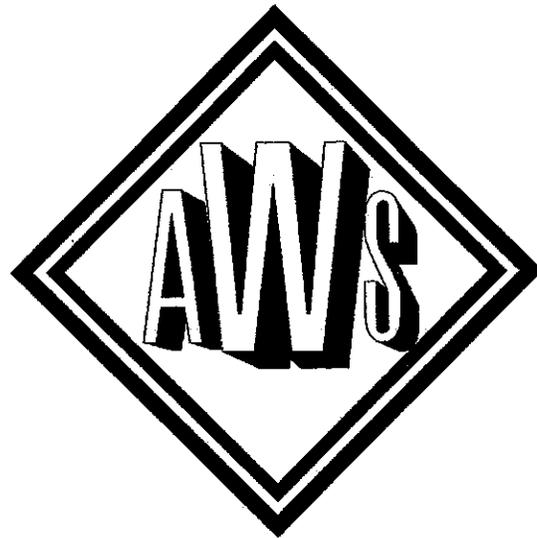


INSPECCION DE SOLDADURA



**EDICIÓN
2003**

Elaborado por el equipo de ASESORIA Y CAPACITACION 

Bajo la coordinación de
ING. CARLOS RODRIGUEZ MORENO, AWS CWI 00110641

Revisado por
ING. ANTONIO FLORES CASTILLO, AWS SCWI 02070078



**INSPECCION Y SISTEMAS
DE CALIDAD, S.A. DE C.V.**

INSPECCION DE SOLDADURA



DURACION: 40 HORAS (5 DIAS)

PROGRAMA

1. INTRODUCCIÓN

- 1.1 El Inspector de Soldadura: Definición, Responsabilidades, Características
- 1.2 Certificación de Inspectores de acuerdo con SNT-TC-1A
- 1.3 Certificación de Inspectores de acuerdo con AWS QC-1 y QC-2

2. DOCUMENTOS QUE RIGEN LA INSPECCION DE SOLDADURA Y LA CALIDAD DE LOS MATERIALES

- 2.1 Códigos, Normas, Estándares y Especificaciones
- 2.2 Fuentes de Normas Internacionales

3. TERMINOLOGÍA DE SOLDADURA

- 3.1 Tipos de Uniones
- 3.2 Tipos de Preparaciones
- 3.3 Partes de una Unión Soldada
- 3.4 Soldaduras de Ranura Vs Soldaduras de Filete
- 3.5 Tamaño de una Soldadura de Ranura
- 3.6 Tamaño de una Soldadura de Filete
- 3.7 WPSs, PQRs y WPQs
- 3.8 Posiciones de Soldadura
- 3.9 Posiciones de Prueba para Calificación
- 3.10 Clasificación de Personal de Soldadura.

4. SIMBOLOGÍA DE SOLDADURA Y PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS

- 4.1 Símbolos de Soldadura AWS
- 4.2 Simbología para PND AWS

5. PROPIEDADES MECÁNICAS, FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS METALES

- 5.1 Propiedades Mecánicas
- 5.2 Propiedades Químicas
- 5.3 Sistema de Clasificación de los Aceros AISI-SAE

6. PRUEBAS DESTRUCTIVAS

- 6.1 Pruebas de Resistencia a la Tensión
- 6.2 Prueba de Doblez Libre y Doblez Guiado
- 6.3 Prueba de Dureza
- 6.4 Pruebas de Resistencia al Impacto
- 6.5 Macroataques

7. METALURGIA DE LA SOLDADURA

- 7.1 Estructura Básica del Acero al Carbón
- 7.2 Consideraciones Metalúrgicas para Soldadura
- 7.3 Tratamientos Térmicos



INSPECCION DE SOLDADURA



PROGRAMA (continuación)

- 8. PROCESOS DE SOLDADURA**
 - 8.1 Breve Historia de la Soldadura
 - 8.2 Tabla Maestra de Procesos de Soldadura AWS
 - 8.3 Procesos mas utilizados en la Industria

- 9. CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA Y SOLDADORES**
 - 9.1 Especificaciones de Procedimientos de Soldadura
 - 9.2 Calificación de Procedimientos de Soldadura
 - 9.3 Calificación de Soldadores

- 10. ANÁLISIS DE FALLAS EN MATERIALES Y SOLDADURA**
 - 10.1 Geométricas
 - 10.2 Fallas en propiedades
 - 10.3 Discontinuidades
 - 10.4 Uso de Instrumentos de Medición y Calibradores de Soldadura

- 11. PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS**
 - 11.1 Inspección Visual
 - 11.2 Líquidos Penetrantes
 - 11.3 Partículas Magnéticas
 - 11.4 Radiografía
 - 11.5 Ultrasonido

- 12. PROCEDIMIENTOS PARA INSPECCION**
 - 12.1 Procedimientos escritos de Inspección
 - 12.2 Estándares de Aceptabilidad
 - 12.3 Estándares de AWS D1.1 - *Structural Welding Code*

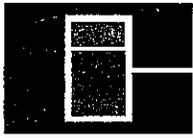
- 13. ELABORACIÓN DE REPORTES**
 - 13.1 El Reporte escrito de Inspección
 - 13.2 Dibujos y Croquis, Reportes de No Conformidad, etc.

- 14. RESUMEN FINAL**

- 15. EXAMEN FINAL TEÓRICO-PRACTICO**

- 16. CLAUSURA**





1. EL INSPECTOR DE SOLDADURA

1.1 DEFINICIÓN, RESPONSABILIDADES, CARACTERÍSTICAS.

INTRODUCCIÓN

En nuestros días se está dando un gran énfasis a la necesidad de la calidad. Esto se debe a un gran número de factores que incluyen economía, seguridad y el uso de diseños menos conservadores. Aunque no es el único responsable en la obtención de esta calidad, el Inspector de soldadura juega un papel muy importante para el éxito de cualquier programa de calidad de soldadura. Muchas personas participan en la obtención de un producto soldado de calidad, sin embargo, el inspector de soldadura es la persona que está al frente, para verificar que todas las operaciones de fabricación son efectuadas correctamente.

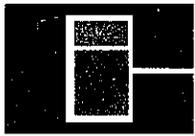
Para efectuar este trabajo en forma efectiva, el Inspector de soldadura necesita una gran variedad de conocimientos y habilidades, porque involucra mucho más que simplemente ver soldaduras terminadas.

Un buen programa de calidad de soldadura empieza desde antes de usar el primer electrodo, por esta razón el Inspector de soldadura debe estar familiarizado con todos los aspectos de los procesos de fabricación. Antes de que se empiece a soldar, debe revisar dibujos y especificaciones para determinar por ejemplo: la configuración del componente, sus requerimientos específicos de calidad de soldadura y el grado o tipo de inspección requerida. Al empezar la soldadura, el inspector debe supervisar directamente las varias etapas del proceso para asegurar que son efectuadas en forma apropiada. Si cada etapa del proceso es efectuada satisfactoriamente, la inspección final servirá solamente para confirmar la calidad de la soldadura.

¿QUIÉN ES EL INSPECTOR DE SOLDADURA?

En términos generales, el Inspector de soldadura es un Representante Responsable involucrado en la determinación de la calidad de la soldadura de acuerdo a los códigos o especificaciones existentes. Al efectuar este trabajo, podemos encontrar al Inspector de soldadura trabajando en circunstancias muy diferentes, dependiendo primeramente de la empresa para la cuál está trabajando.

Debe considerarse también que en nuestra industria actual hay una gran necesidad de especificaciones debido a la complejidad de algunos de los componentes de las estructuras que se construyen. Por lo anterior, el grupo de Inspección incluye especialistas en Inspección No Destructiva, especialistas en Pruebas Destructivas, Inspectores de Código, Inspectores del Gobierno, Representantes del Cliente, Inspectores del Fabricante, etc. Todas estas personas actúan al menos parte de su tiempo como Inspectores de soldadura.



Para enfatizar la diferencia en los requerimientos del trabajo de inspección, veamos algunas de las industrias que utilizan Inspectores de Soldadura, los podemos encontrar en la construcción de edificios, puentes y tanques de almacenamiento. La industria eléctrica incluye calderas, recipientes a presión, líneas de tubería y equipo de distribución. La industria química utiliza mucha soldadura en las instalaciones y equipos para sus procesos, la industria de la transportación también requiere programas de calidad de soldadura en áreas como: aeroespacial, automotriz, construcción de barcos, vías y equipos para ferrocarriles, etc. Finalmente, la fabricación de aparatos especiales es otro grupo importante. Con esta diversidad de situaciones, es obvio que los diferentes casos requerirán diferentes tipos y grados de inspección.

CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES DEL INSPECTOR DE SOLDADURA

La persona que va a efectuar Inspección de soldadura necesita reunir ciertas características básicas que incluyen:

- a. Actitud profesional
- b. Buena condición física
- c. Habilidad para interpretar dibujos y especificaciones
- d. Experiencia en Inspección
- e. Conocimientos de soldadura
- f. Conocimientos de Métodos de Inspección
- g. Habilidad para recibir entrenamiento
- h. Habilidad para llenar y mantener registros de Inspección

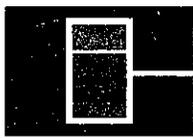
REQUISITOS ÉTICOS DEL INSPECTOR DE SOLDADURA

El Inspector de Soldadura debe actuar con completa honestidad e integridad. Su trabajo es de mucha importancia y responsabilidad. Sus decisiones no deben estar nunca basadas en su asociación con gente deshonesto o en el ofrecimiento de beneficios económicos, sus decisiones deben estar basadas en los requerimientos del trabajo, sin importar quién lo realizó.

El trabajo del Inspector de Soldadura tiene una gran responsabilidad para con el público que utiliza o vive cerca de los equipos y estructuras inspeccionados. El Inspector debe actuar solamente en aquellos casos para los cuales está calificado con el fin de reducir errores de juicios.

El Inspector debe poseer gran discreción, y comunicar los resultados de sus inspecciones solamente a las partes autorizadas en la forma especificada.

Cuando se le pide al Inspector tomar una decisión que afecta fuertemente la economía de personas o empresas, su actitud debe ser firme y honesta para decidir basado en los aspectos de seguridad y de confiabilidad involucrados, nunca en la posibilidad de obtener un beneficio personal.



1.2 CERTIFICACIÓN DE INSPECTORES DE SOLDADURA DE ACUERDO CON SNT-TC-1A

El documento de referencia que más se utiliza en México para la Certificación de Personal para Pruebas No Destructivas, incluyendo Inspección Visual de Soldadura es:

SNT-TC-1A "Recommended Practice for Qualification and Certification of Personnel for Nondestructive Testing"

Editado por The American Society for Nondestructive Testing, Inc.

Los conceptos básicos de SNT-TC-1A son los siguientes:

La **CALIFICACIÓN** es el conjunto de conocimientos, habilidades y destrezas, entrenamiento y experiencia requeridos para que una persona pueda efectuar en forma apropiada un trabajo específico.

La **CERTIFICACIÓN** es un documento escrito que avala la calificación de una persona.

Hay cuatro niveles básicos de calificación:

APRENDIZ

NIVEL I: Es un operador, maneja los principios básicos del método, el equipo y los procedimientos de Inspección.

NIVEL II: Es el responsable de la Inspección, maneja además la tecnología de materiales aplicable y la elaboración de reportes.

NIVEL III: Es una persona calificada para establecer métodos y procedimientos de inspección, maneja todos los métodos que se utilizan en la Empresa y está en posibilidades de actuar como responsable del Programa de Certificación de la Empresa.

La certificación deber ser efectuada por cada Empresa, bajo la supervisión de un Nivel III, de acuerdo a un procedimiento escrito que incluya los requerimientos específicos de dicha Empresa para:

Examen Físico (Vista)

Escolaridad

Exámenes de Certificación: General, Específico y Práctico

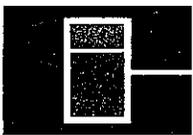
Entrenamiento

Experiencia

El examen General debe estar dirigido a los principios básicos del método.

El examen Específico debe tratar sobre los procedimientos, equipos y casos de inspección de la Empresa.

El examen Práctico debe ser representativo de las actividades que el candidato debe efectuar ya en su trabajo diario, una vez certificado.



1.3 CERTIFICACIÓN DE INSPECTORES DE SOLDADURA DE ACUERDO CON AWS

El documento más importante de AWS emitido para este efecto es:

AWS QC-1 "Standard for AWS Certification of Welding Inspectors"

Este estándar contiene las reglas para certificación AWS, se establecen 3 niveles:

Senior Certified Welding Inspector (SCWI): Debe ser capaz de realizar inspecciones, supervisar uno o más CWI's, CAWI's y/o personal de Pruebas No Destructivas, preparar procedimientos de inspección, revisar e interpretar procedimientos de soldadura, conducir auditorías en organizaciones que proveen materiales o servicios para proyectos y asegurarse de que el trabajo sea efectuado y los registros mantenidos conforme a los requerimientos de los Estándares aplicables.

Certified Welding Inspector (CWI): Puede llevar a cabo inspecciones o verificar que el trabajo inspeccionado y los registros mantenidos cumplan con los requerimientos de los Estándares aplicables.

Certified Associate Welding Inspector (CAWI): Realiza inspecciones bajo la supervisión directa de un SCWI o un CWI. Aquí el SCWI o el CWI es quien tiene la responsabilidad para determinar si las estructuras soldadas son aceptables.

REQUISITOS DE CERTIFICACIÓN: Se requiere una experiencia de 15 años para un SCWI, 5 para CWI y 2 para CAWI, y en los tres casos un examen de la vista y presentar tres exámenes escritos: Fundamentos, Código y Examen Práctico.

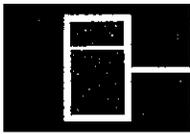
Otro documento es:

AWS QC-2 "Recommended Practice for Training, Qualification, and Certification of Welding Inspector Specialist and Welding Inspector Assistant"

Este documento contiene recomendaciones sobre entrenamiento y examinación útiles para aquellas organizaciones que desean certificar a sus propios inspectores. Se establecen 2 niveles de calificación:

Welding Inspector Specialist: Es el responsable de la inspección, para los casos que se presentan en la empresa, con su equipo y de acuerdo a sus procedimientos.

Welding Inspector Assistant: Es un inspector auxiliar que actúa como colaborador del responsable de la inspección.



2. DOCUMENTOS QUE RIGEN LA INSPECCION DE SOLDADURA Y LA CALIDAD DE LOS MATERIALES

2.1 CÓDIGOS, NORMAS, ESTÁNDARES Y ESPECIFICACIONES

Los documentos que se utilizan durante las actividades del Inspector de soldadura son de las siguientes categorías:

CÓDIGO: En E.U.A. es un documento que tiene estatus legal y que, por lo tanto, casi siempre se considera mandatorio. **AWS** ha publicado 6 Códigos:

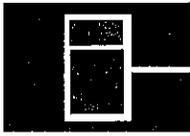
- AWS D1.1 Código de Soldadura Estructural - Acero
- AWS D1.2 Código de Soldadura Estructural - Aluminio
- AWS D1.3 Código de Soldadura Estructural - Acero en Láminas
- AWS D1.4 Código de Soldadura Estructural - Acero de Refuerzo
- AWS D1.5 Código de Soldadura Estructural para Puentes
- AWS D1.6 Código de Soldadura Estructural - Acero Inoxidable

Un Código muy utilizado es el **CÓDIGO ASME PARA CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN**, que está dividido en 11 secciones:

- Sección I: Calderas de Potencia
- Sección II Materiales
 - Parte A Especificaciones para Materiales Ferrosos
 - Parte B Especificaciones para Materiales No Ferrosos
 - Parte C Especificaciones de Varillas para Soldar, Electrodo y Metales de Aporte
 - Parte D Propiedades
- Sección III Estructuras y Componentes Nucleares
- Sección IV Calderas para Calentamiento
- Sección V Examinación No Destructiva
- Sección VI Reglas Recomendadas para el Mantenimiento y Operación de Calderas para Calentamiento
- Sección VII Reglas Recomendadas para el Mantenimiento y Operación de Calderas de Potencia
- Sección VIII Recipientes a Presión
- Sección IX Calificaciones de Procedimientos de soldadura y soldadores
- Sección X Recipientes a Presión de Plástico con Fibras de Refuerzo
- Sección XI Reglas para Inspección en Servicio de Componentes en Plantas de Potencia Nucleares

Otro Código importante es el **CÓDIGO ASME B31 - TUBERÍA A PRESIÓN**, que está dividido en 7 secciones:

- B31.1 Tubería de Potencia
- B31.3 Tubería de Proceso
- B31.4 Sistemas de Líneas de Tubería Para la Transportación de Hidrocarburos Líquidos y otros Líquidos
- B31.5 Tubería para Refrigeración
- B31.8 Sistemas de Tubería para la Transmisión y Distribución de Gas
- B31.9 Tubería de Servicios para Edificios
- B31.11 Sistemas de Tubería para la Transportación de Desperdicios



NORMA: Es un documento de uso general en la industria, por ejemplo las Normas Oficiales Mexicanas (NOM).

ESTÁNDAR: La definición más generalmente aceptada es de que se trata de un documento que establece los requerimientos de aceptabilidad ó rechazo de un producto.

