuberías y fabricación e instalación de recipientes son:

### 1.- SOLDADURA DE ARCO ELECTRICO:

- a) Arco protegido con electrodo recubierto
- b) Arco sumergido, automática y semiautomática
- c) Arco protegido con gas inerte

a.- SOLDADURA DE ARCO PROTEGIDO CON ELECTRODO RECUBIERTO.- Es el método -- comúnmente empleado en soldadura de campo y en la cual se usan generadores de corriente continua, eléctricos o de gasolina, o alternadores, y el metal de aporte es el electrodo recubierto.

El recubrimiento del electrodo al entrar en combustión produce gases que rodean y protegen la zona de fusión para evitar la oxidación que produce - el oxígeno del aire, además el recubrimiento actúa como fundente y en algunos electrodos contiene polvo de hierro que contribuye a aumentar el volumen de aporte.

b.- SOLDADURA DE ARCO SUMERGIDO, AUTOMATICA Y SEMIAUTOMATICA.- La soldadura automática se emplea comúnmente en taller para soldar las uniones - - longitudinales y circunferenciales de tanques de presión. El cabezal del equipo de soldar se desplaza para depositar el material de aporte en las uniones longitudinales, y en las uniones circunferenciales permanece fijo, girando la sección cilíndrica del recipiente mientras se va efectuando el aporte de soldadura. En este procedimiento el material de aporte consiste de un alambre de acero sin recubrimiento y la fuente del material fundido es protegida del oxígeno del aire por un granulado denominado flux, que -- además actúa como fundente. En el proceso semiautomático el cabezal de la máquina de soldar es transportado por un operador para efectuar el aporte

de la soldadura.

c.- SOLDADURA DE ARCO PROTEGIDA CON GAS INERTE.- El proceso de arco sumergido con un gas inerte, el cual tiene dos sistemas que son Electrodo Consumible y Electrodo no Consumible, se emplea principalmente para soldar tubería de acero inoxidable, de aluminio, de monel, de cobre, etc. y la diferencia entre éstos es que en el sistema no consumible el arco es producido a través de un electrodo de tungsteno o tungsteno aleado con todo, el cual se considera que no se consume y el material de aporte es una varilla de material similar y afín al que se suelda.

El sistema de electrodo consumible donde se produce el arco a través del material de aporte conforme éste se va aplicando y consumiendo, tiene un alimentador que va suministrando el material de aporte, que consiste de alambre enrollado en carretes de tal manera que la alimentación sea constante y el proceso no tenga las interrupciones obligadas para proveerlo en tramos periódicamente, para continuar con el mismo.

En ambos sistemas la atmósfera protectora es proporcionada, según sea el caso, por bióxido de carbono, argón, helio o mezcla de estos dos últimos, para evitar la contaminación de la fuente líquida con el oxígeno del aire.

En uniones de tubería que conducen vapor a alta presión y alta temperatura las cuales son comúnmente de acero aleado al cromo molibdeno, las uniones se hacen en ranuras del tipo U, y el primer cordón de soldadura o fondeo se lleva a cabo mediante el proceso de arco protegido con gas inerte, con el fin de llevar a cabo un control estricto de la fuente líquida, para evitar que se produzcan quemadas o que el material de aporte penetre demasiado dentro de la tubería provocando posteriormente turbulencias del vapor que pueden originar desgastes en las paredes del tubo. El resto de la unión es completado mediante el proceso de arco protegido, usando electrodos de aleación afín y similar al material base.



## 2.- SOLDADURA AUTOGENA

El proceso de oxiacetileno es especialmente recomendado para soldar tuberías de pared delgada y diámetros menores (menos de 4 mm. de pared y menos de 10 cms. de diámetro) con el fin de evitar que se agujere la pared, como comúnmente ocurre al emplear el procedimiento de arco protegido con electrodo recubierto. Para este caso se recomienda especialmente el método de soldadura con el aporte atrás de la flama, en el cual el avance del depósito de soldadura es hacia la derecha al soldar cuando el tubo está en posición vertical, o hacia arriba cuando el tubo está en posición horizontal.

Este método reduce las posibilidades de que se presente falta de fusión -- entre el material de aporte y el material base, ya que evita que se escorra material de baja temperatura el cual se depositaría en la cara de la ranura con poca o ninguna fusión.

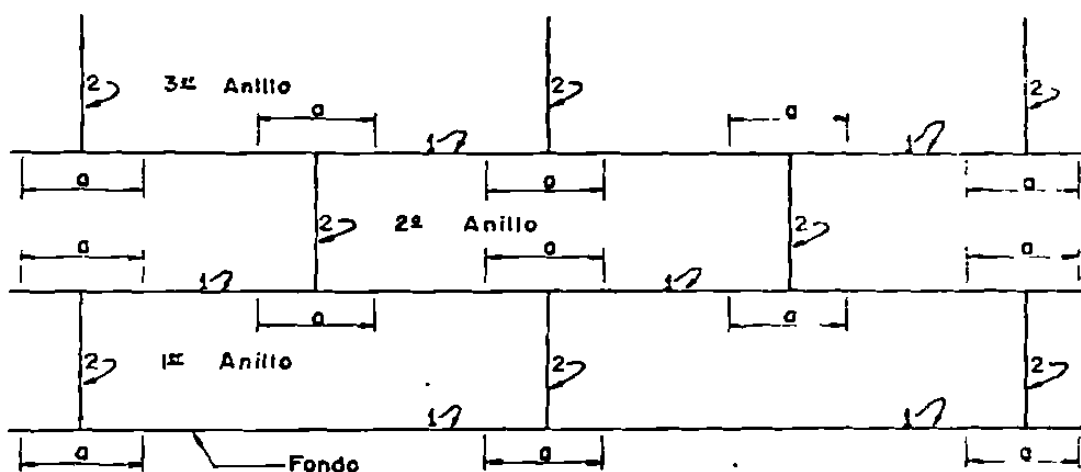
En este procedimiento la flama es neutra para evitar la oxidación que se presentaría al usar la flama oxidante, o la carburación con flama reductora o carburizante (exceso de acetileno), lo que produciría soldaduras de menor resistencia y con porosidades.

Los tubos de pared delgada y diámetros menores mencionados, generalmente constituyen partes de calderas tales como paredes de tubos de evaporación, sobrecalentadores, economizadores, accesorios para medición, de control, quemadores, etc.

## 3.- TECNICAS PARA DEPOSITAR SOLDADURA:

### a.- En tanques de almacenamiento:

La secuencia para depositar la soldadura en tanques de almacenamiento se ilustra en el esquema siguiente:



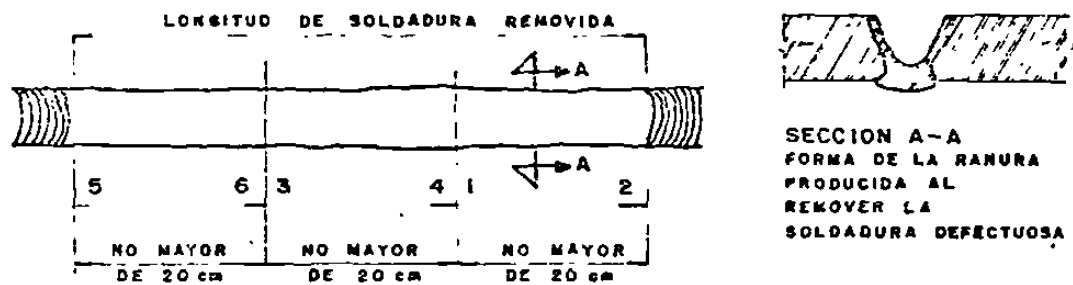
En el esquema anterior se denominó con "1" a las uniones horizontal y con "2" a las uniones verticales de un tanque para almacenamiento de combustible. La práctica común consiste en armar dos o más anillos, uniendo las láminas mediante puntos de soldadura, y después soldar las uniones horizontales dejando sin soldar los espacios marcados como "a", que deberán tener una longitud de más o menos 30 cms., 15 cms. a cada lado de la unión vertical. Como siguiente paso se sueldan las uniones verticales y posteriormente los espacios "a" dejados pendientes de las uniones horizontales.

La razón por la cual se deja al final la soldadura de los espacios denominados "a", consiste en la necesidad de permitir la libre contracción que se produce al enfriarse la soldadura de las uniones verticales y permitir que se deformen las placas, para evitar que el esfuerzo inducido por esta contracción pueda originar roturas en los cruces de soldadura y/o en las láminas, o que se produzcan deformaciones permanentes en los tanques. Es aconsejable que en el tramo "a" no haya soldadura de puntos.

Para el caso de reparaciones locales de uniones, será necesario remover la

soldadura defectuosa del tramo afectado, preferentemente con herramientas que no suministren un calor excesivo, tales como disco abrasivo o cortador de electrodo de carbón y aire comprimido, con el fin de evitar una posible distorsión de las láminas y modificar lo menos posible las propiedades del material base.

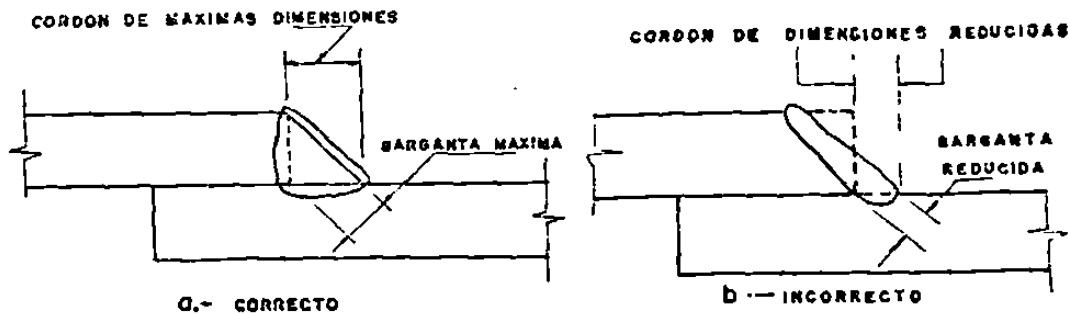
El aporte de soldadura para sustituir la soldadura removida deberá hacerse bajo la secuencia que a continuación se ilustra y que se denomina técnica de paso atrás.



Empezar a depositar soldadura en el punto 1 (ver figura anterior) y terminar en el punto 2, a continuación empezar a depositar soldadura en el 3 y terminar en el punto 4, depositando 2 cms. adelante de este punto, y para completar la primera pasada, empezar a depositar en el punto 5 y terminar en el 6, depositando así sucesivamente las demás pasadas hasta terminar de depositar toda la soldadura necesaria para terminar la unión. Es recomendable que las terminaciones iniciaciones sean traslapada en aproximadamente 2 cms. para evitar posibles defectos de soldadura que se presentarían si los extremos coinciden.

Las dos técnicas descritas ayudan a reducir los esfuerzos residuales, la deformación de las láminas y primordialmente a reducir las roturas ocasionadas por esos esfuerzos.

En las láminas del fondo, las cuales se unen a traslape, deberá tenerse -- cuidado en verificar que se use la corriente adecuada, pues un exceso de -- corriente originaría una reducción de la garganta de la soldadura y conse- -- cuentemente el área neta de trabajo. En las figuras siguientes se ilustra esta reducción de sección:



Generalmente los puntos de soldadura para el armado de los tanques son de- -- positados deficientemente y en muchos casos estos puntos se rompen, de tal -- manera que es recomendable revisarlos con el fin de eliminar los que estén -- rotos o mal depositados, antes de que se depositen sobre ellos los cordo- -- nes de soldadura definitivos.

b.- En tuberías

Generalidades:

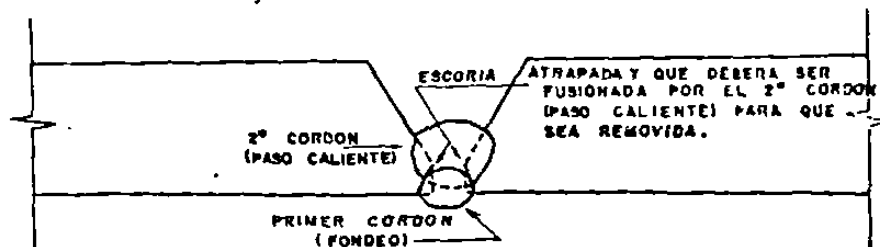
En la instalación de líneas de tuberías, ciertas operaciones colaterales -- son comunmente involucradas si se usa el proceso de soldadura. La calidad -- de la línea terminada y la velocidad con que ésta es instalada, son di- -- rectamente influenciadas por estas operaciones; de aquí la gran importan- -- cia de llevar el control y coordinación apropiados de estas operaciones -- para acelerar la terminación de una línea soldada. Así, será necesario -- que los lineamientos sean determinados conjuntamente con las especifica- -- ciones. Estas especificaciones deberán abarcar todas las fases del traba- -- jo, equipo, materiales y pruebas, y cubrir todos los requerimientos deta- -- llados para soldar, incluyendo la calificación del procedimiento de solda-

dura y de los soldadores. El tipo del acero del tubo que se emplea es - - usualmente especificado muy cuidadosamente para que el mismo sea de cali-- dad soldable.

La soldadura de campo de tuberías se efectua generalmente con el procedi-- miento de arco protegido con electrodo recubierto, con el tubo en posición horizontal y fijo; el depósito de soldadura se hace de arriba hacia abajo, depositándose el primer cordón simultáneamente por dos soldadores, depen-- diendo del diámetro del tubo. Esto evita que la contracción de la solda-- dura cierre o separe las caras de la ranura en las partes en las que aún no se esté soldando.

El cordón de raíz (fondeo) es depositado con un exceso de corriente con el fin de lograr una penetración completa. La limpieza de este cordón de - - soldadura se limita a eliminar la capa de escoria que lo cubre y hasta - - donde es posible la escoria acumulada en las socavaduras laterales.

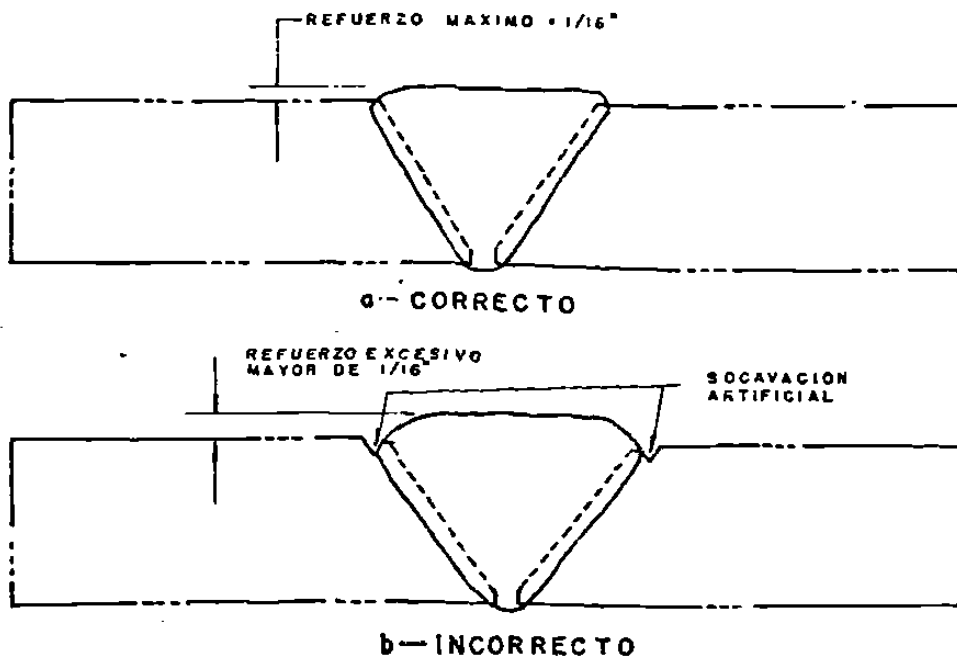
La escoria incrustada entre el primer cordón y el material base es remo-- vida por el segundo cordón, que también es depositado por dos soldadores - simultánea y diametralmente opuestos; este segundo cordón se denomina "pa-- so caliente" y debe ser depositado también con un exceso de corriente, con el fin de lograr una mayor penetración del arco y fundir las orillas del primer cordón, para facilitar el flujo de la escoria ahí atrapada ha-- cia la superficie, la cual no fue removida por medios mecánicos. En la - siguiente figura se ilustra la localización de la escoria atrapada y la -- penetración de la fusión que deberá tener el segundo cordón para remover-- la.



Es práctica recomendable depositar inmediatamente el "paso caliente", para aprovechar el calor residual del cordón de raíz; se ha encontrado que es conveniente para reducir las roturas bajo cordón, cuando se sueldan tuberías de alta resistencia, como las de especificación API grado SLX. El paso caliente también proporcionará la resistencia adicional necesaria para la unión, pues el tubo con los dos primeros cordones podrá resistir la contracción y expansión debida a los cambios de temperatura, ya que puede estar bajo estas condiciones horas o días, antes de que el resto de los cordones de relleno sean depositados para completar la unión.

El refuerzo de la soldadura terminada deberá ser de  $1/16$ " como máximo, - tanto en la cara como en la raíz, y deberá evitarse que las orillas del cordón de vista sean recaladas con cincel, ya que eso origina una socavación artificial y un cambio brusco de sección. Ambos casos propician la concentración de esfuerzos indeseables en las soldaduras que transmitan cargas.

A continuación se ilustra el perfil correcto de una unión soldada a tope y el perfil incorrecto por refuerzo excesivo y socavaduras artificiales:

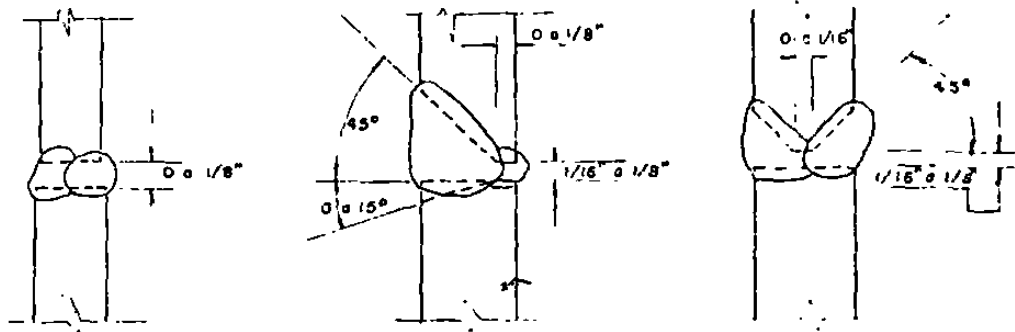


### III.- PREPARACION DE LAS UNIONES

#### I.- RANURAS

##### IA.- Ranuras en recipientes.

Se emplean tres tipos principales de ranuras para soldar la unión horizontal de las láminas del cuerpo de un recipiente. En los tres tipos de unión se requiere que la penetración sea completa a través de toda la unión, como se indica en las figuras siguientes:

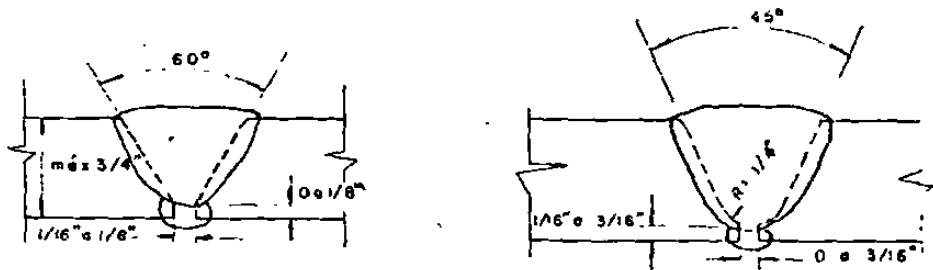


**RANURA CUADRADA**  
Soldadura por ambos lados, unión a tope de penetración completa. Espesor  $1/4''$  o menor

**RANURA DE BISEL SENCILLO**  
Soldadura por ambos lados, unión a tope de penetración completa. Espesor  $1/4''$  a  $3/4''$

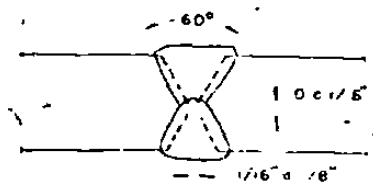
**RANURA DE DOBLE BISEL**  
Soldadura por ambos lados de penetración completa. Espesores mayores de  $3/4''$

En las uniones verticales se emplean los diseños típicos de unión siguientes:



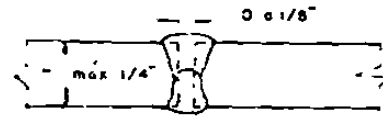
**RANURA EN "V" SENCILLA**  
Unión a tope de penetración completa, soldada por uno o ambos lados. Espesores de  $1/4''$  a  $3/4''$ .

**RANURA EN "U" SENCILLA**  
Unión a tope de penetración completa, soldada por uno o ambos lados. Espesores mayores de  $3/4''$ .



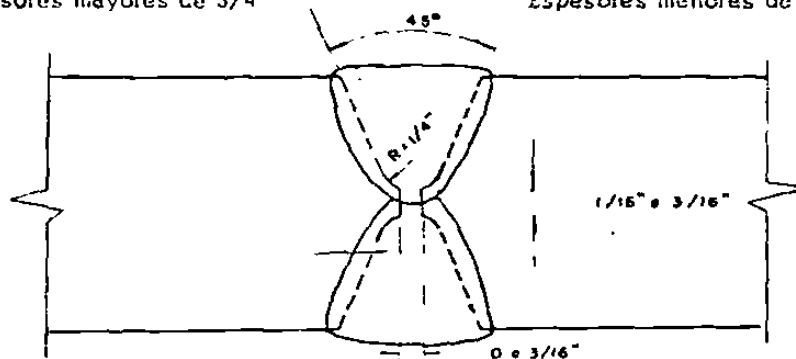
RANURA EN DOBLE "V"

Unión a tope de penetración completa,  
soldada por ambos lados.  
Espesores mayores de 3/4"



RANURA CUADRADA

Unión a tope de penetración completa,  
soldada por ambos lados.  
Espesores menores de 1/4"



RANURA EN "U" DOBLE

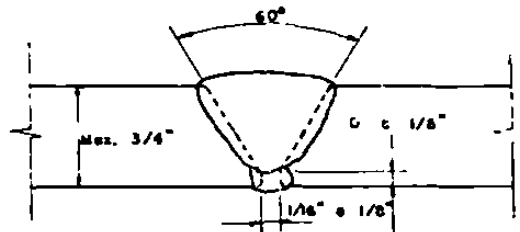
Unión a tope de penetración completa,  
soldada por ambos lados.  
Espesores mayores de 3/4"

Cuando por motivos de diseño no sea necesario que una unión horizontal tenga penetración completa del material de aporte, deberá especificarse claramente el porcentaje del espesor de la unión que deba tener de penetración, y se deberán preparar los biselés adecuados y dejar las separaciones de raíz necesarias, para garantizar que se obtenga la penetración requerida; independientemente de lo anterior, la unión horizontal deberá tener penetración completa en ambos extremos que conecten con cada unión vertical; en una longitud no menor de 3" a cada lado. En todos los casos las uniones verticales deberán ser de penetración completa.

#### IB.- Ranuras en tuberías

La ranura típica para hacer uniones soldadas en tuberías con pared hasta de 0.812", que solo pueden ser soldadas por un solo lado, es la mostrada en la siguiente figura:





En tuberías de diámetros mayores, en las cuales es posible soldar tanto - por el interior como por el exterior, se utilizan los tipos de ranuras en doble "V" y en "U" doble para espesores mayores de 3/4", en espesores de 1/4" a 3/4" se emplea la ranura en "V" sencilla, y para espesores de hasta 1/4" se emplea la ranura cuadrada.

## 2.- SEPARACION Y ALINEACION

La separación en la raíz de la ranura deberá de ser de 1/16" a 1/8", para lograr que el depósito de soldadura llegue hasta el lado opuesto de la ranura y obtener penetración completa requerida.

La separación antes indicada es la adecuada para emplear electrodos de - - 1/8" a 5/32" de diámetro para depositar el cordón de raíz. Al emplear - - electrodos mayores se correrá el riesgo de no lograr una penetración completa. En los cordones siguientes se recomienda el empleo de electrodo de 5/32" a 3/16" de diámetro, con el fin de facilitar la fluencia de la escoria en la parte más estrecha de la ranura. En los últimos cordones se - - puede emplear electrodo de 3/16" de diámetro, según la habilidad del soldador.

El riesgo de incurrir en errores se incrementa al aumentarse el diámetro - del electrodo empleado.

Las caras de las láminas en tanques de almacenamiento deben estar alineadas antes de unirse. Si son de diferente espesor la alineación deberá hacerse por el exterior del tanque.

En líneas de tubería, uno de los problemas para producir buenas uniones de campo, se origina por la dificultad de obtener un buen alineamiento de los tubos. El alineamiento es efectuado con la ayuda de un dispositivo denominado "alineador" que opera en el interior del tubo. El alineamiento de los extremos de los tubos por unir, deberá ser hecho de manera que se reduzca a un mínimo el desalineamiento entre las superficies.

Para tubos del mismo espesor nominal, el desalineamiento no deberá exceder de 1/16". Cualquier desalineamiento mayor causado por variaciones en el diámetro o espesor, deberá ser igualmente distribuido alrededor de la circunferencia del tubo. Puede recurrirse a golpear el extremo del tubo con martillo o marro para redondearlo y obtener un mejor alineamiento aunque esta práctica no es recomendable, especialmente en los aceros de alta resistencia, y debe limitarse a un mínimo.

### 3.- LIMPIEZA

Una fase importante del proceso de soldadura es la limpieza de los cordones. La calidad de la soldadura depende mucho de la perfección con que se remueva la escoria antes de depositar el cordón subsiguiente. En muchas ocasiones las soldaduras defectuosas han tenido su origen en una limpieza inadecuada.

Los biseles deben estar limpios, libres de óxido, escoria del corte, grasa, pintura, esmalte o cualquier otro material extraño, antes de depositar la soldadura, con el fin de evitar defectos como falta de fusión o porosidad.

#### 4.- INFLUENCIA DEL MEDIO AMBIENTE

La soldadura no deberá efectuarse cuando las superficies de las partes que van a ser soldadas estén húmedas por la lluvia, nieve o hielo, cuando esté lloviendo o nevando o durante períodos de viento fuerte, a menos que el soldador y el trabajo estén debidamente protegidos. La soldadura tampoco deberá efectuarse cuando la temperatura del metal base sea menor de 0°F. Cuando la temperatura del metal base esté dentro del rango de 0-32°F inclusive, o el espesor sea mayor de 1 1/2", deberá precalentarse el material hasta una temperatura que la mano apenas soporte, en una zona de 3" alrededor del punto donde se vaya a iniciar la soldadura.

El metal base frío que rodea la soldadura y el área del metal base afectada por el calor de la soldadura pueden actuar como un enfriador brusco. El metal de la soldadura y el metal base afectado por el calor, por lo tanto, pueden contener estructuras suaves, o muy duras o una combinación de ambas, dependiendo grandemente de la velocidad de enfriamiento, la cual depende principalmente de 3 variables: La cantidad de calor suministrado en un lapso determinado, la temperatura del metal base antes de soldar y el espesor de la sección y su geometría.

Una gran cantidad de calor suministrado y el precalentamiento favorecen el enfriamiento lento; es conveniente señalar que para una misma cantidad de calor suministrado en secciones gruesas, se tienen mayores velocidades de enfriamiento que en secciones delgadas, de ahí que sea aconsejable usar las dos primeras variables durante el proceso de soldadura para controlar el enfriamiento, especialmente cuando se sueldan secciones gruesas.

Una gran velocidad de enfriamiento hace susceptible a fracturarse al metal base inmediatamente adyacente a la soldadura, el metal de la soldadura y a la zona de fusión debido a que se propicia la formación de una microestructura martensítica, la cual es dura pero frágil y poco elástica.

De lo anterior se deduce la importancia del estado del medio ambiente para decidir que medidas tomar para evitar su mala influencia.

#### IV.- DEFECTOS DE SOLDADURA:

##### SU ORIGEN, CORRECCION E INFLUENCIA EN LA SOLDADURA:

Los defectos de soldadura por arco y gas pueden clasificarse en tres grupos generales:

##### 1.- DEFECTOS DIMENSIONALES

##### 2.- DISCONTINUIDADES ESTRUCTURALES

##### 3.- DEFECTOS EN LAS PROPIEDADES DEL METAL DE LA SOLDADURA O DE LA UNION SOLDADA

Estas tres clases de defectos pueden subdividirse como sigue:

##### 1.- DEFECTOS DIMENSIONALES:

- a.- Deformaciones por contracción térmica
- b.- Preparación incorrecta de la unión
- c.- Dimensiones incorrectas de la soldadura
- d.- Perfil incorrecto de la soldadura

##### 2.- DISCONTINUIDADES ESTRUCTURALES EN LA SOLDADURA:

- a.- Porosidad
- b.- Inclusiones no metálicas
- c.- Fusión incompleta
- d.- Penetración incompleta
- e.- Roturas
- f.- Defectos superficiales

##### 3.- DEFECTOS EN LAS PROPIEDADES DEL METAL DE LA SOLDADURA O DE LA UNION -- SOLDADA.

- a.- Propiedades mecánicas deficientes
- b.- Propiedades químicas deficientes

## 1.- DEFECTOS DIMENSIONALES:

La producción de soldadura satisfactoria depende, entre otros factores, de mantener las dimensiones y formas especificadas. Los requerimientos de esta naturaleza están determinados en planos y especificaciones. Apartarse de estos requerimientos en cualquier aspecto deberá considerarse como defecto dimensional, el cual debe ser corregido antes de la aceptación final de la soldadura. A continuación damos una breve explicación de cada tipo de defecto dimensional.

### a.- Deformaciones por contracción térmica:

El proceso de soldadura implica la aplicación de calor y la fusión de metal en una sección localizada. Esfuerzos de gran magnitud son inducidos -- debido a la expansión y contracción térmica, los cuales persisten en la -- soldadura después de que se ha enfriado. Tales esfuerzos tienden a causar la distorsión de las partes soldadas.

La deformación puede ser disminuída fijando rígidamente las partes por -- unir, implantando una adecuada secuencia de soldadura, e induciendo es- -- fuerzos positivos y negativos que se compensen. La corrección de este -- tipo de defecto en una unión completa requiere generalmente seguir uno o más de los pasos del procedimiento siguiente:

- a.- Enderezado con o sin la aplicación de calor
- b.- Remover la soldadura o soldaduras que ocasionan la distorsión y, sub-- secuentemente, la aplicación de nueva soldadura
- c.- Remover metal o adicionar donde sea necesario

### b.- Preparación incorrecta de la unión:

El procedimiento de soldadura establecido requiere dimensiones adecuadas -- de la unión para cada uno de los espesores de las placas que serán solda-- das. Apartarse de estos requerimientos puede ocasionar un gran incremento de los defectos clasificados como discontinuidades estructurales de la --

soldadura.

Por lo tanto es importante que la preparación de la unión sea la misma que la indicada en los esquemas en los que se describe el procedimiento, en el cual también se indican los límites permitidos para las posibles variaciones.

c.- Dimensiones incorrectas de la soldadura:

La medida de una soldadura de filete es expresada como la longitud del lado más corto del triángulo inscrito en su sección transversal.

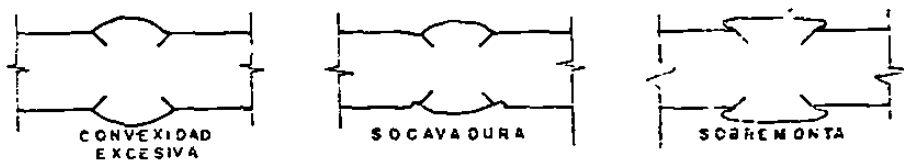
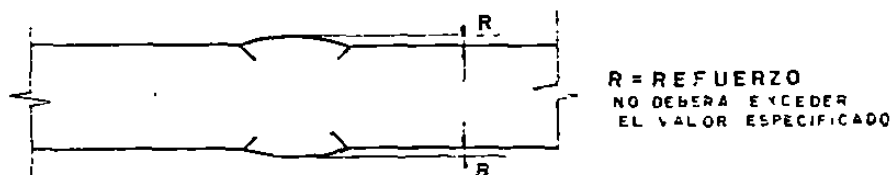
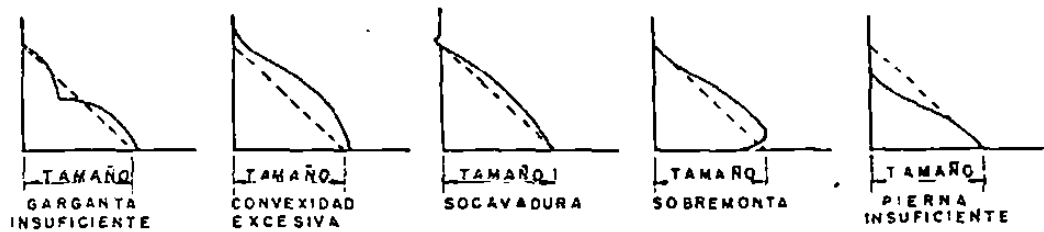
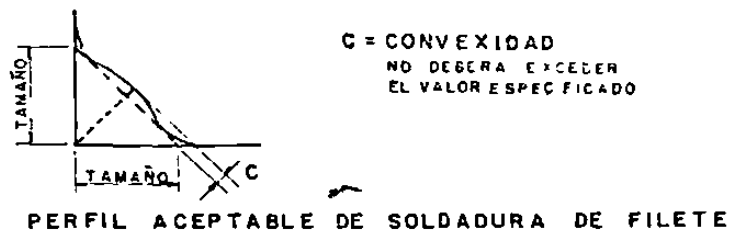
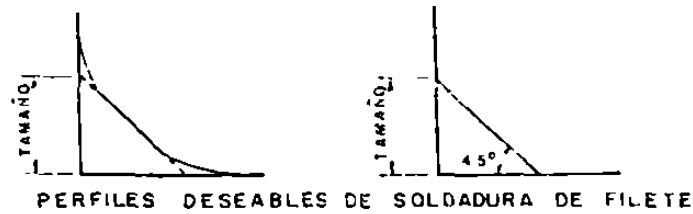
La medida de una soldadura a tope es la profundidad de la ranura en la que se deposita la soldadura, excepto cuando la fusión materialmente excede la profundidad de la ranura, en este caso la medida de la soldadura es la - - profundidad de la ranura más la profundidad de fusión.

Las deficiencias de soldadura de filete debidas a depósito insuficiente o excesivo son detectadas en la mayoría de los casos mediante examen vi- -sual o mediante un calibrador apropiado de soldadura.

Para corregir estas deficiencias bastará depositar o remover soldaduras -- según lo amerite el caso.

d.- Perfil incorrecto de la soldadura:

La figura siguiente ilustra varios tipos de perfil de soldadura acepta- --bles o defectuosos.