Algunos de los estándares más utilizados están en el **ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARDS**, donde se encuentran por ejemplo:

ASTM A36 Especificación para Acero Estructural

ASTM A435 Método Estándar para la Inspección Ultrasónica de Placas de Acero Rolado

Otros Estándares muy utilizados son por ejemplo:

API 620 Diseño y Construcción de Tanques de Almacenamiento Soldados de Gran Tamaño y Baja Presión

API 650 Tanques de Acero Soldados para Almacenamiento de Aceite

API 653 Inspección, Reparación, Alteración y Reconstrucción de Tanques

API 1104 Soldadura de Líneas de Tubería e Instalaciones Relacionadas

AWS B2.1 Estándar para la calificación de Procedimientos de Soldadura y Soldadores

ESPECIFICACIÓN: Es el documento más general, puede contener o hacer referencia a códigos, normas, estándares, dibujos de fabricación, etc., por ejemplo:

API 5L Especificación para Tubería de Línea

AWS A5.1 Electrodo de Acero al Carbón para SMAW

AWS 5.17 Electrodo de Acero al Carbón y Fundentes para SAW

AWS 5.18 Metales de Aporte de Acero al Carbón para GMAW

AWS 5.20 Electrodo de Acero al Carbón para FCAW

Independientemente de lo que se establece en los párrafos anteriores, en México se considera correcto utilizar como sinónimos las palabras Código, Norma, Especificación y Estándar.

En la Hoja 3 de esta sección aparece una lista de las sociedades técnicas más importantes, con quienes se puede obtener este tipo de documentos.



2.2 FUENTES DE NORMAS INTERNACIONALES

**American Association of State Highway and
Transportation Officials (AASHTO)**

444 N. Capital St., N.W.
Washington, DC 20001
(202) 624-5800
www.transportation1.org

American Bureau of Shipping (ABS)

45 Eisenhower Drive
Paramus, New Jersey 07652
(201) 368-9100
www.eagle.org

American Institute of Steel Construction (AISC)

One East Wacker Drive Suite 3100
Chicago, Illinois 60601-2001
(312) 670-2400
www.aisc.org

American National Standards Institute (ANSI)

25 West 43rd Street, 4 Floor
New York, New York 10036
(212) 642-4900
www.ansi.org

American Petroleum Institute (API)

1220 L Street, N.W.
Washington, DC 20005-4070
(202) 682-8000
www.api.org

American Railway Engineering Association (AREA)

50 F Street, N.W.
Washington, DC 20001
(202) 639-2190

American Society of Mechanical Engineers (ASME)

Three Park Avenue
New York, New York 10016-5990
(212) 591-7722
www.asme.org

American Water Works Association (AWWA)

6666 W. Quincy Avenue
Denver, Colorado 80235
(303) 794-7711
www.awwa.org

American Welding Society (AWS)

550 N.W. LeJeune Road
P.O. Box 351040
Miami, Florida 33135
(305) 443-9353
www.aws.org

Association of American Railroads (AAR)

50 F. Street N.W.
Washington, DC 20001-1564
(202) 639-2100
www.aar.org

American Society for Nondestructive Testing (ASNT)

1711 Arlingate Lane
Columbus, Ohio 43228-0518
(614) 274-6003
www.asnt.org

American Society for Testing and Materials (ASTM)

100 Barr Harbor Drive
West Conshohocken, Pennsylvania 19428
(610) 832 9585
www.astm.org

Canadian Standards Association (CSA)

5060 Spectrum Way
Mississauga, Ontario
Canada L4W5N6
(416) 747-4000
www.csa.ca

International Organization For Standardization (ISO)

Dirección General de Normas (DGN)
Av. Puente de Tecamachalco 6, Sec. Fuentes
Col. Lomas de Tecamachalco
Naucalpan de Juárez, México. C.P. 53950
555 729-9300
www.iso.ch / www.economia.gob.mx

**National Board of Boiler and Pressure Vessel
Inspectors (NBBPVI)**

1055 Crupper Avenue
Columbus, Ohio 43229
(614) 888-8320
www.nationalboard.org

Pipe Fabrication Institute (PFI)

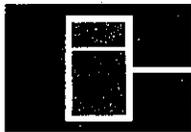
611 Pennsylvania Avenue SE
Washington, DC 20003
(514) 634 3434
www.pfi-institute.org

Society of Automotive Engineers (SAE)

400 Commonwealth Drive
Warrendale, Pennsylvania 15096-0001
(724) 776-4841
www.sae.org

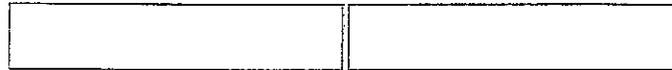
Underwriters Laboratories, Inc. (UL)

333 Pfingsten Road
Northbrook, Illinois 60062-2096
(847) 727 8800
www.ul.com



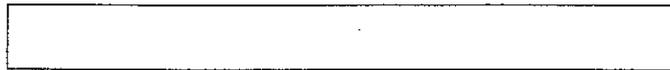
3. TERMINOLOGÍA DE SOLDADURA

3.1 INTRODUCCIÓN



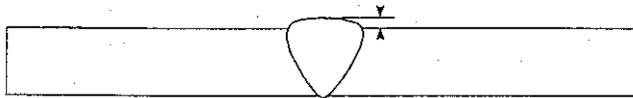
Cuando Usted desea unir dos piezas mediante soldadura, como las que se muestran aquí, esto tiene una sola razón

Pieza Requerida



Refuerzo ???

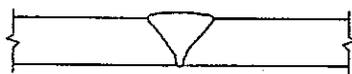
Pieza Soldada



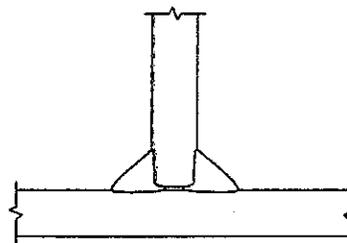
En efecto, la razón es que Usted no tiene una pieza como la que requiere, por eso va a utilizar una pieza soldada, aunque sabemos que en el área de la unión existe un MATERIAL DIFERENTE y una ESTRUCTURA FÍSICA DIFERENTE.

3.2 TIPOS DE UNIONES

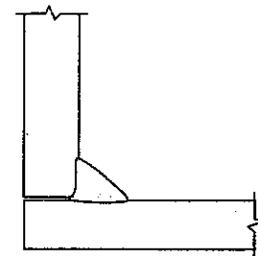
De acuerdo con el estándar AWS A3.0 - *Standard Welding Terms and Definitions*, se consideran 5 tipos básicos de uniones soldadas:



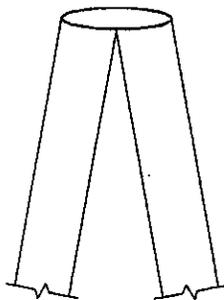
A TOPE



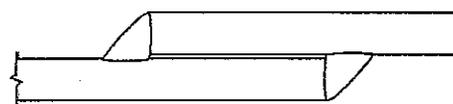
EN T



EN ESQUINA



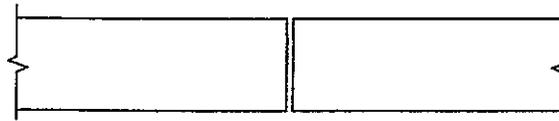
LATERAL



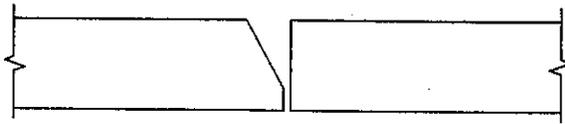
DE TRASLAPE



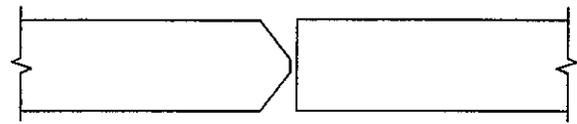
3.3 TIPOS DE PREPARACIÓN



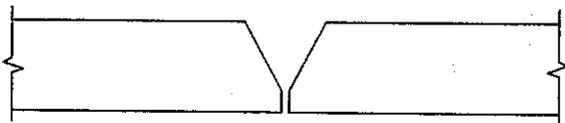
BISEL CUADRADO



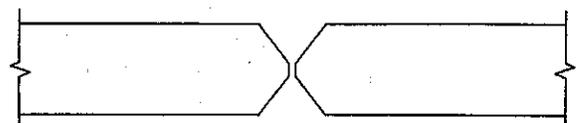
BISEL SENCILLO



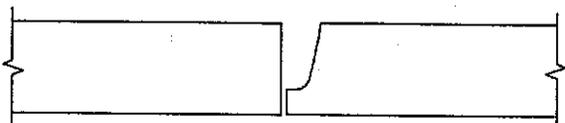
DOBLE BISEL



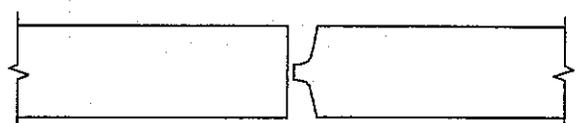
V SENCILLA



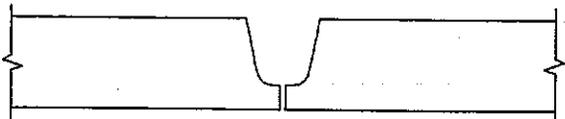
DOBLE V



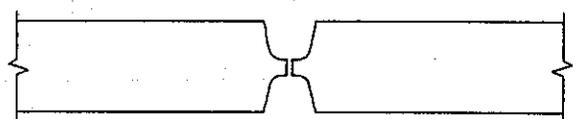
J SENCILLA



DOBLE J

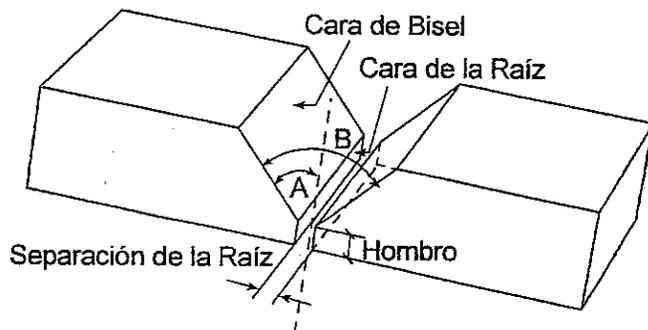


U SENCILLA

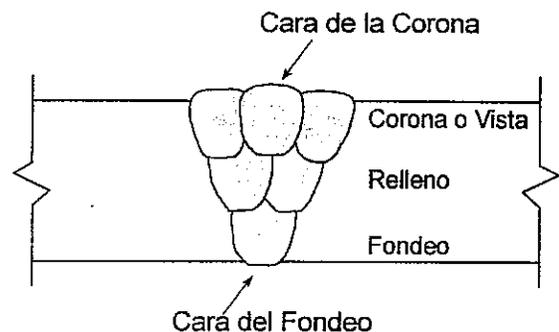


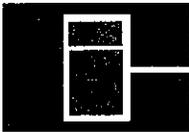
DOBLE U

3.4 PARTES DE UNA UNIÓN SOLDADA

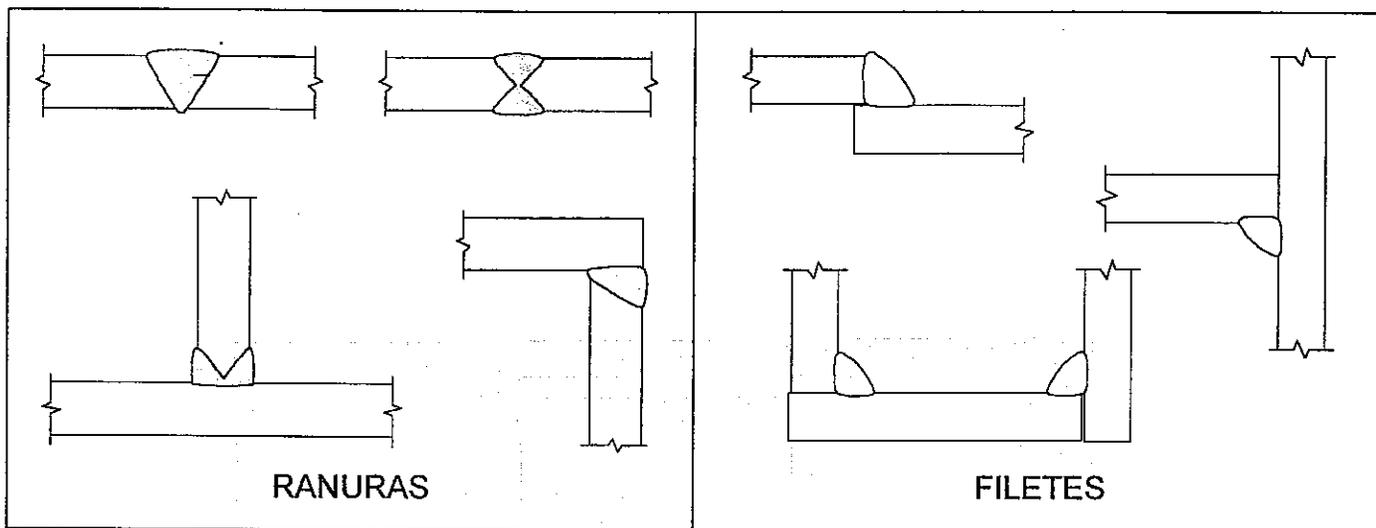


A: Ángulo de bisel
B: Ángulo de la unión



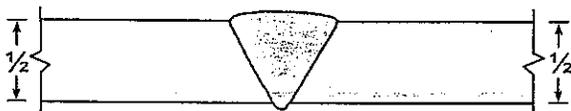


3.5 SOLDADURAS DE RANURA (GROOVE) Y SOLDADURAS DE FILETE (FILLET)



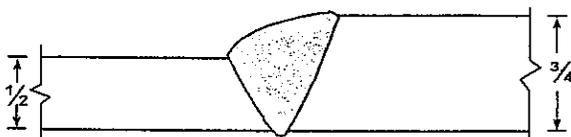
3.6 TAMAÑO DE UNA SOLDADURA DE RANURA

A) Para espesores iguales, el tamaño de la soldadura es el espesor del metal base.



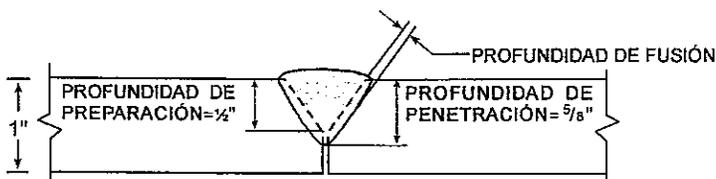
TAMAÑO DE LA SOLDADURA: 1/2"

B) Para espesores diferentes, el tamaño de la soldadura es el espesor más delgado.

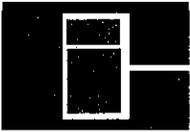


TAMAÑO DE LA SOLDADURA: 1/2"

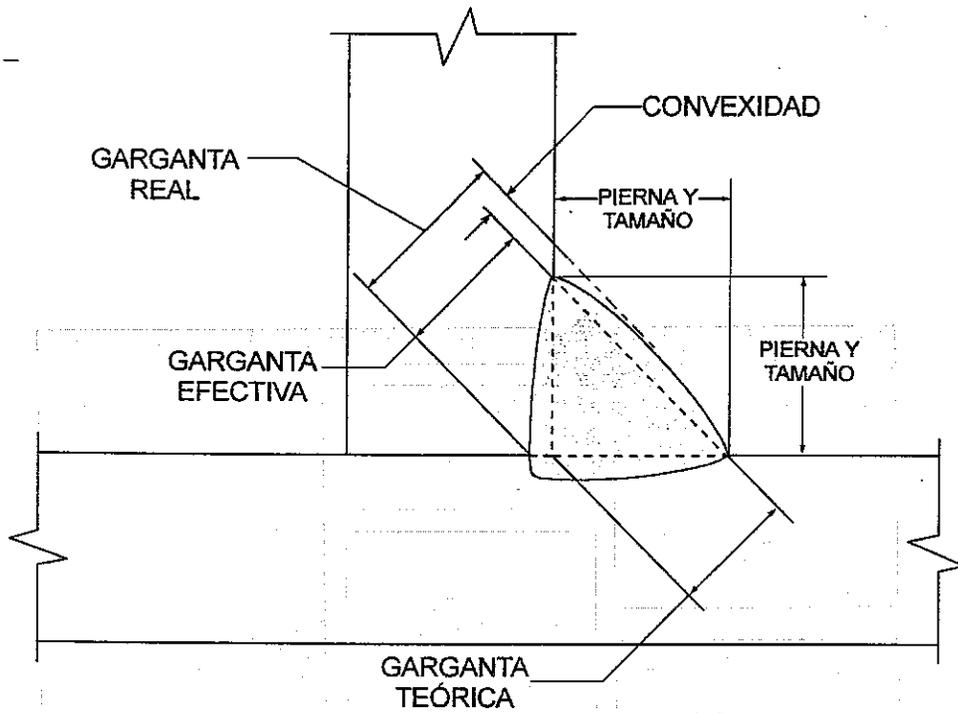
C) Para soldaduras de penetración parcial, el tamaño de la soldadura es la "Profundidad de Penetración"



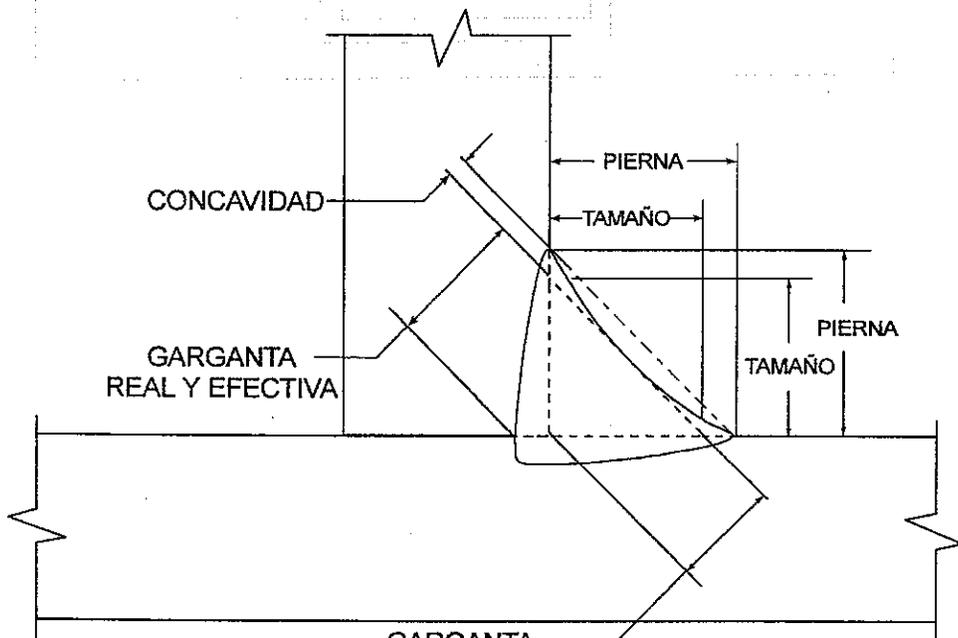
TAMAÑO DE LA SOLDADURA: 5/8"



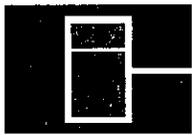
3.7 TAMAÑO DE UNA SOLDADURA DE FILETE



FILETE CONVEXO



FILETE CÓNCAVO



3.8 WPSs, PQRs Y WPQs

Cuando se va a hacer un trabajo utilizando soldadura, el primer paso es establecer por escrito que se va a soldar y como se va a soldar, materiales base, tipo y preparación de la unión, proceso de soldadura, material de aporte, gas, parámetros eléctricos, etc. Para esto se utiliza un WPS.

En inglés:

**WELDING
PROCEDURE
SPECIFICATION**

En español se usa como:

**ESPECIFICACIÓN DE
PROCEDIMIENTO DE
SOLDADURA**

Es común que las personas se refieran a estas especificaciones simplemente como "Procedimientos de Soldadura".

Dependiendo de la normativa aplicable, es posible que el WPS requiera una prueba de calificación, que usualmente consiste en hacer una o varias soldaduras de prueba que son sometidas a Pruebas Destructivas y/o No Destructivas cuyos resultados se registran en un PQR.

En inglés:

**PROCEDURE
QUALIFICATION
RECORD**

En español se usa como:

**REGISTRO DE
CALIFICACIÓN DE
PROCEDIMIENTO**

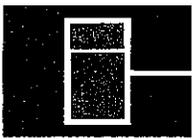
Cuando ya se tiene un WPS aprobado, ya se puede usar en el taller, pero solo lo puede usar un soldador calificado. Para calificar a una persona lo usual es pedirle que haga una soldadura de prueba para luego someterla a Pruebas Destructivas y/o No Destructivas cuyos resultados son registrados en un WPQ.

En inglés:

**WELDER
PERFORMANCE
QUALIFICATION RECORD**

En español se usa como:

**REGISTRO DE
CALIFICACIÓN DE
SOLDADOR**

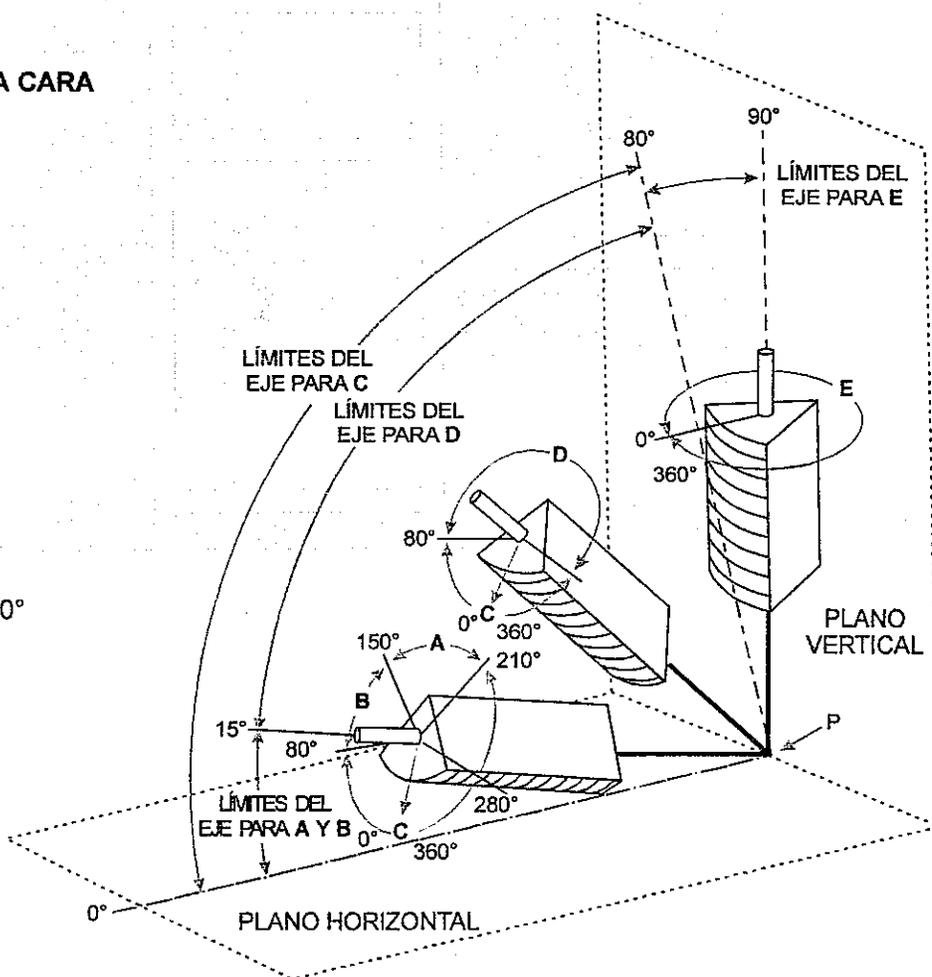
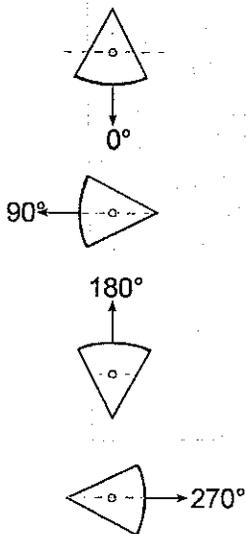


3.9 POSICIONES DE SOLDADURA

3.9.1 POSICIONES DE SOLDADURA DE RANURA

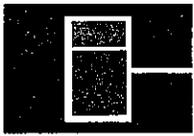
POSICIÓN	REFERENCIA DEL DIAGRAMA	INCLINACIÓN DEL EJE	ROTACIÓN DE CARA
PLANA	A	0° a 15°	180° ± 30°
HORIZONTAL	B	0° a 15°	90° ± 60° 270° ± 10° 60°
SOBRE CABEZA	C	0° a 80°	0° ± 80°
VERTICAL	D	15° a 80°	180° ± 100°
	E	80° a 90°	Todas

POSICIONES DE LA CARA



Notas:

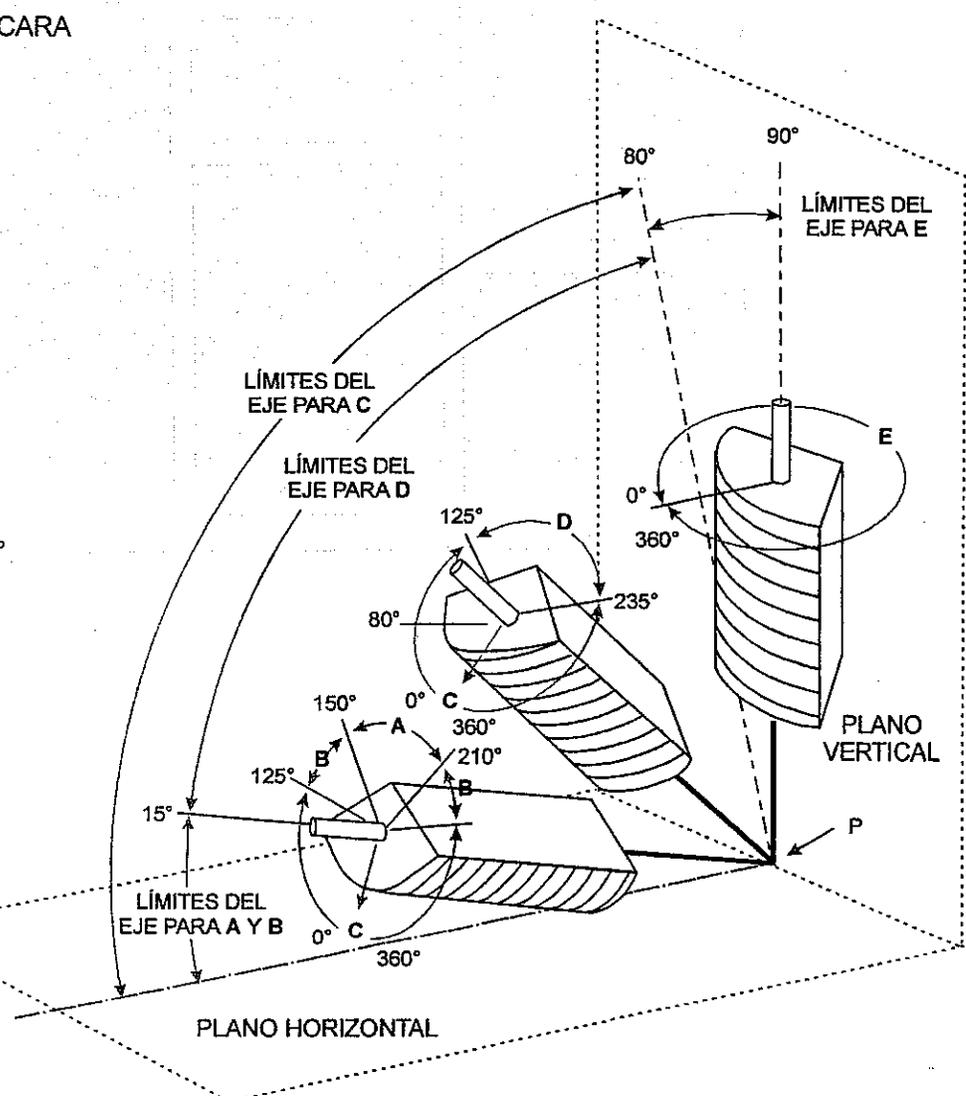
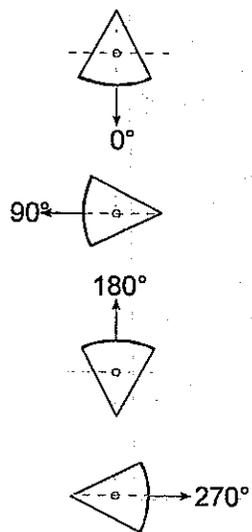
1. El plano de referencia horizontal siempre es tomado de tal manera que quede abajo de la soldadura que se está considerando.
2. La inclinación del eje se mide desde el plano de referencia horizontal hacia al plano de referencia vertical.
3. El ángulo de rotación de la cara es determinado por una línea perpendicular a la cara teórica de la soldadura que pasa a través del eje de la soldadura. La posición de referencia (0°) de rotación de la cara invariablemente apunta en la dirección opuesta a la cual se incrementa el ángulo del eje. Observando el punto P, el ángulo de rotación de la cara de la soldadura se mide en dirección de las manecillas del reloj desde la posición de referencia (0°).

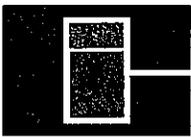


3.9.2 POSICIONES DE SOLDADURA DE FILETE

POSICIÓN	REFERENCIA DEL DIAGRAMA	INCLINACIÓN DEL EJE	ROTACIÓN DE CARA
PLANA	A	0° a 15°	180° ± 30°
HORIZONTAL	B	0° a 15°	135° ± 15° 225° ± 15°
SOBRE CABEZA	C	0° a 80°	0° ± 125°
VERTICAL	D	15° a 80°	180° ± 55°
	E	80° a 90°	Todas

POSICIONES DE LA CARA

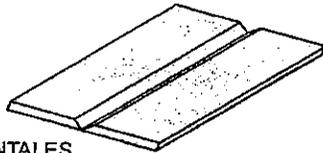




3.10 POSICIONES DE PRUEBA PARA CALIFICACION DE PROCEDIMIENTOS Y SOLDADORES

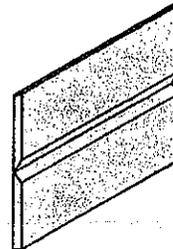
A) POSICIONES EN PLACA, SOLDADURA DE RANURA.

POSICIÓN 1G



PLACAS HORIZONTALES

POSICIÓN 2G



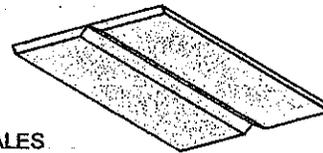
PLACAS VERTICALES;
EJE DE LA SOLDADURA
HORIZONTAL

POSICIÓN 3G



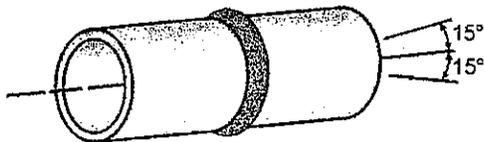
PLACAS VERTICALES;
EJE DE LA SOLDADURA
VERTICAL

POSICIÓN 4G

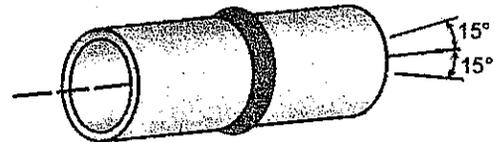


PLACAS HORIZONTALES

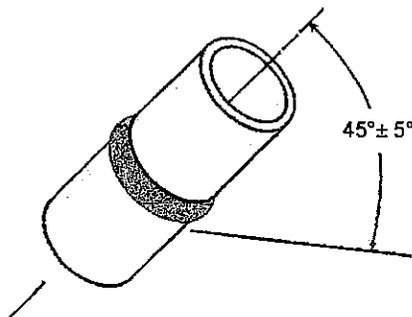
B) POSICIONES EN TUBO, SOLDADURA DE RANURA.



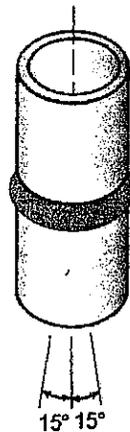
POSICIÓN 1G (ROTADA)



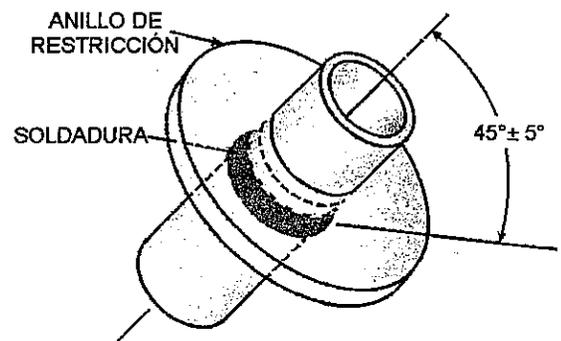
POSICIÓN 5G (FIJA)



POSICIÓN 6G (FIJA)



POSICIÓN 2G
(FIJA)



POSICIÓN 6GR (FIJA)



C) POSICIONES EN PLACA, SOLDADURA DE FILETE.