PERFILES DE SOLDADURA  
ILUSTRANDO PERFILES ACEPTABLES  
Y DEFECTUOSOS DE SOLDADURA

#### Sobremonta:

Es un defecto que comúnmente se presenta en soldadura de filete. El término describe la condición en donde existe una protuberancia del metal de la soldadura en la base de la sección, prolongándose más allá de los límites de la zona de fusión. Esta condición tiende a producir una muesca o abertura la cual es obviamente perjudicial debido a que ocasiona una concentración de esfuerzos cuando queda sometida a carga. Deberá considerarse defecto de soldadura debido a que reduce la medida efectiva del filete de soldadura, es decir, reduce el área de transmisión de esfuerzos.

La sobremonta es generalmente causada por el uso de una técnica inadecuada de soldadura (oscilado del electrodo inadecuado) o condiciones eléctricas incorrectas (baja corriente o potencial).

La sobremonta también puede ocurrir en cierto tipo de soldadura de ranura, sin embargo en estos casos es normalmente referido como falta de fusión.

#### Convexidad excesiva:

La convexidad como la sobremonta tiende a producir concentración de esfuerzos estando la soldadura bajo carga. Es perjudicial cuando se produce en el caso de los pasos intermedios de una soldadura de ranura que se haga con varias pasadas, porque propicia la falta de fusión o inclusiones de escoria, a menos de que sea eliminada antes de depositar los cordones subsiguientes. Este defecto es usualmente debido al uso de corriente insuficiente o a una técnica de soldadura inapropiada (oscilación del electrodo nula o poco amplia).

#### Concavidad excesiva:

Es comúnmente asociada a las soldaduras de filete. La resistencia de estas soldaduras es considerada menor que la de una soldadura normal que tenga la misma dimensión. Esta condición ocurre principalmente al soldar



en posición plana y es debida al uso de corriente excesiva o a una excesiva longitud de arco.

Refuerzo excesivo de la soldadura:

Es asociado con la soldadura a tope de ranura y es considerado indeseable si aumenta la sección hasta el punto de ocasionar que se afecte la distribución de esfuerzos cuando esté bajo carga. Esta condición resulta de una técnica inadecuada de soldadura (poca velocidad de aporte, diámetro de electrodo inadecuado para depositar el último cordón) o por insuficiente corriente al soldar.

## 2.- DISCONTINUIDADES ESTRUCTURALES EN LA SOLDADURA:

a.- Porosidad:

El término es usado para denominar los huecos globulares libres de cualquier sólido, los cuales son encontrados frecuentemente en las soldaduras. Es una forma de inclusión gaseosa resultante de la reacción química que tiene lugar durante la soldadura.

Los gases que forman los huecos se derivan del gas liberado durante el enfriamiento del metal de soldadura a causa de que se reduce la solubilidad cuando la temperatura decae; y por los gases formados por la reacción química en la soldadura.

Puede haber un alto consumo de elementos desoxidantes del recubrimiento, si durante el depósito de la soldadura se usa alta corriente y una longitud de arco excesiva, perdiéndose cantidades de estos elementos útiles para combinarse con los gases en el metal fundido durante el enfriamiento.

La formación de la porosidad se previene, la mayoría de las veces, evitando corrientes muy altas o una longitud de arco excesiva.

La distribución de la porosidad en una soldadura es importante desde el punto de vista de la resistencia de la unión, y de acuerdo a su distribución puede generalmente ser clasificada como sigue:

Porosidad uniformemente esparcida o dispersa.

En esta distribución las cavidades están dispersas más o menos uniformemente en todo el volumen de la soldadura. El tamaño de las cavidades puede variar desde microscópicas la mayoría a  $3/16''$  o más, como en el caso de la soldadura de arco sumergido. Sin embargo, para una condición determinada, tienden a predominar las de un mismo tamaño.

Porosidad en grupo:

Frecuentemente ocurren grupos separados por una longitud considerable de soldadura libre de porosidad. Tales grupos son frecuentemente asociados con cambios en las condiciones al soldar, por ejemplo, cambios en las condiciones del arco cuando se para o se reinicia la soldadura al poner un nuevo electrodo.

Porosidad lineal:

Esta porosidad ocurre en el cordón de raíz es a menudo considerada como un caso especial de penetración incompleta. Es generalmente definida como una condición en la cual 3 o más cavidades de un diámetro promedio de  $1/16''$ , están distribuidas paralelamente al eje de la soldadura y la distancia promedio entre ellas no es mayor de  $3/4''$  ni menor de  $1/16''$ .

b.- Inclusiones no metálicas:

Este término es usado para denominar los óxidos y otros sólidos que algunas veces son encontrados en las soldaduras en forma de inclusiones alargadas o amorfas.

Durante el depósito de la soldadura y la subsecuente solidificación, muchas reacciones químicas ocurren entre el metal, el arco y el recubrimiento del electrodo o con la escoria producida. Algunos de estos productos de la reacción son compuestos no metálicos solubles solamente en grado ligero en el metal fundido. Debido a su baja gravedad específica tienden a flotar sobre la superficie del metal fundido a menos que sean detenidos.

Cuando la escoria está presente en el metal fundido, por cualquier causa, tiende a elevarse a la superficie en virtud a su menor densidad. Un número de factores tales como alta viscosidad de la soldadura, rápida solidificación o demasiada baja temperatura, pueden impedir que la escoria flote.

Al soldar por el proceso de arco metálico usando electrodo recubierto, la escoria formada es forzada a irse por debajo de la superficie del metal fundido por la acción impulsora del arco. La escoria también puede fluir adelante del arco causando que el metal se deposite sobre ella.

Cuando la soldadura es depositada en una ranura en "V" muy estrecha, la escoria es frecuentemente atrapada en la soldadura, porque en esta condición el arco no puede calentar el fondo de la parte más estrecha a una temperatura suficientemente alta, para permitir que la escoria flote hacia la superficie.

Existe una condición similar al presentarse en la orilla del cordón una sección aguda, debido a socavado o convexidad excesiva de los primeros cordones de una soldadura. Las inclusiones de escoria de este tipo son generalmente alargadas. Cuando son inclusiones individuales de considerable longitud se denominan líneas de escoria si están de un solo lado del centro de la unión. La resistencia de la unión puede ser reducida considerablemente, cuando adolece de este tipo de inclusiones.

La escoria forzada dentro del metal fundido por el arco, o la formada por

reacción química, generalmente aparece como dividida finamente o como inclusiones globulares.

La mayoría de las inclusiones de escoria pueden ser prevenidas por una -- preparación adecuada de la ranura, antes de que sea hecho el depósito de -- soldadura, corrigiendo los contornos que puedan dificultar la penetración completa del arco. Obviamente la liberación de la escoria del metal fun-- dido será ayudada por todos los factores que tiendan a hacer al metal me-- nos viscoso o retarden su solidificación, tales como un precalentamiento y alto calor de entrada por unidad de longitud de unión y por unidad de -- tiempo.

Escoria en la raíz de la soldadura:

Al depositar el cordón de raíz, el electrodo puede ser tan grueso que el arco se origine en la pared lateral de la ranura, en lugar de incluir en la raíz de la unión, y en esta forma la escoria puede fluir hacia la abertura de la raíz o ser atrapada en el metal del primer cordón.

Otra fuente de escoria en la raíz es el efectuar incorrectamente el esme-- rilado preparatorio para hacer el cordón de raíz sobre el lado opuesto de las placas previamente soldadas por un lado. El cordón inicial de soldadura en el lado frontal no siempre funde completamente la profundidad de la raíz y en este caso siempre atraparé escoria, además, el metal que -- atraviesa la raíz no está protegido por la atmósfera inerte que proporciona el recubrimiento del electrodo en el lado opuesto y consecuentemente se encuentra dañado por oxidación. La escoria el óxido y las protuberancias irregulares de metal de soldadura deberán ser removidos antes de soldar en el lado opuesto.

Escoria en la zona de fusión:

Al remover la escoria superficial para preparar la superficie antes de depositar el cordón subsecuente, puede quedar un remanente en la esquina que

forman el cordón de soldadura y la cara de la ranura. En la mayoría de -- los casos esta escoria es fundida y sacada a la superficie. De no suceder así, la escoria atrapada será una inclusión alargada en la zona de fusión.

Escoria dispersa:

Cuando la limpieza entre cada cordón es imperfecta habrá escoria adherida en áreas aisladas sobre la superficie del último cordón depositario. Esta escoria tenderá a interrumpir el arco y a evitar la fusión del metal y la completa refusión de la soldadura. El resultado será que habrá inclusio-- nes de escoria dispersa, distribuidas dentro de la soldadura.

c.- Fusión incompleta:

Se presenta cuando falla la penetración del arco, ya que entonces no se -- produce la fusión entre cordones de soldadura o entre éstos y el metal ba-- se. Este defecto puede presentarse en cualquier lugar de la ranura y/o -- entre cordón y cordón.

La falta de fusión puede ser causada por no elevarse suficientemente la -- temperatura para alcanzar el punto de fusión del metal base o de la sol-- dadura previamente depositada, o por no disolver, por medio del fundente, los óxidos u otros materiales extraños presentes en la superficie sobre la cual debe fusionar el depósito de soldadura.

d.- Penetración incompleta:

Este término se aplica para denominar el defecto consistente en que el me-- tal depositado y el metal base no se fusionan íntegramente en la raíz de la soldadura.

Puede ser causada porque la cara de la raíz de la ranura no alcance la - - temperatura de fusión en toda su profundidad.

Si la parte del metal base más cercana al electrodo está a una distancia considerable de la raíz, la conducción del calor puede ser insuficiente -- para alcanzar la temperatura de fusión de la raíz y se originará una pe- - netración incompleta.

La penetración ncompleta es indeseable, particularmente si la raíz de la soldadura se sujeta a esfuerzos de tensión o flexión. El área sin fusio-- nar permite una concentración de esfuerzos, los cuales pueden ocasionar -- que falle la unión sin deformación apreciable.

Aún cuando los esfuerzos a los que se someta la unión no sean tensión o -- flexión, el esfuerzo por la contraccion y la consecuente distorsión de las partes a soldar, causarán frecuentemente roturas que se iniciarán en el -- área sin fusionar. En algunos casos tales roturas pueden progresar con--- forme se depositen los cordones subsecuentes, hasta que se extiendan a -- través de la mayoría del espesor de la soldadura.

La causa más común de la penetración incompleta es el diseño inadecuado de la unión para el proceso de soldadura usado. Cuando una ranura se suelda por un solo lado, la penetración completa no es fácilmente obtenida si la cara de la raíz es demasiado grande, aún cuando la abertura de la raíz sea adecuada, o si la abertura de la raíz es demasiado pequeña, o el ángulo -- del bisel es reducido.

Si el diseño es adecuado, la penetración incompleta puede resultar del uso de electrodo muy grueso, una velocidad alta de avance del electrodo o el - uso de insuficiente corriente.

e.- Roturas:

Las roturas en las uniones soldadas son debidas a la presencia de esfuer-- zos localizados, los cuales, en algún punto, exceden a la resistencia má-- xima del material.

Hay cambios inevitables de volumen durante la operación de soldadura, los

cuales pueden causar distorsión, esfuerzos residuales y roturas; estos - - cambios son debidos a la expansión y contracción térmica del acero.

Los cambios de volumen ocurren por el ciclo térmico de la soldadura y son un problema a causa de las tres circunstancias siguientes que le acompañan:

- 1.- El acero es calentado diferencialmente y sujeto a cambios drásticos de temperatura.
- 2.- Cuando el acero es calentado se hace más débil y por consiguiente, más fácilmente deformable.
- 3.- Cuando la soldadura es hecha en piezas de acero, hay siempre un grado de rigidez presente en la unión soldada.

Al unir dos piezas de acero con soldadura, el metal depositado y el metal base adyacente son sometidos a una contracción considerable cuando se enfrían desde alta temperatura a la temperatura ambiente. Generalmente la zona afectada crece poco en todas sus dimensiones al ser calentada, sin -- embargo es sujeta por el metal frío que la rodea, el cual ofrece resis-- tencia a la contracción de la zona calentada cuando ésta se enfría.

Debido a que el acero es débil a temperaturas elevadas y porque el área -- calentada es pequeña comparada con la masa del acero a la que pertenece, - la mayoría del ajuste o acomodamiento entre la placa y la soldadura se - - lleva a cabo en esta última.

El flujo plástico que ocurre en la soldadura es forzado. A medida que - - procede a enfriarse, la zona de soldadura se hace más resistente y se re-- quiere mayores esfuerzos para continuar el flujo plástico. Si las placas que son soldadas están relativamente libres, son jaladas por la fuerza de la contracción de la soldadura.

Si la estructura es rígida debido a la firmeza de los propios miembros, la deformación es pequeña. La fuerza de la contracción de la soldadura, sin embargo, alcanza mayores niveles a medida que alcanza la temperatura am-- biente.

Se ha demostrado que esfuerzos residuales, mayores que el punto de cedencia, son esperados en soldaduras de longitud apreciable. Bajo tan altas contracciones, el flujo plástico requerido de la soldadura o de la zona calentada puede exceder su capacidad para fluir y podrán ocurrir roturas. Las roturas pueden ser inducidas mientras el metal permanece caliente o posteriormente cuando éste se aproxima a la temperatura ambiente.

La expansión y contracción generalmente no producen resultados nocivos. Cuando ciertas condiciones están presentes, sin embargo, pueden ocasionar una reducción en la resistencia de la soldadura o una distorsión indeseable en las partes soldadas.

Estos resultados nocivos pueden reducirse al mínimo empleando una técnica de soldar apropiada, por ejemplo: Un diseño correcto de la unión, preparación adecuada o tratamiento especial durante y/o después de soldar.

Todos los metales se expanden cuando se calientan y se contraen cuando se enfrían. Si un cuerpo metálico es calentado y está sujetado para impedir su contracción, se verá sometido a esfuerzos durante el proceso de enfriamiento.

La soldadura cuando se está depositando, está en estado de expansión por su alta temperatura. Durante la solidificación y subsecuente enfriamiento tiende a contraerse. Esta contracción es volumétrica o tridimensional y los esfuerzos que origina no pueden ser considerados como pequeños. La experiencia indica que aún cuando estos esfuerzos no causen roturas pueden causar una falla, que ocurrirá con una pequeña deformación cuando sea aplicada la carga. Para evitar esta condición desfavorable, se aplica un tratamiento térmico para relevado de esfuerzos, específico para cada condición.

Roturas en la soldadura:

La formación de roturas en el metal soldado es debida principalmente a la resistencia a moverse de los miembros a unir, al momento de que la soldadura pase por su fase de enfriamiento y contracción. La tendencia a las



roturas se incrementa en proporción a la contracción y decrece con el incremento de la plasticidad de la soldadura.

Rotura en caliente:

Estas roturas son propiciadas por la alta rigidez de las uniones, por la concavidad de los cordones, especialmente si son anchos y delgados, o por un alto contenido de carbón, azufre o silicio en el metal base. Este tipo de roturas se localizan comúnmente en el metal que se enfría en último término y sigue una trayectoria intergranular. Si la rotura ocurre en un cordón convexo, se localiza usualmente en la raíz de la soldadura y es difícil detectarla mediante un examen visual.

Un cráter de soldadura ofrece las condiciones ideales para romperse en caliente si es demasiado cóncavo y está localizado al extremo del cordón de soldadura. Para prevenir las roturas en este punto es necesario llenar completamente el cráter y depositar sobre él material adicional para reforzarlo, antes de cortar el arco.

Roturas en la raíz:

Durante el enfriamiento, la soldadura y la zona adyacente calentada empiezan a contraerse, encongiéndose en todas direcciones. Debido a que el material frío que rodea la zona caliente restringe el movimiento, la soldadura se ve sujeta a tensión al enfriarse. Mientras permanece caliente, el área de soldadura es débil y el flujo plástico ocurre a un esfuerzo relativamente bajo. Cuando la temperatura de esta zona está abajo del rango crítico se hace más resistente pero menos plástica. La raíz de la soldadura actúa como una zona débil y los esfuerzos tienden a elevarse en su vecindad.

Cualquier flujo plástico que ocurra abajo del rango crítico es equivalente a trabajo en frío, el cual tiende a reducir la ductilidad del material. Entonces la tendencia a romperse se incrementa continuamente, aún a temperatura ambiente.

Las roturas en la raíz son causadas por la alta contracción, deficiente alineamiento y penetración, cuando los cordones son anchos y delgados, por la baja temperatura del metal base, y/o por su alto contenido de carbón, y cuando el metal de la soldadura es de alta aleación.

En muchos casos las roturas en la raíz se continúan a través de la mayoría de los cordones subsecuentes, cuando éstos se depositan y/o cuando se somete a cargas el área donde se encuentran.

Cuando se presentan roturas en la raíz, una o más de las modificaciones siguientes podrán ayudar a reducirlas o eliminarlas.

- a.- cambiar la manipulación del electrodo o las condiciones eléctricas, -- las cuales modificarán el contorno o la composición del depósito.
- b.- Disminuir la velocidad de depósito para incrementar el espesor del --- cordón y con ello proporcionar más metal de soldadura para resistir el esfuerzo que le sea impuesto.
- c.- Usar precalentamiento para modificar la intensidad del sistema de esfuerzos que le sea impuesto.

Roturas debajo del cordón:

Ocurren invariablemente a través de los granos de la zona afectada por el calor, especialmente en los aceros aleados. Son atribuidas al efecto del hidrógeno disuelto en la austenita y luego liberado cuando ésta se transforma. Pueden ser evitadas en los aceros aleados mediante precalentamiento por el uso de electrodos adecuados de bajo hidrógeno.

Roturas transversales:

Estas roturas son perpendiculares al eje de la soldadura y en algunos -- casos se prolongan hasta el material base. Este tipo de roturas es más -- común en uniones de elementos sujetos muy rígidamente.

### Roturas longitudinales:

Normalmente se presentan al centro de la soldadura y pueden ocurrir a partir de la rotura del cráter del extremo del cordón de soldadura. También pueden originarse como una prolongación a través de los cordones de soldadura sucesivos, de una rotura que exista en el cordón de raíz. Si una rotura se forma en el primer cordón y no es removida o completamente refusionada por el cordón subsecuente, tiende a progresar dentro de ese primer cordón, de ahí sucesivamente al siguiente cordón adyacente y, en algunos casos, finalmente aparece en la superficie

Para un electrodo y metal base específicos, efectuar variaciones en las condiciones eléctricas o diámetro del electrodo usado, así como engrosar los cordones y llenar los cráteres antes de cortar el arco, parecen ser los únicos medios de obtener alguna mejora a este tipo de rotura.

### Roturas en el metal base:

Este tipo de roturas son generalmente longitudinales y ocurren dentro de la zona afectada por el calor del proceso de soldadura, y la mayoría de las veces se producen en materiales endurecidos. La dureza y la fragilidad en la zona afectada por el calor, son efectos metalúrgicos producidos por el ciclo térmico al soldar, y son entre otros los principales factores que tienden a causar las roturas del metal base y las roturas debajo del cordón de soldadura depositado sobre el material base.

En el caso de aceros de bajo carbón, carbón medio y aceros de baja aleación, el endurecimiento y la capacidad del material a deformarse sin romperse dependerán del grupo al cual pertenecen, y también dependerá de la velocidad de enfriamiento desde las elevadas temperaturas producidas por la operación de soldar hasta la temperatura ambiente. La velocidad de enfriamiento dependerá de varios factores, tales como la temperatura, el espesor y conductividad térmica del material base; de la entrada de calor por unidad de tiempo a una sección de soldadura dada y de la temperatura

ambiente. Con una velocidad de enfriamiento dada, los aceros de bajo carbón serán considerablemente menos duros que un acero de carbón medio, y consecuentemente menos propensos a romperse cuando se sueldan.

Las roturas en el metal base son asociadas con la falta de ductilidad en la zona afectada por el calor. Sin embargo se ha demostrado que diferentes cantidades de calor, en un acero de igual dureza, varían apreciablemente la tendencia a originar roturas.

Los aceros endurecidos son generalmente los que más dificultades presentan para soldarse.

Cuando se presentan roturas en el metal base en aceros endurecibles, pueden obtenerse ventajas procediendo de la siguiente manera:

- a.- Usar un precalentamiento apropiado
- b.- Incrementar la entrada de calor que retardará la velocidad de enfriamiento
- c.- Seleccionar el mejor tipo de electrodo

Lo anterior son reglas generales, cada caso implica requerimientos peculiares para un ensamble soldado en particular.

f.- Defectos superficiales:

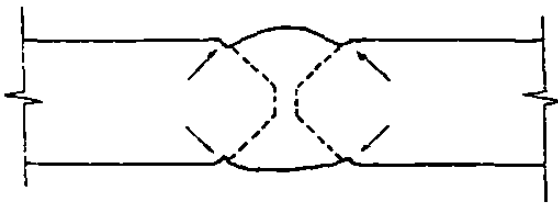
Son aquéllos que se localizan en la superficie de la soldadura o del metal base adyacente a la misma, tanto en la cara anterior como en la posterior. En el caso de soldadura de tuberías los defectos superficiales, pueden existir en el exterior y/o el interior de los tubos.

Socavado:

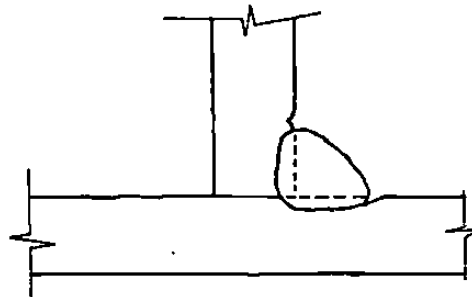
Este término es usado para describir cualquiera de las tres condiciones que definen al socavado.

- a.- La reducción en el espesor del metal base en la línea donde el último cordón se fundió a la superficie
- b.- Es el derretimiento ocurrido más allá de la cara de una ranura para soldar, en el borde o bordes de una pasada o cordón, que ha formado -- así una muesca penetrante en la cara de la ranura, en el área en la -- cual el siguiente cordón o pasada debe fundirse
- c.- Una ranura producida por derretimiento del metal base adyacente a la - orilla de una soldadura y dejada sin rellenar con metal de aporte.

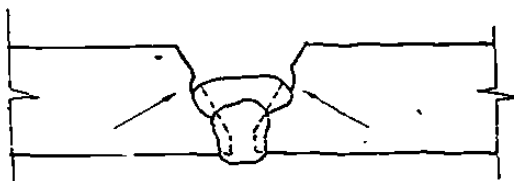
Las figuras siguientes ilustran la presencia de socavado en soldaduras de ranura y filete.



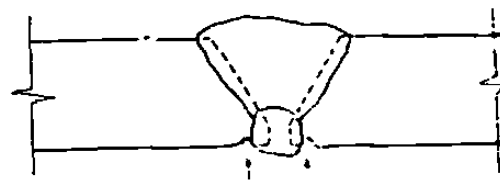
Socavado en las superficies adyacentes a la soldadura de la ranura.



Socavado en una soldadura horizontal de filete.



Socavado en las caras de la ranura en el extremo de una pasada o cordón.



Socavado adyacente al cordón de raíz, típico en la soldadura de tuberías que se sueldan por un solo lado. Se denomina socavado interno.

El socavado de ambos tipos es generalmente debido a la técnica inadecuada empleada por el soldador. Un electrodo específico, demasiada alta corriente o excesiva longitud de arco pueden incrementar la tendencia a producir socavado. Sin embargo, diferentes tipos de electrodos muestran características muy variables a este respecto.

Con algunos electrodos, aún el más hábil soldador puede ser incapaz de evitar el socavado bajo ciertas condiciones, tales como posición difícil e inaccesibilidad de la unión.

El socavado en la cara de la ranura no afectará a la soldadura, si se tiene cuidado de ampliar y redondear la muesca penetrante, mediante disco abrasivo o herramienta cinceladora, para evitar que pueda quedar atrapada escoria. Si un soldador es suficientemente experimentado y sabe cuánto penetrará el siguiente cordón, el esmerilado o cincelado no será siempre necesario, ya que será removida la escoria al ser refusionada.

El socavado en la superficie no debe ser permitido, éste materialmente reduce la resistencia de la unión, particularmente en cuanto a esfuerzos de fatiga.

El socavado es fácilmente detectable por inspección visual de la superficie de la unión terminada, cuando ésta es accesible, y es corregido depositando metal adicional.

Quemadas:

Una quemada, a través de un área, es aquella parte del cordón de raíz donde la penetración excesiva ha causado que la fuente líquida de soldadura fundida sea soplada dentro del tubo por el arco y gases del recubrimiento del electrodo, dejando un hueco o agujero generalmente de contorno oval. Este hueco o agujero es rellenado por el soldador al aplicar el segundo cordón, pero el material de relleno no siempre fusiona completamente con la orilla del agujero.

Este defecto solo se presenta al soldar tuberías por un solo lado, y es -- originada por deficiencias del soldador, tales como detener el arco más - tiempo del necesario o incrustar demasiado el electrodo, dentro de la raíz de la unión.

Para reducir a un mínimo este defecto se deberá calificar a los soldadores que harán el cordón de raíz (fondeadores) para que demuestren su capacidad para efectuar cordones de raíz sanos.

Agujeros en la superficie:

Durante el proceso de soldadura, en ocasiones, se presentan condiciones -- que causan agujeros en la superficie de la soldadura, variando su distri-- bución desde varios por centímetro a uno cada varios centímetros. Estos - agujeros son porosidades producidas por el aire activo dentro de la atmós- fera que protege al metal fundido. Cambiando la polaridad y longitud del arco se puede lograr mejorar esta condición.

Una buena práctica es eliminar estos agujeros mediante cincelado o esmeri- lado antes de depositar el cordón subsecuente.

Irregularidades superficiales:

Estas irregularidades son variaciones en el ancho del último cordón o - - cordón superficial, depresiones, variaciones en la altura del refuerzo y - desuniformidad en el oscilado de la superficie. Son originados por la - - técnica de depósito, y condiciones eléctricas inadecuadas o por desventa-- jas propias del trabajo tales como posición incómoda que tenga el soldador al efectuar la soldadura, visibilidad impropia, etc.

DEFECTOS EN LAS PROPIEDADES DEL METAL DE SOLDADURA O DE LA UNIÓN SOLDADA.

Ciertas propiedades mecánicas y químicas del metal base y la soldadura son requeridas de todas las soldaduras de una instalación dada. Las propieda- des requeridas son especificadas en los códigos y normas aplicables. - --

Apartarse de los requerimientos especificados deberá considerarse como un defecto.

Las propiedades mecánicas que pueden no llenar los requerimientos prescritos por las normas, incluyen la resistencia a la tensión, resistencia de cedencia, ductilidad, dureza y resistencia al impacto.

Las propiedades químicas también pueden ser deficientes por una composición incorrecta del metal base o de la soldadura, lo cual puede perjudicar las propiedades mecánicas o afectar la resistencia a la corrosión.

Debe hacerse notar que no todos los defectos son debidos a condiciones impropias al soldar, muchos de estos problemas son atribuibles a la composición del metal base.

Además de los requerimientos mencionados para el metal base, se deberá considerar como material defectuoso aquél que tenga defectos de laminación (hojeaduras), el que en su superficie esté ondulado o tenga escamas del proceso de laminado, pintura, grasa, aceite, etc., o que sus dimensiones estén fuera de los límites permitidos.

## B.- INSPECCION RADIOGRAFICA

### I.- Finalidad:

La inspección radiográfica es un método cuyo propósito es detectar la presencia y naturaleza de defectos macroscópicos en el interior de las soldaduras o materiales bajo inspección.

Aplicada esta inspección como un control oportuno, permite tomar las medidas convenientes tendientes a eliminar los defectos en que estén incurriendo los soldadores y consecuentemente se elimina, o se reduce a un mínimo, la necesidad de remover soldaduras defectuosas.

Tanto en procesos de soldadura como de fundición, la inspección radiográfica



fica permite establecer las medidas correctivas necesarias para que en la producción futura, se reduzca el número de soldaduras o piezas rechazadas por defectos internos.

Es conveniente, por lo tanto, ejercer este control desde la calificación - de los soldadores u operarios y a medida que se va desarrollando el trabajo de soldadura o fundición.

## II.- Terminología:

La terminología como aquí se define, tiene por finalidad familiarizarse -- con los términos empleados, lo cual ayudará a comprender más fácilmente lo relativo a inspección radiográfica, que se tratará posteriormente.

- A -

Absorción: Dificultad que presenta el material a ser atravesado por la radiación.

- C -

Chasis: Funda de cartón o cualquier otro material opaco. Protege la película de la luz al sacarla del laboratorio.

Contraste de la radiografía: Diferencia marcada de densidad de un área a otra en la radiografía.

- D -

Definición de la radiografía: Delineación en la radiografía de los perfiles radiográficos

Densidad de la radiografía: Grado de ennegrecimiento u obscurecimiento en la radiografía, ocasionado por la radiación recibida y que es visible después de ser revelada.

- F -

Filtros o pantallas: Láminas delgadas de diversos tipos de materiales, -- con propiedades intensificadoras de la acción fotográfica de la película radiográfica.

Fuente de radiación: Generador de energía radiante.

- I -

Isótopos radioactivos: Elementos anímicos inestables que emiten energía - radiante debido a la desintegración de sus átomos.

- K -

Kilovoltaje equivalente: Es el potencial que se requiere en un aparato de Rayos-X para producir una radiación de la misma longitud de onda que la -- producida por un isótopo radioactivo determinado.

- M -

Miliamperaje: La cantidad de corriente directa ocasionada en el filamento del cátodo por la aplicación de un alto potencial (kilovoltaje), en un - - tubo de Rayos-X, que provoca el flujo de electrones del cátodo al ánodo.

- P -

Película radiográfica: Placa sensible a la radiación, compuesta por una -- emulsión sensible distribuída sobre una base transparente de celulosa o -- poliéster.

Penetración de la radiación: Es la mayor o menor capacidad que tiene la -- radiación de atravesar un material; esta capacidad depende de la longitud de onda de la radiación y de la naturaleza del material radiado.

Penetrómetro: Pieza estandar de prueba, de material similar al inspeccionado y de espesor conocido. Mide la sensibilidad de la radiografía. Generalmente representa del 2 al 4% del espesor radiografiado.

Proceso de revelado: Proceso por el cual la imagen latente, invisible en la película expuesta a radiación, es hecha visible y permanente.

Punto focal efectivo: Area proyectada del tamaño de la fuente de radiación en el sentido utilizado, o sea el área proyectada hacia donde se encuentra el material bajo inspección y la película radiográfica.

- R -

Radiación: Forma de energía radiante de naturaleza similar a la luz visible. Diferenciándose de ésta por su longitud de onda extremadamente corta que le permite atravesar los cuerpos opacos a la luz.

Radiación secundaria: Radiación generada por el choque de rayos-X o gamma sobre una superficie.

Radiografía: Película radiográfica sensibilizada por la acción de rayos-X o gamma y sometida al proceso de revelado.

Radiógrafo: Persona calificada para manejar equipos radiográficos e interpretar radiografías.

Rayos Gamma: Energía radiante generada por la desintegración de los núcleos inestables de átomos de sustancias radioactivas, naturales o producidas artificialmente.

Rayos-X: Es la energía radiante emitida por el ánodo de un bulbo al vacío al recibir el impacto de los electrones que parten del cátodo (filamento incandescente), impulsados a gran velocidad por la aplicación de un alto potencial eléctrico (kilovoltaje entre el cátodo y el ánodo).

- S -

Sensitividad radiográfica: Es el porcentaje mínimo de diferencia de espesores que puede ser detectado visualmente en una radiografía de un material.

- T -

Tamaño de la fuente: Dimensiones reales de la fuente de radiación, unidades de área en el caso de aparatos de Rayos-X y de volumen y área para el caso de radioisótopos.

Tiempo de exposición: Lapsos durante el cual la película radiográfica está expuesta a la acción de la radiación.

Tubo de Rayos-X:

Equipo electrónico diseñado de tal manera que los electrones desprendidos desde un filamento (cátodo (-)) al circular por él una corriente, son acelerados y dirigidos al ánodo (+) mediante la aplicación de una alta diferencia de potencial (kilovoltaje).

- V -

Vida media: Tiempo requerido para que la actividad o potencia de una partícula radioactiva pierda la mitad de su valor inicial.

III.- Fuentes de radiación:

El método de inspección radiográfica se basa en la propiedad que tiene la energía radiante de longitud de onda muy corta, para penetrar materiales opacos a la luz visible. De este tipo de energía radiante son los rayos-X y los rayos gamma, que tienen una longitud de onda muy pequeña -- comparada con la de la luz visible.

1.- La radiación es producida de dos maneras:

a.- Rayos-X

En un bulbo o tubo al vacío, que consta de un cátodo (-) y un ánodo (+), denominados filamento y blanco de tungsteno respectivamente. Al aplicar una corriente en el filamento, lo hace que se ponga incandescente y emita electrones. Aplicando simultáneamente una diferencia de potencial de varios miles de voltios entre el cátodo y el ánodo, los electrones producidos en el cátodo viajan a gran velocidad hacia el ánodo y al chocar con éste se genera una energía radiante que se denomina como rayos-X.

Al variar el potencial aplicado se variará la longitud de onda y penetración de los rayos-X, y al variar la corriente aplicada al filamento se variará la intensidad de los rayos-X, de tal manera que la radiación producida se podrá gobernar, aplicando la corriente y potencial adecuados para cada problema, y obtener radiografías que suministren la información requerida, completa y precisa.

b.- Rayos gamma:

Por la emisión de energía al desintegrarse el núcleo de los átomos inestables de sustancias radioactivas, los cuales pierden energía conforme tienden a hacerse estables. Esta energía es emitida en todas direcciones y se denomina radiación gamma o rayos gamma. Su longitud de onda, o penetración es constante y no puede ser controlada. Los rayos gamma son emitidos por isótopos radioactivos naturales como el Radium, o por radioisótopos artificialmente producidos como el Cobalto 60, Cesio 137, etc.

IV.- Sistema de rayos-X:

Este sistema de inspección es de tipo no destructivo. El material bajo inspección no recibe ningún daño, es decir, en el material no se experimenta ninguna modificación permanece inalterable.

## 1.- Equipo:

Las radiografías son obtenidas usando como fuente de radiación aparatos de rayos-X, los cuales constan esencialmente de dos partes:

- a.- Cabezal en el cual van instalados los transformadores de bajo a alto potencial y el bulbo donde se producen los rayos-X.
- b.- Caja de controles en el cual es regulada la corriente y el potencial, de tal manera que se puedan fijar adecuadamente para cada problema específico.

Hacemos mención del aparato de rayos-X como uno de los elementos primordiales del equipo para la inspección, pero desde luego se deberá considerar que el equipo completo para este tipo de trabajo que se debe desarrollar en su totalidad en el campo, consta principalmente de lo siguiente:

- c.- Unidad móvil de tracción propia, con laboratorio de temperatura interior controlable, a prueba de luz, completo para el revelado de las radiografías tomadas
- d.- Una planta generadora de energía eléctrica, la cual proporcionará la energía necesaria para la operación del aparato de rayos-X y demás accesorios
- e.- Transformadores de potencial eléctrico, para obtener los valores requeridos de alimentación del equipo de rayos-X y del resto del equipo de laboratorio
- f.- Chasises de diversas medidas para exponer la película virgen
- g.- Equipo para medición, control y protección de radiación  
Equipo diverso para efectuar la totalidad del trabajo en el campo.

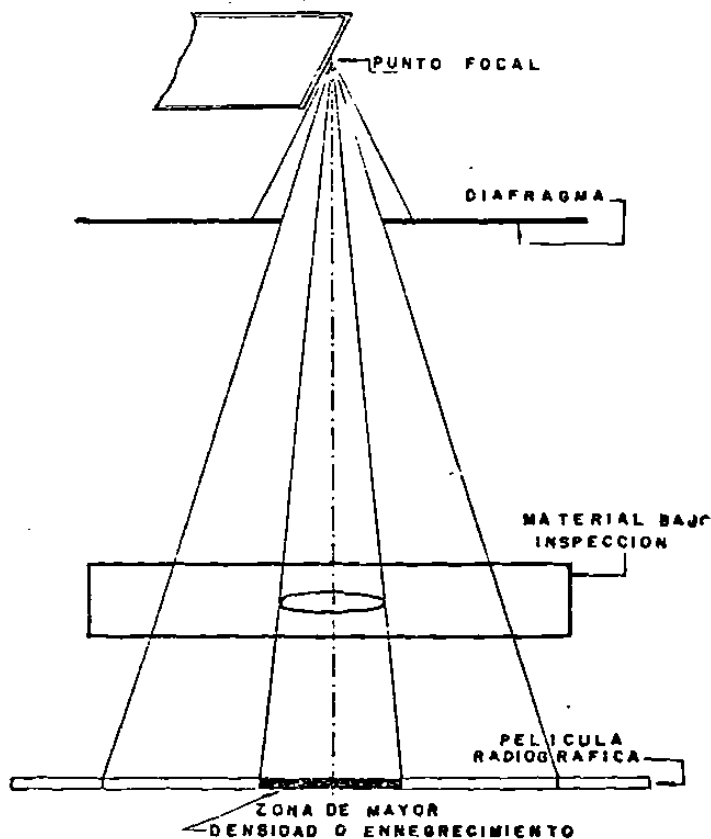
## 2.- Selección de las características de la onda de radiación:

Paso de los rayos-X a través de un material y su registro en una película sensible:

Al incidir los rayos-X sobre un material bajo inspección, una parte de -- ellos son absorbidos dentro del mismo material y el resto lo atraviesa, -- pudiéndose registrar la energía que lo atravesó en una película sensible a este tipo de energía.

Este registro consiste en la proyección de una sombra de la imagen del material, que aparece en la película sensible después de revelada, de una -- densidad o ennegrecimiento determinado, proporcional a la cantidad de rayos-X que llegó el negativo .

Si una discontinuidad de menor densidad que la del material bajo inspección existe dentro de éste, reducirá el espesor en el área que ocupe y -- consecuentemente a través de esa área pasará mayor cantidad de radiación, la que ocasionará que en el negativo se forme una zona de mayor densidad o ennegrecimiento, precisamente de la forma del contorno de la discontinuidad, vista desde un plano perpendicular a la incidencia de la radiación. En la figura siguiente se ilustra lo anterior.

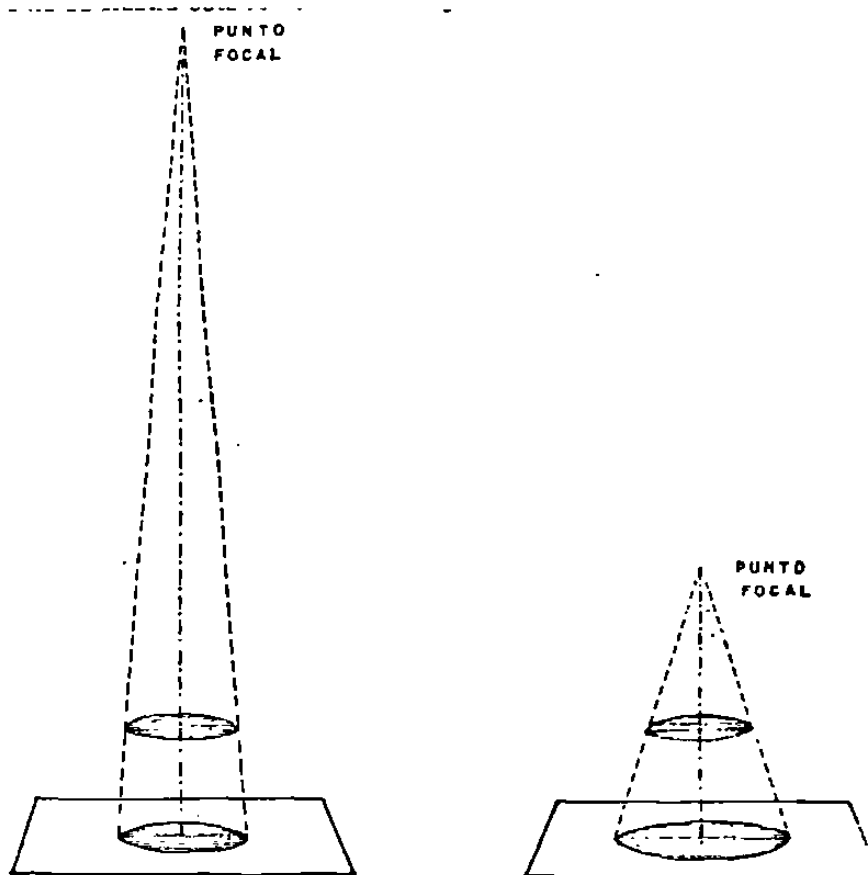


De esta manera son registradas las discontinuidades dentro de los materiales.

En las radiografías de soldaduras se registran defectos tales como inclusiones de escoria, porosidades, falta de fusión, roturas, penetración, incompleta, quemadas en la raíz, etc., determinándose su magnitud, para que de acuerdo con las especificaciones aplicables a cada caso, se juzgue la aceptabilidad de las soldaduras bajo inspección.

La imagen de los defectos registrados en una radiografía será más exacta a medida que se aumente la distancia entre la fuente de radiación y la película, y que esta última esté lo más próxima posible al material bajo inspección.

Gráficamente se ilustra esta relación como sigue:





La calidad de registro de una radiografía depende primordialmente de seleccionar correctamente el potencial en el bulbo del aparato de rayos-X, para obtener la radiación con la longitud de onda adecuada al espesor del material que se va a inspeccionar. La longitud de onda determina que los rayos-X penetren con más o menos dificultad el material bajo inspección. La penetración es inversamente proporcional a la longitud de onda, o dicho en otras palabras, a menor longitud de onda corresponde una mayor penetración de rayos-X a través de un material de espesor dado.

Deberá tenerse en cuenta que si la penetración de la radiación es excesiva, pasará casi íntegra a través de un material ligero y/o delgado. Si -- dentro de este material existe una discontinuidad o defecto que reduzca -- su sección en una zona determinada, la radiación que pase a través de esta zona tendrá un valor casi igual al que pase a través del resto del material y consecuentemente el registro en la radiografía tendrá muy poca diferencia, ya que la densidad o ennegrecimiento del negativo ya revelado será casi uniforme en toda su superficie, es decir, el contraste radiográfico entre la zona de la discontinuidad y la del resto del material, prácticamente no será tan marcado para que pueda ser observado a simple vista ni con la ayuda de algún dispositivo.

De acuerdo con lo anterior será importante seleccionar cuidadosamente el potencial en el bulbo para poder obtener una radiografía de la cual se -- pueda obtener el máximo contraste y sensibilidad, para que nos proporcione la mayor y más veraz información.

Al respecto, la norma API 1104 hasta la 8a. edición de marzo de 1954, indica los potenciales máximos recomendables a usar para inspeccionar los -- espesores de metal base que se indican:

Espesor total del metal base en pulgadas	Potencial máximo de Rayos-X en kilovoltios
hasta 1/4	110
9/32 a 3/8 inclusive	130
13/32 a 5/8 inclusive	160
21/32 a 7/8 inclusive	200
29/32 a 1 1/2 inclusive	300

El observar los valores indicados en la tabla anterior, para efectuar la inspección radiográfica traerá por consecuencia que se obtengan radiografías de máximo contraste y sensibilidad.

Además de los factores mencionados, longitud de onda, contraste y sensibilidad, la inspección con equipo de rayos-X es gobernada por los siguientes factores:

- a.- Distancia de la fuente de rayos-X a la película
- b.- Intensidad de los rayos-X y tiempo de exposición
- c.- Espesor y densidad del material
- d.- Tamaño de la fuente (punto focal)
- e.- Tipo de película y pantalla o filtro

a.- Distancia de la fuente de rayos- X a la película:

El material bajo examen es colocado entre la fuente de rayos-X y la película. La película dentro de su chasis deberá estar lo más próxima posible a la superficie del material que se inspecciona, de preferencia, y siempre que sea posible, deberán estar en contacto.

La distancia entre la película y la fuente será el diámetro del tubo, para el caso de inspeccionarse uniones soldadas de tubería de 6" de diámetro o mayores con 3 exposiciones efectuadas con la fuente y la película diametralmente puestas por el exterior del tubo.

En exposiciones para proyectar la imagen de la soldadura en óvalo en tu--

berías menores de 6" de diámetro, la distancia de la fuente a la película no deberá ser menos de 7 veces la distancia de la película a la cara de la soldadura más próxima a la fuente de radiación.

En ningún caso la distancia entre la fuente y la película debiera ser menor de 7 veces la distancia de la película a la cara de la soldadura que se desea proyectar más próxima a la fuente de radiación

Para tratar de aprovechar la longitud total de una película, la distancia de la fuente a la película será cuando menos igual a la longitud de esta última, como en el caso de radiografiar soldaduras en recipientes.

b.- Intensidad de los rayos-X y tiempo de exposición:

La intensidad de los rayos-X es directamente proporcional a la cantidad de corriente en el cátodo, y para una condición dada, el tiempo de exposición variará en proporción inversa a la variación de la corriente en el cátodo del bulbo.

c.- Espesor y densidad del material:

De estas características dependerá la selección del kilovoltaje (potencial) en el bulbo, para determinar la longitud de onda, y por consiguiente la penetración adecuada para el espesor y tipo de material que se esté inspeccionando. Para el caso general de inspeccionar uniones soldadas de acero, los valores recomendados por la norma API, artes indicados, servirán como una buena guía para seleccionar el kilovoltaje adecuado para obtener radiografías de máxima sensibilidad, contraste y registro.

d.- Tamaño de la fuente (punto focal):

La imagen de los defectos será menos distorsionada a medida que el tamaño de la fuente emisora de rayos-X (punto focal) sea más pequeño.

La norma API, hasta la edición 8a. de marzo de 1964, especifica que la - - fuente de radiación X o gamma no deberá tener un tamaño efectivo mayor que el especificado en la tabla siguiente para la distancia película o fuente indicada:

Distancia mínima de la película a la fuente de radiación (pulg.)	Tamaño efectivo de la fuente de radiación (milímetros)
6	2.5
10	3.5
18 y mayores	6.0

Los aparatos de rayos-X tienen un punto focal aproximado de 0.3 mm. a - - 4 mm., dependiendo de su potencia. Generalmente los equipos para radio-- grafíar soldadura hasta de 1 1/2" de espesor tienen un punto focal de 1.5 mm.

Más adelante, al tratar ventajas y desventajas de los sistemas de rayos-X y rayos gamma, se mostrará gráficamente como afecta el punto focal la proyección de la imagen de las discontinuidades, al incrementarse el tamaño de la fuente emisora de energía radiante.

#### e.- Tipo de película y pantalla o filtro:

La película deberá ser de grano fino y de alto contraste, adecuada para ser expuesta a los rayos-X y adecuada para el tipo de pantalla o filtro - que se empleará. Las pantallas o filtros pueden ser de plomo o del tipo - fluorescente y las superficies de las mismas que estarán en contacto con la película deberán estar perfectamente limpias, o sea libres de cualquier elemento extraño. Emplear una película inadecuada o no considerar uno o varios de los factores antes expuestos, traerá como consecuencia que la radiografía obtenida no posea las características deseables en una buena - radiografía.

#### V.- SISTEMA DE RAYOS GAMMA:

El sistema de inspección radiográfica con rayos gamma es semejante al sistema de rayos-X ya que los rayos gamma son similares a los rayos-X de pequeña longitud de onda, los producidos por aparatos de rayos-X de 600 a 2,200 kilovoltios, y su diferencia básica consiste en que mientras los rayos-X requieren de una fuente de alimentación de energía eléctrica para ser producidos, los rayos gamma se producen constantemente, sin la aportación de ninguna otra energía; sino, como ya lo mencionamos, son producidos por desintegración atómica de elementos radioactivos o radioisótopos.

De los varios cientos de radioisótopos conocidos que existen, sólo unos pocos son usados ampliamente en la radiografía industrial, los demás son poco apropiados debido a varias razones, entre las cuales las más importantes son: su corta vida media, los grandes volúmenes necesarios para tener la potencia requerida para inspección radiográfica, y/o su alto costo.

Los radioisótopos más comúnmente usados en la industria en nuestro país son: Cobalto 60 y el Cesio-137, cuyas características principales se enuncian a continuación:

El Cobalto 60 es un metal duro, de color gris, con propiedades físicas muy parecidas a las del hierro, con una vida media de 5.3 años, cuya radiación es de una longitud de onda equivalente a la producida por un aparato de rayos-X de 1,200 kilovoltios.

El Cesio-137 se presenta generalmente en forma de Cloruro de Cesio, es un polvo soluble, con vida media de aproximadamente 30 años y cuya radiación es de una longitud de onda equivalente a la producida por un aparato de rayos-X de 660 kilovoltios.

Las fuentes de rayos gamma, o bombas radioactivas constan de un elemento radioactivo debidamente encapsulado, generalmente en recipientes de acero inoxidable para protegerlo y evitar que se desgasten por el roce producido sobre las superficies de trabajo o la de su blindaje.

Como los isótopos radioactivos emiten constantemente radiación, la cual es nociva a los organismos vivos, es necesario aislarlos, para lo cual son almacenados y transportados en sus contenedores de plomo y acero que actúa como blindaje no permitiendo el escape de cantidades de radiación mayores que los permitidos por los organismos oficiales respectivos, para protección de todo ser viviente.

La potencia de las bombas radioactivas utilizadas para trabajos de inspección en el campo, es limitada por los siguientes factores tamaño efectivo de la fuente de radiación y blindaje necesario para su segura manipulación.

No es conveniente usar radioisótopos de gran potencia, debido a que el tamaño de la fuente radioactiva es muy grande y al aumentar sus dimensiones producirá imágenes más difusas debido al gran tamaño del punto focal efectivo de la misma, asimismo el blindaje excesivo necesario para su manejo en el campo, las vuelven imprácticas.

Debido a que las fuentes de rayos gamma emiten radiación en forma constante y en todas direcciones, su manejo debe efectuarse mediante el procedimiento a distancia, que protege de la radiación al personal que las manipule. Este procedimiento puede dividirse en las siguientes dos categorías:

- a.- El que permite mover la fuente del centro a la superficie del contenedor blindado
- b.- El que permite llevar la fuente desde el contenedor a un punto prefijado, situado a cierta distancia.

El del primer tipo generalmente produce un haz de radiación más o menos dirigido en una dirección, mientras que el segundo tipo produce una fuente de radiación libre en todos sentidos.

Ambos sistemas tienen utilidad radiográfica, siendo más apropiado el segundo sistema para usarse en el campo y con fuentes de potencia media o baja.

El equipo empleado para los trabajos de inspección con rayos gamma es similar al que se emplea en inspecciones con rayos-X, con la salvedad de que la fuente de radiación empleada no necesita de energía eléctrica, ya que su actividad es natural y constante, siendo necesario, en cambio, contar con el contenedor blindado, de acuerdo con la potencia y tipo de isótopo radioactivo empleado.

La manipulación de la bomba radioactiva generalmente se efectúa mediante una barra o caña de la mayor longitud posible, lo cual permite al radiógrafo permanecer a una distancia tal que la radiación que reciba no alcance límites que le perjudiquen.

Este procedimiento es recomendable para inspeccionar piezas fundidas de secciones variables y gruesas tales como válvulas, bridas, y uniones soldadas de recipientes y tuberías de acero con espesor de pared de más de 1 1/2"

El método para inspeccionar tuberías consiste en colocar la bomba radioactiva sobre la superficie exterior del tubo, opuesta al tercio de la unión en que se coloca la película radiográfica dentro de su chasis, y calculando el tiempo de exposición de acuerdo con el diámetro de la tubería, su espesor, material y potencia de la fuente, etc., para obtener radiografías de la densidad deseada. El proceso de revelado, secado e interpretación de las radiografías generalmente se lleva a cabo en el campo, en laboratorios móviles especialmente equipados.

Para poder utilizar prácticamente el sistema de inspección con rayos gamma es necesario conocer la penetración de la radiación en distintos materiales. Cuando ésta se ha medido bajo condiciones controladas, el radiógrafo podrá calcular los tiempos de exposición necesarios para cada variable de

espesor y clase de material, dependiendo de la rapidez de la película usada, de la potencia de la fuente y de la distancia entre ésta y la película y dependiendo además de la densidad que quiera obtener en la radiografía.

Aplicaciones:

Debido a la gran penetración de los rayos gamma y al gran tamaño del punto focal efectivo de la fuente de radiación, debe utilizarse preferiblemente para la inspección radiográfica de piezas con espesores de más de 1 1/2" - de acero, o su equivalente en otros materiales.

Bajo esta condición será posible esperar una sensibilidad del 2% tal y -- como es exigido por las normas internacionalmente reconocidas.

Su empleo es recomendable para inspeccionar tuberías, tanques o válvulas cuyas paredes sumen un espesor de más de 1 1/2" de acero, destinándose -- también para aquellos trabajos en que las limitaciones de espacio puedan -- impedir el uso de aparatos de rayos-X, o emplearse cuando se trate de -- inspeccionar materiales cuyos espesores sean considerables, para este caso el Cobalto 60, el cual puede usarse para inspeccionar hasta 8" de acero o su equivalente en otro material, es el más recomendable.

Debe limitarse a un mínimo el uso de los rayos gamma en espesores menores e 5/8" por su excesiva penetración, bajo contraste y sensibilidad, que -- les impide registrar todos los defectos que contenga la soldadura, inde- -- pendentemente del tipo de película que se use, de la técnica de exposi- ción y/o del proceso de revelado empleado.

#### VI.- VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS SISTEMAS DE RAYOS-X Y RAYOS GAMMA:

- 1.- Ventajas y desventajas técnicas
- 2.- Ventajas y desventajas en rendimiento
- 3.- Ventajas y desventajas en seguridad.



No es fácil comparar las ventajas y desventajas de los rayos-X y los rayos gamma como fuentes de radiación para la inspección radiográfica. Cada uno tiene una aplicación definida en sus propios campos, siendo difícil que uno sustituya al otro. Sin embargo, mencionaremos las más importantes.

#### 1.- Ventajas y desventajas técnicas:

##### Ventajas técnicas de los rayos-X:

a.- Por ser una radiación generada al aplicarse un potencial y corriente predeterminados se puede obtener radiación de la longitud de onda necesaria para inspeccionar correctamente el espesor de cualquier material.

Los rayos-X pueden usarse para radiografiar todos los materiales y espesores que puedan emplearse para aplicación industrial, cumpliendo ampliamente con las especificaciones de las normas más estrictas.

b.- Su punto focal de radiación es el más apropiado para radiografiar cualquier tipo de material. Como se expuso anteriormente, para radiografiar soldadura hasta de 1 1/2" de espesor dicho punto focal no pasa de 1.5 mm.

c.- Por su alta velocidad de exposición es posible radiografiar soldaduras calientes precisamente al terminarse de soldar.

d.- En aplicaciones de mantenimiento preventivo permite observar con claridad y precisión si los defectos que contenga una soldadura o material, se han mantenido sin progresar a través del tiempo, mediante la comparación de una radiografía actual con una toma de tiempo atrás.

e.- Su aplicación para la detección de áreas corroídas, en tuberías en las que no es posible inspeccionar visualmente su pared interior, permite localizar y precisar el tipo de corrosión por la nitidez de la imagen que proyecta.

f.- Da mayor seguridad para aceptar o rechazar un defecto, con menores posibilidades de error, por la nitidez con que aparece la imagen en la radiografía.

Desventajas técnicas de los rayos-X:

a.- Cuando se utilizan rayos-X de bajo voltaje, o sea de gran longitud de onda, el contraste que se obtiene no permite observar diversos rangos de espesor en una misma radiografía, como en el caso de piezas fundidas irregulares.

b.- La necesidad de alimentar el equipo con energía eléctrica de 110 o 220 voltios, especialmente en el campo.

c.- El tamaño del cabezal generador de los rayos-X, que en algunos casos hace difícil o imposible tomar la radiografía, cuando se requiere que la fuente se introduzca por un orificio menor de 7" de diámetro, por ejemplo, en un recipiente.

Ventajas técnicas de los rayos gamma:

a.- No requieren de energía eléctrica para producir radiación.

b.- La longitud de onda extremadamente corta de los rayos gamma permite -- que sean usados para radiografiar metales gruesos de forma complicada y -- con diferencias pronunciadas de espesor.

c.- Cuando se usa la fuente de radiación libre, su tamaño reducido permite su introducción en orificios muy pequeños, hasta de 1" de diámetro.

Desventajas técnicas de los rayos gamma:

a.- Su longitud de onda extremadamente corta no permite que se obtengan -- radiografías en espesores menores de 5/8", que satisfagan los requerimien-

tos de las normas aplicables.

b.- El tamaño de la fuente de radiación es excesivo para muchas aplicaciones, proyectando en todos los casos imágenes difusas de las discontinuidades.

## 2.- Ventajas y desventajas en rendimiento:

### Ventajas en rendimiento de los rayos-X:

a.- Al poderse regular a voluntad la intensidad de la radiación, es posible radiografiar en un mínimo de tiempo. Se puede considerar que su velocidad de exposición en soldaduras de tubería es de 10 a 100 veces más rápida que la de los rayos gamma.

b.- Cuando es necesario, permiten que pueda ser tomado un volumen mayor de radiografías, con el mismo equipo y personal, en un lapso determinado.

### Desventajas en rendimientos de los rayos-X:

Al inspeccionar espesores mayores de 1 1/2" en acero, o su equivalente en otros materiales, el rendimiento es menor si no se cuenta con equipo del kilovoltaje apropiado para atravesar el material en un tiempo razonable.

### Ventajas en rendimiento de los rayos gamma:

Prácticamente ninguna.

### Desventajas en rendimiento de rayos gamma:

a.- Al ser su emisión de radiación por desintegración natural, no es posible aumentar o disminuir su intensidad, por lo que siempre hay que esperar el tiempo necesario para que la película se exponga a la densidad deseada.

b.- La manipulación de la fuente requiere que sea guardada en un recipiente

blindado, mientras se coloca y/o retira la película con que se toma cada radiografía, lo cual consume tiempo y baja todavía más el rendimiento.

### 3.- Ventajas y desventajas de seguridad:

Ventajas de seguridad de los rayos-X:

a.- El hecho de que el equipo de rayos-X emita radiación únicamente al aplicarle un potencial eléctrico, lo hace el más seguro y confiable.

b.- La radiación siempre es dirigida en un haz que cubre únicamente la soldadura que va a ser radiografiada.

c.- No hay peligro alguno en caso de robo o extravío, aún en el caso de que se tratara del equipo completo.

d.- En los equipos modernos, por estar los transformadores de alto voltaje dentro del cabezal, no hay riesgos de accidentes eléctricos.

Desventajas de seguridad de los rayos-X:

Prácticamente ninguna.

Ventajas de seguridad de los rayos gamma:

Prácticamente ninguna.

Desventajas de seguridad de los rayos gamma:

a.- Emite radiación constantemente en todas direcciones.

b.- Por ser una radiación muy penetrante, requiere de un blindaje muy grueso para protegerse de la radiación.

c.- En caso de robo o extravío, representa un peligro muy serio por su emisión constante de radiación, y por no emitir señal alguna que lo indique.

d.- En el caso del Cesio-137, por ser un cloruro soluble, existe la posibilidad de una contaminación muy grande en caso de un accidente.

e.- La posibilidad de contaminación, cuando está mal encapsulada la fuente o manejada por personal que no esté debidamente especializado.

#### VII.- LIMITACIONES DE LA INSPECCION RADIOGRAFICA:

Se cree muchas veces que por el hecho de que se haya radiografiado una soldadura, no hay ningún defecto en la misma que no haya sido detectado. Por otro lado se puede dar el caso que el radiógrafo o el supervisor de soldadura asuman una actitud de exceptisimo acerca de la radiografía y dejando correr su imaginación soliciten que cualquier marca visible en la radiografía sea removida de la soldadura.

En cualquiera de los dos casos la radiografía ha sido sujeta a una interpretación deficiente, ya que, por las razones que se exponen más adelante, no en todos los casos la radiografía registra el 100% de los defectos y, por otra parte, la radiografía puede tener algunos defectos del manejo y proceso de revelado, que nada tienen que ver con la soldadura.

En cualquiera de los dos casos la radiografía ha sido sujeta a interpretación deficiente, ya que, por las razones que se exponen más adelante, no en todos los casos la radiografía registra el 100% de los defectos y, por otra parte, la radiografía puede tener algunos defectos del manejo y proceso de revelado, que nada tienen que ver con la soldadura.

La interpretación de las radiografías se facilita, cuando se conocen debidamente los factores que pueden afectar su calidad, como son marcas o defectos del manejo y proceso de revelado, el grado posible de contraste o detalle, la película, la sensibilidad de la película, y la técnica y equipo adecuado para tomarlas.

Las discontinuidades que no puede registrar una radiografía son:

Aquellas cuyas dimensiones sean menores que las de la sensibilidad de la radiografía medida por el penetrómetro.

Las que se localicen en un plano perpendicular al haz de radiación y que reduzcan el espesor del material en un grado mayor que la sensibilidad de la radiografía, como las hojeaduras o laminaciones y algunas roturas -- debajo del cordón depositado.

Las que por sus características angostas, aunque tengan profundidad no estén paralelas al haz de radiación, con una tolerancia de desviación de  $5^{\circ}$  a  $15^{\circ}$ , como en el caso de la falta de fusión en la cara de la ranura o entre cordones, y algunas roturas.

Para localizar este tipo de defectos, cuando se sospecha su existencia en soldaduras muy importantes, es necesario tomar tres radiografías cuando -- menos, una perpendicular al plano de la soldadura y dos paralelas al plano de la cara de cada bisel.

#### VIII.- CALIFICACION DE LAS RADIOGRAFIAS:

Las normas aplicables indican que las radiografías para juzgar la calidad de la soldadura, deberán ser obtenidas mediante un proceso radiográfico -- previamente calificado como adecuado.

Todos y cada uno de los requerimientos especificados en las normas para las radiografías que se obtengan, ya sea mediante el sistema de rayos-X o el de rayos gamma, deberán ser cumplidos para juzgar como adecuado el método de inspección que se emplee. Al respecto la norma API 1104 indica "todos los requerimientos referidos a la calidad de las radiografías resultantes deberán ser aplicados igualmente a los rayos-X gamma".

Para calificar si una radiografía fue obtenida mediante un procedimiento radiográfico adecuado deberá verificarse que todas las características -

y condiciones a continuación descritas sean cumplidas y observadas con el fin de que dichas radiografías suministren la información requerida.

#### 1.- Registro:

Las radiografías deberán registrar el máximo posible de todos los defectos que contengan los materiales inspeccionados.

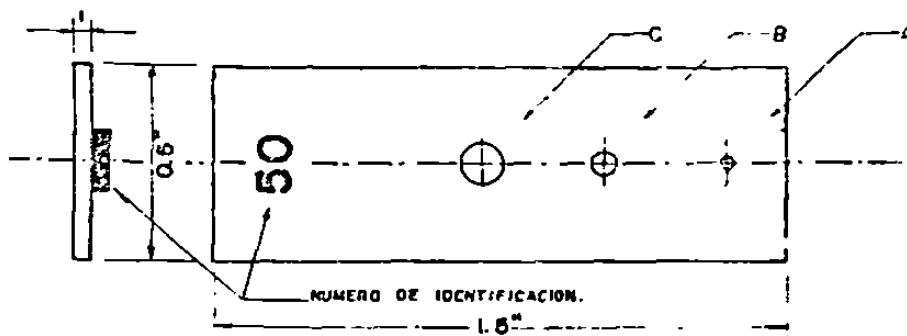
#### 2.- Sensitividad:

Como el propósito principal de la inspección radiográfica al examinar un material es localizar discontinuidades o defectos, el conocer los factores que afectan la visibilidad y detalles de los mismos en una radiografía es esencial; estos factores son la sensibilidad, el contraste radiográfico y la definición.

La sensibilidad radiográfica es generalmente definida como un término cualitativo referido al tamaño del más pequeño detalle que puede ser visto en una radiografía o a la facilidad con la cual la imagen de un detalle pequeño puede ser detectada.

Para verificar si el procedimiento radiográfico es adecuado, se acostumbra usar una pieza estandar de prueba llamada penetrómetro o penetrámetro cuya imagen deberá verse en la radiografía. El penetrómetro es una tira rectangular de material radiográficamente similar al del material bajo prueba y su espesor es una proporción definida, generalmente 2% a 4% del espesor del material bajo prueba.

En la figura siguiente se muestra el penetrómetro estandar indicado en la norma API-1104 y que debe ser empleado en la inspección radiográfica de soldaduras de tubería.



T= espesor del penetrómetro=número de identificación en milésimas de pulgada.

Diámetro del agujero A = T pero no menor de 1/16"

Diámetro del agujero B = 2T pero no menor de 1/16"

Diámetro del agujero C = 3T pero no menor de 1/16"

La técnica radiográfica podrá considerarse satisfactoria si los agujeros y el contorno del penetrómetro son mostrados claramente en la radiografía, o sea que el proceso radiográfico ha sido capaz de mostrar una variación de 2% del espesor del material bajo inspección. Por ejemplo, si en la radiografía se muestra la estructura y los detalles del penetrómetro de 2%, se dice que la sensibilidad es de 2%, que es considerada como satisfactoria.

Deberá tenerse en cuenta que aún cuando un agujero del penetrómetro es visible en una radiografía, una cavidad del mismo diámetro y profundidad dentro del material bajo inspección podrá ser invisible, debido a que los agujeros del penetrómetro tienen un cambio de sección brusco, mientras que una cavidad natural tiene un cambio de sección gradual, por lo tanto la imagen del agujero del penetrómetro será vista más fácilmente que la imagen de la cavidad natural.

Similarmente una rotura fina puede ser de considerable longitud, pero si los rayos-X pasan perpendiculares al plano de la rotura su imagen en la



radiografía será invisible, por la muy gradual transición de la densidad. Por lo tanto, el penetrómetro se usa para indicar la calidad de la técnica radiográfica y no como una forma de medir la profundidad de las cavidades o discontinuidades que puedan ser registradas.

### 3.- Contraste:

En una radiografía, las diversas intensidades de radiación que ha dejado pasar un material bajo inspección son transformadas en imágenes de diferentes densidades (más o menos oscuras, según sea la intensidad de radiación que las produce). La diferencia en la densidad de la película de un área a otra constituye el contraste radiográfico. Cualquier sombra o detalle dentro de la imagen es visible a causa del contraste entre éste y el área que le rodea. Dentro de límites razonables, a mayor contraste o diferencia de densidad en la radiografía, más definidos serán los detalles a la vista y por tanto los defectos más finos podrán ser vistos. Sin embargo, si el contraste se incrementa demasiado, habrá una pérdida de visibilidad de detalles en las densidades más altas y más bajas de la radiografía. El contraste radiográfico es resultado del rango de la intensidad de radiación que permitió pasar el material bajo inspección.

Una placa plana de material homogéneo y espesor uniforme tendrá muy poco o nulo contraste, en cambio un material con grandes variaciones en su espesor, transmitirá o dejará pasar un amplio rango de intensidades de radiación y producirá un alto contraste. De un material bajo inspección se podrá obtener un contraste alto si la radiación es poco penetrante o sea de bajo kilovoltaje.

En general el uso de radiación de bajo kilovoltaje en la inspección radiográfica dará por resultado radiografías de alto contraste y alta sensibilidad.

En cualquier material bajo inspección el contraste radiográfico para una misma densidad dependerá del kilovoltaje de los rayos-X o del kilovoltaje equivalente de los rayos gamma.

En la inspección radiográfica de materiales de espesor aproximadamente - - uniforme, como es el caso de la soldadura en paredes de igual o aproxima-- damente igual espesor, el rango de intensidades de radiación transmitido - será pequeño, por lo cual se deberá usar una técnica que produzca un alto contraste radiográfico, satisfactorio para obtener todos los informes re-- queridos del área de interés, o sea el área donde se localiza la soldadu-- ra, y la sensibilidad radiográfica será mucho mayor que la que se obten-- dría con una técnica que proporcione bajo contraste.

#### 4.- DEFINICION:

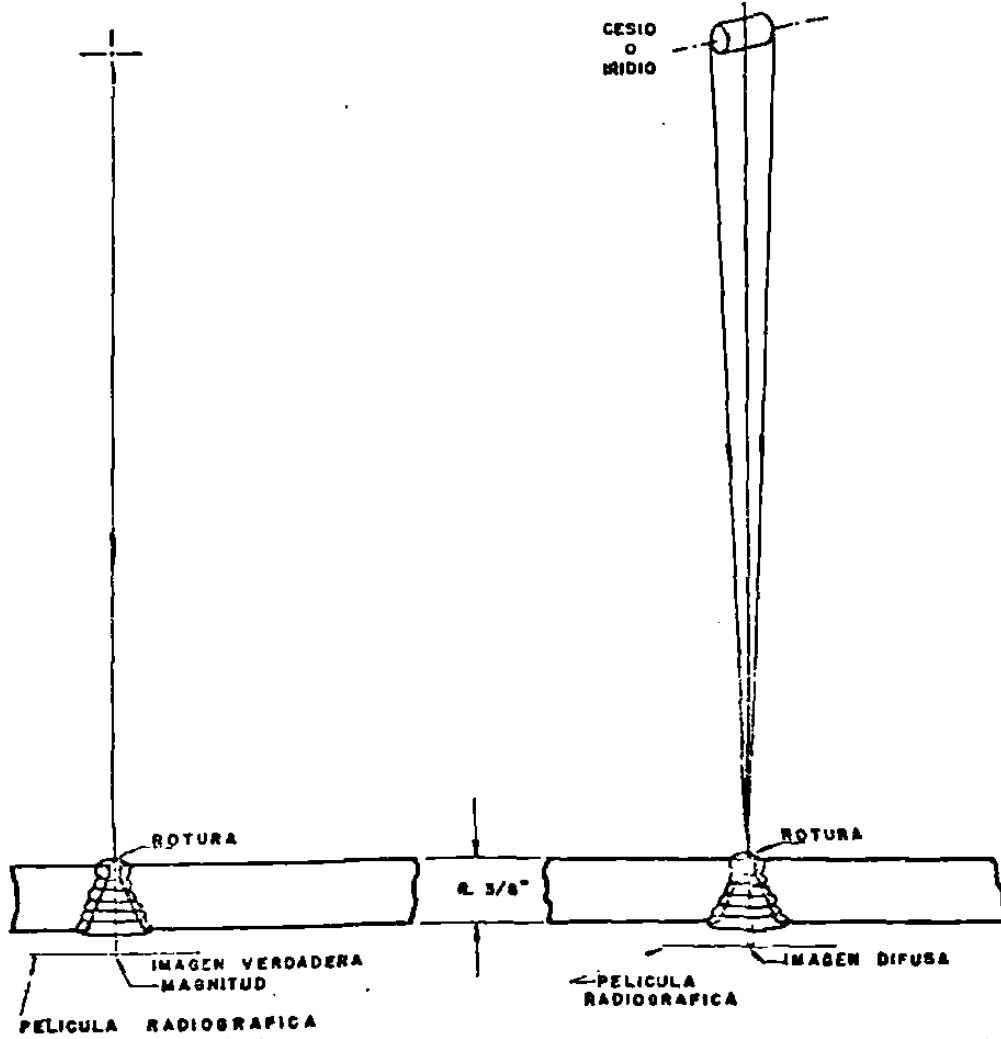
La definición de la imagen depende principalmente de los principios geomé-- tricos que gobiernan la formación de la imagen de los defectos en la ra-- diografía. Es importante por lo tanto verificar que los cinco principios geométricos que a continuación exponemos sean observados durante la expo-- sición de una radiografía para obtener la máxima definición.