POSICIÓN 1F

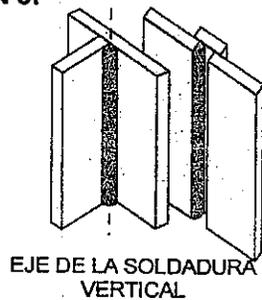


POSICIÓN 2F

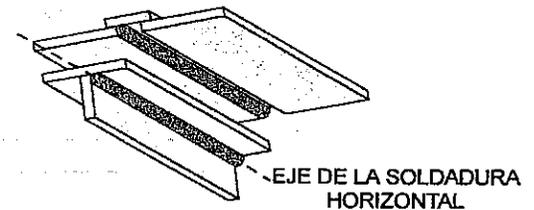


NOTA: UNA DE LAS PLACAS ESTÁ EN POSICIÓN HORIZONTAL

POSICIÓN 3F



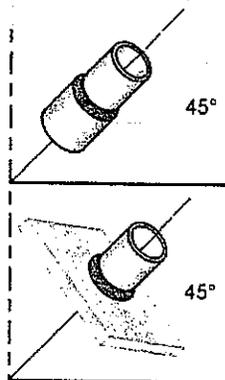
POSICIÓN 4F



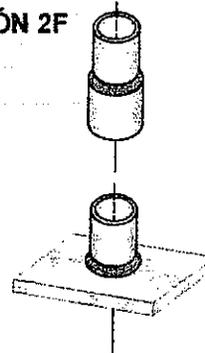
NOTA: UNA DE LAS PLACAS ESTÁ EN POSICIÓN HORIZONTAL

D) POSICIONES EN TUBO, SOLDADURA DE FILETE.

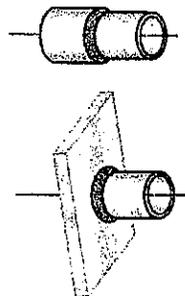
POSICIÓN 1F
(ROTADA)



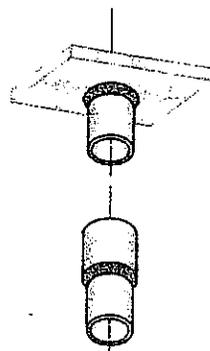
POSICIÓN 2F
(FIJA)



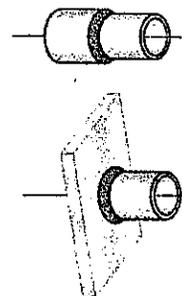
POSICIÓN 2FR
(ROTADA)



POSICIÓN 4F
(FIJA)



POSICIÓN 5F
(FIJA)





3.11 CLASIFICACION DEL PERSONAL DE SOLDADURA

Las personas que hacen soldadura se clasifican en tres categorías:

❖ **PUNTEADOR (TACKER):**

Es una persona que hace soldaduras para propósito de armado (TACK WELDS), pueden ser puntos o cordones, temporales o permanentes.

Usualmente el punteador utiliza SMAW.

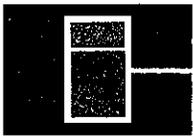
❖ **SOLDADOR (WELDER):**

Es una persona que efectúa soldaduras utilizando sus manos, lo cual requiere un alto grado de destreza.

El ejemplo típico son los soldadores de SMAW, GMAW, FCAW y GTAW.

❖ **OPERADOR DE SOLDADURA (WELDING OPERATOR):**

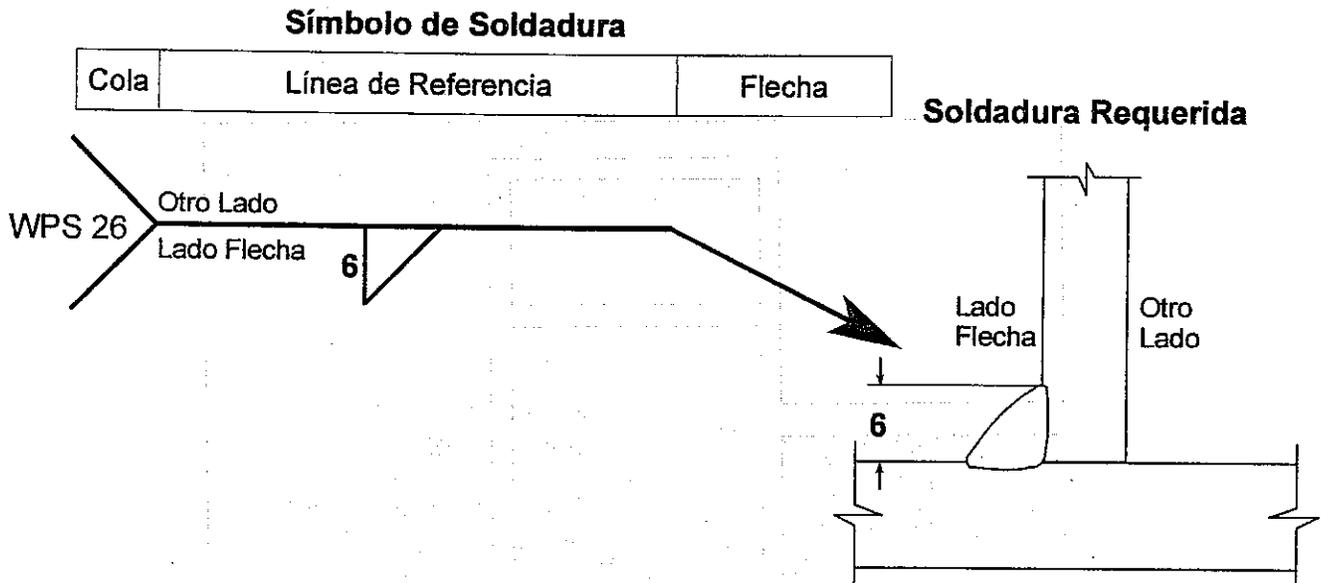
Es una persona capaz de operar una máquina de soldar, por ejemplo una de SAW, o que puede operar un ROBOT.



4. SIMBOLOGÍA DE SOLDADURA Y PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS

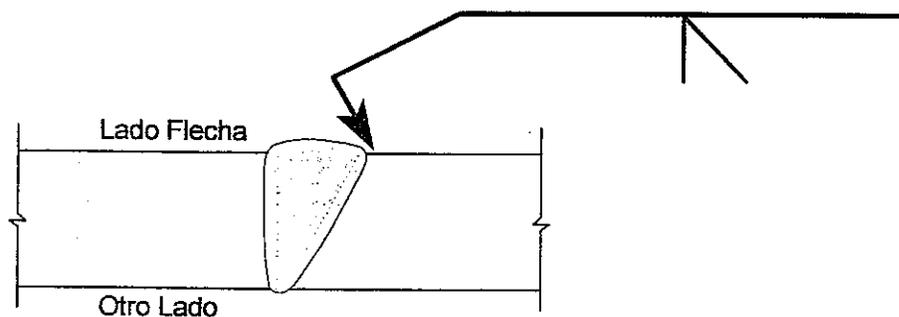
4.1 SIMBOLOGÍA DE SOLDADURA AWS

Al especificar soldaduras en planos y dibujos de fabricación, resulta muy práctico usar Símbolos de Soldadura, de acuerdo con **A2.4 - Standard Symbols for Welding, Brazing and Nondestructive Examination**.



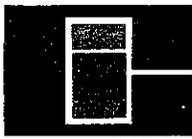
La cola se usa para especificaciones, procesos u otra información, en este símbolo se pide hacer una soldadura de filete utilizando el Procedimiento de Soldadura No.26. Sin embargo, es común encontrar símbolos sin cola.

La flecha establece la localización de la soldadura y puede estar quebrada para indicar cual de los dos miembros lleva bisel.

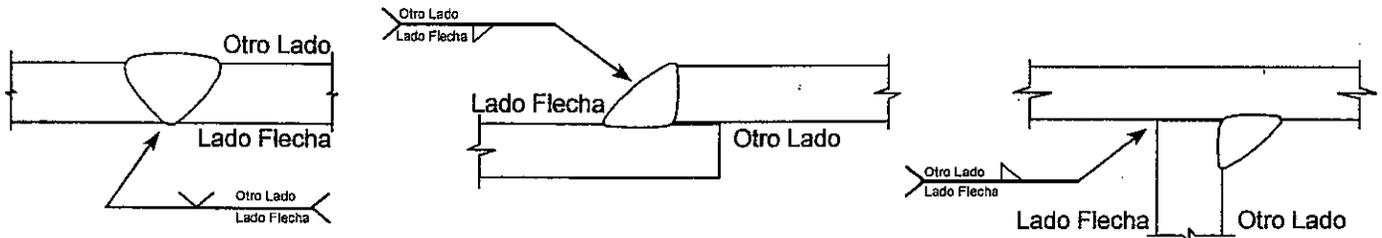


En la unión Línea de Referencia-Flecha se usan dos símbolos.





La información principal relativa al Tipo de Soldadura (Weld Symbol), que con frecuencia se denomina "Símbolo para Soldar", se encuentra sobre la Línea de Referencia, abajo de la línea para el Lado Flecha y arriba para el Otro Lado.



SÍMBOLOS BÁSICOS PARA SOLDAR (WELD SYMBOLS) MAS UTILIZADOS

RANURA (Groove)						FILETE (Fillet)
Cuadrada	Inclinada	Bisel	V	J	U	

SÍMBOLOS COMPLEMENTARIOS

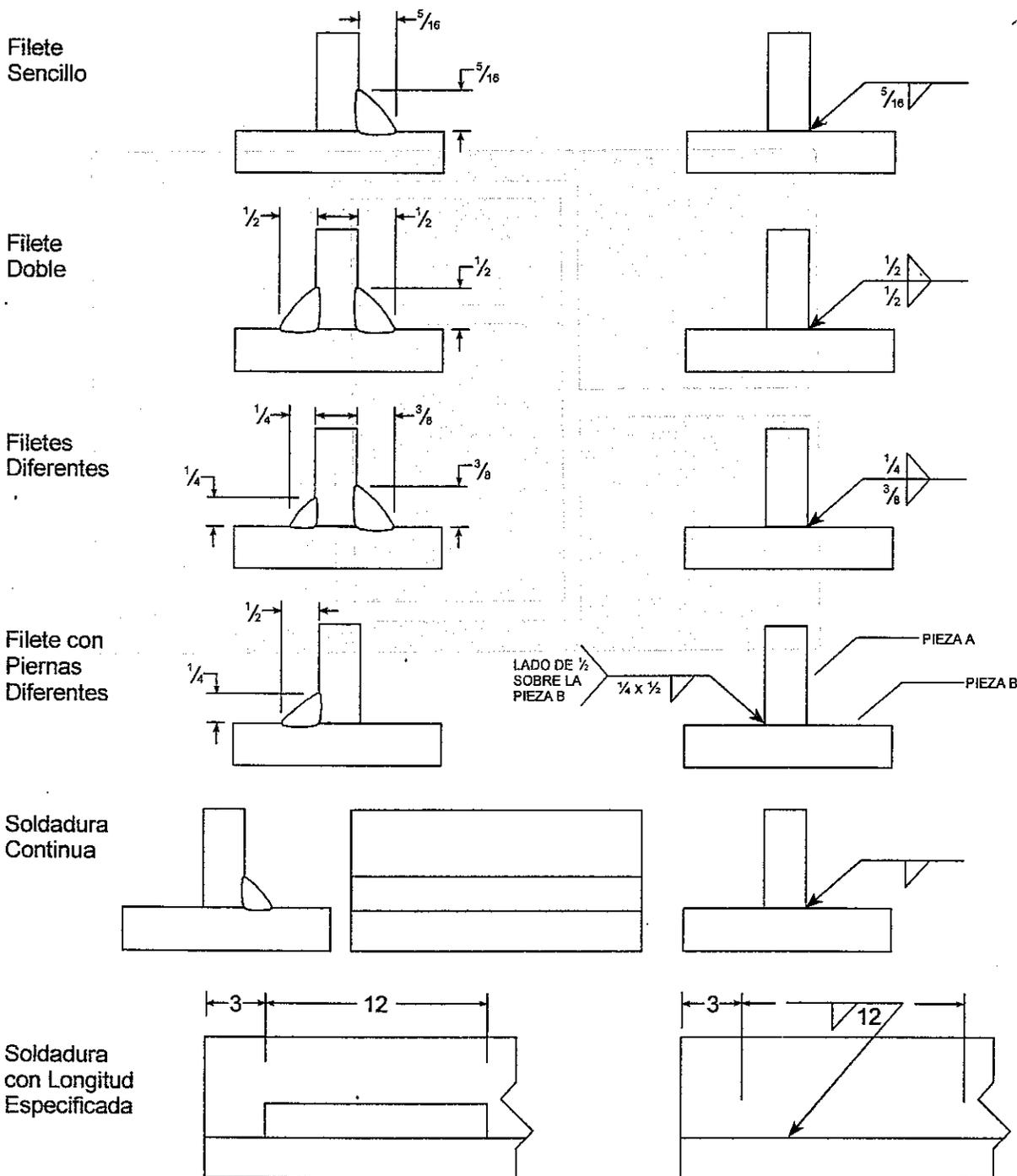
Fondeo Pasado	Inserto Consumible (cuadrado)	Respaldo o Espaciador (rectangular)	Contorno		
			Plano	Convexo	Cóncavo

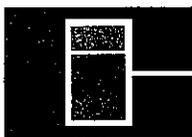


La información que aparece en el lado izquierdo del símbolo para soldar se refiere a TAMAÑO, la información del lado derecho se refiere a LONGITUD, por ejemplo:

SOLDADURA DESEADA

SÍMBOLO DE SOLDADURA



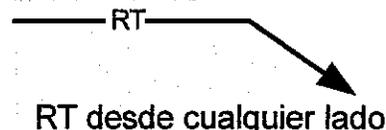
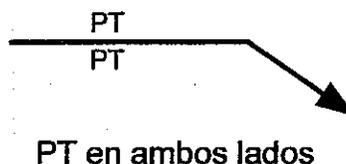
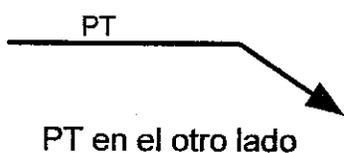


4.2 SIMBOLOGÍA DE PND AWS

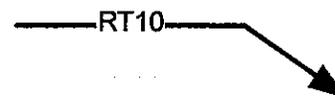
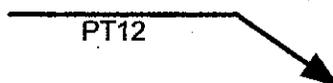
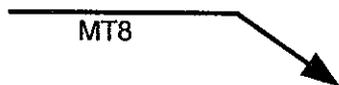
Para identificar los métodos de Prueba No Destructiva se utilizan los siguientes símbolos:

MÉTODO	SÍMBOLO	MÉTODO	SÍMBOLO
RADIOGRAFÍA	RT	CORRIENTES EDDY	ET
ULTRASONIDO	UT	RADIOGRAFÍA DE NEUTRONES	NRT
PENETRANTES	PT	PRUEBAS DE FUGA	LT
P. MAGNÉTICAS	MT	EMISIÓN ACÚSTICA	AE
INSPECCION VISUAL	VT	TERMOGRAFÍA	TIR

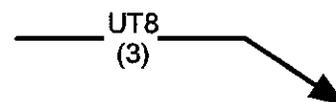
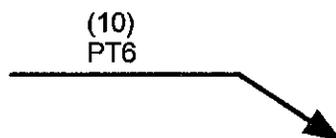
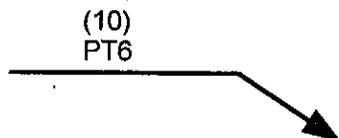
El lado de la soldadura donde se va a inspeccionar se indica así:



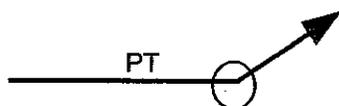
La extensión de la examinación se indica así:



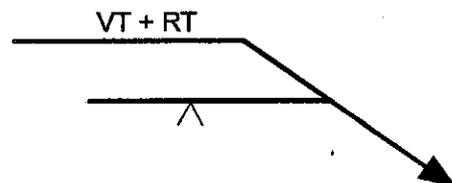
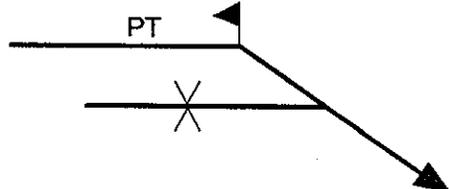
Estos símbolos indican además el número de pruebas (muestras).

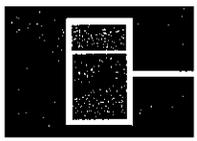


También se puede especificar inspección todo alrededor o inspección de campo.



Los símbolos de PND se pueden combinar con símbolos de soldadura.





5. PROPIEDADES MECÁNICAS Y QUÍMICAS DE LOS METALES

5.1 PROPIEDADES MECÁNICAS.

5.1.1 RESISTENCIA

La resistencia de un material es su capacidad para resistir algún tipo de carga aplicada. El tipo de carga es lo que determina la resistencia de la que se trata, por ejemplo:

- A) **RESISTENCIA A LA TENSIÓN:** La oposición que presenta un material a ser estirado, su capacidad máxima para resistir un valor de carga por unidad de área. Para una persona que calcula una estructura metálica, además de la resistencia máxima a la tensión importa el valor de carga por unidad de área que provoca una deformación plástica, su **PUNTO DE CEDENCIA**.

Ambos valores se expresan como **Esfuerzo** = $\frac{\text{Carga}}{\text{Área}}$ y el resultado se maneja en PSI, (lb/pulg²) ó Kg/cm².

- B) Otros tipos de resistencia son la resistencia a la compresión, la resistencia a torsión, la resistencia al impacto y la resistencia a la fatiga.