Los cinco principios son aplicables tanto al sistema de rayos-X como al de rayos gamma.

a.- Los rayos deberán proceder de un punto focal pequeño, ya que la defi-- nición o delineación de los detalles en la radiografía es función de la -- relación entre el tamaño del foco, la distancia del mismo al defecto y la distancia de este último a la película. Un tamaño de foco grande no per-- mite la delineación de muchos detalles, como sucede con un foco pequeño. Si las distancias de la fuente de radiación a la película es bastante - -- grande, podrá ayudar a mostrar algunos detalles cuando se emplea un foco de gran tamaño; pero es generalmente considerado como ventajoso el uso del punto focal más pequeño permisible para la exposición requerida. En las - figuras siguientes se ilustra lo antes señalado.

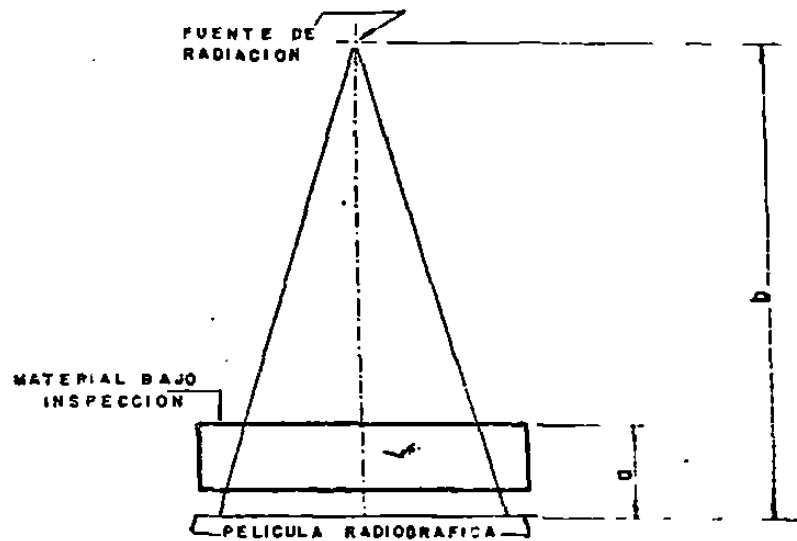
**RAYOS-X**  
FOCO DE 0.8mm

**RAYOS GAMMA**  
FUENTE CILINDRICA  
DE 6x6 O DE 5x3 mm



**SOLDADURA TIPO DE LINEA DE TUBERIA.**

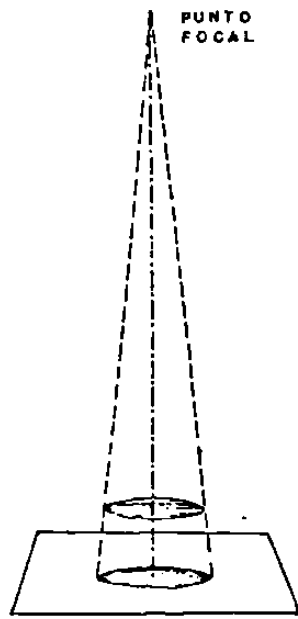
b.- La distancia entre la fuente de radiación y el material bajo examen -- deberá ser tan grande como sea práctico para obtener buena definición. En la práctica una relación de 10:1 entre la distancia de la fuente de radiación a la película y la distancia entre la película a la superficie del -- material bajo inspección más próxima a la fuente de radiación es a menudo la adecuada. En la figura siguiente se indican las distancias mencionadas y la relación entre ellas:



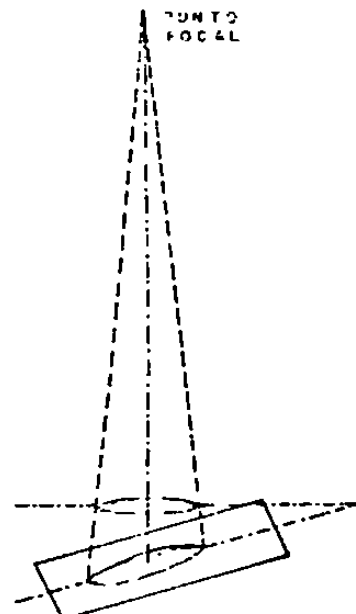
$$\frac{b}{c} = \frac{\text{DISTANCIA DE LA FUENTE DE RADIACION A LA PELICULA}}{\text{DISTANCIA DE LA PELICULA A LA SUPERFICIE MAS PROXIMA A LA FUENTE DE RADIACION}}$$

c.- La película deberá ser colocada tan próxima como sea posible al material que se esté radiografiando. En la práctica el chasis con la película dentro es colocado en contacto con el material.

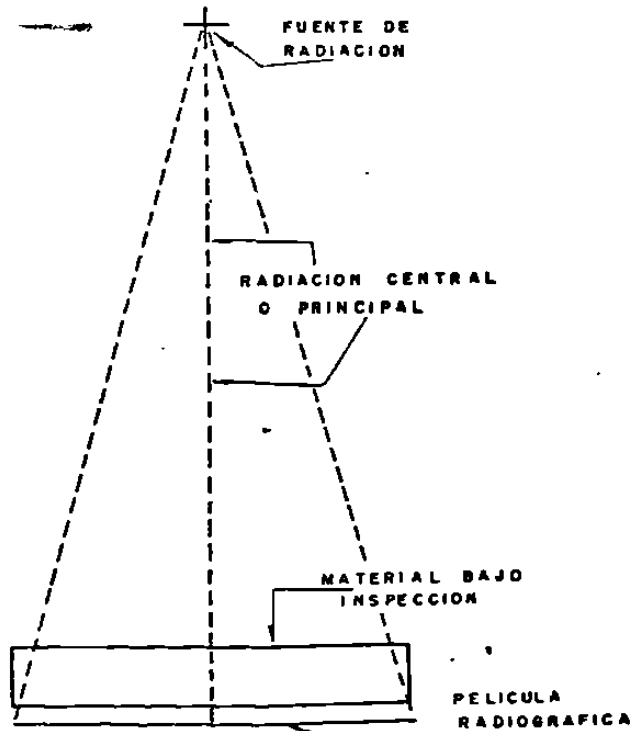
d.- La radiación central o principal deberá ser perpendicular a la película o lo más aproximado posible a esa posición. En las figuras se muestra -- gráficamente lo anterior.



a-- CORRECTO



b--INCORRECTO



## 5.- Identificación de localización:

Es importante identificar convenientemente las radiografías por medio de números y letras de plomo, cuya imagen aparecerá en las mismas una vez que hayan sido reveladas.

Esta identificación proporcionará los datos siguientes:

- a.- Mes y año en que se hizo la inspección a la cual corresponden las radiografías, normalmente se pone el número del mes y las dos últimas cifras del año.
- b.- Enseguida se localizan las iniciales que identifican a la empresa, gerencia, dependencia, etc., que ordena la inspección.
- c.- A continuación se indican las iniciales que identifican al equipo, instalación, parte de los mismos, que fue inspeccionado.
- d.- Y finalmente, el número que identifica la unión, pieza o parte de las mismas donde se tomó la radiografía correspondiente, para así poder localizar fácilmente las zonas inspeccionadas y efectuar las reparaciones de las partes en las que se localicen defectos.

Una radiografía bien identificada, evitará cometer errores tales como no saber donde está localizada una unión defectuosa o eliminar una buena unión soldada y dejar por confusión la defectuosa.

Al inspeccionar la unión soldada, también debe usarse números de plomo que se colocan ayacentes a la soldadura y a intervalos regulares, generalmente cada uno o dos decímetros a partir de un punto de referencia; estos números permitirán la localización exacta de los defectos encontrados dentro de la unión.

En la inspección de soldaduras circunferenciales de línea de tuberías, los

números de plomo se colocan adyacentes a la unión y a partir de la parte superior, correspondiendo a este punto el "0" (cero) y en sentido del giro de las manecillas del reloj, en relación a la dirección del avance de la construcción de la tubería o a la dirección del flujo que transporte la misma, se coloca cada uno de los números correspondientes a cada decímetro medido desde el punto de referencia (cero). Lo anterior permite una localización precisa, rápida y fácil de las zonas de la unión que tenga defectos de soldadura, y consecuentemente efectuar las reparaciones locales -- cuando estas sean factibles de hacer.

#### 6.- Defectos por mal procesador:

Ocasionalmente, como resultado de errores en la técnica radiográfica, o un manejo incorrecto de los materiales y/o equipo, son producidas radiografías insatisfactorias.

Obviamente, deberá buscarse la causa y tratar de prevenir que ocurran las condiciones que originan los defectos en las radiografías.

Para ayudar a investigar las causas que originan los defectos por mal procesado más comunes, así como para identificarlos en las radiografías a -- continuación indicamos sus características.

##### a.- Alta densidad:

Las radiografías con alta densidad son aquellas en las que debido a su -- excesivo obscurecimiento o ennegrecimiento solo es factible interpretarlas con iluminación de alta intensidad. Al aumentar la densidad se irá perdiendo la imagen de los defectos de soldadura a tal grado que ni aún con -- iluminación especial de alta intensidad será posible interpretarlas.

Las principales causas de una alta densidad en una radiografía son: sobreexposición, es decir, que la placa radiográfica es sometida a la acción de

la radiación un tiempo mayor que el necesario y/o a un tiempo mayor de revelado y/o a el revelado en líquidos con temperatura mayor que el rango -- dentro del cual los líquidos para revelar trabajan satisfactoriamente.

La radiografía también tendrá una alta densidad cuando al laboratorio de revelado penetra luz en cantidades suficientes que la afectan, cuando se esté manipulando la película radiográfica dentro del mismo, o cuando los chasis que la contengan permitan la filtración de la luz ambiental.

Emplear focos de alta luminosidad en las lámparas con filtro de seguridad que proporciona la luz bajo la cual se manejará la película en el cuarto oscuro, ocasionará radiografías de alta densidad así como también defectos en el filtro de la lámpara, tales como grietas en la emulsión del -- filtro que dejarán pasar mayor cantidad de luz.

b.- Baja densidad:

Las radiografías con baja densidad son aquellas que son poco oscuras, muy transparentes, de poco o casi nulo contraste, y por lo tanto muestran muy pocos detalles.

La baja densidad de una radiografía se origina cuando el tiempo de exposición es menor que el requerido, y/o porque la radiografía sea revelada durante un tiempo menor que el necesario, y/o por agotamiento del líquido -- revelador.

Cuando al hacer la exposición de una película radiográfica, un material -- extraño, por ejemplo papel, separa la película de las pantallas o filtros, cuando está en su chasis, también se producirá una baja densidad en toda -- el área que abarque el material extraño.

c.- Muy alto contraste:

Las radiografías de muy alto contraste son aquellas en las que entre los --



detalles que muestra existe una gran diferencia de densidad, algunas partes aparecen muy oscuros y otras aparecen muy claras, perdiéndose detalles en ambas zonas.

El alto contraste en las radiografías es ocasionado por emplear una radiación de muy bajo kilovoltaje, en rayos-X, al inspeccionar un espesor determinado. Para reducir el contraste, será necesario aumentar el kilovoltaje que producen los rayos-X, si se emplean rayos gamma debido al alto valor del kilovoltaje equivalente no será posible obtener un alto contraste, sino por el contrario no se podrá obtener un contraste adecuado cuando se inspeccionen espesores de 1 1/2" o menores de acero o su equivalente en otros materiales.

d.- Bajo contraste:

Las radiografías de bajo contraste son aquellas en las que entre los detalles que muestra hay poca diferencia de densidad, de tal manera que algunos detalles se pierden o no son registrados, por la falta de una diferencia marcada de densidad.

El bajo contraste de las radiografías es ocasionado por emplear una radiación de muy alto kilovoltaje al inspeccionar un espesor determinado.

Para aumentar el contraste será necesario disminuir el kilovoltaje, para producir radiación de menor penetración.

Al inspeccionar radiográficamente espesores de 1 1/2" o menores de acero o su equivalente en otros materiales con una radiación de alto kilovoltaje fijo, se obtendrán radiografías de bajo contraste, este contraste irá disminuyendo a medida que el espesor se reduzca, y algunas discontinuidades dentro del material bajo inspección no serán visibles.

Debido a que el alto kilovoltaje equivalente de los rayos gamma es fijo,

y no puede ser reducido ni aumentado por ningún medio, no será posible -- obtener radiografías de contraste adecuado, por lo cual esta fuente de radiación no es recomendable para inspeccionar espesores de 1 1/2" o menores de acero o su equivalente en otros materiales.

Un corto tiempo de revelado y/o solución reveladora parcialmente exhausta o poco activa por estar demasiado fría, ocasionarán radiografías de poco -- contraste.

e.- Poca definición:

Las radiografías de poca definición muestran los detalles distorsionados, esta distorsión no permite identificar de una manera segura la naturaleza de los defectos y en ocasiones esta distorsión no permite que los defectos sean registrados en la radiografía.

Las radiografías de poca definición muestran los detalles distorsionados, esta distorsión no permite identificar de una manera segura la naturaleza de los defectos y en ocasiones esta distorsión no permite que los defectos sean registrados en la radiografía.

Las radiografías de poca definición son ocasionadas por no observar los -- principios geométricos que gobiernan la exposición radiográfica, ya sea -- porque la distancia de la fuente de radiación de la película sea muy cor-- ta, y/o porque la película está demasiado alejada de la superficie del -- material bajo inspección, y/o por emplear una fuente de radiación de gran tamaño. Al aumentar el tamaño de la fuente de radiación se incrementará la distorsión y bajará la definición. .

Por lo tanto para obtener una buena definición de imagen en una radiogra-- fía deberá emplearse una fuente de radiación del menor tamaño posible, -- usar una distancia de la fuente de radiación a la película lo más alejado posible como sea práctico, así como colocar la película lo más próxima -- posible a la superficie del material bajo inspección; idealmente el cha- -

sís, con la película dentro, deberá estar en contacto con la mencionada superficie.

Cuando el contacto de la superficie de la película radiográfica con la superficie de las pantallas o filtros no es completo durante la exposición, la imagen de los detalles en la radiografía será poco definida en las áreas donde el contacto sea deficiente.

f.- Manchas por escurrimiento:

Estas manchas aparecen en las radiografías, teniendo la forma de la trayectoria que dejó el líquido que las originó.

Son ocasionadas por contaminación de los soportes usados para el revelado de la película, cuando el elemento contaminador se disuelve y escurre sobre las películas durante el revelado o durante el secado, o cuando en el proceso de revelado no se agitaron suficientemente las radiografías y/o cuando el enjuagado de las mismas se lleva a cabo deficientemente.

g.- Manchas típicas en las radiografías:

En ocasiones en las radiografías aparecen manchas claras y/o negras las cuales se distinguen fácilmente por la imagen de los defectos o discontinuidades del material bajo inspección por su forma característica que a continuación describimos:

Manchas por doblez hecho en la película

Al doblar severamente una película radiográfica, a tal grado que su capa de emulsión sensible se quiebre originará una mancha en la zona del dobléz que será visible una vez que se haya revelado. Cuando el dobléz es hecho a la película después de que ésta se haya expuesto a radiación, ocasionará una mancha negra en forma de arco o perfil de uña.

Cuando el dobléz es hecho antes de que la película se haya expuesto a radiación, ocasionará una mancha blanca también en forma de arco, de 3 a 4

mm de ancho.

#### Manchas amarillas

Las manchas amarillas que pudieran tener algunas radiografías son de forma irregular y la mancha puede abarcar toda o parte de la superficie de la radiografía y ser de intensidad uniforme o variada.

Estas manchas son ocasionadas por el revelado de los negativos en líquido revelador agotado por la acción oxidante del aire.

Cuando el fijador también está agostado se producirán estas manchas amarillas en las radiografías que en él se procesen.

#### Manchas por líquidos

Cuando a una película radiográfica le caen gotas de líquidos antes de que sea sometida al proceso de revelado, se le producirá una mancha de forma más o menos circular y será de muy baja densidad (casi transparente) si la gota es de líquido fijador; si las gotas son de agua o de líquido revelador las manchas serán negras, siendo la más negra la causada por el revelador.

#### h.- Marcas por presión :

Cuando sobre un negativo se haga presión ya sea por el peso del material - bajo inspección o por golpearse con algún objeto, se producirá una marca de forma más o menos circular y de baja densidad, correspondiendo la menor densidad a la parte central de la marca o sea la parte presionada o golpeada con mayor intensidad antes de la exposición o de mayor densidad - - cuando la presión se efectuó después de la exposición.

#### i.- Marcas por incisiones en la superficie de las pantallas:

Cuando se emplean pantallas de plomo y estas tengan incisiones, en las radiografías aparecerán líneas negras en la forma de la incisión, igualmente cuando las pantallas estén quebradas aparecerán líneas negras que tendrán la forma de la trayectoria de las roturas de las pantallas. Si las pantallas son del tipo fluorescente las marcas por incisiones serán blancas.

m.- Marcas ocasionadas por cargas electrostáticas:

Cuando la película es friccionada sobre una superficie, ya sea del papel que la protege, del chasis, pantalla, etc., se cargará de energía electrostática que al perderla originará una chispa eléctrica. Esta chispa por ser de luz visible será registrada en la radiografía, y al ser revelada aparecerá la imagen de dicha chispa cuya forma será un punto o área negra del cual partirán varias líneas, también negras más o menos rectas y radiales que a su vez tendrán ramificaciones.

## IX.- INTERPRETACION DE RADIOGRAFIAS

### 1.- Normas de aceptabilidad

Interpretar una radiografía consiste en deducir, en base a los cambios de densidad registrados, las discontinuidades o defectos internos o externos del material radiografiado.

Al referirnos a radiografías de soldaduras, su interpretación consiste en determinar cualitativa y cuantitativamente los defectos registrados, para saber si dichas soldaduras son o no aceptables, de acuerdo con la norma de aceptación establecida para cada caso, la cual debe seleccionarse en relación al trabajo a que vaya a estar destinado el equipo o instalación de que forme parte la soldadura inspeccionada.

Entre las normas de aceptabilidad de soldadura, su interpretación consiste en determinar cualitativa y cuantitativamente los defectos registrados,

para saber si dichas soldaduras son o no aceptables, de acuerdo con la -- norma de aceptación establecida para cada caso, la cual debe seleccionarse en relación al trabajo a que vaya a estar destinado el equipo o instala-- ción de que forme parte la soldadura inspeccionada.

Entre las normas de aceptabilidad de soldadura comunmente usadas en nues-- tro país, tenemos las especificadas por las siguientes organizaciones, in-- ternacionalmente reconocidas:

Sociedad Americana de Soldadura (A.W.S.), para soldaduras de estructuras metálicas para edificios y puentes, en sus normas D1.0 y D2.0

Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (A.S.M.E.) para soldaduras de -- recipientes y tuberías sujetos a presión y a fuego directo, como en el -- caso de calderas, sobrecalentadores, etc., en la sección I de su código , y para soldaduras de recipientes sujetos únicamente a presión, como en el caso de tanques de almacenamiento de gas, en la sección VIII de su código.

Instituto Americano del Petróleo (A.P.I.) para soldaduras de campo de -- líneas de tubería e instalaciones conexas, para conducción de gas o hidro-- carburos, en su norma No. 1104; para construcción de tanques de almacena-- miento de combustible, en su norma No. 650.

No se van a indicar aquí las cantidades y dimensiones máximas de cada tipo de defecto aceptadas por cada norma, debido primordialmente a que dichas normas están variando periódicamente, notándose una tendencia a reducir en cada nueva edición la cantidad y las dimensiones de los defectos tole-- rados, ya que el criterio a seguir no consiste en permitir ciertas canti-- dades de defectos en todas las soldaduras sino que se aspira a que éstas -- sean lo más sanas posibles, y sólo en caso de realizarse el trabajo en -- condiciones adversas o cuando existan factores que afecten desfavorable-- mente la soldadura, podrán aceptarse las cantidades máximas de defectos -- permitidos por la norma aplicable, pero sin olvidarse de buscar y corregir las causas que los originan.

Las distintas normas coinciden en sus criterios al no permitir los defectos que más pueden afectar a las soldaduras, como son las roturas, y sólo algunas de ellas toleran pequeñas cantidades de defectos tales como falta de penetración y falta de fusión.

En general todas las normas rechazan aquellos defectos que por sus características puedan ocasionar la falla de la soldadura, debido a la disminución de la resistencia de la unión soldada, por el desarrollo que puedan sufrir los defectos al recibir los esfuerzos que presenten durante el tiempo que trabaje la soldadura.

## 2.- Prácticas de interpretación:

Para interpretar las radiografías se deberán tener las condiciones de luminosidad adecuadas. Estas condiciones implican que del lado opuesto al observador que haga la interpretación existe una fuente luminosa que haga pasar la luz a través de la radiografía, haciendo transparentes las zonas de la radiografía que tengan baja densidad. El técnico que las interpreta deberá estar del lado de menor intensidad luminosa que incluso se recomienda sea casi obscuridad.

La fuente luminosa es un aparato que se denomina negatoscopio y es una lámpara de luz blanca dentro de una caja y del lado de la salida de la luz tiene una lámina de material plástico blanco translúcido sobre la cual se colocarán las radiografías para su interpretación. Esta placa deberá estar limpia y sin rayaduras para estar en condiciones de usarse.

El observador deberá colocarse lo más cerca posible y de frente a las radiografías, de manera que pueda observar todo los detalles que muestren las radiografías que se estén interpretando, ya que la imagen de algunos defectos angostos como las roturas y las fusión incompleta son líneas muy delgadas en ocasiones muy tenues, que pueden pasarse por alto si la observación es lateral, alejada o muy somera.

Para una mejor identificación de los defectos de soldadura es conveniente

observar la forma como se presentan dentro de la soldadura, por lo cual recomendamos, siempre que sea posible, cortar con soplete la parte que -- contenga soldadura defectuosa y en la muestra así obtenida cortar con se-- gueta las zonas de la unión defectuosa a través de los defectos, pulir - - hasta eliminar las rugosidades de la superficie cortada y darle un ataque a la muestra, sumergiéndola en una solución caliente de ácido clorhídrico con agua al 50% durante 15 a 30 minutos, enjuagar perfectamente con agua las muestras atacadas, y así se podrá observar la forma de los defectos en sección transversal. La proyección en planta de estos defectos será de -- forma similar a la mostrada por la radiografía.

La imagen de los defectos superficiales, tales como el socavado y las - -- quemadas, tendrá un contorno similar al contorno de estos defectos.

Reporte:

El reporte de cualquier trabajo de inspección radiográfica deberá conte-- ner todos los datos necesarios para determinar las condiciones que tengan los materiales que se inspeccionan y de acuerdo con los resultados obteni-- dos, tomar las medidas pertinentes para corregir las anomalías y seguir - adelante con los trabajos, por lo que como mínimo deberá contener los si-- guientes datos:

- a.- Identificación de cada radiografía
- b.- Resultado del estado de la soldadura o material inspeccionado (si es aceptable o no de acuerdo con las especificaciones aplicables)
- c.- Defectos de la soldadura o del material observados en cada radiografía
- d.- Localización de los defectos
- e.- Normas de aceptabilidad empleadas, para juzgar si la soldadura o el material bajo inspección es o no aceptable.

Es conveniente reportar todos los defectos observados en las radiografías independientemente de sus dimensiones, ya que teniendo conocimiento de su existencia es posible tomar las medidas necesarias para tratar de elimi-- narlos en el trabajo que se desarrolla posteriormente.



La localización de los defectos considerados como inaceptables dentro de la soldadura o los materiales inspeccionados, debe realizarse con la mayor exactitud posible, para que cuando sea procedente efectuar una reparación local de la parte defectuosa, no haya riesgos de pasarlos por alto y dejarlos sin reparar.

#### C.- PRUEBAS FISICAS Y ANALISIS QUIMICOS:

##### I.- Finalidad:

Las pruebas físicas y análisis químicos tienen como finalidad determinar en un material su grado de dificultad para soldarse, determinando la compatibilidad de propiedades físicas y químicas, entre el material base y el material de aporte.

Desde el punto de vista metalúrgico, las pruebas físicas destructivas siguen siendo en la actualidad el fundamento básico para determinar la calidad de la unión soldada, durante la fabricación y/o instalación de una tubería.

El criterio para evaluar los resultados obtenidos en las pruebas físicas, deberá ser aquel que tienda a encontrar las diferencias o equivalencias en propiedades físicas (tales como ductilidad, sanidad y resistencia) entre el material base y el metal de aporte, estimando en algunos casos, que si a pesar de no cubrir todos los requisitos de la norma aplicable puede ser utilizado el tipo de unión probada.

##### I.- Calificación del procedimiento de soldadura:

La calificación del procedimiento de soldadura es indispensable para verificar que las uniones soldadas llenaran los requerimientos de cálculo con que fueron diseñadas.

Antes de iniciarse la soldadura debe establecerse y calificarse una espe--

cificación detallada del procedimiento, para demostrar que se pueden efectuar soldaduras sanas y de propiedades mecánicas adecuadas por ese procedimiento.

La calidad de las soldaduras deberá ser determinada por pruebas destructivas, que incluyen pruebas de tensión, de sanidad, de dobléz (de raíz, de cara y de canto), de impacto y de dureza.

Previamente a la calificación del procedimiento, es conveniente calificar la calidad de los materiales que van a emplearse para realizar las uniones soldadas. Esta calificación incluye análisis químicos y pruebas físicas, tanto del material base como del de aporte.

Debe considerarse una necesidad imprescindible, el calificar la calidad de los materiales cuando exista duda acerca de sus propiedades físicas y características químicas.

El número y tipo de pruebas varía en función a muchos factores. Las normas aplicables en cada caso, especifican las que deben efectuarse, de acuerdo con las características del material.

Por ejemplo, la norma API 1104 indica que para la calificación del procedimiento deberán efectuarse las siguientes pruebas, de acuerdo con el diámetro y espesor de la pared de tubo, en uniones a tope:

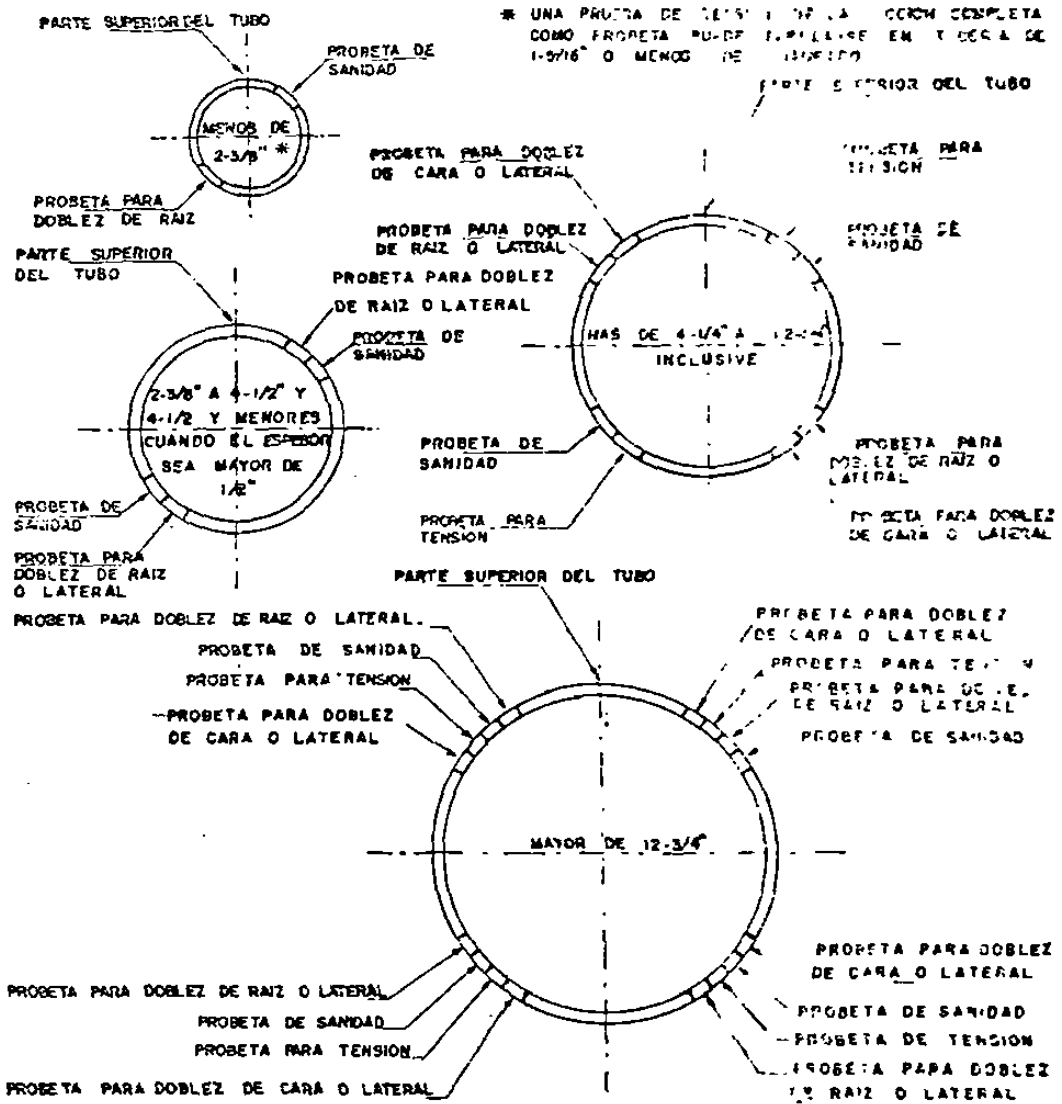
Tabla No. 1:- Tipo y número de pruebas que indica la norma API-1104 para la calificación de procedimiento y de soldadores.

DIAMETRO NOMINAL DEL TUBO	TIPO DE PRUEBA	TOTAL DE MUESTRAS Y PRUEBAS	NUMERO Y TIPO DE PRUEBAS			
			TENSION	SANIDAD	DOBLEZ DE RAIZ	DOBLEZ DE CARA
HASTA DE 1-5/16"	CALIFICACION DE SOLDADOR	1 MUESTRA 1 PRUEBA	SECCION COMPLETA	-	-	-
	CALIFICACION PROCEDIMIENTO	1 MUESTRA 1 PRUEBA	SECCION COMPLETA	-	-	-
ABAJO DE 2-3/8"	CALIFICACION DE SOLDADOR	2 MUESTRAS 4 PRUEBAS	-	2	2	-
	CALIFICACION PROCEDIMIENTO	2 MUESTRAS 4 PRUEBAS	-	2	2	-
DE 2-3/8" A 4-1/2" INCLUSIVE	CALIFICACION DE SOLDADOR	1 MUESTRA 4 PRUEBAS	-	2	2	-
	CALIFICACION PROCEDIMIENTO	1 MUESTRA 4 PRUEBAS	-	2	2	-
ARRIBA DE 4-1/2" A 12-3/4"	CALIFICACION DE SOLDADOR	1 MUESTRA 6 PRUEBAS	2	2	2	-
	CALIFICACION PROCEDIMIENTO	1 MUESTRA 8 PRUEBAS	2	2	2	2
ARRIBA DE 12-3/4"	CALIFICACION DE SOLDADOR	1 MUESTRA 12 PRUEBAS	4	4	2	2
	CALIFICACION PROCEDIMIENTO	1 MUESTRA 16 PRUEBAS	4	4	4	4

Nota:- Las pruebas para el control de calidad durante la instalación de líneas de tubería, son las mismas que se indican para la calificación de soldadores.

En las figuras siguientes se indica el tipo de prueba y la localización donde se deben obtener las probetas para efectuar las pruebas de calificación de procedimiento y de soldador.