5.1.2 DUCTILIDAD

Es la capacidad de un material para ser deformado o estirado sin fallar. La ductilidad es la que determina si un material falla gradualmente (ruptura dúctil) o en forma repentina (ruptura frágil). En una placa de acero rodada la ductilidad es mejor en la dirección del rolado. Cuando una probeta es sometida a una prueba de tensión, el aumento de longitud (% de elongación) antes de la ruptura es indicativo de la ductilidad del material.

5.1.3 DUREZA

Es la propiedad mas fácil de medir y se define como la capacidad de un material para resistir la indentación. Los métodos mas comunes para medir dureza utilizan diferentes tipos de indentadores y cargas, son los siguientes: *ROCKWELL*, *BRINELL*, *VICKERS* y *KNOOP*.

5.1.4 TENACIDAD

La tenacidad es la capacidad de un material para absorber energía. Para el estudio de los materiales es importante la tenacidad de un material sano bajo una carga aplicada gradualmente y la tenacidad de un material con una falla o una ranura donde se aplica una carga súbita, este último caso es el que se usa con mas frecuencia, por eso la tenacidad se conoce también como resistencia al impacto.

5.1.5 RESISTENCIA A LA FATIGA

Es la capacidad de una material para resistir esfuerzos cíclicos repetitivos con valores inferiores a la resistencia máxima a la tensión del material.

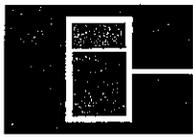
La resistencia a la fatiga se expresa normalmente como el número de ciclos requeridos para hacer fallar un material.



PROPIEDADES MECÁNICAS DE ALGUNOS METALES

Metal Base o Aleación	Punto de cedencia			Resistencia a la Tensión			% de Elongación en 2" (50mm)	Dureza BHN
	lb/pulg ²	MPa	Kg/mm ²	lb/pulg ²	MPa	Kg/mm ²		
Aluminio y aleaciones	5,000	34.5	3.5	13,000	89.6	9.1	35	23
Acero, Baja aleación	50,000	344.7	35.1	75,000	517.1	52.7	28	170
Acero, Alto carbono	90,000	620.5	63.2	140,000	965.2	98.4	20	201
Acero, Bajo carbono	36,000	248.2	25.3	60,000	413.6	42.2	35	110
Acero, inoxidable (Austenita)	40,000	275.8	28.1	90,000	620.5	63.2	23	160
Acero, inoxidable(Ferrita)	45,000	310.2	31.6	75,000	517.1	52.7	30	155
Acero, inoxidable (Martensita)	80,000	551.5	56.2	100,000	688.9	70.3	26	250
Acero, Manganeso (14Mn)	75,000	517.1	52.7	118,000	813.5	82.9	22	200
Acero, Medio carbono	52,000	358.5	36.5	87,000	599.8	61.2	24	170
Bronce, Aluminio (90Cu-9Al)	30,000	206.8	21.0	76,000	523.9	53.4	10	125
Bronce, Fósforo (90Cu-10Sn)	28,000	193.0	19.7	66,000	455.0	46.4	35	148
Bronce, Silicio (96 Cu-3Si)	15,000	103.4	10.5	40,000	275.8	28.1	52	119
Cobre(desoxidante)	10,000	68.9	7.0	33,000	227.5	23.2	40	30
Cobre Níquel (70Cu-30Ni)	20,000	137.9	14.0	55,000	379.2	38.6	45	95
Estaño	1,710	11.8	1.2	3,130	21.6	2.2	50	5.3
Hierro, forjado	27,000	186.1	19.0	400,000	275.8	28.1	25	100
Hierro, fundido	--	--	--	25,000	172.4	17.5	0.5	180
Inconel (76Ni-16Cr-8Fe)	35,000	241.3	24.6	85,000	586.0	59.7	45	150
Magnesio	13,000	89.6	9.1	25,000	172.4	17.5	4	40
Monel (67 Ni-30Cu)	35,000	241.3	24.6	75,000	517.1	52.7	45	125
Níquel	8,500	58.6	6.0	46,000	317.1	32.3	40	85
Níquel Plata	20,000	137.9	14.0	58,000	399.8	40.7	35	90
Oro	--	--	--	17,000	117.2	11.9	45	25
Plata	8,000	55.2	5.6	23,000	158.6	16.2	35	90
Plomo	19,000	131.0	13.4	2,500	17.2	1.7	45	6
Tantalio	--	--	--	50,000	344.7	35.1	40	300
Titanio	40,000	275.8	28.1	60,000	413.6	42.2	28	--
Tungsteno	--	--	--	500,000	3447.0	351.5	15	230
Zinc	18,000	124.1	12.6	25,000	172.35	17.5	20	38

**Los valores dependen del tratamiento térmico o las condiciones mecánicas del metal



5.2 PROPIEDADES QUIMICAS

La siguiente lista muestra los efectos de algunos de los elementos presentes en los aceros, en las propiedades del acero, incluyendo su soldabilidad.

CARBÓN:

El carbón es el más importante elemento aleante en el acero y puede estar presente hasta en un 2% (aunque la mayoría de los aceros soldados tienen menos de 0.5%). El carbón puede estar disuelto en el Hierro o en una forma combinada como Carburo de Hierro (Fe_3C).

Un contenido alto de carbón implica alta dureza y alta resistencia a la tensión, así como una mayor respuesta al tratamiento térmico (Endurecibilidad). Por otro lado, un mayor contenido de carbón reduce la soldabilidad.

AZUFRE:

Es una impureza indeseable en el acero, más que un elemento aleante. Durante la fabricación del acero se hace un especial esfuerzo para eliminarlo. Cuando existe en cantidades mayores de 0.05% tiende a causar fragilidad y reduce la soldabilidad.

Porcentajes del azufre entre 0.10 y 0.30% ayudan a mejorar la maquinabilidad del acero. Estos aceros se conocen como "sulfurizados" o "de fácil maquinado".

FÓSFORO:

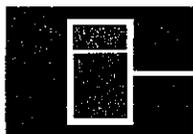
El fósforo también se considera una impureza indeseable en el acero. Se encuentra normalmente en cantidades de hasta 0.04% en la mayoría de los aceros al carbón. En aceros endurecidos, tiende a causar fragilidad. En aceros de baja aleación de alta resistencia, se puede agregar fósforo en cantidades de hasta 0.10% para mejorar resistencia y aguante a la corrosión.

SILICIO:

Usualmente se encuentra sólo en pequeñas cantidades (0.20%) en aceros rolados donde se utiliza como un desoxidante. Sin embargo, en las fundiciones de acero es común encontrarlo de 0.34 a 1.00%. El silicio se disuelve en el acero y tiende a aumentar su resistencia. El metal de soldadura usualmente contiene aproximadamente 0.50% de silicio como desoxidante. Algunos metales de aporte pueden contener hasta 1% para ayudar a una mejor limpieza y desoxidación de la soldadura en superficies contaminadas. Cuando estos metales de aporte son utilizados para soldar sobre superficies limpias, la resistencia del metal de soldadura resultante será marcadamente más alta. La disminución que resulta en la ductilidad podría presentar problemas de agrietamientos en algunos casos.

MANGANESO:

Los aceros usualmente contienen al menos 0.30% de manganeso. Ayuda en la desoxidación del acero, impide la formación de inclusiones de sulfuro de hierro y aumenta la resistencia del acero al aumentar su endurecibilidad. En los aceros al carbón es común tenerlo en cantidades de hasta 1.5%.



CROMO:

El cromo es un poderoso elemento aleante en el acero. Se agrega por dos razones principales: primero, aumenta fuertemente la endurecibilidad del acero; segundo, aumenta fuertemente el aguante a la corrosión del hierro y el acero en medios muy oxidantes. Su presencia en algunos aceros podría causar dureza excesiva y agrietamientos sobre o junto de la soldadura. Los aceros inoxidable contienen cromo en cantidades que exceden del 12%.

MOLIBDENO:

Este elemento es un fuerte formador de carburos y se encuentra usualmente presente en el acero aleado en cantidades menores del 1.0%. Se agrega para aumentar endurecibilidad y resistencia a altas temperaturas.

NÍQUEL:

Se agrega para aumentar la endurecibilidad de los aceros. Hace muy bien esta función porque con frecuencia aumenta tenacidad y ductilidad, aún con los aumentos de resistencia y dureza. El níquel se usa frecuentemente para mejorar la tenacidad del acero a bajas temperaturas.

ALUMINIO:

Este elemento se agrega al acero en cantidades muy pequeñas como desoxidante. Es además un refinador del grano que ayuda a una mayor tenacidad.

VANADIO:

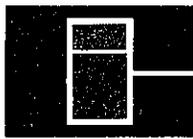
La adición de vanadio proporciona un aumento en la endurecibilidad del acero, es muy efectivo, por lo que se usa en pequeñas cantidades. En porcentajes mayores del 0.05% puede haber una tendencia a fragilidad en el acero durante los tratamientos térmicos para relevado de esfuerzos.

COLOMBIO:

El colombio, como el vanadio, se utiliza generalmente para aumentar la endurecibilidad del acero. Sin embargo, debido a su alta afinidad por el carbón, se puede combinar con éste para causar una disminución general en endurecibilidad.

GASES DISUELTOS:

El hidrógeno (H_2), oxígeno (O_2) y el nitrógeno (N_2), se disuelven en el metal fundido y tienden a fragilizarlo si no son removidos. Los procesos para refinación del acero están diseñados para eliminar todo lo que se pueda de estos gases. Se utilizan fundentes y gases aislantes especiales para impedir su inclusión en el metal fundido.



5.3 SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS AISI-SAE-UNS

El primer dígito indica el tipo al cual pertenece el acero.

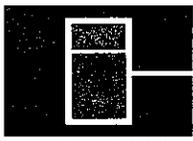
En el caso de aceros aleados simples, el segundo dígito indica el porcentaje aproximado del elemento de aleación predominante.

Los dos últimos dígitos indican el contenido de carbono en centésimas de por ciento.

Los números básicos para los diversos tipos de aceros son:

TIPO DE ACERO	NÚMERO
Aceros al Carbono	1xxx
Carbono Corriente	10xx
Corte Franco (free-cutting)	11xx
Aceros al Manganeso	13xx
Aceros al Níquel	2xxx
Níquel 3.5%	23xx
Níquel 5.0%	25xx
Aceros al Cromo-Níquel	3xxx
Níquel 1.25%, Cromo 0.60%	31xx
Níquel 1.75%, Cromo 1.00%	32xx
Níquel 3.50%, Cromo 1.50%	33xx
Aceros al Molibdeno	4xxx
Carbono Molibdeno	40xx
Aceros al Cromo-Molibdeno	
Cromo 1.00%, Molibdeno 0.20%	41xx
Aceros al Níquel-Cromo-Molibdeno	
Níquel 1.80%, Cromo 0.50%, Molibdeno 0.25%	43xx
Aceros al Níquel-Molibdeno	
Níquel 1.50%, Molibdeno 0.25%	46xx
Níquel 3.50%, Molibdeno 0.25%	48xx
Aceros al Cromo	5xxx
Cromo 0.40%	50xx
Cromo 1.00%	51xx
Cromo 1.50%	52xx
Aceros al Cromo-Vanadio	6xxx
Cromo 1.00%, Vanadio 0.10%	61xx
Aceros de Bajo Níquel-Cromo-Molibdeno	8xxx
Níquel 0.55%, Cromo 0.50%, Molibdeno 0.20%	86xx
Níquel 0.55%, Cromo 0.50%, Molibdeno 0.25%	87xx
Aceros al Silicio-Manganeso	9xxx
Silicio 2.00%, Manganeso 0.85%	92xx
Aceros al Níquel-Cromo-Molibdeno	
Níquel 3.00%, Cromo 1.20%, Molibdeno 0.10%	93xx
Níquel 0.45%, Cromo 0.40%, Molibdeno 0.10%	94xx
Níquel 0.55%, Cromo 0.20%, Molibdeno 0.20%	97xx
Níquel 1.00%, Cromo 0.80%, Molibdeno 0.25%	98xx

Ejemplos: Un acero 1020 indica que se trata de un acero al carbono con 0.20% de carbono; un acero 4140 indicará que se trata de un acero al cromo-molibdeno con 0.40% de carbono.



6. PRUEBAS DESTRUCTIVAS

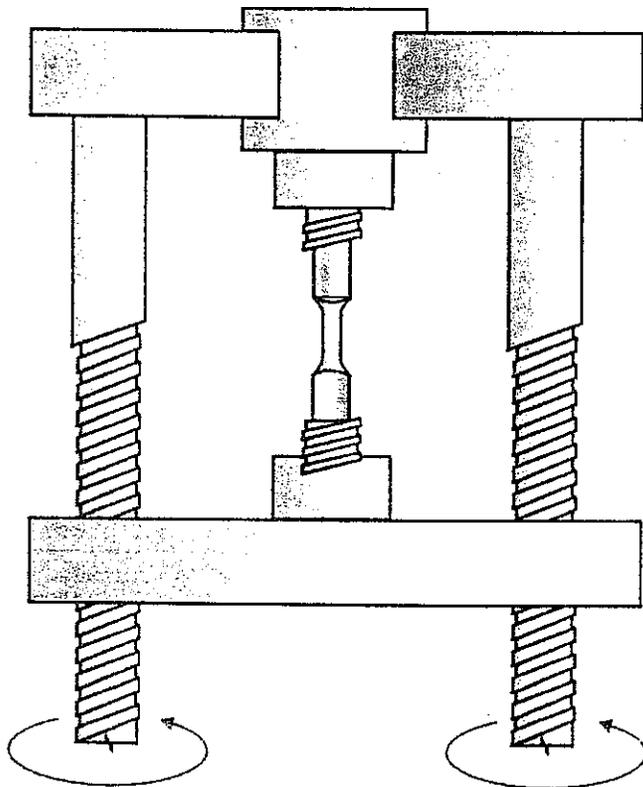
6.1 PRUEBA DE RESISTENCIA A LA TENSIÓN.

Esta prueba es la que más se utiliza para verificar las siguientes propiedades mecánicas de un material, permite obtener información sobre:

- ❖ Resistencia Última a la Tensión
- ❖ Punto de Cedencia
- ❖ Porcentaje de Elongación
- ❖ Porcentaje de Reducción de Área
- ❖ Ductilidad
- ❖ Módulo de Elasticidad
- ❖ Límite Proporcional
- ❖ Límite Elástico
- ❖ Tenacidad

Algunas de estas propiedades pueden ser determinadas directamente en la lectura de un medidor, mientras que otras resultan del análisis de la gráfica esfuerzo-deformación que se produce durante la prueba. La ductilidad se puede determinar haciendo mediciones comparativas de las probetas antes y después de la prueba.

Los mejores resultados se obtienen con una probeta de sección reducida y la preparación de la probeta es crítica, ya que pequeñas imperfecciones en el acabado de la superficie pueden resultar en reducciones significativas de la resistencia y ductilidad de la muestra.