**WORKS API-1104 PARA SOLDAR LINEAS DE TUBERIAS E INSTALACIONES RELACIONADAS**

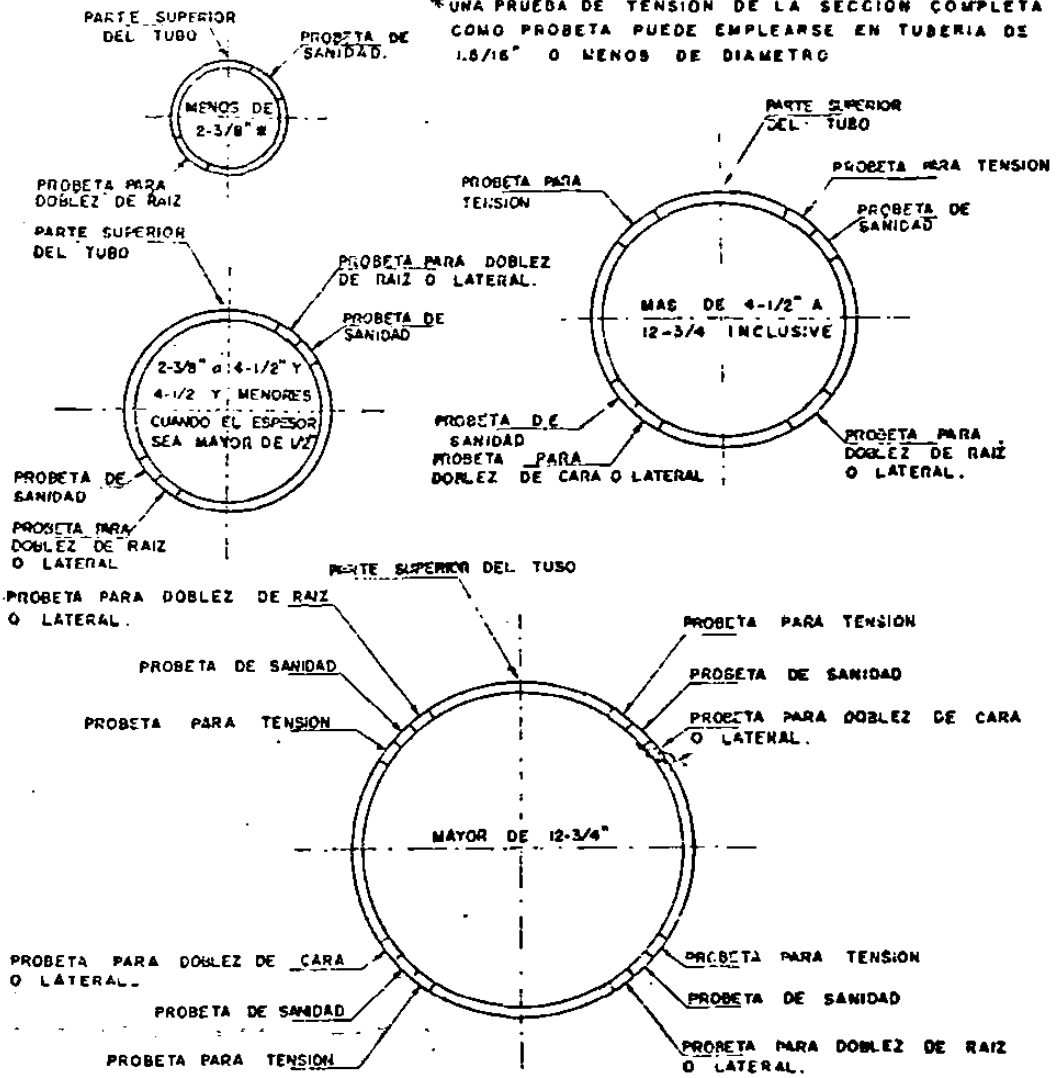


\* UNA PRUEBA DE TENSION DE LA CORONA COMPLETA COMO PROBETA PUEDE EFECTUARSE EN Y CERCA DE 1-3/16\" O MENOS DE ESPESOR

NOTA: A OPCIÓN DE LA COMPAÑIA LA LOCALIZACIÓN PUEDE SER GIRADA 45° EN SENTIDO CONTRARIO AL GIRO DE LAS MANECILLAS DEL RELOJ Y/O TOMAR PROBETAS ADICIONALES  
**LOCALIZACIÓN DE LAS PROBETAS.— PRUEBAS EN LA SOLDADURA PARA CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO PARA HACER UNIONES A TOPE**

**NORMA API-1104 PARA SOLDAR LINEAS DE TUBERIAS E INSTALACIONES RELACIONADAS**

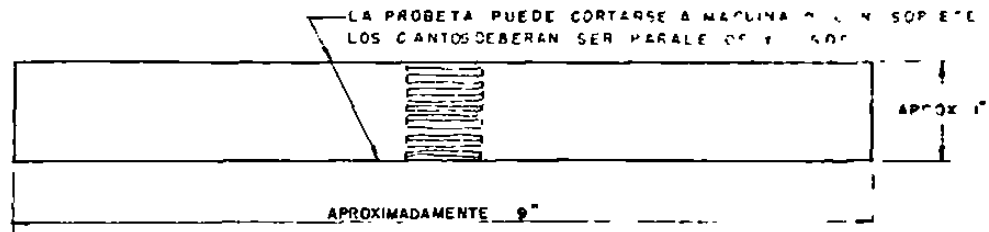
\* UNA PRUEBA DE TENSION DE LA SECCION COMPLETA COMO PROBETA PUEDE EMPLEARSE EN TUBERIA DE 1.616" O MENOS DE DIAMETRO



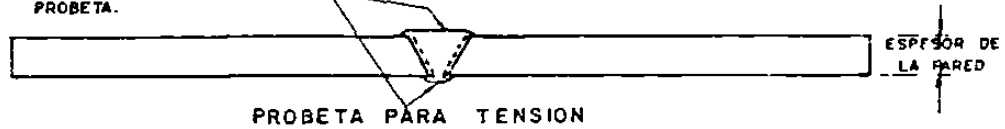
NOTA: A OPCION DE LA COMPAÑIA LA LOCALIZACION PUEDE SER GIRADA 45° EN SENTIDO CONTRARIO AL GYRO DE LAS MANECILLAS DEL RELOJ Y/O TOMAR PROBETAS ADICIONALES

LOCALIZACION DE LAS PROBETAS.—PRUEBAS EN LA SOLDADURA PARA CALIFICACION DE SOLDADORES PARA HACER UNIONES A TOPE

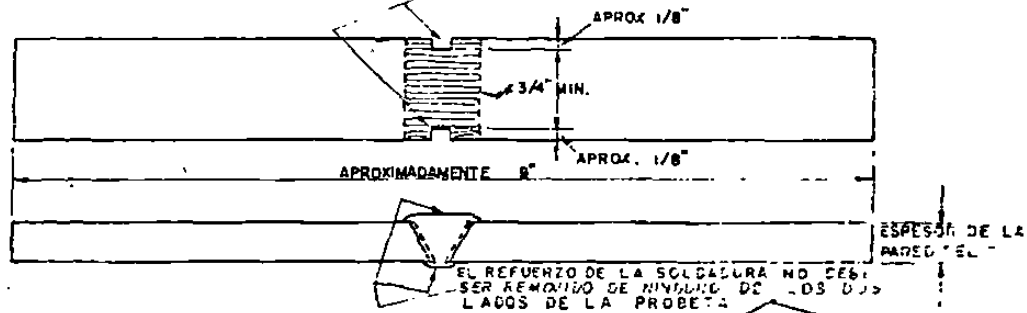
NORMA API-1104 PARA SOLDAR LINEAS DE TUBERIAS E INSTALACIONES RELACIONADAS



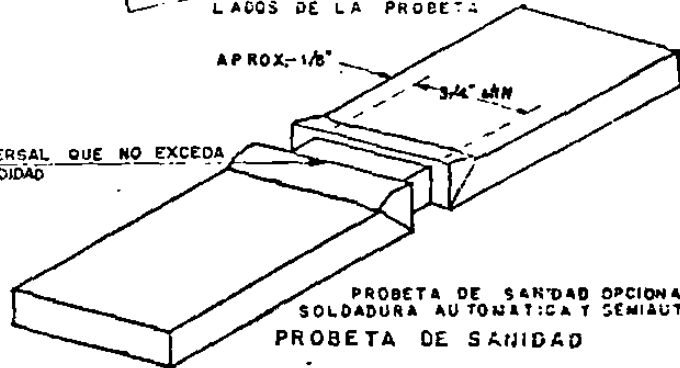
EL REFUERZO DE LA SOLDADURA NO DEBERA SER  
REMOVIDO DE NINGUNO DE LOS DOS LADOS DE LA  
PROBETA.



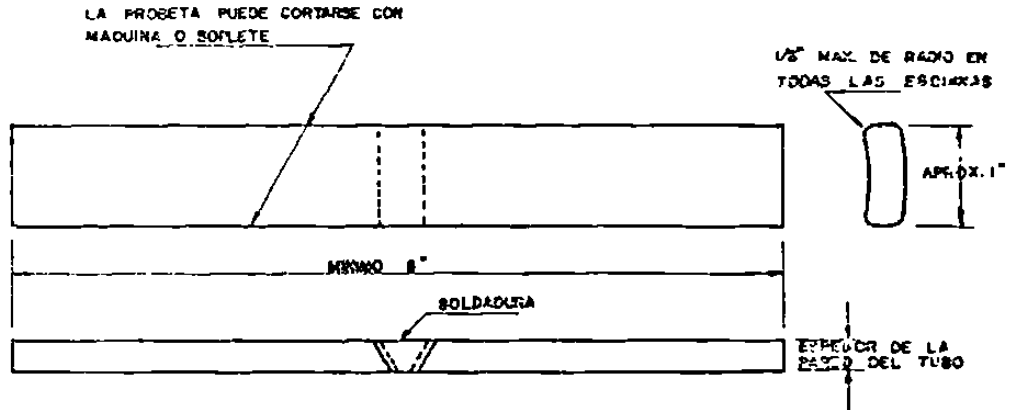
MUESCAS CORTADAS CON SEQUETA, LA PROBETA  
PUEDE CORTARSE A MAQUINA O CON SOPLETE  
LOS CANTOS DEBERAN SER PARALELOS Y LISOS



LA MUESCA TRANSVERSAL QUE NO EXCEDA  
DE 1/16" DE PROFUNDIDAD



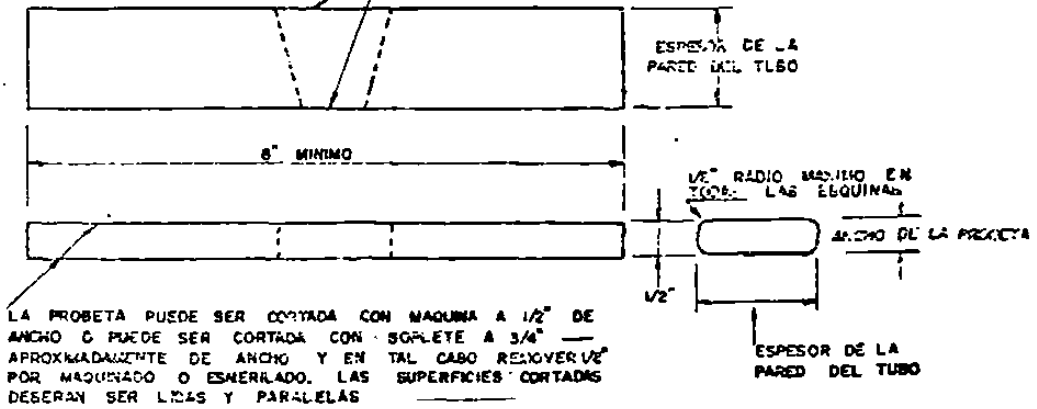
NORMA API-1104 PARA SOLDAR LINEAS DE TUBERIAS E INSTALACIONES RELACIONADAS



EL REFUERZO DE LA SOLDADURA DEBERA SER REMOVIDO EN AMBAS CARAS A NIVEL CON LA SUPERFICIE DE LA PROBETA. LA PROBETA NO DEBERA SER APLANADA ANTES DE LA PRUEBA

PROBETA PARA DOBLEZ DE RAIZ Y CARA

EL REFUERZO DE LA SOLDADURA DEBERA SER REMOVIDO DE AMBAS CARAS A NIVEL CON LA SUPERFICIE DE LA PROBETA



PROBETA PARA DOBLEZ LATERAL

## 2.- CALIFICACION DE SOLDADORES:

La finalidad que se persigue al efectuar la calificación de soldadores es la de interpretar la habilidad de cada soldador para aplicar un cordón de soldadura o efectuar la soldadura de una union, apegándose a todos los pasos detallados de un procedimiento de soldadura previamente aprobado.

La calificación de soldadores se efectúa mediante las pruebas físicas de probeta obtenidas de carretes o muestras de soldaduras realizadas en condiciones similares a las que se encontrarán durante la ejecución de los trabajos para los cuales se vayan a calificar.

Aunque la norma API 1104 establece que, a juicio de la compañía contratante la calificación de soldadores puede efectuarse mediante inspección --- radiográfica, es obvio que se refiere a los casos en que todos los soldadores se apeguen a todas las especificaciones del procedimiento de soldadura previamente aprobado.

Como la realidad es que en nuestro país, cada soldador está acostumbrado a trabajar bajo un procedimiento diferente, ya que cada uno trabaja de -- acuerdo con su experiencia, utilizando los voltajes, corrientes y secuencias que a su juicio son más convenientes, existe la necesidad de calificar el procedimiento de soldadura empleado por cada uno, calificación que debe efectuarse mediante las pruebas físicas mencionadas en el inciso anterior, con la ventaja de que esta calificación incluye todas las pruebas físicas requeridas por la norma API 1104, para calificación de soldadores, por lo que al resultar aprobado el procedimiento, automáticamente queda - calificado el soldador.

Para efectuar la calificación de soldadores que se adapten por completo a un procedimiento previamente calificado, es necesario efectuar una o varias de las pruebas físicas que a continuación se mencionan, de acuerdo con el diámetro y espesor de pared de la tubería empleada.



Para uniones soldadas a tope se deben efectuar pruebas de tensión (de - - sección completa o sección reducida), de sanidad, de dobléz, de raíz, de dobléz de cara o de dobléz lateral, indicadas en la figura, y en la cantidad correspondiente a cada diámetro indicadas en la tabla No. 1.

### 3.- CALIFICACION DE MATERIALES:

El objeto de calificar los materiales es fundamentalmente importante ya - que la calidad comprobada de los mismos es básica tanto para efectuar las calificaciones de soldadores y de procedimientos de soldadura, como para asegurar el buen funcionamiento de las instalaciones y equipos construídos así como también para asegurarse de que los materiales que se van a em- - plear son de la especificación indicada en los planos de fabricación, por lo cual trabajarán óptimamente bajo las condiciones previstas.

Al hablar de calificación de materiales nos referimos tanto a los materiales base como a todos aquellos que intervienen para el aporte de soldaduras, - en los cuales es necesario controlar tanto su composición química como sus propiedades físicas.

Refiriéndonos al caso concreto de construcción de líneas de tubería en las que se empleen materiales considerados dentro de las especificaciones de la norma API # 5LX, se deberán efectuar las siguientes pruebas para con- - trolar la calidad de los materiales utilizados:

En tubería sin costura:

Una prueba de tensión en el sentido transversal o longitudinal, en un tramo de tubo de cada lote de 400 tramos o menos para tubería de hasta 4 1/2" de diámetro exterior.

Una prueba de tensión por cada lote de 200 tramos o menos, para diámetros de 6 5/8" a 12 3/4" inclusive.

Una prueba de tensión de cada lote de 100 tramos o menos para tubos de 14" de diámetro o mayores.

Para tubería soldada a tope:

De 2 3/8" y menores, se efectuará una prueba de sección completa de la longitud apropiada a la máquina de prueba por cada lote de 400 tramos o menos, de cada tamaño, para doblarse en un mandril a 90° con diámetro no mayor de 12 veces el diámetro exterior del tubo.

Si las muestras de prueba de tensión de un lote de tubos fallan conforme a los requerimientos especificados, el fabricante puede hacer 2 pruebas más sobre el mismo lote.

Si ambas pruebas llenan los requisitos todo el lote será aceptado, exceptuando el tubo original muestreado para la primera prueba.

Si las pruebas fallan de nuevo, el fabricante puede probar tubo por tubo; si hay fallas en el maquinado de las probetas, deben descartarse y repetirse las pruebas

Para tubería soldada por proceso semiautomático debe hacerse una prueba de tensión por cada lote de 50 tramos o menos en cada diámetro; las muestras no deben tener reparación mediante procesos manuales, debe hacerse una prueba de doblez de cara y otra de raíz en lugar de la de tensión antes mencionada, a opción del fabricante.

#### 4.- CONTROL DE CALIDAD DURANTE LA INSTALACION DE LINEAS DE TUBERIA:

Además de todos los controles efectuados antes de iniciar cualquier instalación de líneas de tubería, mediante las cuales se verifica que los materiales, procedimientos de soldadura y la mano obra empleados son apropiados para los fines que se requieren, es muy conveniente efectuar las pruebas físicas necesarias indicadas en la tabla No. 1, sobre las probetas

obtenidas de soldaduras de campo, tomadas de un carrete de muestra por cada 200 tramos soldados, en el cual se podrá comprobar que tanto la calidad de los materiales como la mano de obra, sigue siendo igual a la aprobada.

Esta comprobación es necesario, ya que si bien los materiales son controlados en fábrica, es factible que se mezclen materiales de distintos lotes y aún de distintas fábricas, lo cual puede traer como consecuencias que se originen graves problemas.

La experiencia ha permitido comprobar que frecuentemente la especificación de la orden de compra y la de la tubería surtida no concuerda con sus características reales, por ejemplo, se pide tubería SLX, grado X-42 y se obtiene en el campo tubería SLX grados X-42, X-46, X-52 y hasta X-60, lo cual por resistencia podrá parecer aceptable, pero que indudablemente ocasionará muchos problemas de soldadura difíciles de resolver si se desconocen la especificación real del material base.

Por otra parte no es raro que los equipos para soldar sufran desajustes -- que afecten la calidad de la soldadura, o bien que los soldadores, aunque hayan sido calificados, puedan, por diversas circunstancias, perder su -- habilidad o llegar a trabajar en malas condiciones físicas, lo cual puede afectar obviamente la calidad de su trabajo.

Además, las variaciones de las condiciones climatológicas en el campo, no consideradas al efectuar la calificación del procedimiento, afectarán en menor o mayor grado las características físicas de las uniones.

. Por todo lo anterior es muy recomendable efectuar periódicamente, las -- pruebas físicas necesarias para el control efectivo de las característi- cas físicas de las soldaduras, que no pueden ser determinadas por la ins- pección radiográfica.

#### D.10.b.2 VIII. ALINEADO Y SOLDADO.

D.10.b.2. VIII A. Limpieza de tubos.- Inmediatamente antes de que los tubos sean tomados para soldarse, deberán ser inspeccionados en el cuerpo y en los biseles para separar los que fueron dañados mientras permanecieron en el derecho de vía, o bien repararlos si es permisible. Todos los tubos aceptables deberán limpiarse en el interior y en las bocas debiendo limpiar los biseles hasta dejar metal blanco. Durante la limpieza del bisel se procurarán descubrir laminaciones, cuarteaduras u otros defectos, debiendo en estos casos desechar el tubo e inmediatamente ser sustituido por otro. Se deberán sondear los tubos para descubrir y quitar toda partícula extraña, substancias u obstrucciones sueltas o pegadas en el interior. Además se deberá pasar un medidor por el interior del tubo para verificar el diámetro y forma, particularmente en tubos doblados.

D.10.b.2 B. Alineado de tubos.- Esta operación incluye el manejo de los tubos sobre el derecho de vía, juntándolos extremo a extremo para formar una línea que se debe colocar paralela a la zanja dejando constituida la junta con la separación y alineamientos entre tubos como se indica más adelante en la fracción de soldadura, y manteniendo fijos los tubos mientras se deposita el primer cordón de soldadura. Se debe tener en cuenta que la velocidad de todo el frente de trabajo está determinado por el progreso de la operación del alineado y depósito del cordón de la raíz.

\* Antes del alineado nuevamente será inspeccionado el tubo y toda materia extraña debe ser removida de los biseles. Si cualquiera de los extremos del tubo que forma la junta está dañada y no se garantiza obtener una soldadura satisfactoria, el tubo debe sustituirse para no detener la fase de soldadura; ya afuera, si el tubo es aprovechable, puede cortarse y volverse a biselar sólo mediante una máquina biseladora. Los tubos se alinearán, si es el caso, traslapando su costura longitudinal dentro del espacio superior de un ángulo de  $30^{\circ}$  a cada lado del eje vertical.

- \* Si durante el soldado se descubren laminaciones, cuarteaduras u otros defectos en un tubo, deberá ser reparado el defecto o cortada la junta procediendo según se indica en X "Reparación de Soldaduras".
- \* No se permite biselar los tubos a mano. NO se permite desviación angular longitudinal alguna entre tubo y tubo alineado, ni menos, ya soldado.
- \* El espacio entre los extremos de los tubos y la inmovilidad de los mismos cuando se alinean para ser soldados debe asegurar una penetración completa y sin quemaduras. Para tubos de las mismas dimensiones, el espacio es aproximadamente 1/16 pulg. El Desalineamiento de los tubos en la junta debe ser como mínimo 1/16 pulg. Para fijar, la junta, debe usarse un alineador exterior en diámetros chicos hasta 6 pulg. diámetro nominal, y un alineador interior en tubos de 8 pulg. diámetro nominal y mayores; cualquiera de ellos puede ser removido sólo después de completar el 100% del fondeo, el cual debe hacerse en segmentos de igual longitud aproximadamente espaciados alrededor de la circunferencia de la junta.
- \* Los tubos deben ser manejados sin dañar su pared y deben colocarse paralelos a la zanja de tal manera que cuando la tubería sea bajada, los tubos doblados deberán descansar en el fondo de la zanja, uniformemente en toda su longitud.
- \* La tubería que se va constituyendo debe ser colocada sobre apoyos, generalmente con polines de madera, dejando un claro de 40 cm mínimo entre la parte baja del tubo y el terreno a fin de tener un espacio para finalizar el soldado, así como para ejecutar después las fases de prueba de jabonadura y las operaciones de la protección mecánica.
- \* Está permitido que los durmientes que se usan para soportar la tubería en el alineado, soldado y protección mecánica, colocados al lado o sobre la zanja, sean de madera toscamente labrada, cuyas variadas dimen-

siones deben tener la sección y resistencia necesaria para soportar la carga sin que se dañen o se rompan.

- \* Si la tubería se soporta sobre la zanja los polines deben tener suficiente resistencia, longitud y área de apoyo sobre el terreno a cada lado, de modo que los bordes de la zanja no se derrumben por la compresión y ocasione que el tubo se deteriore en la caída.
- \* Si el tubo ya tiene protección anticorrosiva y descansa sobre los durmientes, éstos deberán acolchonarse para prevenir que partes agudas o cortantes dañen la protección.
- \* El espaciamiento de los durmientes varía con las circunstancias pero no debe ser mayor del que produzcan ondulaciones al tubo entre apoyo y apoyo, debiendo ser además, estratégico en relación con los dobleces laterales, los dobleces verticales y las deformaciones laterales por temperatura que producen sinuosidades, hasta poderse caer los tubos del apoyo. Deben evitarse los colapsos de la tubería en los apoyos y en el claro.

#### D.10.b.2 VIII C. SOLDADURA.

- La soldadura de tubos debe considerarse como la operación más importante y de mayor atención, por constituir la continuidad de la hermeticidad y resistencia del conducto, que debe lograrse solamente con trabajadores competentes, un equipo que se mantenga siempre en buenas condiciones y una inspección que no disminuya la vigilancia y pruebas que se establezca.
- \* La soldadura de los tubos debe ser hecha por cualquiera de los procesos siguientes: soldadura de arco metálico protegido, soldadura de arco sumergido, soldadura de arco con electrodo de tungsteno protegido con gas, soldadura de arco metálico protegido con gas o bien por el proceso de soldadura de oxiacetileno.

- \* Las técnicas que se apliquen en los procesos de soldadura pueden ser - - manuales semiautomáticas; automáticas o la combinación de ellas y pueden ser aplicadas en soldaduras de posición o soldaduras de rolado.
- El equipo de soldar tanto el de arco eléctrico como el de gas debe ser - del tamaño y tipo apropiado para el trabajo y debe mantenerse en condiciones de asegurar una soldadura uniforme y aceptable, en operación - continua. El equipo de arco eléctrico debe estar vigilado constantemente y debe operarse dentro de los límites de valores de corriente y - tensión dados en el procedimiento calificado de soldadura. El equipo - de gas para soldar debe ser operado con la flama característica y el -- tamaño de boquilla dada en el procedimiento.
- \* Cualquier equipo que no cumpla los requisitos de funcionamiento deberá -- ser reparado o reemplazado.
- Esta norma debe aplicarse al soldado de accesorio de tubería, de tubos - API Spec 5L, API Spec 5LX y estándares ASTM aceptados.
- Todos los metales de aporte deben ser conforme a las especificaciones AWS A 5.17, AWS A 5.18 y AWS A 5.20.
- \* Todos los metales de aporte o electrodos así como los fundentes deben -- ser almacenados y manejados evitando con empaques abiertos deben protegerse de cualquier deterioro y los - - electrodos protegidos deben estar al resguardo de cambios excesivos de - humedad. Los electrodos y fundentes que muestren signos de haberse - - dañado o deteriorado no deben usarse.
- Las atmósferas para proteger un arco son de varios tipos y pueden estar constituidos por gases inertes, gases activos o la mezcla de ellos. La pureza y sequedad de estas atmósferas tienen gran influencia en la soldadura y pueden ser de un valor a propósito para el proceso y para el - metal base. La atmósfera de protección que se use deberá ser califica-

da por el material y por el proceso de soldadura. El proyecto debe - -  
contener las instrucciones completas al respecto que deben seguirse en  
la construcción.

- \* Los gases protectores deben guardarse en recipientes recargables que de-  
ben almacenarse alejados de temperaturas extremas. Los gases de dudosa  
pureza y aquéllos contenidos en recipientes que muestren signos de - --  
haber sido dañados no deben ser usados.

#### D.10.b.2 VIII C1. Calificación del procedimiento de soldadura -

- Antes de iniciar la operación de soldadura en la línea, debe ser califi-  
cada la especificación detallada del procedimiento de soldadura que se  
usará, para determinar que las soldaduras tengan propiedades mecánicas  
apropiadas, puedan considerarse sanas y se pueda utilizar el procedi- -  
miento aprobado. La calidad de la soldadura debe ser determinada por -  
pruebas destructivas.
- Los detalles de cada procedimiento calificado deben ser anotados en re--  
gistros que deben mostrar los resultados completos de las pruebas del -  
procedimiento. Los registros deben ser implantados en las construccio-  
nes, iguales o semejantes a los que se están incluyendo como ejemplos.



**REGISTRO DEL PROCEDIMIENTO CALIFICADO DE  
SOLDADURA**

Para..... Soldadura de..... Tubos y Conexiones.

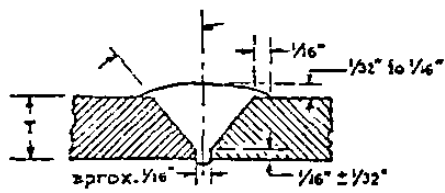
- A Proceso
- B Material
- C Diámetro y espesor de pared
- D Diseño de junta
- E Metal de aporte y número de cordones
- F Características eléctricas o de flama
- G Posición
- H Dirección de la soldadura
- I Número de soldadores
- J Tiempo entre pasos
- K Tipo de alineador
- L Remoción del alineador
- M Limpieza
- N Precalentamiento. Relievo de esfuerzo
- O Protección de gas y gasto
- P Fundente protector
- Q Velocidad de recorrido
- R Dibujos y tablas

**PROBADO**                      **SOLDADOR**

**APROBADO**                    **SUPERVISOR DE SOLDADURA**

**ADOPTADO**

REGISTRO PARA EL PROCEDIMIENTO CALIFICADO DE SOLDADURA



Bisel estándar en V para juntas a tope



Secuencia de cordones

Espesor de pared del tubo	Tamaño del Electrodo y número de cordones			Número total de cordones
	Número de cordones con electrodo de 1/32" ó alambre	3/32"	1/16"	

Nota: Primer paso solamente.

Uso de pasos faltantes.

El cordón de la cubierta puede hacerse con

Límite de los valores de la corriente y la tensión

Diámetro del electrodo

Corriente Amp.

Tensión Volta.

REGISTRO PARA EL PROCEDIMIENTO CALIFICADO DE SOLDADURA REPORTE													
Localización			Fecha			Prueba No.							
Constructor													
Cédula		Cuadrilla		Inspector									
Fecha		Estado		Soldadura		se rolado en patio		Soldadura posición fija					
Soldador			Marca										
Tiempo de soldado			Hora			Temperatura °F							
Estado atmosférico													
Uso de la pantalla contra viento			Tensión Volts			Corriente Amp							
Máquina de soldar utilizada			Tamaño										
Marca de fábrica del electrodo													
Tamaño del refuerzo													
Marca de tubos			Clase										
Espesor de pared			D.E.		lb/pie		Longitud de tramo						
Cordón número		1 2 3 4 5 6 7					Cupón marcado		1 2 3 4 5 6 7				
Tamaño del electrodo							Original						
No. del electrodo							Dimensión placa						
							Área original de placa pulg <sup>2</sup>						
							Carga máxima						
							Resistencia al rotura						
							Localización de fractura						
<input type="checkbox"/> Procedimiento		<input type="checkbox"/> Prueba calificada		<input type="checkbox"/> Calificado		<input type="checkbox"/> Soldador		<input type="checkbox"/> Línea probada		<input type="checkbox"/> Descalificado			
Tensión máxima _____			Tensión mínima _____			Tensión promedio _____							
Notas sobre tensión													
1													
2													
3													
4													
Notas sobre prueba de doblado													
1													
2													
3													
4													
Notas sobre prueba de sanidad por ranura y rotura													
1													
2													
3													
4													
Prueba hecha a			Fecha										
Probado por			Supervizado por										
Nota: Puede usarse para reportar tanto la "Prueba de Calificación del Procedimiento" como para la "Prueba de Calificación de Soldadores".													

Aspectos del procedimiento de soldadura.

- El procedimiento de soldadura especificado en el proyecto y que debe calificarse en el campo, debe incluir los diferentes aspectos que se enuncian a continuación, mismos que deberán ser aplicados.
- \* Proceso. El proceso específico de soldadura de arco o el proceso de soldadura con gas, manual, semiautomático, automático o combinado.
- \* Materiales. Tubos y conexiones de tuberías, API Spec 5L, API Spec 5LX y otros materiales de especificaciones ASTM, acero al carbón, agrupados según el límite elástico mínimo especificado: 42 000 psi y menor; más de comprobar la compatibilidad de las propiedades metalúrgicas de los metales base y de relleno, tratamientos térmicos y propiedades mecánicas.
- \* Agrupamientos por diámetros y por espesor de pared.
 

Diámetro exterior pulg	Espesor de pared pulg
menores de 2 3/8	menores de 3/10
2 3/8 a 12 3/4 incluso	3/16 a 3/4 inclusive
Mayores de 12 3/4	Mayores de 3/4
- \* Diseño de ranuras - Forma de la ranura y ángulo del bisel, tamaño de la cara de la raíz y abertura entre raíces o espacio entre miembros a tope. Forma y tamaño del cordón de soldadura. Tipo de respaldo si se usa.
- \* Metal de aporte y número de cordones. (Tamaño y número de clasificación de metal de aporte, número mínimo y secuencia de cordones).
- \* Características eléctricas. (Corriente y polaridad, tensión y corriente para cada electrodo, sea varilla o alambre).
- \* Características de la flama. (Neutral, carburación, oxidante, tamaño --

del orificio en antorcha tipo, para cada tamaño de varilla o alambre).

- \* Posición. (De rolado o soldadura de posición fija).
- \* Dirección de la soldadura. (Vertical hacia arriba o hacia abajo). Esta norma establece solamente la dirección vertical hacia abajo.
- \* Tiempo entre pasos. (Tiempo máximo entre terminación del cordón de fondeo y principio del segundo cordón, tiempo máximo entre la terminación del segundo cordón y el principio de otros cordones)
- \* Tipo de alineador. (Interno, externo, no se requiere)
- \* Remoción del alineador. (Después de completar 100% del fondeo)
- \* Limpieza. (Herramientas motrices, herramientas de mano).
- \* Pre y postcalentamiento. (Relevo de esfuerzos) (Métodos, temperatura, - métodos de control de temperatura, fluctuación de temperatura ambiente)
- \* Gas protector y gasto. (Composición del gas, y gasto)
- \* Fundente protector (Tipo y tamaño)
- \* Velocidad de recorrido. (pulgadas por minuto) (cm. por minuto)
- Dibujos y tablas-. (Dibujos por láminas separadas, mostrando la ranura y secuencia de los cordones de soldadura, junto con los datos tabulados según el diámetro y espesor de pared del tubo, el diseño de la junta, - el metal de aporte, número de cordones y las características de la - - corriente eléctrica o de la flama)

#### D.10.b.2 VIII C2.- Recalificación del procedimiento de soldadura.

- Variables esenciales.

Un procedimiento de soldadura debe ser restablecido como una nueva especificación de procedimiento y debe ser completamente recalificado, -- cuando cambian cualquiera de las variables siguientes que pertenecen al procedimiento primeramente establecido.

- \* Cambio en el proceso de soldadura. (De gas a arco protegido; proceso de gas o soldadura de arco a otro proceso de gas u otra soldadura de arco; de manual a semiautomático o automático o combinación de éstos).
- \* Cambio en el material de los tubos. (Grupos de ASTM o API, acero al carbono, con límite elástico mínimo especificado de 42 000 psi y menor, -- más de 42 000 psi y menos de 60 000; más de 60 000 psi; además de comprobar la compatibilidad de las propiedades metalúrgicas del metal base y el relleno, tratamientos térmicos y propiedades mecánicas).
- \* Cambio en el diseño de la junta. (De ranura en V a ranura en U, etc. El cambio en el ángulo del bisel o borde de la ranura, no son variables esenciales del procedimiento especificado).
- \* Cambio en la posición. (para soldadura a tope solamente.) (Un cambio de vertical a horizontal y viceversa).
- \* Cambio en el metal de aporte. (De un grupo clasificado a otro: Ver tabla "Clasificación de grupos de metales de aporte").
- \* Disminución del número de soldadores del cordón de fondeo.
- \* Cambio en el período de tiempo entre el cordón de fondeo y el segundo - cordón según máximo establecido.
- \* Cambio en dirección. (Vertical-abajo a vertical-arriba o viceversa)
- \* Cambio de gas protector. (De un gas a otro; de una mezcla de gases a - mezcla diferente de los mismos gases)

dón final de la parte exterior del tubo no debe exceder a 1/32 pulg. de profundidad, o bien 12.5% del espesor de pared del tubo cualquier valor que sea menor y habrá n más de 2 pulg. de socavación en 12 pulg. de longitud de soldadura.

\* Cuando se use soldadura automática o semiautomática, deberá mantenerse una mínima protuberancia de metal de aporte sobresaliendo en el interior del tubo.

\* Las fallas en contra de estos requisitos deben ser causa suficiente para suspender pruebas adicionales.

- Pruebas de calificación por pruebas destructivas

\* Muestreo de soldaduras de prueba. Soldadura a tope. Los especímenes deben ser cortados de cada soldadura de prueba si la soldadura de prueba es una soldadura circunferencial completa, la localización de los especímenes deberá sacarse como se muestra en D.10.b.2. VIII C4.- FIG. 9.0 API 1104; si la soldadura de prueba consiste de segmentos de niples de tubos, un número de especímenes aproximadamente igual debe ser sacado de cada segmento.

\* El número total de especímenes y las pruebas para cada uno de ellos deberán ser como se muestra en D. 10.b.2. VIII. C5.- TABLS 3.- API 1104. El espécimen deberá ser enfriado al aire a la temperatura ambiente antes de someterlo a prueba.

\* Para tubos de 1 5/16 pulg. diámetro exterior y menores, una sección completa como espécimen, puede ser substituido

las de ranura y rotura de sección reducida. Esta sección completa debe probarse según el "Método" de la "Prueba de la Rotura por Tensión" descrito antes y deberá cumplir los "Requisitos de la Rotura por Tensión" en soldaduras a tope que se verán más adelante.

\* Cambio en el gasto del gas. (Disminución o incremento del gasto según - límites establecidos)

\* Cambio en el fundente protector. (Cambio del tipo o tamaño de las - - - partículas del fundente)

\* Cambio a mayor velocidad de recorrido, según límites:

D.10.b.2. VIII C3.- Uniones de prueba, soldadas a tope- Se denomina unión de prueba a la unión con soldadura de dos extremos de dos pequeños tramos de tubo que obedecen todos los detalles de las especificaciones del procedimiento por calificar y bajo las condiciones que se esperan en la producción de soldaduras en la línea.

D.10.b.2. VIII C4.- Prueba de "uniones de prueba" soldadas a tope.

- Preparación. Los especímenes deben ser cortados conteniendo al centro la junta soldada, de acuerdo con la localización transversal mostrada - en D.10.b.2 VIII C4.- Fig. I.API 1104, con las dimensiones y en las - - cantidades mínimas de especímenes y pruebas que deben realizarse, --- dadas en D.10.b.2 VIII C4.- TABLA I.API 1104.