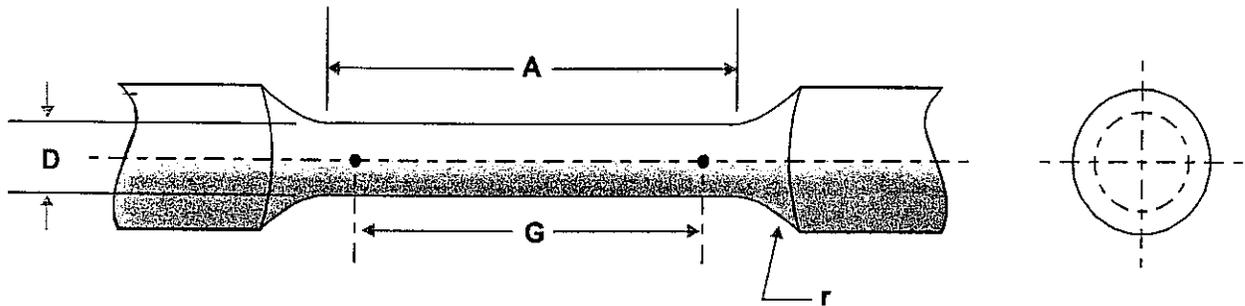
MÁQUINA PARA PRUEBA DE TENSIÓN



Probeta Redonda
Fracturada

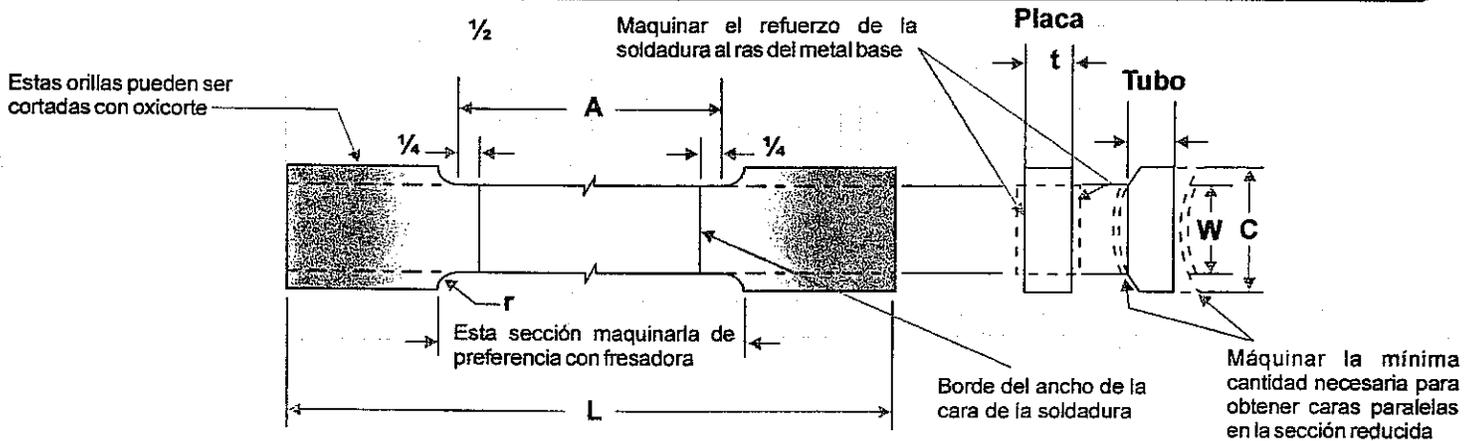


Probetas Cilíndrica y Rectangular Estándar para Prueba de Resistencia a la Tensión



Dimensiones

Diámetro Nominal	Probeta estándar	Probetas pequeñas proporcionales a la estándar	
	0.500 Ø	0.350 Ø	0.250 Ø
G: Longitud del calibrador	2.000 ± 0.005	1.400 ± 0.005	1.000 ± 0.005
D: Diámetro	0.500 ± 0.010	0.350 ± 0.007	0.250 ± 0.005
r: radio mínimo	3/8	1/4	3/16
A: Longitud mínima de la sección reducida	2 1/4	1 1/4	1 1/4

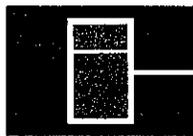


DIMENSIONES

CLAVES	DIMENSIONES				
	Probeta en Placa			Probeta en Tubo	
	$T_p \leq 1$	$1 < T_p < 1\frac{1}{2}$	$T_p \geq 1\frac{1}{2}$	2 y 3 Ø	6 y 8 Ø ó largo del tamaño del tubo
A: Longitud de la Sección Reducida	Ancho de la cara de la soldadura + 1/2, 2 1/4 mín.			Ancho de la cara de la soldadura + 1/2, 2 1/4 mín.	
L: Longitud Total mínima	Como se requiera según equipo de prueba			Como se requiera según equipo de prueba	
W: Ancho de la Sección Reducida	3/4 mín.	3/4 mín.	3/4 mín.	1/2 ± 0.01	3/4 mín.
C: Ancho de la Sección de Sujeción	$W \pm 1/2$ mín.	$W \pm 1/2$ mín.	$W \pm 1/2$ mín.	$W \pm 1/2$ mín.	$W \pm 1/2$ mín.
t: Espesor	T_p	T_p	T_p	El máximo posible con caras paralelas con longitud A	
r: Radio mínimo	1/2	1/2	1/2	1	1

Tp: Espesor Nominal de Placa

Nota: Todas las acotaciones están dadas en pulgadas.



Cuando se fractura totalmente una probeta, la resistencia última a la tensión se calcula dividiendo la carga máxima aplicada entre el área transversal de la probeta.

CÁLCULO DEL ÁREA TRANSVERSAL - PROBETAS CILÍNDRICAS

Ejemplo No. 1

Diámetro (d) = 0.505"
Área (A) = $\pi d^2/4$
 $A = (3.1416) (0.505)^2/4$
 $A = 0.200 \text{ pulg}^2$

Ejemplo No. 2

Diámetro = 0.253"
 $A = \pi [(0.253)^2/4]$
 $A = 0.050 \text{ pulg}^2$

CÁLCULO DEL ÁREA TRANSVERSAL - PROBETAS RECTANGULARES

Ejemplo No. 1

Ancho (a) = 1.502"
 Espesor (t) = 0.506"
Área (A) = at
 $A = (1.502)(0.506)$
 $A = 0.760 \text{ pulg}^2$

Ejemplo No. 2

Ancho = 1.503"
 Espesor = 0.748"
 $A = (1.503)(0.748)$
 $A = 1.124 \text{ pulg}^2$

CÁLCULO DE LA RESISTENCIA ULTIMA A LA TENSIÓN

Ejemplo No. 1

Carga última (C) = 47,525 lb
 Área (A) = 0.760 pulg²
Resistencia Última (R) = $\frac{C}{A}$
 $R = \frac{47,525}{0.760} = 62,533 \text{ lb/pulg}^2$
 $R = 62,533 \text{ PSI}$

Ejemplo No. 2

Carga Última = 92,329 lb
 Área = 1.124 pulg²
 $R = \frac{92,329}{1.124}$
 $R = 82,143 \text{ PSI}$

CÁLCULO DE PUNTO DE CEDENCIA

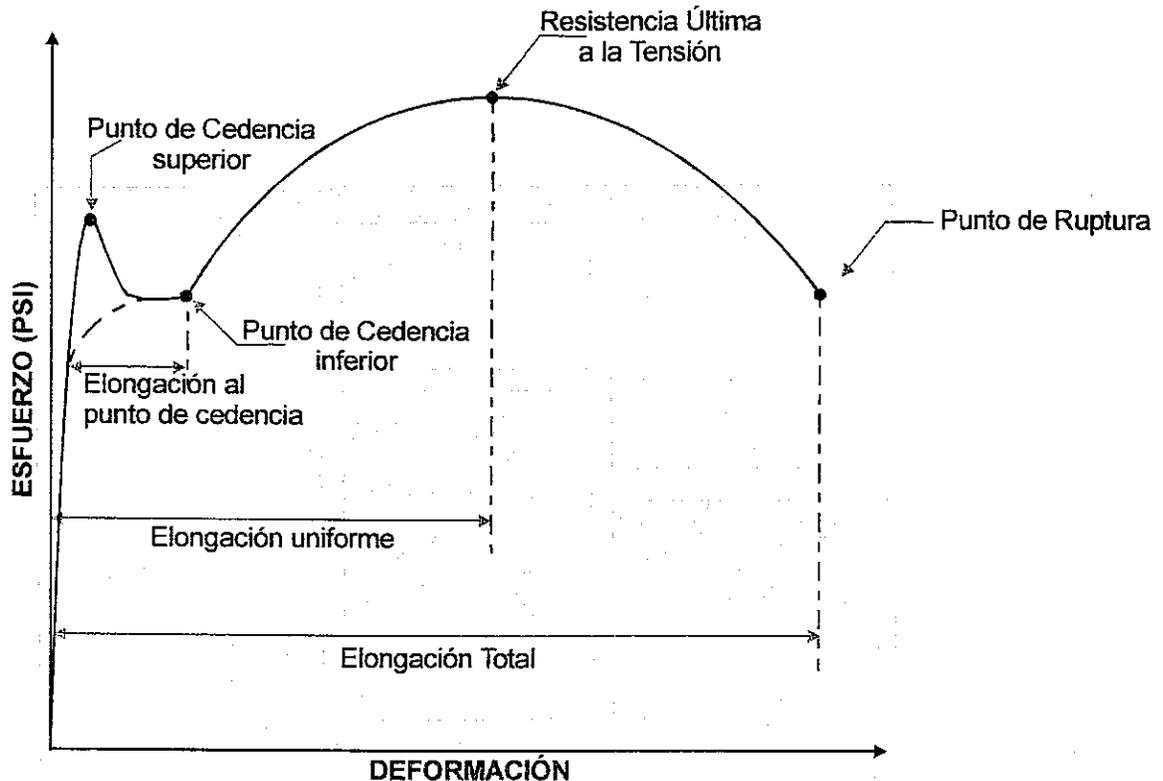
Ejemplo No. 1

Carga de Cedencia (Cc) = 28,446 lb
 Área (A) = 0.760 pulg²
Punto de Cedencia (Pc) = $\frac{Cc}{A}$
 $Pc = \frac{28,446}{0.760} = 37,420 \text{ PSI}$

Ejemplo No. 2

Carga de Cedencia = 60,274 lb
 Área = 1.124 pulg²
 $Pc = \frac{60,274}{1.124}$
 $Pc = 53,625 \text{ PSI}$

El análisis de la gráfica esfuerzo-deformación que se puede obtener durante una prueba de tensión nos proporciona importante información sobre el material a prueba, la siguiente es una gráfica típica para un acero de bajo carbono:



La prueba inicia con cero esfuerzo y cero deformación, al aumentar el esfuerzo la deformación aumenta en forma lineal, la inclinación de esta línea es un valor conocido como módulo de elasticidad.

Si se suspende la carga en este momento, la probeta regresa a su longitud original, pero si se sigue aumentando, llega a su límite elástico y se produce una deformación permanente (plástica).

Si se continúa aumentando el esfuerzo, se llega a un punto que se denomina Punto de Cedencia, donde el esfuerzo disminuye y la deformación continúa aumentando.

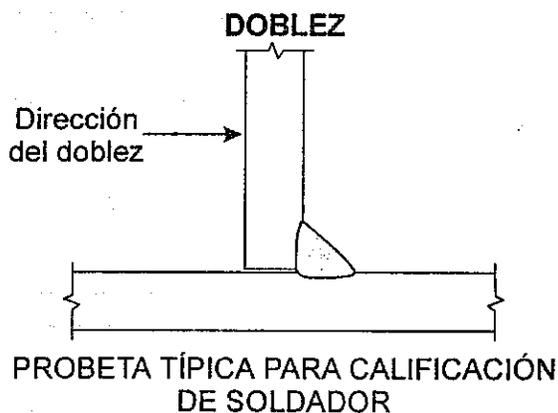
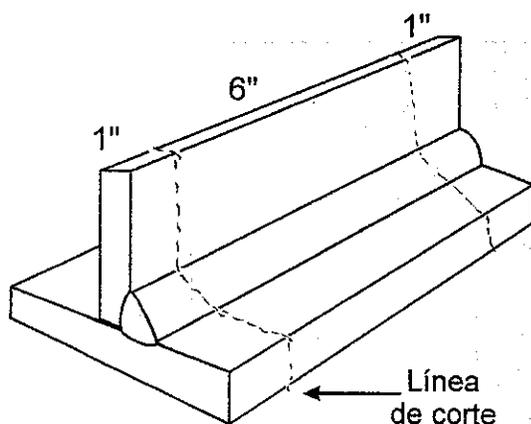
La deformación producida hasta aquí provoca en la probeta lo que se conoce como endurecimiento por trabajo y de aquí en adelante el esfuerzo continúa aumentando en una forma no lineal para alcanzar un valor de esfuerzo máximo y luego disminuir hasta el punto de ruptura del material.



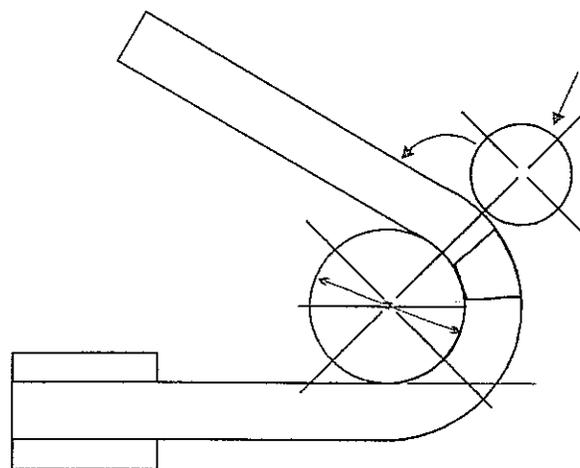
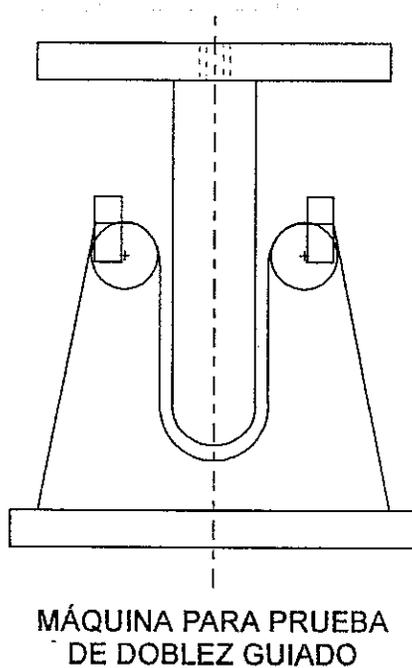
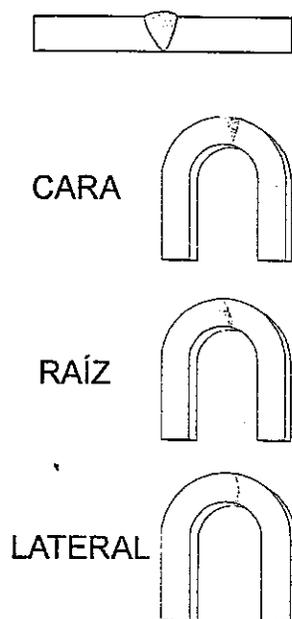
6.2 PRUEBAS DE DOBLEZ LIBRE Y DOBLEZ GUIADO

Las pruebas de doblez se utilizan típicamente para comprobar la ductilidad del material y el doblez puede ser libre o guiado. Sin embargo, en inspección de soldadura las pruebas de doblez casi siempre son efectuadas para verificar sanidad.

Un ejemplo típico de prueba de doblez libre es el que se muestra en la siguiente figura, se trata de doblar la placa superior hasta tocar la placa base y luego inspeccionar visualmente para detectar fallas del tipo de porosidad, falta de fusión, etc.



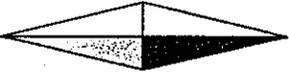
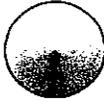
En soldaduras a tope se utilizan casi siempre pruebas de doblez TRANSVERSALES que pueden ser de CARA, RAÍZ o LATERALES, ya doblada la probeta se inspecciona la cara convexa en busca de posibles defectos.





6.3 PRUEBAS DE DUREZA

La dureza se define como la oposición que presenta un material a ser indentado. Para determinar la dureza se utilizan diferentes tipos de indentadores.

PRUEBA	INDENTADOR	FORMA DE LA INDENTACIÓN
BRINELL	Esfera de acero o carburo de Tungsteno de 10 mm Ø	
VICKERS	Diamante piramidal	
KNOOP Microdureza	Diamante piramidal	
ROCKWELL		
A } C } D }	Diamante cónico	
B } F }	Esfera de acero de 1/16" Ø	
G } E }	Esfera de acero de 1/8" Ø	

La dureza es una de las medidas más fáciles de obtener debido a los diferentes métodos que se usan para determinarla.

- ❖ **DUREZA BRINELL:** Este método es comúnmente usado para determinar la dureza en piezas grandes de una gran variedad de materiales porque el indentador cubre una área relativamente grande.

En la prueba Brinell, un indentador es forzado dentro de la superficie del objeto a prueba con una cierta carga, cuando esta carga es removida se mide el tamaño de la huella que quedó y se determina la dureza en tablas especificadas.

- ❖ **DUREZA ROCKWELL:** Utiliza diferentes indentadores para diferentes rangos de dureza, los indentadores utilizados son puntas de diamante o esferas de acero.
- ❖ **DUREZA VICKERS Y KNOOP:** Se refiere a pruebas de microdureza porque la impresión que dejan se debe observar con lupa, estas dos pruebas se utilizan para verificar dureza en piezas o área pequeñas y las dos utilizan indentadores de diamante piramidal, pero su configuración es diferente.