\* Los especímenes deberán ser separados como se muestra en D.10.b.2 VIII C4.- FIGS. 2,3,4 y 5 - API 1104.

\* Para tubos menores de 2 3/8 pulg, diámetro exterior, deberán hacerse - - dos uniones de prueba para poder contar con el número de especímenes de prueba requeridos.

\* Los especímenes deben ser enfriados al aire a la temperatura ambiente, - antes de que sean probados.

\* Para tubos de 1 5/16 pulg, diámetro exterior y menores, un espécimen de sección completa puede ser sustituido por los cuatro especímenes: dos -

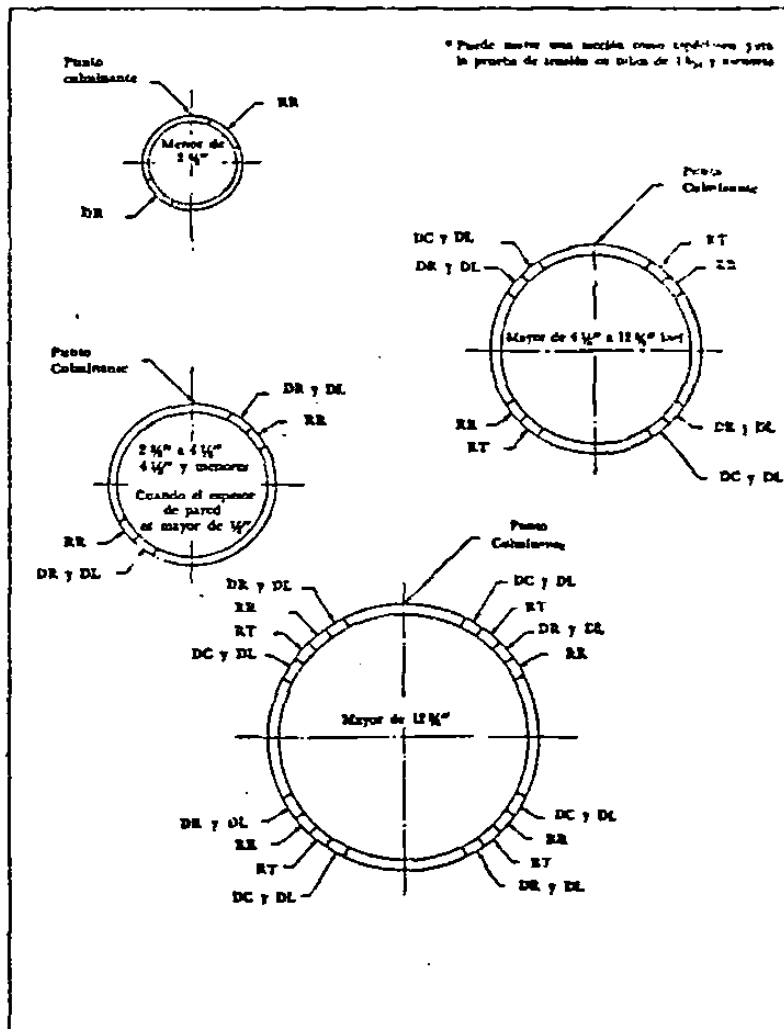


CLASIFICACION DE GRUPOS DE METALES DE APORTE  
(API Std 110?)

Gpo.	Especificación AWS	Gas Protector	Elec trodo	Fun- dente	Obscr- vaciones
1	A5.1-69		EXX10 EXX11		
2	A5.1-69 A5.5-69		EXX15 EXX16 EXX18		
3	A5.17-69		EL8 EL8K EM5K EM12 EM12K EM13K EM15K	F60 F61 F62 F70 F71 F72	Cualquier combinación de electrodos y fundentes mostrados
4	A5.18-69	Bióxido de Carbono	E70S-4 E70S-5 E70S-6		
5	A5.18-69	No Especificado	E70S-G		Potencia para soldar no especificada
6	A5.20-69	Bióxido de Carbono	E70T-1 E70T-2 E70T-5		
7	A5.20-69	Sin protector	E70T-3 E70T-4 E70T-5		
8	A5.20-69	No Especificado	E70T-G		Potencia para soldar no especificada
9	A5.18-69	Argón o Argón y oxígeno	E70U-1		
10	A5.2-69		RG 45 RG 60 RG 65		

NOTA: Gas o gases protectores, tipos de metal de aporte y fundentes no enlistados en esta tabla, pueden ser usados pero se requiere calificación diferente de soldadores.

D.10.b.2.VIII<sub>c</sub> [FIG. 1.-API 1104]  
 LOCALIZACION DE ESPECIMENES DE PRUEBA  
 DE SOLDADURA A TOPE PARA CALIFICACION  
 DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURAS



Nota: Para poder tomar otros especímenes, la posición de las secciones de los tubos pueden girarse 45° en el sentido contrario a las manecillas del reloj.

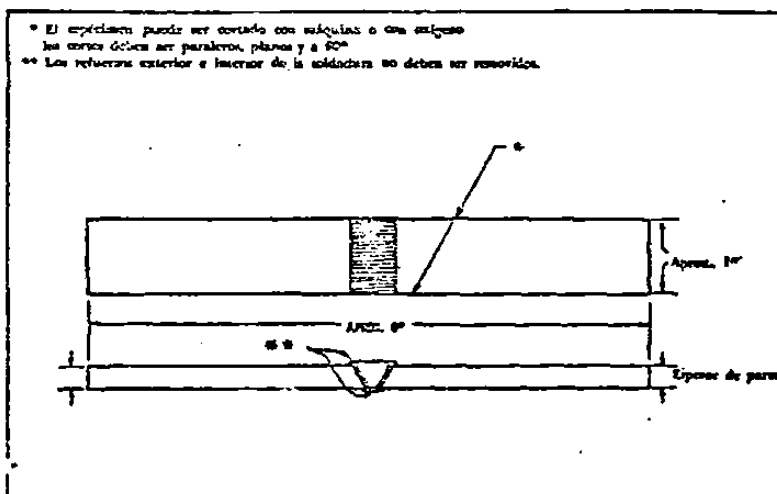
Clave	Especimen
RT	Rotura por tensión
RR	Ranura y rotura
DC	Doblado de cara
DR	Doblado de raíz
DL	Doblado lateral

D.10.b.2.VIII<sub>C</sub> [TABLA 1-API 1104]TIPO Y NUMERO DE ESPECIMENES PARA LAS PRUEBAS  
DE CALIFICACION DEL PROCEDIMIENTO  
DE SOLDADO A TOPE

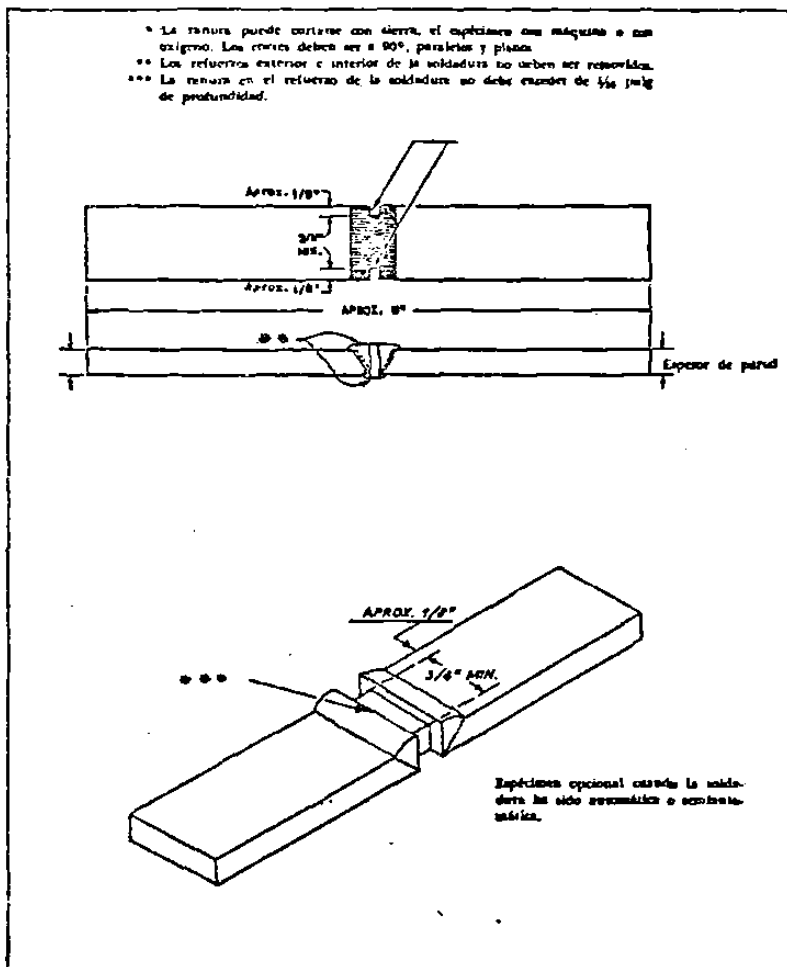
## CANTIDAD DE ESPECIMENES

Tamaño del tubo Diámetro exterior pulgadas	Ruptura por tensión	Ranura y rotura	Doblado de raíz	Doblado de cara	Doblado lateral	Total
Espesores de pared 1/2 pulg. y menores						
Menores de 2 1/2	0	2	2	0	0	4*
2 1/2 a 4 1/2 inclusive	0	2	2	0	0	4
Mayor de 4 1/2 a 12 1/2 inclusive	2	2	2	2	0	8
Mayor de 12 1/2	4	4	4	4	0	16
Con espesores mayores de 1/2 pulg.-1 1/2						
4 1/2 y menores	0	2	0	0	2	4
Mayor de 4 1/2 a 12 1/2 inclusive	2	2	0	0	4	8
Mayor de 12 1/2	4	4	0	0	8	16

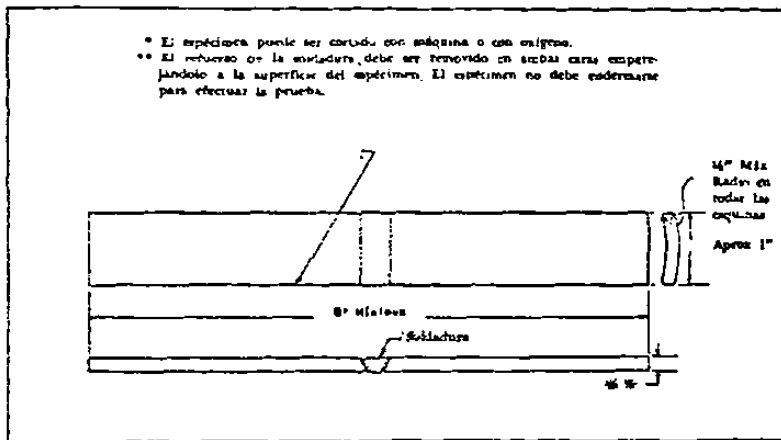
- \* Un espécimen para ranura y rotura y otro para doblado de raíz de cada dos soldaduras de prueba para tubo de 1 1/4 pulg de diámetro y menor; un espécimen de soldadura de prueba completa para la prueba de rotura por tensión.

D.10.b.2.VIII<sub>C</sub> [FIG. 2-API 1104]  
ESPECIMEN DE ROTURA POR TENSION "RT"

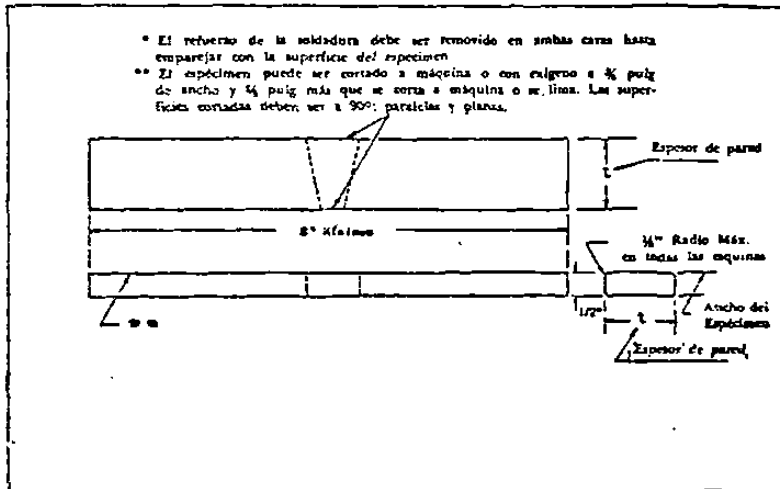
D.10.b.2.VIII<sub>C4</sub> [FIG. 3-API 1104]  
 ESPECIMEN DE RANURA Y ROTURA. "RR"



D.10.b.2.VIII<sub>C</sub> [FIG. 4-API 1104]  
 ESPECIMEN DE DOBLADO DE RAIZ "DR"  
 Y DE DOBLADO DE CARA "DC"



D.10.b.2.VIII<sub>C</sub> [FIG. 5-API 1104]  
 ESPECIMENES DE DOBLADO LATERAL "DL"



de sección reducida de ranura y rotura y dos de doblado por la raíz. El esfuerzo de rotura debe ser calculado dividiendo la carga máxima a la rotura entre el área menor de la sección transversal del espécimen medido antes de aplicar la carga. La sección del espécimen debe cumplir los requisitos de la prueba de tensión que se describen más adelante.

- Prueba de rotura por tensión RT.

\* Preparación. el espécimen D.10.b.2 VIII C4.- FIG. 2-API 1104 debe ser aproximadamente de 9 pulg. de largo y 1 pulg. de ancho. Puede ser cortado a máquina o con gas oxiacetileno y no es necesaria otra preparación a menos que los lados lleven ranura o no tengan un corte paralelo. Si es necesario los especímenes deben ser maquinados para que los lados sean lisos, pulidos y paralelos.

\* Método. El espécimen de prueba de rotura por tensión, debe ser roto bajo una carga de tensión. El esfuerzo de rotura debe ser calculado dividiendo la carga máxima a la rotura entre el área menor de la sección transversal del espécimen medido antes de aplicar la carga.

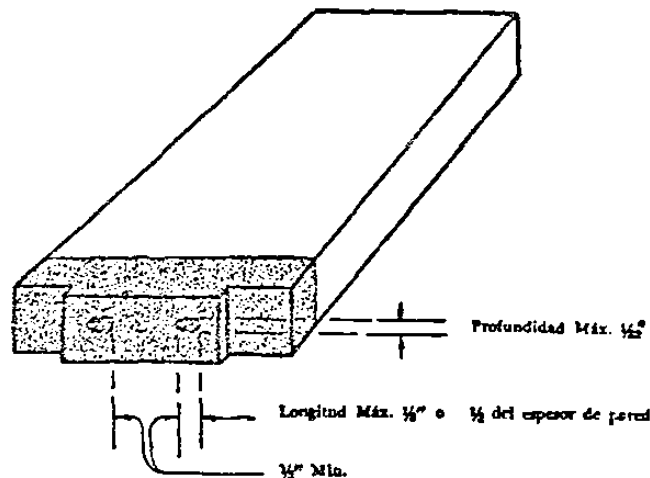
\* Requisitos. El esfuerzo de ruptura de la soldadura, que incluye la zona de fusión de cada espécimen, debe ser igual o mayor que el esfuerzo de ruptura mínimo especificado para el material del tubo. Si el espécimen se rompe fuera de la soldadura o de la zona de fusión y el esfuerzo observado no es menor que 95% del esfuerzo de ruptura mínimo especificado para el material del tubo, la prueba debe ser aceptada por estar dentro de los requisitos. Si cualquiera de los especímenes se rompe fuera de la soldadura o de la zona de fusión y el esfuerzo observado es menor que 95% del esfuerzo de ruptura mínimo especificado del material, los especímenes deben ser retirados aparte y un número igual de especímenes deberá cortarse de la soldadura y sujetarse al esfuerzo de tensión. Si cualquiera de los especímenes adicionales se rompe fuera de la soldadura o de la zona de fusión y el esfuerzo observado está

también abajo del límite indicado antes, en tal caso la soldadura debe ser eliminada y una nueva prueba del procedimiento debe efectuarse.

- Prueba de ranura y rotura. R.R.

- \* El espécimen D.10.b.2 VIII C4 - FIG. 3 - API 1104 debe ser aproximadamente de 9 pulgadas de longitud y 1 pulgada de - - - - - ancho y puede ser cortado con máquina o con gas oxiacetileno. La soldadura deberá ser ranurada con segueta longitudinalmente por el eje - - vertical de su sección transversal o sea radialmente al tubo, y por las secciones extremas de la soldadura; cada ranura deberá ser aproximadamente de 1/8 pulg. de profundidad.
- \* En el espécimen de ranura y rotura preparado de esta manera para soldadura hecha con algún proceso automático o semiautomático, puede fallar el tubo en vez de la soldadura. Cuando por experiencias anteriores de pruebas se esperan fallas a través del tubo, el refuerzo exterior de la soldadura puede también ser ranurado longitudinalmente a una profundidad que no exceda de 1/16 pulg. de profundidad medido desde la superficie original de la soldadura.
- \* Es opcional que el espécimen de ranura y rotura, para calificar un procedimiento automático o semiautomático de soldar, pueda ser macrograbado previamente al ranurado. Puede usarse como reactivo una parte de persulfato de amonio sólido en nueve partes de agua, por peso, frotando vigorosamente la cara pulida de la soldadura con una tela de algodón -- saturada con dicho líquido, a la temperatura ambiente y lavando después el espécimen con agua, de preferencia caliente.
- \* Método. El espécimen debe ser fracturado en cualquiera de las formas -- siguientes: con una máquina para aplicar tensión; golpeando al centro del espécimen apoyado en sus extremos; sujetando un extremo y golpeando el otro extremo.

- \* El área expuesta de la fractura debe ser cuando menos de  $3/4$  pulg. de ancho.
- \* Requisitos. La superficie expuesta de cada espécimen debe mostrar una penetración y fusión completas, no deberá haber más de seis cavidades de gas por pulgada cuadrada de área en la superficie fracturada y que la dimensión mayor de las cavidades no exceda de  $1/16$  pulg. Las inclusiones de escoria deberán tener no más de  $1/32$  pulg. de profundidad y no más de  $1/8$  pulg. o la mitad del espesor de la pared nominal, la más corta, debiendo estar cuando menos  $1/2$  pulg. de metal sano de la soldadura entre inclusiones adyacentes. La discontinuidad de la soldadura debe medirse como se indica en seguida.



Dimensiones de discontinuidad de la soldadura

- Prueba de doblado de raíz DR y doblado de cara DC.
- \* Preparación. Los especímenes D.10b.2 VIII C4 - Fig. 4 - API 1104 deben ser cuando menos 8 pulg. de largo por 1 pulg. de ancho y los lados deben ser redondos en todo lo largo. Podrán ser cortados a máquina o con oxígeno. El cordón de soldadura en la raíz y en el refuerzo deberán ser removidos emparejándolos hasta la superficie del espécimen. Estas superficies deben ser pulidas y cualquier rayadura que exista debe ser leve y transversal a la soldadura.



\* Método. El espécimen debe ser doblado en una guía dobladora para prueba, como la que se muestra en D.10.b.2 VIII C4.- Fig. 6 - API 1104. Cada espécimen debe colocarse en la matriz con la soldadura a medio espacio. El espécimen de doblado de cara debe ser colocado con la cara de la soldadura directamente hacia la abertura y el espécimen de doblado de raíz debe colocarse con la raíz de la soldadura directamente hacia la abertura. El émbolo debe ser forzado dentro de la abertura hasta que la curvatura del espécimen tome la forma de U.

\* Requisitos. La prueba de doblado debe considerarse aceptable si no hay grietas u otros defectos que excedan de 1/8 pulg o de la mitad del espesor de pared, el que sea menor, en cualquier dirección que se presenten en la soldadura o entre la soldadura y la zona de fusión después de haberse doblado. Las grietas que se originen a lo largo de los bordes del espécimen durante la prueba, que sean menores de 1/4 pulg. medido en cualquier dirección no deben ser considerados, a menos que se observen como defectos evidentes. Cada espécimen sujeto a la prueba de doblado debe satisfacer estos requisitos.

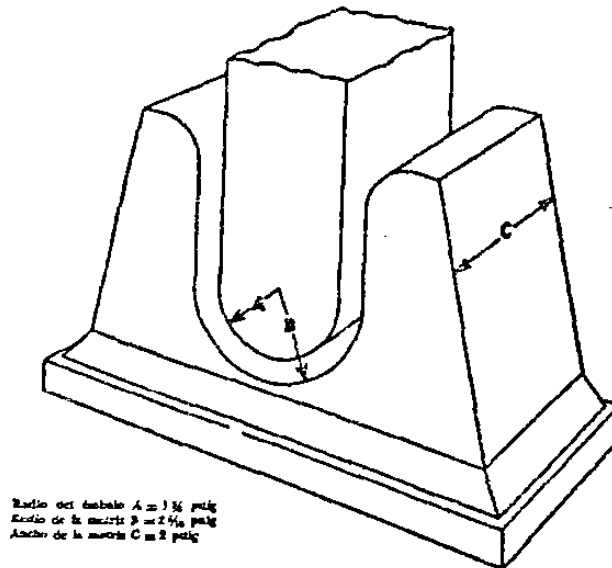
- Prueba de doblado lateral, DL.

\* Preparación. El espécimen D.10.b.2 VIII C4 - Fig. 5 - API 1104 debe ser cuando menos de 8 pulg. de largo por 1/2 pulg. de ancho y los bordes deben ser redondeados. Pueden cortarse a máquina o con oxígeno a 3/4 pulg. de ancho y después maquinado o limado hasta dejar 1/2 pulg. de ancho. Los lados deben ser pulidos y paralelos. El refuerzo de la soldadura en la cara y en la raíz debe ser removido hasta emparejarlo con la superficie del espécimen.

\* Método. El espécimen debe doblarse en una guía dobladora de prueba mostrada en D.10. b.2 VIII C4.- Fig. 6 - API 1104. Cada espécimen debe colocarse en la matriz, con la soldadura a la mitad de la abertura y con la cara de la soldadura a 90 grados de la dirección del doblado. El émbolo debe forzarse dentro de la abertura hasta que la curvatura del espécimen adquiera la forma de U.

\* Requisitos. Cada espécimen debe cumplir los requisitos de la prueba de doblado de cara y de raíz, ya descritos en la prueba anterior.

C.10.b.2.VIII.c.[FIG. 5-API 1104]  
 GUIA DOBLADORA PARA PRUEBA



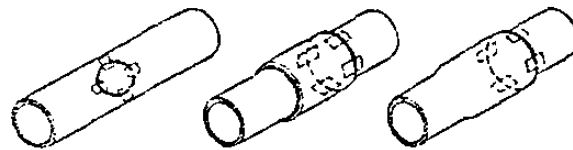
D.10.b.2.- VIII C5.- Prueba de uniones de prueba. Soldadura de filete.

Preparación. Los especímenes deben ser cortados en la junta, de la localización mostrada en D.10.b.2 VIII C5.- FIG. 7- API 1104. El número mínimo de especímenes y la prueba a que serán sometidos, están dados en D.10.b.2. VIII C5.- TABLA 2.-API 1104. Los especímenes deben ser preparados, como se muestra en D.10.b.2 VIII C5 - FIG. 8.- API 1104. Cortados a máquina u oxígeno con los lados paralelos y pulidos, 1 pulg. de ancho cuando menos y suficiente longitud para que puedan ser rotos. -- para tubos menores de 2 3/8 pulg de diámetro exterior, deberían hacerse dos soldaduras de prueba para obtener el número de especímenes requeridos, los cuales serán enfriados al aire ambiente antes de la prueba.

\* Método. Los especímenes deben romperse soportándolos por dos extremos y golpeando el centro, o bien soportando un extremo y golpeando el otro. Los especímenes deben ser doblados de manera que la raíz de la soldadu-

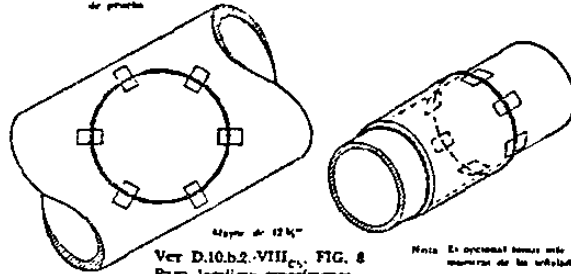
D.10.b.2.VIII<sub>C5</sub> [FIG. 7-API 1104]

LOCALIZACION DE ESPECIMENES PARA DOBLADO DE RAIZ EN SOLDADURA DE FILETE, SOLDADURAS DE PRUEBA PARA CALIFICACION DEL PROCEDIMIENTO Y DE SOLDADORES



2 1/2" to 12 1/2", INCLUSIVE

Para tubos menores de 2 1/2 pulg de Diám. Véase estos especímenes para doblado de raíz en un tubo de espesores de cada uno de los espesores de prueba.



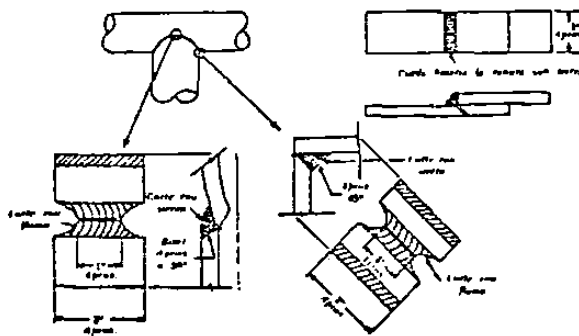
Mayor de 12 1/2"

Ver D.10.b.2.VIII<sub>C5</sub>, FIG. 8  
Para localizar especímenes

Nota: Es opcional tener más especímenes de los indicados

D.10.b.2.VIII<sub>C5</sub> [FIG. 8-API 1104]

LOCALIZACION DE ESPECIMENES DE PRUEBA DE RANURA Y ROTURA RR EN SOLDADURAS DE FILETE PARA CALIFICACION DEL PROCEDIMIENTO Y DE LOS SOLDADORES INCLUYENDO PRUEBAS DE CALIFICACION PARA SOLDADORES EN CONEXION DE RAMALES POR DIAMETROS



## D.10.b.2. VIII C5 (TABLA 2.-API 1104)

SOLDADURA DE FILETE TIPO Y NUMERO  
DE ESPECIMENES PARA LA PRUEBA DE CALIFICACION

Tamaño del tubo Diám. Ext. en pulg.	Núm. de especímenes para doblado de raíz
Menor de 2 3/8	4
2 3/8 a 12 3/4 inclusive	4 (obtenidos de 2 soldaduras para prueba)
Mayor de 12 3/4	6

\* Requisitos. Las superficies expuestas del espécimen deben mostrar completa penetración y no más de 6 cavidades de gas por pulgada cuadrada de la superficie del área, que tenga una dimensión mayor que no exceda 1/16 pulg. Las inclusiones de escoria no deben ser mayores que 1/32 -- pulg. de profundidad, y una longitud de 1/8 pulg o 1/2 pulg del espesor nominal de la pared más delgada de las piezas soldadas, el caso que -- resulte de menor valor, y deben tener una separación cuando menos de -- 1/8 pulg de metal sano. Ver el dibujo en la prueba de rotura y ranura.

D.10.b.2 VIII C5 - Pruebas de calificación de soldadores.

Prueba de calificación simple

Prueba de calificación múltiple

Prueba de calificación por examen visual

pruebas de calificación por pruebas destructivas

Pruebas de calificación por inspección radiográfica. Solamente en soldaduras hechas a tope.

- Para producir soldaduras, un soldador podrá calificar siempre que de- --  
muestre su habilidad para ejecutar soldaduras aceptables mediante un -  
procedimiento específico y calificado en soldaduras a tope y soldaduras  
de filete.
  - Los soldadores deben cumplir los requisitos de las pruebas de califica-  
ción de soldaduras.
  - Antes de comenzar la prueba, el soldador deberá disponer de un tiempo --  
razonable para ajustar la máquina soldadora usada en la prueba.
- El soldador deberá usar la misma técnica de soldar, proceder con el - -  
soldado a la misma velocidad del arco y usará la misma corriente de --  
soldado, si es que pasó la prueba y se le ha permitido hacer produc- --  
ción de soldadura.
- La calificación de soldadores debe ser conducida en presencia de los - -  
inspectores.
  - Pruebas de calificación simple. Un soldador podrá obtener calificación  
simple, si cumple los requisitos del procedimiento al ejecutar soldadu-  
ras de prueba para unir a tope dos tramos cortos de tubo o para unir -  
ramales y otras uniones con soldadura de filete.

- \* En el soldado a tope, los segmentos de tubo deben ser soportados con su eje longitudinal en un plano horizontal, o inclinado no más de 45 grados en condiciones semejantes a las del soldado en obra, de manera que se produzcan las soldaduras típicas planas, verticales y sobre cabeza, usando un procedimiento calificado de soldadura.
- \* Se deberá hacer una prueba de soldadura de filete, siguiendo los procedimientos calificados para soldado vertical a tope, en conexión de ramales y soldadura de filete, debiendo limitar la clasificación específica a la calificación del procedimiento.
- \* Las soldaduras a tope deben ser aceptadas si cumplen los requisitos de las pruebas de calificación de soldadores enunciadas como: múltiple, visual, destructiva, o radiográfica que se describen más adelante.
- \* Los cambios de variables esenciales descritas en "Alcance de la calificación simple", requieren una recalificación del soldador.
- Alcance de la calificación simple. Un soldador que ha completado satisfactoriamente las pruebas de calificación de soldadura de la calificación simple, debe quedar calificado dentro de los límites de las variables que se describen en seguida: Si se cambia cualquiera de estas variables, el soldador que use el nuevo procedimiento debe ser recalificado.
- \* Un cambio del procedimiento de soldado a otro, o combinación.
- \* Un cambio de dirección, vertical de arriba hacia abajo o viceversa.  
Un cambio de metal de aporte de un grupo a otro. Ver tabla de tipo y número de especímenes para calificación de soldadores.
- \* Un cambio de diámetro nominal de un grupo a otro.  
Grupos: Menor de 2 3/8 pulg.  
2 3/8 a 12 3/4 pulg.  
mayor de 12 3/4 pulg.

- \* Un cambio de espesor nominal de pared de tubos, de un grupo a otro - grupo.
  - Grupos: Menor de 3/16 pulg
  - 3/16 a 3/4 pulg
  - Mayor de 3/4 pulg.
  
- \* Un cambio de posición: De rolado a fijo y viceversa. De vertical a horizontal y viceversa.
  
- \* Un cambio en el diseño de junta: de U a V, con respaldo
  
- Prueba de calificación múltiple. Un soldador calificado para los requisitos de la calificación múltiple, debe hacer completas, dos soldaduras de prueba como se describirán en seguida usando un procedimiento calificado.
  
- \* El soldador hará primeramente una soldadura a tope para unir dos tubos colocados en posición fija horizontal, o inclinado a menos de 45 grados. Los tubos serán de 6 pulg. Diám. Nom. y 0.250 de espesor como dimensiones mínimas, sin usar tira de respaldo. La soldadura debe ser aceptada si cumple los requisitos de las pruebas de calificación de soldadores: Visual y Destructiva o Radiográfica en soldado a tope. Los especímenes deben ser removidos, como se muestra en D.10.b.2. VIII C6.- FIG. 9.- API 1104, pero sin tomar en cuenta el "punto culminante" del tubo; podrán seleccionarse en forma equidistante en toda la circunferencia.
  
- \* La segunda prueba de calificación consiste en que el soldador haga una conexión de ramal, a diámetro completo de tubo, incluyendo: trazó, corte, ajuste y soldado. El tubo tendrá 6 pulg diámetro nominal y 0.250 pulg. de espesor como dimensiones mínimas. El corte del agujero debe ser en forma continua. La soldadura debe presentar penetración completa en toda la circunferencia y el cordón de raíz no contendrá ninguna quemada mayor de 1/4 pulg. La suma de longitudes de quemadas separadas, no reparadas, en cualquier longitud continua de cordón de 12 pulg,

no debe exceder a 1/2 pulg. El tramo de tubo estará colocado en posición horizontal y el ramal en posición vertical hacia abajo. La soldadura presentará un acabado uniforme y bueno. La superficie de la soldadura debe cumplir los "Requisitos" de la "Prueba de uniones de prueba. Soldadura de filete". D. 10.b.2. VIII C5.

- Alcance de la calificación múltiple. Si un soldador ha calificado sucesivamente las dos pruebas descritas antes, pero en tubo de 12 pulg - - diámetro nominal o mayor, debe estar calificado para soldar en todas las posiciones, en todos los espesores de pared, juntas de diseño, - - accesorios y todos los diámetros de tubo. Un soldador que ha calificado sucesivamente las dos pruebas descritas antes, pero en tubos menores de 12 pulg diámetro nominal debe estar calificado para soldar en todas las posiciones, todos los espesores de pared, juntas de diseño, accesorios y todos diámetros de tubos iguales o menores que aquel tubo que -- fue usado en las pruebas de calificación.

- Si cualquiera de las variables esenciales siguientes,

El soldador que use el nuevo procedimiento debe ser recalificado.

- \* Un cambio de un procedimiento de soldado a otro o combinación.
- \* Un cambio de dirección de soldado, de vertical hacia abajo a vertical -- hacia arriba, o viceversa.
- \* Un cambio de metal de aporte de un grupo clasificado a otro. Ver D.10.b 2. VIII C4.- TABLA 1 - API 1104.

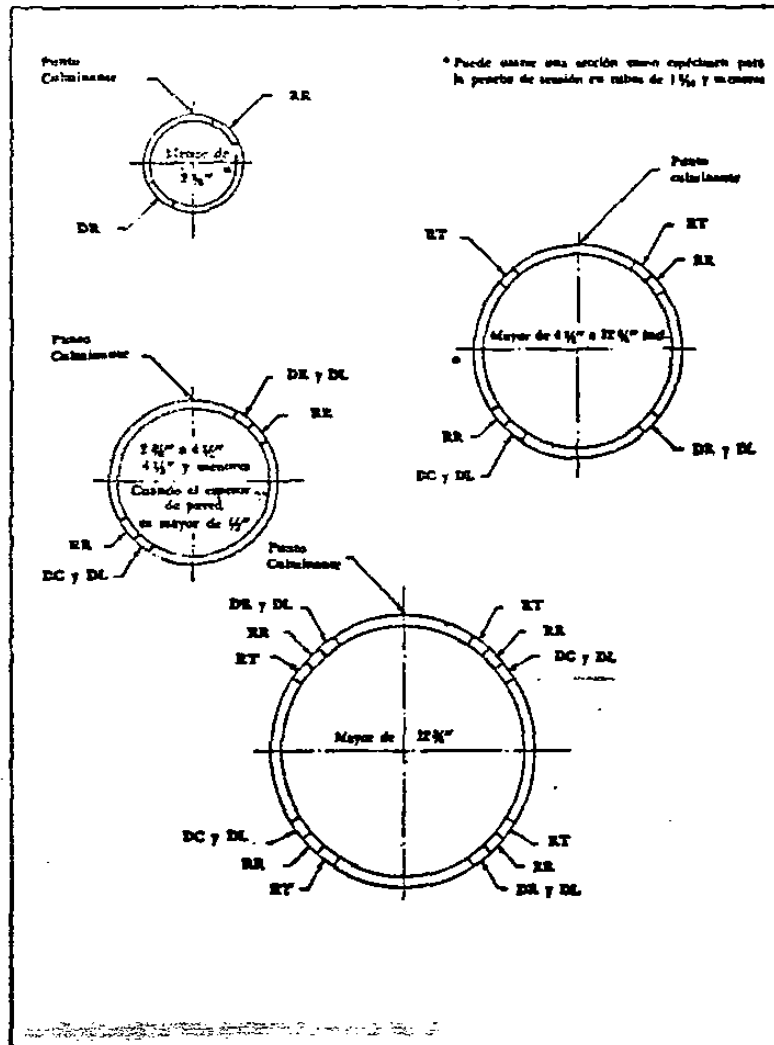
- Pruebas de calificación por examen visual.