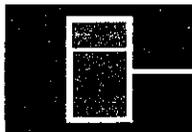
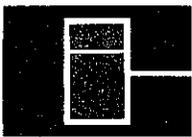


TABLA DE CONVERSIÓN PARA PRUEBAS DE DUREZA

<u>BRINELL</u>		<u>VICKERS</u>	<u>ROCKWELL</u>		<u>RESISTENCIA A LA TENSION</u> KSI
Diámetro en mm Carga de 300 Kg Bola de 10 mm	No. de Dureza		C Carga de 150 Kg Cono de Diamante de 120°	B Carga de 100 Kg Bola de 1/16" Ø	
2.80	477	515	49	117	238
2.85	461	494	47	116	229
2.90	444	472	46	115	220
2.95	429	454	45	115	212
3.00	415	437	44	114	204
3.05	401	420	42	113	196
3.10	388	404	41	112	189
3.15	375	389	40	112	182
3.20	363	375	38	110	176
3.25	352	363	37	110	170
3.30	341	350	36	109	165
3.35	331	339	35	109	160
3.40	321	327	34	108	155
3.45	311	316	33	108	150
3.50	302	305	32	107	146
3.55	293	296	31	106	142
3.60	285	287	30	105	138
3.65	277	279	29	104	134
3.70	269	270	28	104	131
3.75	262	263	26	103	128
3.80	255	256	25	102	125
3.85	248	248	24	102	122
3.90	241	241	23	100	119
3.95	235	235	22	99	116
4.00	229	229	21	98	113
4.05	223	223	20	97	110
4.10	217	217	18	96	107
4.15	212	212	17	96	104
4.20	207	207	16	95	101
4.25	202	202	15	94	99
4.30	197	197	13	93	97
4.35	192	192	12	92	95
4.40	187	187	10	91	93
4.45	183	183	9	90	91
4.50	179	179	8	89	89
4.55	174	174	7	88	87
4.60	170	170	6	87	85
4.65	166	166	4	86	83
4.70	163	163	3	85	82
7.75	159	159	2	84	80
4.80	156	156	1	83	78
4.85	153	153	---	82	76
4.90	149	149	---	81	75
4.95	146	146	---	80	74
5.00	143	143	---	79	72
5.05	140	140	---	78	71
5.10	137	137	---	77	70
5.15	134	134	---	76	68
5.20	131	131	---	74	66
5.25	128	128	---	73	65
5.30	126	126	---	72	64
5.35	124	124	---	71	63
5.40	121	121	---	70	62
5.45	118	118	---	69	61
5.50	116	116	---	68	60



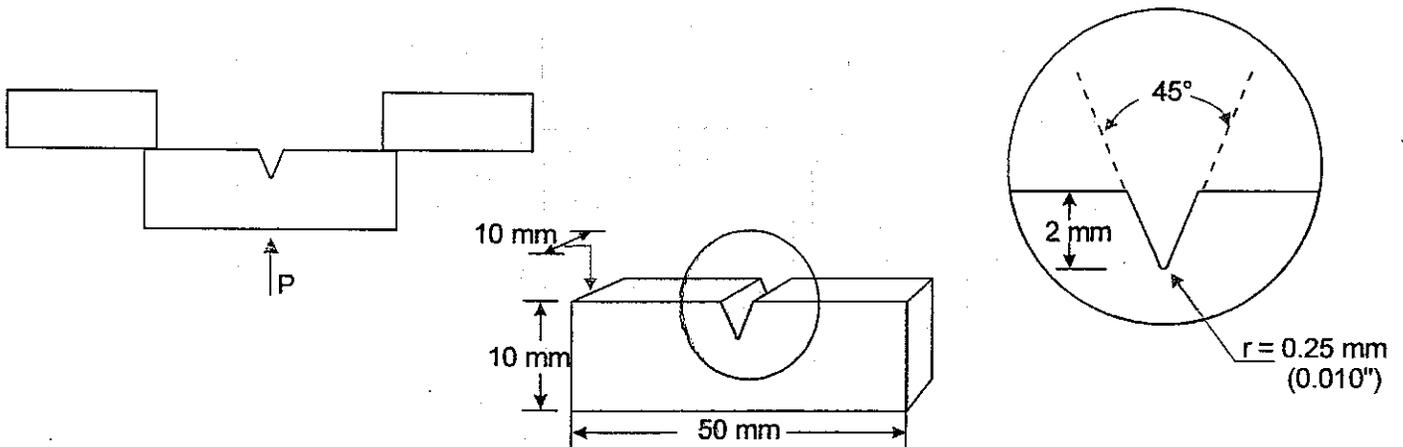
6.4 PRUEBAS DE RESISTENCIA AL IMPACTO

Las pruebas de impacto nos permiten determinar la disminución en resistencia a la fractura causada por una carga repentina en presencia de una muesca.

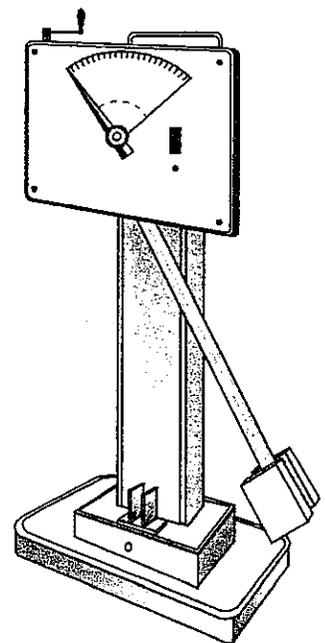
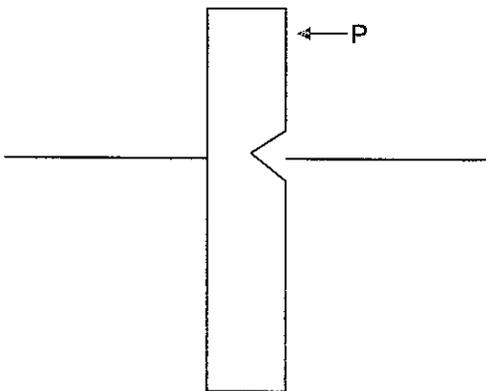
Existen dos métodos fundamentales:

- ❖ La prueba Charpy
- ❖ La prueba Izod

En la prueba Charpy una probeta de tipo rectangular soportada en sus extremos y con una muesca perfectamente definida es golpeada en forma transversal. La energía que se absorbe al fracturar la probeta es medida como una disminución en energía del péndulo que golpea.



En la prueba Izod el principio es el mismo, solo que el diseño de la probeta es diferente. La muesca tiene un radio agudo en la raíz y esto implica grandes diferencias en valores de energía absorbida entre aceros tenaces y frágiles.

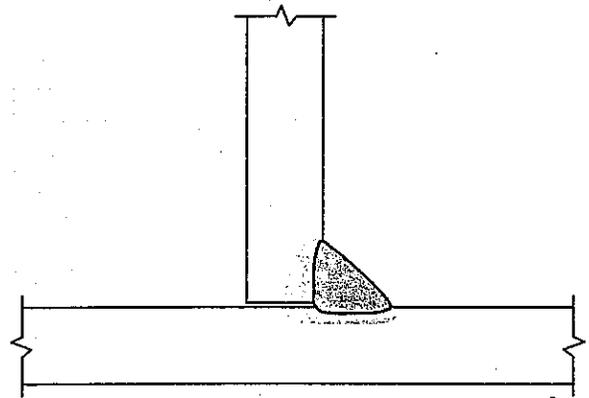
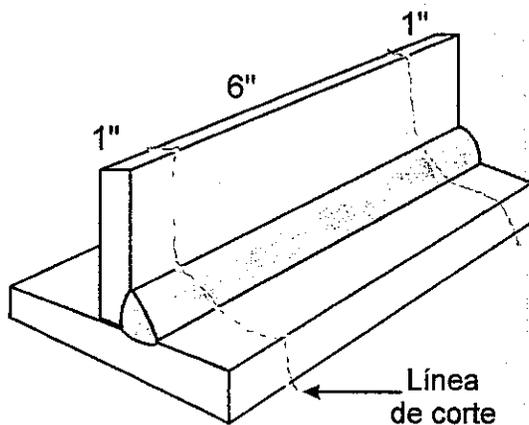


6.5 PRUEBAS DE MACROATAQUE

Las pruebas de macroataque son utilizadas con el fin de determinar:

1. La sanidad de la soldadura
2. La distribución de las inclusiones no-metálicas en la soldaduras
3. El número de pasos
4. La extensión de la zona afectada por el calor
5. La localización y profundidad de penetración de la soldadura

En las pruebas macroscópicas, después de hacer un corte transversal en la probeta y pulir según se requiera, se ataca con ácido o con algún otro agente para revelar la configuración de la soldadura. La observación se efectúa a simple vista o con aumentos de hasta 10 veces.



Un procedimiento común y sencillo para aceros al carbón es el siguiente:

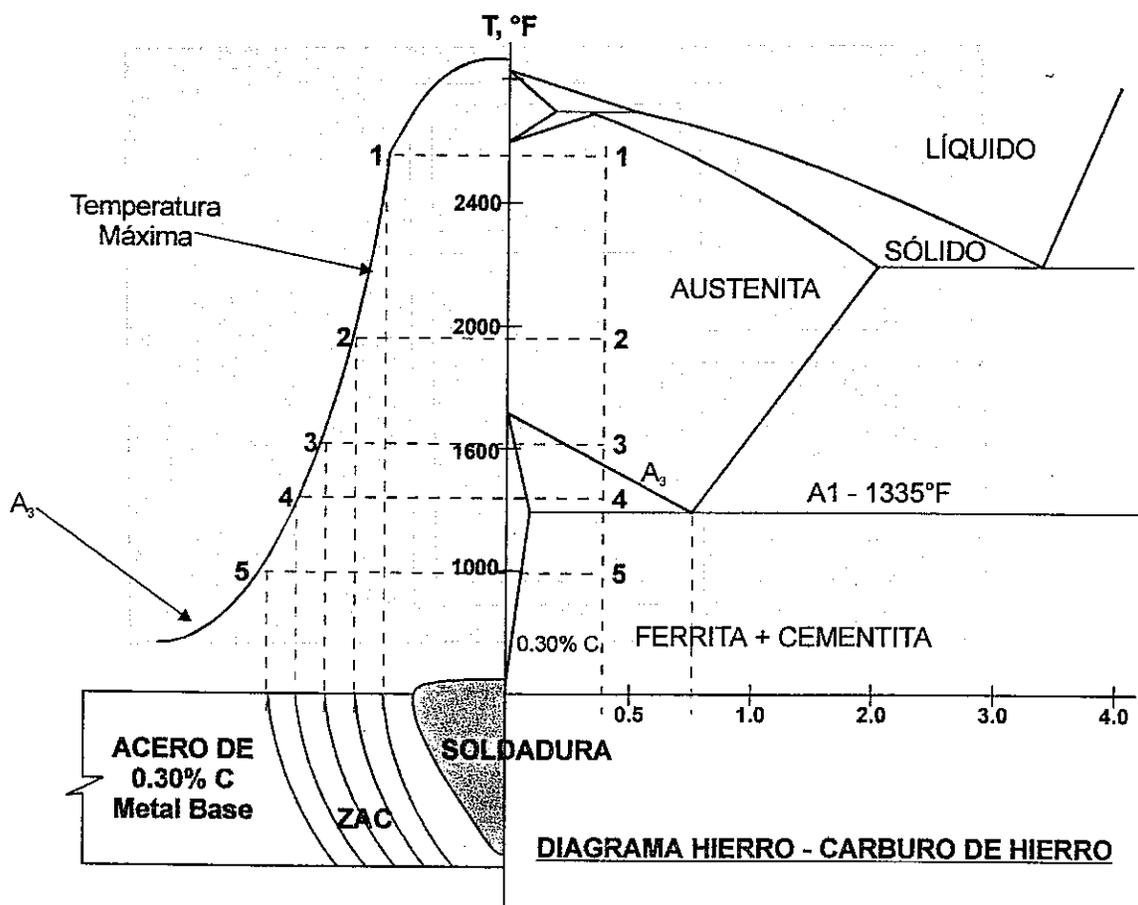
1. Después de cortar la probeta a las dimensiones requeridas se esmerila y pule la superficie a examinar hasta un acabado fino. Se ataca con una solución de persulfato de amonio (10%) y agua.
2. El ataque, que se realiza frotando con un algodón empapado de solución, se continua hasta que hay una clara definición de la estructura de la soldadura y sus zonas adyacentes. Se lava con agua limpia y después con alcohol etílico y se procede a secar completamente. Para observaciones posteriores se cubre con un espesor fino de laca transparente.



7. METALURGIA DE SOLDADURA

7.1 ESTRUCTURA BÁSICA DEL ACERO AL CARBÓN

La soldadura por fusión implica un cambio significativo en la temperatura del metal, es importante entender los cambios metalúrgicos que pueden ocurrir, la siguiente figura ilustra la relación entre la temperatura en varias áreas de la zona de soldadura y el diagrama Hierro - Carburo de Hierro.



CONSTITUYENTES MICROESTRUCTURALES DEL HIERRO Y DEL ACERO

- ❖ **FERRITA:** Solución sólida de Carbono en hierro alfa hasta un máximo de 0.02% a 723°C a una temperatura ambiente solo disuelve 0.008%.
- ❖ **AUSTENITA:** Solución sólida de Carbono en hierro gamma del cual admite hasta 8.0% a 1130°C, no es estable a temperatura ambiente.
- ❖ **CEMENTITA:** Compuesto intermetálico de fórmula Fe_3C , muy duro y frágil.



7.2 CONSIDERACIONES METALÚRGICAS PARA SOLDADURA

Es importante que el Inspector de Soldadura conozca los aspectos básicos de la metalurgia de la soldadura.

Las propiedades de los metales tales como resistencia, dureza, ductilidad, esfuerzo de fatiga y resistencia a la abrasión pueden ser afectados por los tratamientos que el metal recibe durante el proceso de soldadura. Estas propiedades son afectadas por varios factores metalúrgicos como adición de aleaciones, tratamientos térmicos y tratamientos mecánicos.

DEFORMACIÓN Y ESFUERZOS RESIDUALES

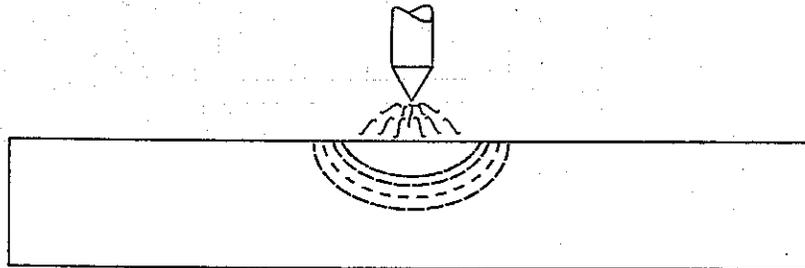
Las siguientes figuras muestran los cambios que ocurren en una barra cuando es calentada en un lado por un arco eléctrico.

A)



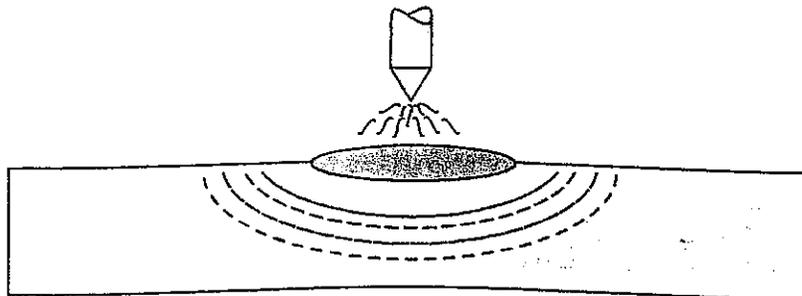
En la figura "B", el arco hace contacto con la placa y comienza a calentarse bajo la influencia del arco.

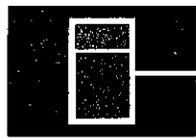
B)



En la figura "C" el calor se expande y es parcialmente restringido por el espesor de la barra que no está caliente.

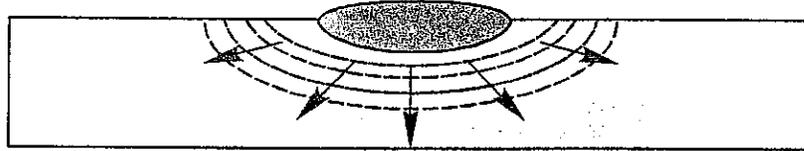
C)





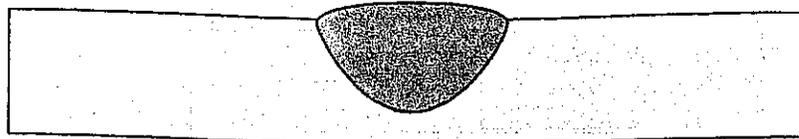
En la figura "D", cuando se suspende el arco, la parte calentada se enfría y se comienza a contraer regresando a la dirección de la deformación.

D)

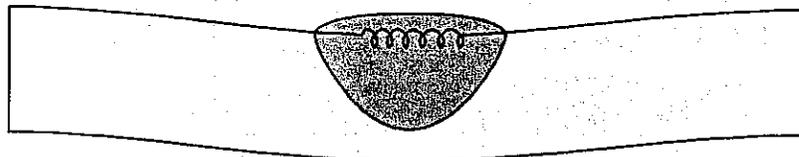


En la figura "E" y "F" podemos notar que cuando se aplica calor a una pieza de una manera no uniforme como es el caso de la soldadura. El resultado es un cambio dimensional causado por un esfuerzo térmico cuando la pieza se ha enfriado.

E)



F)

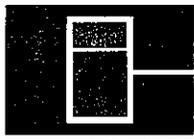


En una unión soldada normal el metal base no se puede deformar como se muestra aquí debido a la rigidez resultante de su posición como parte de una estructura, por lo que permanecen en la soldadura esfuerzos que muchas veces es necesario eliminar mediante un tratamiento térmico conocido como RELEVADO DE ESFUERZOS.