- \* La soldadura debe estar libre de grietas, tener una apropiada penetra--- ción, libre de quemaduras no reparadas y otros defectos, y debe presentar un aspecto limpio y bien acabado. La socavación adyacente al cor--



D.10.b.2.VIII<sub>ce</sub> [FIG. 9.-API 1104]

LOCALIZACION DE ESPECIMENES DE PRUEBA DE  
SOLDADURA A TOPE PARA CALIFICACION  
DE SOLDADORES

**Clave Especimen**

- RT Rotura por tensión  
RR Ranura y rotura  
DC Doblado de Cara  
DR Doblado de raíz  
DL Doblado lateral

Nota: Para poder tomar otros especimenes, la posición de las secciones de los tubos pueden girarse 45° en el sentido contrario a las manecillas del reloj.

D.10.b.2.VIII<sub>CS</sub> (TABLA 3-API 1104)

TIPO Y NUMERO DE ESPECIMENES PARA PRUEBA  
DE CALIFICACION DE SOLDADORES Y PARA PRUEBA  
DESTRUCTIVA DE PRODUCCION DE SOLDADURAS  
A TOPE

Tamaño del tubo Diámetro exterior en pulgadas	Número de Especímenes					Total
	Rotura por tensión	Ranura y rotura	Doblado de raíz	Doblado de cara	Doblado lateral	
Espesor de pared $\frac{1}{2}$ pulg y menores						
Menores de $2\frac{3}{8}$	0	2	2	0	0	4*
$2\frac{3}{8}$ a $4\frac{1}{2}$ inclusive	0	2	2	0	0	4
Mayores de $4\frac{1}{2}$ a $12\frac{3}{4}$ inclusive	2	2	2	0	0	6
Mayores de $12\frac{3}{4}$	4	4	2	2	0	12
Con espesores mayores de $\frac{1}{2}$ pulgada						
$4\frac{1}{2}$ y menores	0	2	0	0	2	4
Mayores de $4\frac{1}{2}$ a $12\frac{3}{4}$ inclusive	2	2	0	0	2	6
Mayores de $12\frac{3}{4}$	4	4	0	0	4	12

\* Obtenidos de dos soldaduras o de un espécimen de sección completa para tensión en tubos de  $\frac{1}{2}$  y mayores.

- Procedimiento de prueba de rotura por tensión, de ranura y rotura y de doblado en soldaduras a tope. El espécimen debe ser preparado y la prueba hecha como se describe en párrafo anterior "Prueba de Uniones de Pruebas Soldadas a Tope". La prueba de tensión puede ser omitida, en cuyo caso, el espécimen designado para esta prueba deberá ser sujeto a la prueba de ranura y rotura. Ver D.10.b.2. VIII C4.
- \* RT. Requisitos de la prueba de rotura por tensión en soldaduras a tope. Si dos o más especímenes de sección reducida (ranurado) o el espécimen de sección completa son probados y se rompen en la soldadura o en la unión entre la soldadura y el metal base, y también fallan en el cumplimiento de los requisitos del párrafo descrito con anterioridad "Requisitos" de la "Prueba de Rotura y Ranura", el soldador debe ser descalificado.
- \* R.R. Requisitos de la prueba de ranura y rotura en soldadura a tope. Si cualquier espécimen muestra defectos mayores de aquellos descritos en párrafos anteriores "Requisitos" de la "Prueba de Rotura y Ranura", el soldador debe ser descalificado.
- \* DR. DC. DL. Requisitos de la prueba de doblado en soldaduras a tope. Si cualquier espécimen muestra defectos mayores que aquellos permitidos en párrafos anteriores "Requisitos" de la "Prueba de Doblado de Raíz y Doblado de Cara" o bien de "Requisitos" de la "Prueba de Doblado Lateral" de las pruebas de procedimientos de calificación de soldadores, el soldador debe ser descalificado.
- \* Las soldaduras hechas en tubos de alta resistencia (API Spec 5LX) no se doblarán hasta adquirir la forma completa de U. Debe considerarse aceptable si el espécimen agrietado se rompe después y su superficie expuesta cumple los requisitos del párrafo anterior denominado "Requisitos" de la "Prueba de Rotura y Ranura".

\* Si uno de los especímenes para la prueba de doblado falla en el cumplimiento de los requisitos respectivos de rotura, pero la falla es atribuible a la falta de penetración y no es representativa de la soldadura, el espécimen de prueba puede ser reemplazado por otro que se corte adyacente al que falló. El soldador debe ser descalificado si el nuevo espécimen muestra los mismos defectos o defectos mayores que los especificados.

- Muestreo de soldaduras de prueba en soldaduras de filete. Los especímenes deben ser cortados de cada soldadura de prueba. Si ésta es una -- circunferencia completa, la localización de donde proviene el espécimen se muestra en D.10.b.2 VIII C5.- FIG. 7.- API 1104. Si la soldadura de prueba consiste de segmentos de "niples" de tubos un número aproximado igual de especímenes debe ser removido de cada segmento. El número total de especímenes y de pruebas a las cuales cada uno debe ser --- sometido está mostrado en D.10.b.2. VIII C6.- TABLA 4.- API 1104. El - espécimen debe ser enfriado al aire a la temperatura ambiente, antes de hacer la prueba.

#### D.10.b.2. VIII C6 (TABLA 4.-API 1104)

#### TIPO Y NUMERO DE ESPECIMENES DE PRUEBA PARA PRUEBAS DE CALIFICACION DE SOLDADORES Y PARA PRUEBAS DESTRUCTIVAS DE SOLDADURAS DE FILETE EN PRODUCCION

Tamaño del tubo. Diámetro ext. en pulgadas	Número de especímenes de doblado en raíz (obtenido de 2 soldaduras)
Menores de 2 3/8	4
2 3/8 a 12 3/4 inclusive	4
Mayores de 12 3/4	6.

Método y requisitos:- El espécimen debe ser preparado y la prueba hecha, como se describe en párrafos anteriores "Prueba de Uniones de Prueba. Soldaduras de Filete".

- Prueba de calificación por inspección radiográfica. Solamente en soldaduras hechas a tope.
- \* Inspección radiográfica de soldadura de prueba. Las radiografías deben ser hechas a cada una de las soldaduras de prueba. El soldador debe -- ser descalificado si cualquiera de sus soldaduras de prueba no cumple -- los "Estándares de Aceptabilidad en Pruebas no Destructivas" que se ve -- rá más adelante.
- \* La inspección radiográfica no debe usarse con el propósito de localizar áreas sanas o áreas que contengan discontinuidad, y tiempo después se -- hagan pruebas destructivas de tales áreas para calificar a un solda--- dor.
- \* Nuevas pruebas.- Si la falla de un soldador para pasar la prueba, fue -- por condiciones inevitables o por condiciones más allá de su control, -- tal soldador deberá recibir una segunda oportunidad para calificar. No se darán más pruebas después de sometido el soldador a esta última --- prueba.
- Registros de calificación de soldaduras.- Un registro debe ser hecho re-- ferente a la prueba dada a cada soldador y con los detalles resultantes de cada prueba. Debe usarse una forma similar a la del "Registro del -- Procedimiento Calificado de Soldadura" en páginas anteriores. Debe ser mantenida una lista de soldadores calificados y los procedimientos en -- los cuales ellos fueron calificados.
- \* Desde que se inicien las pruebas, a cada soldador se le asigna un número específico que deberá servirle de identificación durante el tiempo que duren las pruebas y los trabajos y será obligación del mismo estamparlo en la prueba, tan cerca de cada soldadura que ejecute, de manera que -- pueda reproducirse en las radiografías de prueba. El estampado puede -- hacerse en la misma forma que se hará en la línea, marcando el número -- con una barra de lápiz (crayón) que el radiografista sustituirá por --

números de plomo, de manera que salga impresa en las radiografías.

#### D.10.b.2. VIII C7. Producción de soldaduras.

Diseño y preparación de una junta para producción de soldaduras.

- Generalidades.

\* El soldado de un tubo debe ser ejecutado por soldadores calificados -- usando procedimientos calificados.

Las superficies a soldar deben estar lisas, uniforme libres de aletas, laminaciones, desgarraduras, grasa, pintura u otros materiales deletéreos que pudieran afectar adversamente la soldadura. El diseño de la junta y el espacio entre los extremos empalmados deben estar de acuerdo con el procedimiento especificado que se usará.

\* Por otra parte, deberá disponer de todo el equipo, herramienta y repuestos necesarios para las labores de trabajo.

\* Justamente antes de la operación de soldado, es necesario que los extremos del tubo deban ser limpiados por medio de limado y cepillado o por el uso de cepillo portátil accionado por motor. Este trabajo debe hacerse inmediatamente antes del alineado de los tubos, pero con la suficiente anticipación para no detener el alineado.

- Alineamiento.- El alineamiento del empalme de los extremos de tubos debe ser tal que el desalineamiento entre superficies a tope sea mínimo. -- Para tubos del mismo espesor nominal el desalineamiento no debe exceder de 1/16 pulg. Cualquier desalineamiento mayor, es causado por variación de dimensiones y debe ser igualmente distribuido alrededor de la circunferencia del tubo. El golpeo con martillo sobre el tubo para obtener un alineamiento apropiado, deberá prohibirse.

\* Uso de alineadores en soldaduras a tope.- Los alineadores deben usarse

de acuerdo con los requisitos del procedimiento especificado. No se -- permite mover el alineador antes de completar el primer cordón de fon-- deo, este cordón debe desarrollarse en segmentos iguales, simétricos e igualmente espaciados alrededor de la circunferencia de la junta. An-- tes de fijar un alineador interior se deben prevenir movimientos del -- tubo o forzamientos indebidos de la soldadura.

- \* Los segmentos de soldadura usados en conexiones con el alineador exterior deben ser uniformemente espaciados alrededor de la circunferencia del tubo y deberá tener una longitud 100% de la circunferencia antes de que el alineador sea -- removido. En los empastes de tuberías no es posible usar otro alineador que no sea el exterior o de canasta.
  - \* Todas las posiciones de soldadura deben ser hechas, asegurando contra cualquier movimiento la posición de las partes que se van a unir, y -- proporcionando el espacio adecuado alrededor del tubo para permitir que los soldadores ejecuten su trabajo.
  - \* El cordón de soldadura de raíz debe ser depositado con el tubo en posi-- ción estacionaria.
  - \* Todas las soldaduras deben estar en un plano de 90 grados del eje longi-- tudinal del tubo. No deben hacerse soldadres de inglete.
  - \* Si durante el soldado se descubren laminaciones o grietas en los extre-- mos de los tubos, la junta completa que contiene esos defectos deberá -- desecharse de la línea.
- Biseles.- Biseles de fábrica: Los tubos deben estar provistos de biseles de fábrica conforme al diseño de juntas usado en la especificación del procedimiento de soldado.
- Biseles de campo: Los extremos de los tubos podrán ser biselados en el campo cuando sea necesario por medio de una máquina biseladora y cortador de oxígeno debiendo hacerse el corte a 90 grados del eje longitudi-- nal del tubo, con superficies pulidas, dimensionadas de acuerdo con el

procedimiento de soldadura calificado. Este bisel de campo se hace -- cuando los extremos de los tubos se dañan durante el manejo, a un grado tal que no se obtiene el contacto satisfactorio para soldar.

Biselado a mano: El biselado de tubo de línea hecho a mano, para fines de soldad, no debe hacerse.

- Condiciones del tiempo.- El soldado no debe ejecutarse cuando, al com-- pletarse la soldadura, su calidad pueda ser dañada por las condiciones prevaletientes del tiempo, incluyendo pero no limitando, viento húmedo, viento con arena o viento fuerte. En estos casos podrán usarse mampa-- ras y si éstas no dan la protección suficiente deberá suspenderse el -- soldado hasta tener mejores condiciones.
- Está permitido cortar una soldadura de línea para darle el tratamiento - que se da a una soldadura de prueba con el fin de calificar de nuevo a un soldador a pesar de que haya pasado la prueba de soldadores.
- Cuando el tubo a soldar se encuentra sobre el nivel del terreno, el es-- pacio de trabajo entre el piso y el tubo no debe ser menor de 16 pulg. 40 cm. cuando el tubo a soldar se encuentra alojado en una zanja el - agujero en el terreno debe ser del tamaño suficiente para proveer al -- soldador fácil acceso a la junta.
- Limpieza entre cordones.- Las escamas y escoria deben ser removidas de -- cada cordón y ranura. La limpieza puede ser hecha a mano o con herra-- mienta motriz.
- Cuando se use soldado automático o semiautomático, los grupos de poros en la superficie, la iniciación del cordón y los puntos elevados, pue-- den ser removidos por esmerilado antes de volver a depositar metal de - soldadura sobre esos puntos.
- Soldadura de posición.- Relleno y acabado de cordones. El número de -- cordones debe ser tal que la soldadura terminada deberá tener una sec-



ción transversal substancialmente uniforme alrededor de toda la circunferencia del tubo. En ningún punto la superficie de la corona estará abajo de la superficie del tubo, ni estará elevada arriba del metal base más de 1/16 pulg.

- \* Después que el cordón de soldadura de raíz o fondeo sea completado, deberá agregarse inmediatamente el segundo cordón o paso caliente y después será colocada por los soldadores de acabado, la cantidad de cordones que especifique el procedimiento.
- \* No deben iniciarse dos cordones de soldadura en el mismo punto; se iniciarán en cuadrantes opuestos.
- \* La cara de una soldadura terminada debe ser aproximadamente 1/8 pulg. mayor que el ancho de la ranura original.
- \* Una soldadura completa debe ser total y cuidadosamente cepillada y limpiada.
- \* Cualquier suspensión de trabajos de soldadura de la línea, incluso en las labores de un día, deberá hacerse dejando totalmente terminadas todas las soldaduras que se encuentren en fase intermedio el decidir la suspensión.
- Soldadura de rolado.- En las casos de soldadura de rolado se permite instalar una armadura fija que soporte un alineador y dos tramos de tubo, con un sistema de movimiento circular, que permita girar sin que se suceda ningún desalojamiento en los tubos en la junta por soldar, ni de los tubos mismos. No se permitirán los sistemas de soldadura de rolado que se desalojan a lo largo del derecho de vía.
- Cordones de relleno y cordones de acabado.- El número de cordones de --

relleno y de acabado debe ser tal que la soldadura completa debe tener una sección transversal substancialmente uniforme alrededor de toda la -  
circunferencia del tubo.

\* En ningún punto la corona de la soldadura debe estar abajo de la super--  
ficie exterior del tubo, ni debe estar elevada arriba del metal de las  
piezas por soldar más de 1/16 pulg.

\* La cara de la soldadura terminada debe estar aproximadamente a 1/8 pulg.  
más ancho que el ancho de la ranura.

\* A medida que progresa la soldadura, el tubo debe ser rolado para mante--  
ner el soldado en o cerca de la parte más alta del tubo. La soldadura  
terminada debe ser totalmente cepillada y limpiada.

Identificación de soldadura.- Cada soldador debe identificar su trabajo  
de la manera prescrita para la obra.

- Equipo de soldar.

\* Las máquinas de soldar serán operadas dentro de los límites de la ten- -  
sión y la corriente recomendada por cada tipo y tamaño de electrodo y -  
la clase de soldaduras por efectuar.

\* Todos los cables serán de una pieza continua y no se permitirán más co--  
nexiones que las extremas y la necesaria entre el cable terminal y el -  
cable del porta-electrodo. Las conexiones a tierra se diseñarán y - --  
aplicarán de modo de evitar cualquier "arco" entre el cable terminal de  
tierra y la tubería o aditamento por soldar.

\* Cualquier equipo que no reúna todos los requisitos especificados deberá  
ser reparado o retirado.

- Precalentado y relevado de esfuerzo.- El procedimiento de soldadura - --

calificado deberá especificar la práctica del precalentamiento y el relevado de esfuerzos que deba ser seguido cuando los materiales o las condiciones del tiempo los hagan necesarios.

#### D.10.b.2. IX. Prueba radiográfica.

- Inspección y prueba de soldaduras de producción -

\* Queda establecida la libre determinación de inspeccionar todas las soldaduras de producción: por medios no destructivos; o por medios destructivos cortando la junta cuando sea necesario hacer pruebas mecánicas. La inspección debe hacerse durante el soldado y después de que la soldadura ha sido terminada. La frecuencia de la inspección debe estar especificada, antes de iniciar la obra, y durante el desarrollo de la misma si ha sido necesario modificarla después de una inspección.

Métodos de inspección.- La prueba no destructiva puede consistir de una inspección radiográfica u otro método. Los métodos usados deben producir indicaciones de defectos, los cuales deben ser interpretados con exactitud y evaluados. Las soldaduras deben ser evaluadas sobre base de los "Estándares de Aceptabilidad en Pruebas no Destructivas" que se describen más adelante.

En las pruebas destructivas se cortará una junta soldada completa, el seccionamiento de ella en especímenes y en el examen de los mismos. Los especímenes deben ser preparados y cumplir con los requisitos de calificación de soldadores por pruebas destructivas, descritas con anterioridad. El soldado o soldadores que hagan soldaduras que por sus fallas no cumplan con los requisitos, pueden ser descalificados para seguir efectuando más trabajo.

Los operadores encargados de los equipos de inspección pueden ser llamados para demostrar: la capacidad del procedimiento, la detección de -

defectos inadmisibles y la habilidad de operador para interpretar apropiadamente las indicaciones dadas por dichos equipos.

#### D.10.B.2. IX. ESTANDARES DE ACEPTABILIDAD POR PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS.

Los estándares de aceptabilidad son aplicables a la determinación del tamaño y tipo de defectos localizados por el método radiográfico y por otros métodos de prueba no destructivos. Pueden ser también aplicados para inspección visual, pero no deben ser usados para determinar la calidad de soldaduras, ésta se logra sometiendo la soldadura a pruebas -- destructivas. Todas las irregularidades que sean detectadas durante la prueba deberán ser registradas.

D.10.b.2. IX. A1. Justificaciones del rechazo.- Como los métodos de prueba no destructivos arrojan solamente dos resultados dimensionales, aplicando otro procedimiento es posible rechazar soldaduras que parecen --- cumplir los estándares de aceptabilidad, cuando se descubre que la profundidad del defecto es en detrimento de la resistencia a la soldadura.

D.10.b.2. IX. A2.- Falta de penetración adecuada y fusión incompleta. La falta de penetración se define como el llenado incompleto de la ranura de soldado con metal que ha sido fundido al soldar. La fusión incompleta se define como la falla de derretimiento del metal base y del metal de relleno juntos, o sea la coalescencia entre metales.

- Penetración inadecuada en la soldadura de raíz. La penetración inadecuada sin existir desalineamiento se define como llenado incompleto en la soldadura de raíz. Cualquier defecto individual debido a penetración inadecuada sin desalinamiento no debe exceder de 1 pulg. en extensión. La longitud sumada de este tipo de defectos en cualquier tramo de 12 pulg de soldadura no debe exceder de 1 pulg. Los defectos -- individuales deberán ser separados por cuando menos 6 pulg. de soldadura sana. Si la soldadura es menor de 12 pulg de longitud, entonces la longitud total de tales defectos no deberá exceder de 8% de la longitud de la soldadura.

- Cuando hay desalineamiento longitudinal de las paredes de tubos o accesorios por soldar, la soldadura debe llenar totalmente las caras de la ranura y de la raíz de la junta. Cuando un canto de la raíz está expuesto, su longitud no excederá de 2 pulg. de defecto individual o bien 3 pulg en cualquier longitud de 12 pulg de soldadura.

- Concavidad externa es una penetración inadecuada, o sea un cordón apropiadamente fundido en todo el espesor de pared del tubo a lo largo de ambos lados del bisel, pero el centro del cordón está a veces abajo de la superficie interior del tubo; es definida como la distancia perpendicular entre una extensión de la superficie de la pared del tubo y el punto más bajo de la superficie del cordón de soldadura, la mencionada concavidad no debe exceder de las dimensiones permitidas en D.10.b.2.A3 Areas quemadas.

La concavidad interna está asociada con un depósito continuo de cordones de soldadura y difiere de las áreas quemadas en que, en éstas, la soldadura está depositada intermitentemente.

Cualquier longitud de concavidad interna no debe exceder, en la imagen de la radiografía, a la densidad del metal base adyacente; en caso contrario deberá limitarse a las dimensiones permitidas en D.10.b.2. A3.

- La fusión incompleta en la raíz de la junta o en la parte superior de la misma, entre la soldadura y el metal base, no debe exceder de 1 pulg de longitud. La longitud total de este defecto en 12 pulg de longitud de soldadura no debe exceder de 1 pulg, y si la soldadura es menor de 12 pulg., el defecto no excederá de 8% de la longitud.
- La fusión incompleta debida a traslape frío es una discontinuidad entre dos cordones de soldadura o bien entre un cordón y el metal base; está

definida como una discontinuidad subsuperficial; no debe exceder de 2 pulg de longitud; en un tramo de 12 pulg. de soldadura, la suma de estas discontinuidades no debe exceder de 2 pulg.

- D.10.b.2. IX A3. Areas quemadas.- Una quemadura en el cordón de la raíz es una pérdida de metal en el lado opuesto del soldado debido a una excesiva penetración por aumento de corriente.

Soldadura en tubos de 2 3/8 pulg de diámetro exterior y mayores. Cualquier quemadura no reparada, no debe exceder de 1/4 pulg o del espesor de la placa, el valor menor, en cualquiera de sus dimensiones.

La suma de las dimensiones máximas de las quemaduras no reparadas en cualquier tramo de 12 pulg de longitud de soldadura, deberá no exceder de 1/2 pulg. Los defectos individuales deben estar separados cuando -- menos 6 pulg de metal sano. Las radiografías de quemaduras reparadas -- deberán mostrar que éstas han sido correctamente reparadas, si la densidad de la imagen de la radiografía en el área quemada no excede a la del metal base adyacente.

Soldaduras en tubos menores de 2 3/8 pulg de diámetro exterior. No más de una área de quemadura no reparada es aceptable, y no debe exceder de 1/4 pulg o bien el espesor de la placa, el valor que sea menor, medida en cualquiera de sus dimensiones. Las radiografías de quemaduras reparadas deberán mostrar que éstas han sido correctamente reparadas, si la densidad de la imagen de la radiografía en el área quemada no excede a la del metal base adyacente.

- D.10.b.2. IX A4.- Inclusiones de escoria.- Una inclusión de escoria es un sólido no metálico atrapado en el metal de la soldadura, o entre el -- metal de la soldadura y el metal del tubo. Las inclusiones de escoria se encuentran usualmente en la zona de fusión. Las inclusiones de escoria aisladas tienen forma irregular y pueden ser localizadas en cualquier lugar en la soldadura.

Inclusiones de escoria alargadas en soldaduras de tubos de 2 3/8 pulg de diámetro exterior y mayores.- Cualquier inclusión de escoria extendida debe no exceder 2 pulg de longitud o 1/16 pulg de ancho. La longitud total de inclusiones de escoria extendida en un tramo de 12 pulg de longitud de soldadura no debe exceder de 2 pulg. Inclusiones adyacentes de escoria extendidas a lo largo, deben estar separadas por cuando menos 6 pulg de metal de soldadura sana. Líneas paralelas de escoria deben ser consideradas como defectos separados si el ancho de uno u otro de ellos excede de 1/32 pulg.

Para soldadura en tubos menores de 2 3/8 pulg de diámetro exterior.- Solamente puede aceptarse una inclusión de escoria alargada, que no debe exceder 1/16 pulg de ancho o tres veces el espesor de pared nominal. Las líneas paralelas deben considerarse como defectos separados si el ancho de uno de ellos excede de 1/32 pulg.

Inclusiones aisladas de escoria en soldaduras de tubos de 2 3/8 pulg de diámetro y mayores.

En soldadura de tubos el ancho máximo de cualquier inclusión de escoria no debe exceder de 1/8 pulg. La longitud total de inclusiones aisladas de escoria en un tramo de soldadura de 12 pulg. de longitud, no debe exceder de 1/2 pulg ni debe haber más de cuatro inclusiones de escoria aisladas de un ancho máximo de 1/8 pulg de esa longitud. Inclusiones adyacentes de escoria deben estar separadas por 2 pulg de metal sano.

Para soldaduras en tubos menores de 2 3/8 pulg de diámetro exterior, el ancho máximo de cualquier inclusión aislada de escoria, no debe exceder de la mitad del espesor nominal de pared, y la longitud total de tales inclusiones no deberá exceder dos veces el espesor de la pared nominal. Las inclusiones adyacentes deben estar separadas por cuando menos 2 pulg de metal sano.

D.10.b.2. IX A5.- Porosidad o cavidad de gas.- Las porosidades o cavidades de gas son vacíos que ocurren en el metal de soldadura

Porosidad esférica. La dimensión máxima de cualquiera cavidad de gas individual no debe exceder de 1/8 pulg, o 25% del espesor de pared del tubo, el que sea menor.

Grupos de poros. Los grupos de poros que ocurren en el cordón final no excederán una área de 1/2 pulg de diámetro máximo, y la dimensión máxima de un poro dentro de ese grupo será de 1/16 pul. La longitud total de grupos de poros en cualquier longitud de soldadura de 12 pulg no debe ser mayor de 1/2 pulg.

La máxima distribución de cavidades de gas no debe exceder aquélla que se muestra en las figuras 10 y 11.

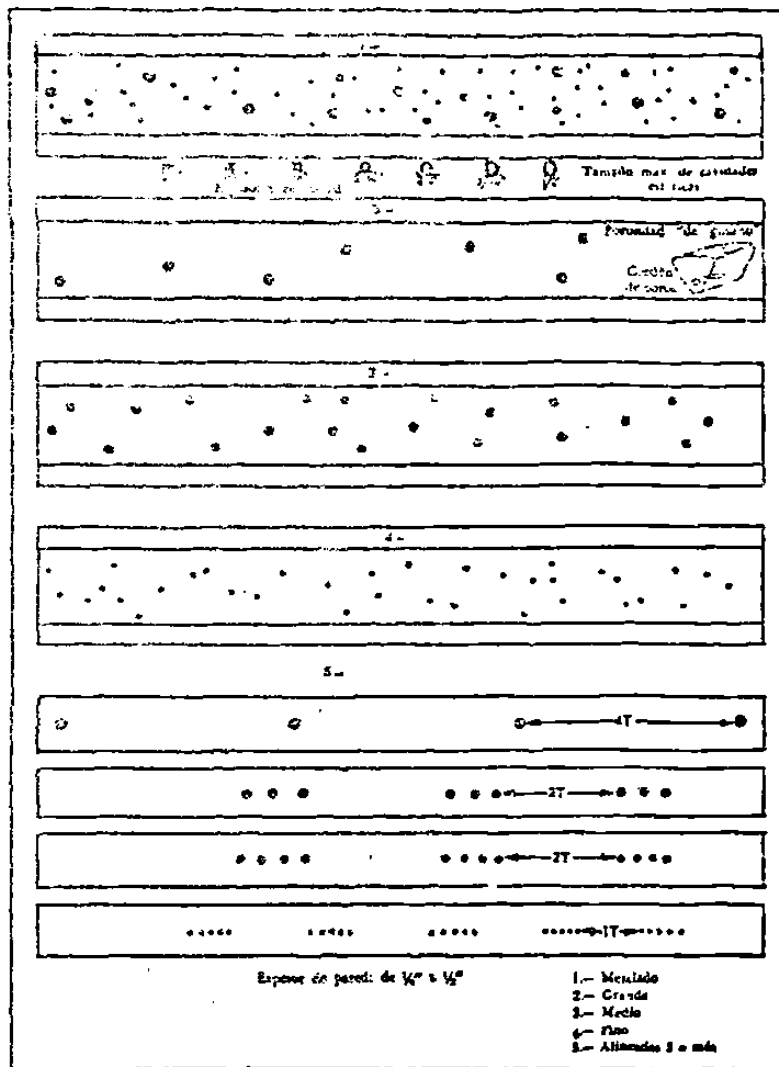
- Porosidad de gusano. En tubería, la porosidad de gusano es una discontinuidad alargada que resulta cuando los gases escapan por causa de la solidificación de la soldadura.

La dimensión máxima de la imagen radiográfica asociada con la porosidad de gusano, no debe exceder de 1/8 pulg o 25% del espesor de pared, el menor valor, la orientación de esta discontinuidad puede afectar la densidad de la imagen de la radiografía, y debe considerarse si la dimensión que no aparece es en detrimento o no de la resistencia de la soldadura, para que sea o no, rechazada la soldadura. ver D.10.b.2. IX A - FIG. - 10.- API 1104.

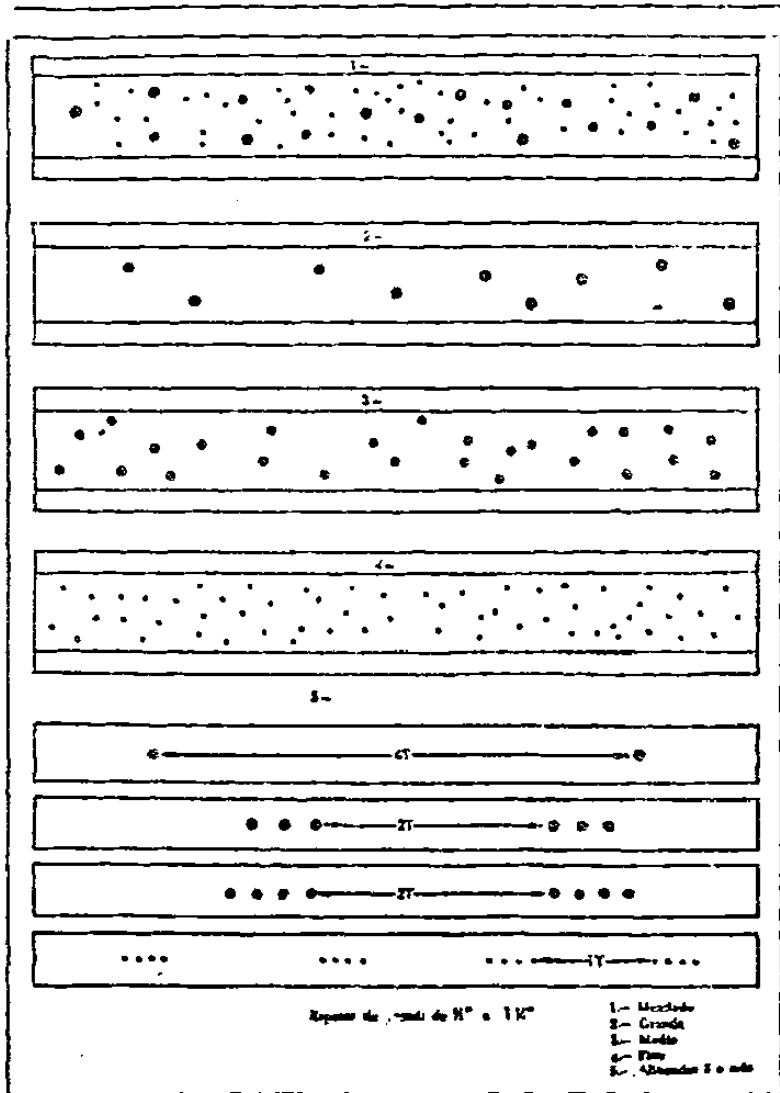
- Cordón de poros. Un cordón de poros es una sucesión de poros comunicados, que ocurre en el paso de raíz. La longitud máxima de esta discontinuidad no debe exceder de 1/2 pulg. La longitud total de cordones de poros en cualquier tramo de 12 pulg de soldadura no debe exceder de 2 pulg. Una discontinuidad que exceda 1/4 pulg de longitud, debe tener contigua por ambos extremos cuando menos 2 pulg de metal sano. Ver D.10.b.2. IX A.- Fig. 10.- API 1104.



DIAGRAMA [FIG. 10-API 1104]  
 DISTRIBUCION MAXIMA PERMITIDA DE CAVIDADES  
 DE GAS

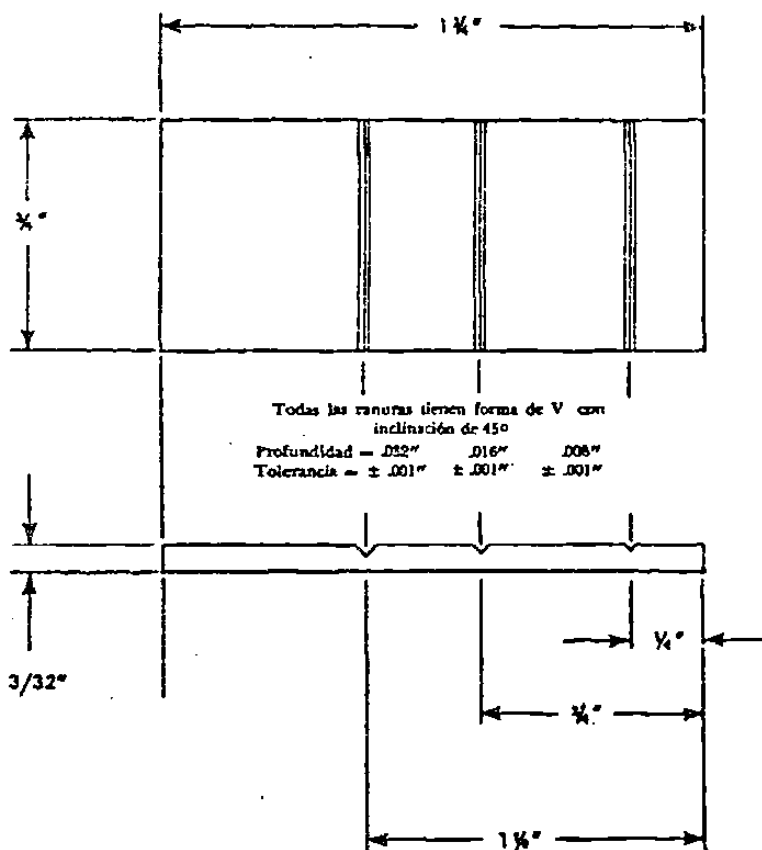


D.10.b.2.IX<sub>A</sub> [FIG. 11-API 1164]  
 DISTRIBUCION MAXIMA PERMITIDA DE CAVIDADES  
 DE GAS



- D.10.b.2.IX A5.- Grietas.- No debe ser aceptada ninguna soldadura que contenga grietas, prescindiendo de tamaños o localización, aquella debe ser rechazada totalmente.
- D.10.b.2. IX A7.- Acumulación de discontinuidades.- Cualquier acumulación de discontinuidades que tengan una longitud de más de 2 pulg en una soldadura de 12 pulg de longitud o más de 8% de la longitud de la soldadura si es menor de 12 pulg de largo, es inaceptable. Cualquiera acumulación de discontinuidades cuyo total sea más de 8% de la longitud de la soldadura de una junta, es inaceptable.
- D.10.b.2. IX A8.- Socavacion. La socavación es una quemadura sobre la superficie exterior o interior del tubo, precisamente junto a las orillas de la soldadura, la cual tiene la forma de una pequeña canal y que origina la reducción en el espesor de la pared del tubo adyacente a la soldadura que se funde en la superficie del tubo. La socavación adyacente al cordón sobre la parte exterior del tubo no deberá tener la forma de V ni deberá exceder 1/32 pulg o 12.5% del espesor de pared del tubo, el valor más pequeño, en profundidad. La socavación no deberá exceder de 1/64 a 1/32 pulg de profundidad o bien 6% a 12% del espesor de la pared del tubo, el mayor valor, en longitud de soldadura de 2 pulg o bien 1/16 de la longitud de la soldadura, el menor valor. La socavación no debe exceder de 1/64 pulg o bien 6% del espesor de pared del tubo, el mayor valor, prescindiendo de la longitud. Ver D.10.b.2 IX AB .- FIG. 17.- API 1104.
- D.10.b.2 IX A9. Defectos en el tubo.- Las laminaciones, cuarteaduras, hendaduras u otros defectos en los extremos de los tubos deben ser removidos o reparados debiendo quedar bajo especificaciones después de la reparación.

D.10.b.2.IX<sub>aa</sub> [FIG. 17-API 1104]  
TIRA TÍPICA COMPARATIVA



Tolerancias: Localización  $\pm 1/64$ "

Las dimensiones deben exceder al tamaño del penetrómetro  $1/18$ " cuando menos, en tres lados.

Nota: Esta configuración puede ser usada en unión con, o en vez de la placa del penetrómetro. Otras configuraciones pueden usarse con ranuras en V y profundidades con tolerancias de  $+ 0.001$ "

La profundidad de la socavación puede ser determinada por métodos de prueba, visuales, mecánicos y no destructivos. Cuando se juzgue únicamente por radiografía, la profundidad de la socavación debe ser determinada por comparación de densidades: entre su imagen en la película, con las imágenes "V" de ranuras de profundidad conocida en esta "tira típica". Cuando menos una tira de material que sea radiográficamente similar al del tubo y equivalente en espesor, debe aparecer en la radiografía.

D.10.b.2. IX B. Reparación o remoción de defectos.- Los defectos a excepción de las grietas en el cordón de raíz o en los cordones de relleno pueden ser reparadas. Los defectos, excepto roturas, en el último cordón pueden ser también reparados. Ninguna rotura debe repararse; en caso de presentarse una rotura debe eliminarse toda la junta cortando un carrete. Todas las reparaciones deben cumplir los estándares de aceptabilidad descritos antes en "Pruebas no destructivas". Antes de que la reparación sea hecha, los defectos dañosos deben ser enteramente removidos hasta el metal limpio. Todas las escorias e incrustaciones deben ser removidos con cepillo de alambre.

Testigos de reparaciones.- Las áreas reparadas deben ser radiografiadas de nuevo o inspeccionadas por el mismo medio previamente usado. Ninguna otra reparación debe ser permitida en esta área. Está permitido reinspectar todo de una soldadura que contiene reparaciones de la misma manera como está permitido inspeccionar cualquier soldadura de producción.

D.10.b.2. IX C. Procedimiento radiográfico.- Producción de radiografías con el uso de rayos X o de rayos Gamma.

- \* Un procedimiento detallado para la producción de radiografías debe ser establecido y calificado. Las radiografías producidas por el uso de tal procedimiento deberán tener suficiente densidad, claridad y contraste de manera que los defectos en la soldadura o en el tubo adyacente a la soldadura sean claramente discernibles.
- \* Los radiografistas se deberán calificar por la demostración de su habilidad para producir y evaluar las radiografías de acuerdo con el procedimiento aprobado.
- \* Los puntos siguientes deben tomarse en cuenta para evaluar radiografías. Una calidad aceptable de la película, libre de irregularidades de velado y procesamiento; densidad y contraste aprobados.  
Nivel de sensibilidad aprobado

Sistema de identificación satisfactorio  
Técnica aceptable  
Compatibilidad con estándares reconocidos.

- \* Todos los requisitos se refieren a la calificación de las radiografías resultantes que deben ser aplicadas tanto en rayos X como en rayos gamma.

D.10.b.2. IX C2.- Registros.- Procedimiento radiográfico calificado.

- \* Los detalles de cada procedimiento radiográfico deben ser registrados. Los registros deben incluir resultados completos de las pruebas y las radiografías del procedimiento calificado.
- \* Relación de radiografistas.- Una relación de radiografistas calificados deberá quedar registrada y guardada. Esta relación debe incluir el - - procedimiento en el cual cada radiografista es calificado, el documento que lo acredita como radiografista, la calificación y los datos de calificación. Una prueba de radiografía calificada con una copia del - - procedimiento calificado debe estar a disposición de la inspección como guía de la calidad de la producción de radiografías. Los radiografistas deben ser calificados cada 3 años para cualquier evento. Un radiografista puede ser llamado para recalificarlo si hay problemas por su - habilidad, debido a la iniciación de la construcción de una línea o al cambio de cédula de la tubería.

D.10.b.2. IX C2.- Procedimiento radiográfico detallado.

- El procedimiento radiográfico debe incluir lo siguiente:

- \* Fuente de radiación. Rayos X, radio, cobalto, cesio, iridio, etc.
- \* Tipo de equipo, interno o externo.

D.10.b.21Xc. [TABLA 5-API 1104]  
 LONGITUD MAXIMA ACEPTABLE DE PELICULA

		Distancia Exterior de tubo en pulg.															
		8 1/2	9	10 1/4	10 3/4	11	11 3/4	12	12 3/4	13	13 3/4	14	14 3/4	15	15 3/4	16	16 3/4
1	15	37	41	46	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110
2	16	38	42	47	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96	101	106	111
3	17	39	43	48	52	57	62	67	72	77	82	87	92	97	102	107	112
4	18	40	44	49	53	58	63	68	73	78	83	88	93	98	103	108	113
5	19	41	45	50	54	59	64	69	74	79	84	89	94	99	104	109	114
6	20	42	46	51	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115
7	21	43	47	52	56	61	66	71	76	81	86	91	96	101	106	111	116
8	22	44	48	53	57	62	67	72	77	82	87	92	97	102	107	112	117
9	23	45	49	54	58	63	68	73	78	83	88	93	98	103	108	113	118
10	24	46	50	55	59	64	69	74	79	84	89	94	99	104	109	114	119
11	25	47	51	56	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120
12	26	48	52	57	61	66	71	76	81	86	91	96	101	106	111	116	121
13	27	49	53	58	62	67	72	77	82	87	92	97	102	107	112	117	122
14	28	50	54	59	63	68	73	78	83	88	93	98	103	108	113	118	123
15	29	51	55	60	64	69	74	79	84	89	94	99	104	109	114	119	124
16	30	52	56	61	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125
17	31	53	57	62	66	71	76	81	86	91	96	101	106	111	116	121	126
18	32	54	58	63	67	72	77	82	87	92	97	102	107	112	117	122	127
19	33	55	59	64	68	73	78	83	88	93	98	103	108	113	118	123	128
20	34	56	60	65	69	74	79	84	89	94	99	104	109	114	119	124	129
21	35	57	61	66	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130
22	36	58	62	67	71	76	81	86	91	96	101	106	111	116	121	126	131
23	37	59	63	68	72	77	82	87	92	97	102	107	112	117	122	127	132
24	38	60	64	69	73	78	83	88	93	98	103	108	113	118	123	128	133
25	39	61	65	70	74	79	84	89	94	99	104	109	114	119	124	129	134
26	40	62	66	71	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135
27	41	63	67	72	76	81	86	91	96	101	106	111	116	121	126	131	136
28	42	64	68	73	77	82	87	92	97	102	107	112	117	122	127	132	137
29	43	65	69	74	78	83	88	93	98	103	108	113	118	123	128	133	138
30	44	66	70	75	79	84	89	94	99	104	109	114	119	124	129	134	139
31	45	67	71	76	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140
32	46	68	72	77	81	86	91	96	101	106	111	116	121	126	131	136	141
33	47	69	73	78	82	87	92	97	102	107	112	117	122	127	132	137	142
34	48	70	74	79	83	88	93	98	103	108	113	118	123	128	133	138	143
35	49	71	75	80	84	89	94	99	104	109	114	119	124	129	134	139	144
36	50	72	76	81	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145
37	51	73	77	82	86	91	96	101	106	111	116	121	126	131	136	141	146
38	52	74	78	83	87	92	97	102	107	112	117	122	127	132	137	142	147
39	53	75	79	84	88	93	98	103	108	113	118	123	128	133	138	143	148
40	54	76	80	85	89	94	99	104	109	114	119	124	129	134	139	144	149
41	55	77	81	86	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
42	56	78	82	87	91	96	101	106	111	116	121	126	131	136	141	146	151
43	57	79	83	88	92	97	102	107	112	117	122	127	132	137	142	147	152
44	58	80	84	89	93	98	103	108	113	118	123	128	133	138	143	148	153
45	59	81	85	90	94	99	104	109	114	119	124	129	134	139	144	149	154
46	60	82	86	91	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155
47	61	83	87	92	96	101	106	111	116	121	126	131	136	141	146	151	156
48	62	84	88	93	97	102	107	112	117	122	127	132	137	142	147	152	157
49	63	85	89	94	98	103	108	113	118	123	128	133	138	143	148	153	158
50	64	86	90	95	99	104	109	114	119	124	129	134	139	144	149	154	159
51	65	87	91	96	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160
52	66	88	92	97	101	106	111	116	121	126	131	136	141	146	151	156	161
53	67	89	93	98	102	107	112	117	122	127	132	137	142	147	152	157	162
54	68	90	94	99	103	108	113	118	123	128	133	138	143	148	153	158	163
55	69	91	95	100	104	109	114	119	124	129	134	139	144	149	154	159	164
56	70	92	96	101	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160	165
57	71	93	97	102	106	111	116	121	126	131	136	141	146	151	156	161	166
58	72	94	98	103	107	112	117	122	127	132	137	142	147	152	157	162	167
59	73	95	99	104	108	113	118	123	128	133	138	143	148	153	158	163	168
60	74	96	100	105	109	114	119	124	129	134	139	144	149	154	159	164	169
61	75	97	101	106	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160	165	170
62	76	98	102	107	111	116	121	126	131	136	141	146	151	156	161	166	171
63	77	99	103	108	112	117	122	127	132	137	142	147	152	157	162	167	172
64	78	100	104	109	113	118	123	128	133	138	143	148	153	158	163	168	173
65	79	101	105	110	114	119	124	129	134	139	144	149	154	159	164	169	174
66	80	102	106	111	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160	165	170	175
67	81	103	107	112	116	121	126	131	136	141	146	151	156	161	166	171	176
68	82	104	108	113	117	122	127	132	137	142	147	152	157	162	167	172	177
69	83	105	109	114	118	123	128	133	138	143	148	153	158	163	168	173	178
70	84	106	110	115	119	124	129	134	139	144	149	154	159	164	169	174	179
71	85	107	111	116	120	125	130	135	140	145	150	155	160	165	170	175	180
72	86	108	112	117	121	126	131	136	141	146	151	156	161	166	171	176	181
73	87	109	113	118	122	127	132	137	142	147	152	157	162	167	172	177	182
74	88	110	114	119	123	128	133	138	143	148	153	158	163	168	173	178	183
75	89	111	115	120	124	129	134	139	144	149	154						

- \* Protector al frente y/o atrás, con materiales como el plomo.
- \* Tipo de filtro y posición. Máscara, diafragma, protector de plomo, etc. adyacentes a la fuente de radiación o espécimen.
- \* Relación geométrica. Tamaño del punto focal de la fuente, máxima y la mínima fuente de fuerza, distancia focal de la película, distancia focal del objetivo, ángulo de radiación respecto a la soldadura y a la película.
- \* Límite de la cubierta por la película. Cuando la fuente de radiación y la película están ambos sobre la parte exterior de la soldadura y colocados diametralmente opuestos cada uno, la longitud deberá no exceder los valores de D.10.b.2. IX C4.- TABLA 5.- API 1104.
- \* Tipo de película. Forma y tipo o designación ASTM, longitud y ancho. Alto contraste, grano relativamente fino con base de densidad H y D de 0.30 o menos.
- \* Tiempo de exposición. Miliamperes minutos o milicurie minutos.
- \* Proceso. Temperatura ambiente para desarrollo, tiempo de baño y enjuague, fijación, lavado, secado, etc.
- \* Espesor del material. Clasificación de espesores para los cuales el procedimiento es apropiado.

Calificación del procedimiento. Tres radiografías deben hacerse de una soldadura usando una fuente lateral, y un penetrómetro de película lateral con cada penetrómetro identificado, así como su localización. Las radiografías deben ser hechas de soldadura en tubos del mismo diámetro y espesor de pared y de material radiográficamente similar a los que se usen durante la producción. Los defectos notados por los radiografistas deben ser registrados sobre el mismo tipo de formas que se van a --



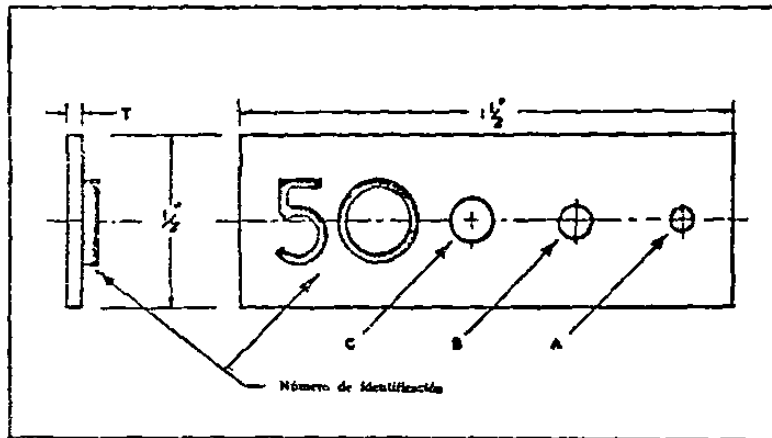
usar durante la producción. Tres copias de este reporte, junto con las copias de las pruebas radiográficas deben ser presentadas. Deberá decidirse cuál procedimiento es el apropiado.

D.10.b.2 IX C3. Penetrómetros. Los penetrómetros deben ser hechos del mismo material radiográficamente que el material que se viene soldando. Sus espesores y números de identificación están mostrados en la tabla siguiente.

Espesor soldado pulgadas	Penetrómetro espesor en pulgadas	Número de identificación
Hasta 1/4 inclusive	0.005	5
Mayor de 1/4 hasta 3/8	0.0075	7
Mayor de 3/8 hasta 1/2	0.010	10
Mayor de 1/2 hasta 5/8	0.0125	12
Mayor de 5/8 hasta 3/4	0.015	15
Mayor de 3/4 hasta 7/8	0.0175	17
Mayor de 7/8 hasta 1	0.020	20
Mayor de 1 hasta 1 1/4	0.025	25
Mayor de 1 1/4 hasta 1/2	0.030	30
Mayor de 1 1/2 hasta 2	0.035	35

Los números de identificación deben ser hechos de plomo cuando menos de 3/32 pulg de alto. Cada penetrómetro debe tener 3 agujeros, uno de los cuales debe tener un diámetro igual al espesor del penetrómetro; el diámetro del segundo debe ser igual a dos veces el espesor del penetrómetro; el tercero deberá ser cuatro veces el espesor del penetrómetro.

Podrían ser usados también otros diámetros. Los detalles del penetrómetro se muestran en la siguiente figura. La imagen del número de identificación del contorno del penetrómetro y del agujero 2T deben aparecer claramente en la radiografía. Alternativamente, los penetrómetros conforme a los requisitos de ASTM E 142-59T para niveles 2-2T, pueden ser usados. Cuñas o tiras de relleno del mismo tipo de metal del tubo y equivalente en espesor a la soldadura armada, pueden ser colocados abajo del penetrómetro.



- A Diámetro = (2) (T)
- B Diámetro = (3) (T)
- C Diámetro = (4) (T)

T = Porcentaje especificado de espesor de pared del tubo

La relación para espesor de penetrámetro es constante para uno u otro - penetrámetro 2% o penetrámetro 4%. El diámetro necesita no ser menor de 1/16 pulg.

Los agujeros deben ser redondos y perforados perpendicularmente a la -- superficie.

Los agujeros deben estar libres de rebabas de metal y ambos bordes no deben ser achaflanados.

Cada penetrámetro debe llevar un número de identificación de plomo - -- representando, para 2 figuras significativas, el espesor mínimo de la placa para la cual puede ser usada.

D.10.b.2. IX X4.- Producción de radiografías. Solamente procedimientos -- calificados deben usarse para determinar la calidad del soldado durante la construcción. La calidad de la producción de radiografías debe ser substancialmente la misma que la calidad de la radiografía calificada. Cuando una faja completa de soldadura es radiografiada en una simple - exposición usando una fuente en el interior del tubo, cuatro penetrómetros colocados a cada 90 grados deben ser usados: Cuando una faja de - soldadura es radiografiada usando un procedimiento de múltiple exposi- ción, un penetrómetro debe ser localizado dentro de 1 pulg a cada ex- - tremo de los límites aplicables de lo que cubre la película. Los - --- penetrómetros deben estar a la distancia de 1/4 pulg de la soldadura -- que se viene radiografiando.

Los radiografistas deben reportar todos los efectos observados en las radiografías e indicar si la soldadura cumple los requisitos de los - - Estándares de Aceptabilidad de Pruebas no Destructivas.

D.10.b.2 IX C5.- Identificación de las películas. Todas las películas - - deben ser claramente identificadas por los números de plomo, por las -- letras y o por las marcas, de modo que la propia soldadura y cualquier discontinuidad en ella pueda ser rápida y exactamente localizada. - - Siempre que más de una película sea usada para inspeccionar una solda-- dura, las marcas de identificación deben aparecer en cada película, y - cada marca de referencia de la sección de l soldadura debe ser común a dos películas sucesivas a fin de establecer que ninguna parte de la - - soldadura ha sido omitida.

D.10.b.2. IX C6.- Calificación de radiografistas. Un radiografista debe -- considerarse calificado después de que ha demostrado con buen éxito sus conocimientos en radiografía y su habilidad para producir e interpretar radiografías de soldaduras. El radiografista deberá conocer los están- dares de aceptabilidad de soldaduras y los factores - - - básicos que son considerados en la producción de una radiografía inclu- yendo la relación geométrica entre las fuentes, película y soldadura;

la razón para el uso de penetrómetros y de defensas. Deberá conocer el revelado, fijación, lavado y secado de películas tan bien como un cambio de solución usada en estas operaciones. Deberá entender la diferencia entre artefactos de películas e indicaciones de defectos en soldadura.

Deberá conocer las precauciones que se aplican durante el trabajo para él mismo, para sus ayudantes y para otros.

- Los radiografistas de tuberías deben ser calificados de acuerdo con los requisitos de "SNT" Recommended Practice Document No. SNT-TC-1A, - --- Supplement A-Radiographic Testing Method", con las modificaciones permisibles que siguen:

\* Para hacer la prueba de calificación como operador ayudante, los operarios serán sometidos a entrenamiento hasta completar 20 horas en radiografías de tuberías, más un período de 20 horas antes de llegar a ser elegible para Nivel I.

\* Para hacer la prueba de calificación como operador calificado, los operadores ayudantes Nivel I deben completar 1 040 horas en dicho nivel - más 36 horas como período de entrenamiento antes de llegar a ser elegible para el Nivel II.

D.10.b.2. IX C7.- Almacenamiento de películas. Todas las películas no expuestas deben ser almacenadas en un lugar limpio y seco donde las condiciones circundantes deberán no afectar en detrimento de la emulsión. Si hay cualquier duda respecto a las condiciones de película no expuesta, una cubierta en el frente y otra atrás de cada paquete y/o a lo largo de la película, igual a la circunferencia del rollo original, - - deberá ser procesado de manera normal sin exponerla a la luz o a la radiación. En este proceso, el velado de las películas, la caja o - -- rollo entero de la cual la película para prueba fue removida, debe ser descartada a menos que con otras películas de prueba demuestre que quedan películas en la caja o rollos libres de pre-exposiciones de velado que exceda de 0.30 HD de densidad, para película de base transparente o

bien , 0.05 HD de densidad reflejada para película base opaca.

D.10.b.2 IX C8. Densidad de película. La película base debe ser expuesta de manera que el promedio HD densidad debe no ser menor que 2.0 y esta densidad a través de la porción de mayor espesor del metal de la soldadura deberá no ser menor de 1.5.

D.10.b.2. C9.- Procesamiento de película. Las radiografías deben ser procesadas para permitir almacenamiento de película.

\* Cuarto oscuro. El cuarto de procesamiento de película y todos los accesorios deben guardarse limpios en todo tiempo.

\* Protección de la radiación. El radiografista debe ser responsable de -- proteger e instruir o amonestar a las personas que manipulen o se acerquen a una fuente de radiación.

#### D.10.b.2. IX D. SOLDADO AUTOMATICO.

El término "Soldado Automático" debe pertenecer al equipo de soldar, el cual ejecuta todas las operaciones del soldado, sin manejar manualmente el arco o el electrodo (excepto la guía) y sin requerir la habilidad -- manual del operador.

Soldadura de arco sumergido

Soldadura de arco metálico con gas

Soldadura de arco con gas tungsteno

Soldadura de arco con núcleo de fundente, con o sin protección

Soldadura de arco de los procesos anteriores combinados.

#### -- D.10.b.2 IC D1.- Calificación del procedimiento.

Antes de iniciar la producción de soldadura, se debe establecer y calificar una especificación detallada del procedimiento para demostrar que la soldadura tiene propiedades mecánicas apropiadas (resistencia, ductilidad y durza), que puede considerarse sana y puede efectuarse por el procedimiento seleccionado.

Dos tramos de tubos deben ser unidos siguiendo los detalles del procedimiento especificado. La calidad de la soldadura debe ser determinada por la aplicación de las pruebas destructivas, que ya fueron descritas con anterioridad.

D.10.b.2 IX D2.- Registros del procedimiento calificado.

Todos los detalles de los procedimientos calificados deben ser registrados, y éstos deben mostrar claramente los resultados completos de las pruebas de calificación. Las formas de registro usuales son las mismas que ya vieron. Los registros se deben conservar tanto como el tiempo de aplicación del procedimiento.

D.10.b.2 IX D3. Especificaciones del procedimiento.

El procedimiento especificado debe comprender toda la información pertinente con la que fue establecido y mantener la operación apropiada del equipo, en los siguientes puntos.

- \* Proceso. Identificación del procedimiento utilizado.
- \* Materiales de tubos y accesorios de tubos. Identificación de los materiales sobre los cuales el procedimiento debe aplicarse.
- \* Grupo de espesor de pared, cantidad y secuencia del grupo de diámetros al que aplica el procedimiento.
- \* Grupo de espesor de pared, cantidad y secuencia de cordones requeridos. Identidad de la clasificación de grupos de espesores de pared sobre el cual se aplica el procedimiento; la clasificación y cantidad de cordones para el espesor de que se trate, y la máquina para cada cordón.
- \* Diseño de junta. Dibujo del tipo de junta en U, en V, etc. el ángulo del bisel y sus límites, tamaño de la raíz y su abertura. Diseño y tipo de tira de respaldo si se usó.
- \* Metal de relleno. Número de clasificación AWS y tamaño designado, u otros.
- \* Características eléctricas. Corriente y polaridad designada, límites de tensión y corriente para cada tipo y tamaño de electrodo usado.
- \* Posición. Posición fija o de rolado.
- \* Dirección de soldado. De subida o de bajada.

- \* Lapso de tiempo entre pasos. Tiempo máximo designado entre la terminación del cordón de raíz y la iniciación de segundo cordón. Tiempo máximo entre el segundo cordón y el principio de los últimos cordones.
  - \* Tipo de alineador usado. Interno, externo, no se requiere.
  - \* Limpieza. Describir la junta y la limpieza aceptada.
  - \* Precalentado. Especificar métodos, temperatura mínima al iniciar la soldadura, temperatura ambiente mínima abajo de la cual se requiere precalentado.
  - \* Postcalentamiento. Especificación de los métodos, temperatura mínima y máxima, tiempo a temperatura constante y métodos de control de temperatura.
  - \* Gas protector y gasto. Limitación del gasto y composición designada.
  - \* Fundente protector. Designación del número y clasificación AWS, u otro.
  - \* Velocidad de viaje. Límites de velocidad en pulgadas por minuto para cada paso.
- Otros factores importantes.

#### D.10.b.2. IX D4. Variables esenciales.

Un procedimiento de soldadura debe ser restablecido como una nueva especificación del procedimiento y debe ser completamente recalificado cuando se haga cualquier cambio de los puntos que se mencionan a continuación. Otros cambios que no sean estos, pueden hacerse sin necesidad de recalificar, previa verificación de los puntos del procedimiento establecido.

Cambio en el procedimiento de soldadura

Cambio en el material del tubo de acuerdo al siguiente agrupamiento.

- 1o. Límite elástico mínimo especificado; mayor de 42000 psi y menor.
- 2o. Límite elástico mínimo especificado; mayor de 42 000 psi pero menor de 60 000 psi
- 3o. Límite elástico mínimo especificado de 60 000 psi y mayor; cada grado requiere prueba de calificación separada.

NOTA: La prueba de calificación y los cambios subsecuentes si los hay -

deben considerar el punto de vista de sus propiedades metalúrgicas, de los requisitos del precalentamiento, de los del postcalentamiento, del de las propiedades mecánicas, etc.

Cambio en el diseño de la junta. De U a V o cualquier cambio en el espaciamiento, en la cara de la raíz, en el ángulo de bisel, etc.

Cambio en el espesor de pared. Más allá de los límites establecidos.

Cambio en el diámetro del tubo. Más allá de los límites establecidos.

Cambio del tamaño del alambre del metal de aporte.

Cambio en el lapso de tiempo. Entre el cordón de raíz y el segundo -- cordón, sobre el tiempo establecido

Cambio en el gas protector. De un gas a otro, o de una mezcla a otra.

Mayor gasto de gas, Aumento o disminución del gasto establecido

Cambio en el fundente protector. Cambio en el número y clasificación AWS, o en otra clasificación

Cambio de velocidad de viaje. Fuera de los límites establecidos

Cambio en la dirección de soldado. De subida, de bajada o viceversa.

\* Cambio en los requisitos del precalentamiento establecido

\* Cambio en los requisitos del postcalentamiento establecido

\* Cambio en las características eléctricas establecidas.

D.10.b.2. IX D5. Calificación de los operadores y equipos de soldar. Cada unidad de soldado y cada operador deben ser calificados por la producción aceptable de soldaduras usando un procedimiento calificado. La soldadura debe ser probada por los métodos destructivos y o no destructivos y deben cumplir con las pruebas de calificación de soldadores siguientes; visual, destructivas, radiográfica y la consideración de una recalificación del soldador, efectuadas en la misma forma ya descrita antes. Previamente cada operador debe recibir un entrenamiento adecuado para demostrar su habilidad y familiaridad en el manejo del equipo, antes de iniciar la producción de soldaduras. Las unidades de soldar, iguales, ya sean adicionales o para reemplazo pueden ser calificadas -- por pruebas no destructivas en producción de soldaduras. Si el proce--



dimiento de soldar involucra más de una operación y o más de un operador, cada operador debe ser calificado con la unidad soldadora que él usará en la producción de soldaduras.

D.10.b.2. IX D6.- Registros de calificación de operadores.

Debe hacerse un registro de los requisitos de las pruebas de calificación de operadores y equipos de soldar con los detalles resultantes de cada prueba. En forma similar debe usarse la forma de "Reporte" del "Registro para el procedimiento calificado de soldadura" en D.10.b.

VIII C. La lista de operadores calificados y el procedimiento en el cual ellos fueron calificados, debe ser mantenida. Un operador puede ser requerido para una nueva calificación si se tiene duda de su habilidad.

Los siguientes aspectos que ya fueron tratados con anterioridad deben ser aplicados al soldado automático.

D.10.2.b. IX D7.- Inspección y prueba de soldadura de producción.

D.10.b.2. IX D8.- Estándares de aceptabilidad en pruebas no destructivas.

D.10.b.2. IX D9.- Reparación o remoción de defectos.

Si se usa un procedimiento de reparación diferente, dicho procedimiento debe ser establecido y calificado.

D.10.b.2 IX Procedimiento radiográfico

D.10.b.2. IX E.- Cantidades de pruebas no destructivas en tuberías para líquidos.

Cuando el límite elástico especificado del material del tubo que va a ser soldado excede de 42 000 psi, o bien la tubería va a ser operada a un nivel de esfuerzo que exceda a 20% del límite elástico mínimo especificado, un 10% como mínimo de cada una de las soldaduras circunferenciales, hechas por cada uno de los soldadores durante un día, deberá --

ser inspeccionado por alguno de los métodos no destructivos tratados antes, preferentemente por los procedimientos radiológicos.

Si en los siguientes lugares puede alterarse un estado normal, razonablemente posible, esperado por contaminación; como en corrientes de agua, ríos, lagos, depósitos y otros almacenamientos de agua; como en ferrocarriles o carreteras públicas; como en cruzamientos elevados y dentro de túneles; como en enlaces de tuberías; en áreas populares incluyendo pero no limitando, subdivisiones residenciales; áreas comerciales, escuelas, instalaciones industriales, instituciones públicas y lugares públicos de reunión, deberá inspeccionarse mediante pruebas no destructivas el 100% de la circunferencia de todas y cada una de las soldaduras que se encuentren en esos lugares o las que se consideren razonablemente cercanas que puedan alterar el estado normal.

Cuando se instale tubo usado, deberá hacerse la prueba no destructiva al 100% en toda la circunferencia de las soldaduras viejas.

Deberá llevarse un registro de las pruebas no destructivas realizadas incluso los negativos si se ha usado inspección radiográfica. Este registro debe guardarse accesible, durante 3 años.

D.10.b.2. X. REPARACION DE SOLDADURAS. Las soldaduras de producción que resulten rechazadas por defectos, pueden ser reparadas de acuerdo con el tipo de falla y procedimiento especificado, y después nuevamente radiografiadas. Ver "Reparación o Remoción de Defectos".

Quemaduras de arco. Las quemaduras de arco pueden causar serias concentraciones de esfuerzo en tuberías y deben evitarse o ser eliminadas. Las hendiduras causadas por quemaduras de arco deben ser removidas por amolado, procurando que el amolado no reduzca el espesor de pared remanente, en menor dimensión que la mínima permitida para el material. La remoción completa de la hendidura creada por la quemadura de arco, se determina como sigue:

Después de una evidencia visible de que la quemadura ha sido removida por el amolado, limpiar el área de la ranura con una solución de 20% de persulfato de amoníaco. Una mancha ennegrecida es evidencia de que es necesario seguir amolando la hendidura. Si el espesor de pared permanente después del amolado y de que la limpieza no produzca manchas negras es menor que el permitido por la especificación del material, -- debe ser cortada una sección cilíndrica del tubo que contenga la quemadura. Está prohibida la inserción de parches.

D.10.b.2. XI. LIMPIEZA INTERIOR. La limpieza interior no será iniciada si no se han reparado las soldaduras defectuosas, después de lo cual debe correrse por el interior de la tubería una sonda para limpiar y desprender materias que puedan resultar de cada junta soldada entre tubos. Una sonda o diablo de construcción consiste de un centro tubular o ciego de acero, que sostiene en cada extremo una copa de hule o de cuero, entre dos discos de acero y en el frente un disco de acero a 95% del diámetro interior, el cual debe usarse para verificar las dimensiones interiores del tubo.

Los diablos usados en la limpieza deben ser del tipo regular, algunos equipados con hojas o cuchillas de acero, y los más usuales son semejantes a los diablos de construcción descritos antes, pero tienen mayor número de discos o copas, algunos en forma de cepillos de alambre y otros están diseñados para girar por su eje longitudinal.

Después de correr los diablos de construcción para verificar la dimensión interior de la tubería, se correrán los diablos de limpieza impulsados por aire en secciones de tubería de 5 kilómetros de longitud como máximo, colocando en el extremo corriente arriba de la tubería, una trampa de diablo removible hecha del mismo tubo para alojar el diablo e introducirlo después a la tubería, y con las conexiones necesarias para inyectar aire a presión utilizando una compresora con la capacidad apropiada. Corriente abajo del tramo de la tubería, se debe colocar otra trampa receptora con un tubo perforado para que se expulse el aire

que desaloja el diablo en la línea. Ambas trampas se soldan a la tubería y se cortan después para seguir utilizando las trampas en los tramos subsecuentes.

Deberá controlarse el paso de diablos a lo largo de la línea, en la que produce un sonido característico. Si llegara a detenerse, deberá cortarse la tubería, sacar el diablo, reparar la tubería, anotar las causas que lo detuvieron y volver a correr el diablo.

Después de hacer la operación de limpieza de la tubería, deberá hacerse la prueba de permeabilidad de las soldaduras de campo del mismo tramo, cortando la trampa

del mismo tubo. Tanto las trampas como los tapones se sueldan y se cortan de los tubos o la tubería. En esta prueba deberá subirse la presión interior de la tubería a 100 lb/pulg<sup>2</sup> mediante la misma compresora ya mencionada, después de lo cual se localizarán las fugas de aire en las juntas soldadas de campo untándolas con espuma de jabón. Cada junta debe ser lavada inmediatamente después con agua limpia. La junta que resulte con fuga, deberá repararse o cortarse colocando un carrete, según sea el origen de la fuga. Los extremos de la tubería deben quedar biselados para poder efectuar los empates, posteriormente. Para evitar que penetre basura o animales en la tubería, deberán cubrirse los extremos abiertos en las tapas apropiadas o capuchas y no removerlas hasta comenzar de nuevo la soldadura.

## B I B L I O G R A F I A

- WELDING HANDBOOK.- De The American Welding Society (AWS)
- AWS DEFINITIONS WELDING AND CUTTING.- De The American Welding Society (AWS)
- STANDARD FOR WELDING PIPE LINES AND RELATED FACILITIES.- De the American Petroleum Institute (API)
- API SPECIFICATION FOR HIGH-TEST LINE PIPE.- De The American Petroleum Institute (API)
- WELDED STEEL TANKS FOR OIL STORAGE.- De The American Petroleum Institute (API)
- NONDESTRUCTIVE TESTING HANDBOOK.- De The Society for Nondestructive Testing (SNT)
- ASME BOILER AND PRESSURE VESSEL CODE:  
UNFIRED PRESSURE VESSELS SECTION VIII,  
WELDING QUALIFICATIONS SECTION IX.- De The American Society of Mechanical Engineers (ASME)
- INSPECCION HANDBOOK FOR MANUAL METAL-ARC WELDING.- De The American Welding Society (AWS)
- RADIOGRAPHY IN MODERN INDUSTRY.- De Eastman Kodak Company.