CONTENIDO DE CARBONO EQUIVALENTE

Cuando se va a soldar alguna pieza es importante saber si se requiere precalentamiento, esto depende de su espesor y de sus propiedades químicas, cuando se está haciendo este análisis un factor importante es el "contenido de carbono equivalente", determinado por la siguiente fórmula:

$$\%C + \frac{\%Mn}{6} + \frac{\%Ni}{15} + \frac{\%Cr}{5} + \frac{\%Cu}{13} + \frac{\%Mo}{4}$$



Esta fórmula se usa para aceros con un contenido no mayor de lo que se indica a continuación:

CARBONO	0.5%	CROMO	1.0%
MANGANESO	1.5%	COBRE	1.0%
NÍQUEL	3.5%	MOLIBDENO	0.5%

Al empezar a soldar, se cuida que la temperatura del metal base no sea menor de un cierto valor, la siguiente tabla puede servir como guía para el precalentamiento:

<u>CARBONO EQUIVALENTE</u>	<u>TEMPERATURA DE PRECALENTAMIENTO SUGERIDA</u>
Hasta 0.45%	Opcional
0.45% a 0.60%	200 a 400°F
Arriba de 0.60%	400 a 700°F

El espesor del material también influye en el valor de precalentamiento requerido, una buena referencia es el requerimiento AWS D1.1 para soldar A36 con SMAW utilizando un electrodo E7018:

<u>ESPESOR</u>	<u>PRECALENTAMIENTO MÍNIMO</u>
1/8" a 3/4"	0°C
> 3/4" hasta 1 1/2"	10°C
> 1 1/2" hasta 2 1/2"	65°C
> 2 1/2"	110°C

CALOR APORTADO

Durante el proceso de soldadura, se cuida que la temperatura entre pasos no debe exceda de un cierto valor. El calor aportado (heat input) se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Calor Aportado (en Joules/pulg)} = \frac{\text{Corriente x Voltaje x 60}}{\text{Velocidad de Avance}}$$

Por ejemplo, Si la corriente es 200 A, el voltaje es 24V y la velocidad de avance es de 6 IPM, tenemos:

$$\text{Calor Aportado} = \frac{200 \times 24 \times 60}{6} = 48,000 \text{ J/pulg.}$$



7.3 TRATAMIENTOS TÉRMICOS

El tratamiento térmico en materiales ferrosos, como en otras aleaciones, tiene como objeto mejorar sus propiedades, o corregir condiciones indeseables inducidas durante el proceso de fabricación. Esta modificación se logra por cambios en la estructura.

Normalmente los cambios deseados son en el aspecto de propiedades mecánicas, pero otras propiedades también pueden sufrir alteraciones, como son las eléctricas, las magnéticas y la resistencia a la corrosión.

La principal ventaja del tratamiento térmico está en que el cambio de propiedades se lleva a cabo en el estado sólido. De ahí su gran posibilidad de usos, ya que permite fabricar piezas en las mejores condiciones y, posteriormente tratarlas térmicamente para que adquieran las propiedades finales requeridas.

Los tratamientos térmicos no afectan la composición química del material.

Las propiedades de un material están dadas por su estructura cristalina, de ahí que la modificación de dicha estructura traerá como consecuencia un cambio de propiedades.

Para conseguir los cambios estructurales necesarios, se recurre a un calentamiento, que por regla general es por arriba del punto de transformación del material específico y luego se deja enfriar a una velocidad determinada, creando así las condiciones bajo las que se forman las diferentes estructuras que imparten sus propiedades al material.

De lo anterior se desprende que los factores de mayor influencia sobre los tratamientos térmicos son:

- A. Composición química del material
- B. Velocidad de calentamiento
- C. Tiempo de sostenimiento de la temperatura
- D. Velocidad de enfriamiento

Los tratamientos térmicos se diseñan tomando muy en cuenta el contenido de carbono, que es el elemento de mayor influencia sobre las propiedades de los aceros.

Los tratamientos térmicos más comunes son:

- ❖ RELEVADO DE ESFUERZOS
- ❖ RECOCIDO
- ❖ NORMALIZADO
- ❖ REVENIDO
- ❖ TEMPLADO



8. PROCESOS DE SOLDADURA

8.1 BREVE HISTORIA DE LA SOLDADURA.

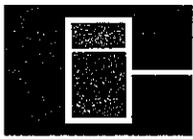
Por siglos el único método que el hombre tenía para unir metalúrgicamente los metales era soldadura por forja, en una fragua se calentaban los metales y luego eran golpeados juntamente hasta que se fusionaban. Después, en el transcurso de pocos años antes de 1900 tres nuevos procesos comenzaron a existir; la Soldadura por Arco y la Soldadura por Resistencia fueron desarrolladas al final de 1880 e introducidas a la industria pocos años después, la Soldadura Oxiacetilénica fue desarrollada durante el mismo período y fue la primera en ser usada en la industria en los inicios de 1900.

Nadie sabe cuando el hombre aprendió el uso de la soldadura por forja. Pocos implementos de hierro o acero pueden resistir la corrosión de más de cientos de años, por lo que subsisten pocas evidencias directas de los intentos iniciales para unir metales.

El trabajo y endurecimiento del acero fueron comúnmente practicados hace 30 siglos en Grecia, pero las tribus primitivas en diferentes continentes y sin medios aparentes de comunicación, desarrollaron los mismos métodos básicos para fundir, formar y tratar el hierro. Así mismo, los principios de soldadura fueron probablemente descubiertos, perdidos y redescubiertos repetidamente por los antiguos.

Por la época del renacimiento los artesanos fueron grandes técnicos en la soldadura de forja. Las partes a unirse eran formadas y después calentadas en una fragua u horno antes de ser martilladas, roladas o prensadas juntas. "Pyrotechnia" de Vannoccio Biringuccio, publicado en Venecia en 1540, contiene referencia de estas operaciones. Biringuccio fue obviamente intrigado por este proceso, por lo que escribió "esto me parece ingenioso, de poco uso, pero de gran utilidad".

La soldadura por forja del hierro desarrolló una industria reconocida, pero la unión de piezas grandes y pesadas requería gran técnica y mucha labor, solo manteniendo el fuego alrededor de ellas se les llevaba a la temperatura requerida. Cuando las dos piezas estaban suficientemente calientes, eran forjadas juntas por varios medios, y para esta operación eran movidas por grúas.



El extremo era golpeado repetidamente por un martillo de pistón mientras el calor se mantenía, después la pieza era sacada del fuego y terminada en un yunque. La soldadura por forja es aún practicada a un grado limitado.

De los tres nuevos procesos desarrollados justo antes del siglo 20, la Soldadura por Arco surgió como la de uso más amplio y el método de más importancia comercial. Hay evidencias que un profesor, G. Lichtenberg pudo unir metales por fusión eléctrica en Alemania en los inicios de 1782, pero los mayores acontecimientos en la historia de la soldadura eléctrica se remontan al descubrimiento del Arco Eléctrico por Sir Humphrey Davy.

En 1801 mientras experimentaba con los inicios de la electricidad, Davy descubrió que colocando dos terminales muy cerca con un circuito de alto voltaje se creaba un arco, este arco que se mostraba como una luz brillante y aportaba considerable calor podía ser mantenido y reforzado y su longitud e intensidad variaba dentro de los límites determinados por el voltaje del circuito y el tipo de terminales usado.

Davy demostró el arco en el Real Instituto de Inglaterra en 1808, donde su descubrimiento causó gran interés. Sin embargo, por muchos años permaneció como hecho científico, el fenómeno no tenía uso práctico, de hecho Davy no aplicó el término "Arco" a su descubrimiento hasta 20 años después.

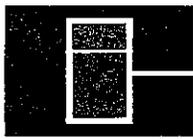
Después del descubrimiento del Arco, la primer persona que intencionalmente unió metales por soldadura eléctrica fue un Inglés llamado Wilde. En el inicio de 1860 fundió juntas pequeñas piezas de hierro, y en 1865 obtuvo la patente de su proceso, la primera patente relativa a la soldadura eléctrica.

Sin embargo, el Arco Eléctrico fué de interés científico sólo hasta 1881, cuando fueron introducidas las lámparas de calle de arco de carbón, muy cercano el horno eléctrico hizo su aparición en Inglaterra. Uno de los primeros fue instalado en 1886 para la producción de aleaciones de aluminio, esta aplicación particular del Arco Eléctrico fue un importante escalón en el temprano desarrollo de la industria del aluminio.



8.2 TABLA MAESTRA DE PROCESOS DE SOLDADURA

Procesos y Variaciones	Letras de Designación	Procesos y Variaciones	Letras de Designación
Soldadura de Arco	AW	Soldadura por Haz de Electrones sin Vacío	EBW-NV
Soldadura de Hidrógeno Atómico	AHW	Soldadura por Electroescoria	ESW
Soldadura de Arco con Electrodo Desnudo	BMAW	Soldadura por Flujo	FLOW
Soldadura de Arco con Electrodo de Grafito	CAW	Soldadura por Inducción	IW
Soldadura de Arco con Electrodo de Grafito y con Gas	CAW-G	Soldadura con Rayo láser	LBW
Soldadura de Arco con Electrodo de Grafito y Protección Gaseosa	CAW-S	Soldadura de Percusión	PEW
Soldadura de Arco con Doble Electrodo de Grafito	CAW-T	Soldadura de Termita	TW
Soldadura por Electrogas	EGW	Soldadura de Oxigas	OFW
Soldadura de Arco con Alambre Tubular	FCAW	Soldadura Aeroacetilénica	AAW
Soldadura de Arco Metálico con Gas	GMAW	Soldadura Oxiacetilénica	OAW
Soldadura de Arco Metálico Pulsado con Gas	GMAW-P	Soldadura con Oxídrico	OHW
Soldadura de Arco Metálico con Gas mediante cortocircuito	GMAW-S	Soldadura por Presión con Gas	PGW
Soldadura de Arco con Electrodo de Tungsteno	GTAW	Soldadura por Resistencia	RW
Soldadura de Arco Pulsado con Electrodo de Tungsteno	GTAW-P	Soldadura por Chisporroteo	FW
Soldadura de Arco Plasma	PAW	Soldadura por Proyección	PW
Soldadura de Arco Metálico con Electrodo Revestido	SMAW	Soldadura de Costuras por Resistencia	RSEW
Soldadura de Arco de Espárragos	SW	Soldadura de Costuras con Alta Frecuencia	RSEW-HF
Soldadura de Arco Sumergido	SAW	Soldadura de Costuras por Inducción	RSEW-I
Soldadura de Arco Sumergido con alambres en Serie	SAW-S	Soldadura de Puntos por Resistencia	RSW
Soldadura Fuerte	B	Soldadura de Recalcado	UW
Soldadura Fuerte por Bloques	BB	Soldadura de Recalcado con Alta Frecuencia	UW-HF
Soldadura Fuerte por Difusión	DFB	Soldadura de Recalcado por Inducción	UW-I
Soldadura Fuerte por Inmersión	DB	Soldadura Blanda	S
Soldadura Fuerte Exotérmica	EXB	Soldadura Blanda por Inmersión	DS
Soldadura Fuerte por Flujo	FLB	Soldadura Blanda en Horno	FS
Soldadura Fuerte por Horno	FB	Soldadura Blanda por Inducción	IS
Soldadura Fuerte por Inducción	IB	Soldadura Blanda con Infrarrojos	IRS
Soldadura Fuerte por Infrarrojos	IRB	Soldadura Blanda con Soldador de Cobre	INS
Soldadura Fuerte por Resistencia	RB	Soldadura Blanda por Resistencia	RS
Soldadura Fuerte por Soplete	TB	Soldadura Blanda con Soplete	TS
Soldadura Fuerte por Arco de Grafito	TCAB	Soldadura Blanda por Ola	WS
Otros Procesos de Soldadura		Soldadura en Estado Sólido	SSW
Soldadura Fuerte de Arco con Electrodo de Grafito	CABW	Soldadura por Coextrusión	CEW
Soldadura por Haz de Electrones	EBW	Soldadura en Frío	CW
Soldadura por Haz de Electrones en Vacío Alto	EBW-HV	Soldadura por Difusión	DFW
Soldadura por Haz de Electrones en Vacío Medio	EBW-MV	Soldadura por Explosión	EXW
		Soldadura por Forja	FOW
		Soldadura por Fricción	FRW
		Soldadura por Presión en Caliente	HPW
		Soldadura por Rodillo	ROW
		Soldadura por Ultrasonido	USW

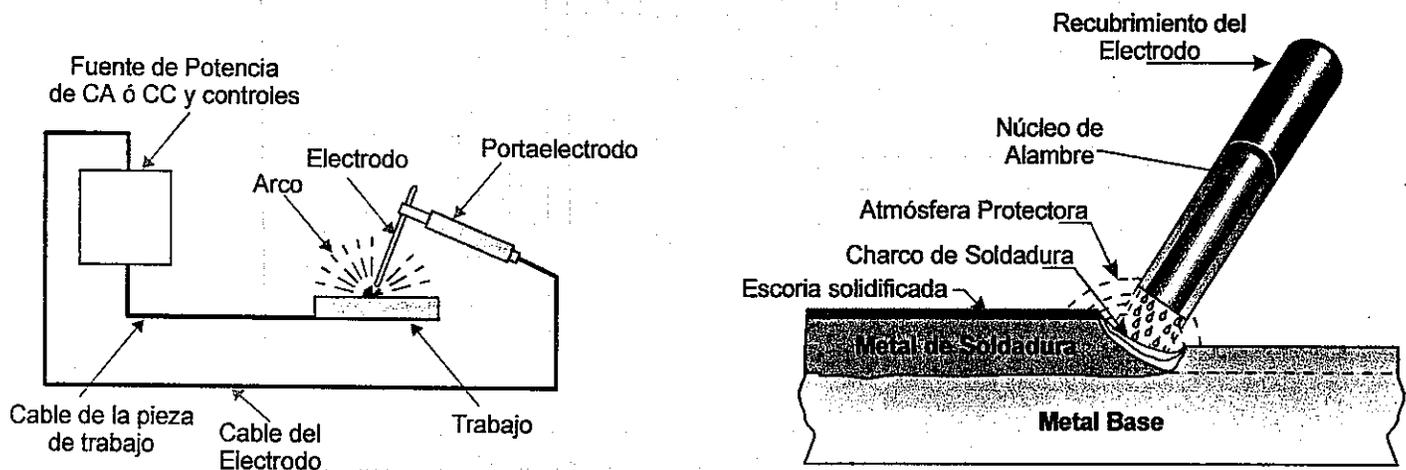


8.3 PROCESOS MAS UTILIZADOS EN LA INDUSTRIA

8.3.1 SOLDADURA DE ARCO METÁLICO CON ELECTRODO REVESTIDO (Shielded Metal Arc Welding-SMAW)

La soldadura SMAW es un proceso de soldadura de arco en el que se produce coalescencia de metales por medio del calor de un arco eléctrico que se mantiene entre la punta de un electrodo recubierto y la superficie del metal base en la unión que se está soldando.

El núcleo del electrodo recubierto consiste en una varilla sólida de metal estirado. La varilla del núcleo conduce la corriente eléctrica al arco y suministra metal de aporte a la unión. Las funciones principales del recubrimiento del electrodo son estabilizar el arco y proteger el metal derretido de la atmósfera por medio de los gases que se crean cuando el recubrimiento se descompone por el calor del arco.



La soldadura de arco metálico con electrodo revestido es uno de los procesos más ampliamente utilizados, sobre todo para soldaduras pequeñas en trabajos de producción, mantenimiento y reparación, y para construcción en campo. El proceso SMAW tiene muchas ventajas, por mencionar algunas:

1. El equipo es relativamente sencillo, económico y portátil.
2. El electrodo recubierto proporciona el metal de aporte y el mecanismo para proteger el metal de soldadura contra una oxidación perjudicial durante su solidificación.
3. No se requiere protección con gas auxiliar ni un fundente granular
4. El proceso es menos sensible al viento y las corrientes de aire que los procesos de soldadura de arco protegidos con gas.
5. Se puede utilizar en áreas de acceso limitado.
6. El proceso es adecuado para la mayor parte de los metales y aleaciones de uso común.



En el proceso SMAW se emplean electrodos cuya identificación empieza con una E que significa "electrodo".

A continuación se indican algunos ejemplos de la clasificación AWS dada para diferentes materiales de aporte para SMAW, de acuerdo con:

- ❖ **A5.1** *Carbon Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding*
- ❖ **A5.5** *Low-Alloy Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding*

Los primeros dos dígitos en una clasificación con cuatro números (E6010), o los tres primeros dígitos en una clasificación con cinco números (E12018), indican la resistencia mínima a la tensión del metal depositado en miles de libras por pulgada cuadrada; por ejemplo: Un electrodo E6010 tendrá una resistencia mínima a la tensión de 60,000 libras por pulgada cuadrada.

El penúltimo indica las posiciones en las que se puede emplear el electrodo. Los dígitos empleados para indicar la posición son el 1 y el 2, significando lo siguiente.

1. Toda posición
2. Posición Plana y Filete Horizontal

Por ejemplo: Un electrodo E7024 podrá soldarse únicamente en posición plana o en filete horizontal.

El último dígito indica el tipo de revestimiento, la corriente y la polaridad con que se puede utilizar el electrodo. La siguiente tabla nos proporciona una descripción de los dígitos numerados del 0 al 8.

SIGNIFICADO DEL ÚLTIMO DÍGITO

Dígito	Revestimiento	Corriente		Polaridad	
0	(a)	(b)	(b)	(b)	
1	Alta Celulosa Potásica	CA	CC	-	PI
2	Alto Rutilo Sódico	CA	CC	PD	-
3	Alto Rutilo Potásico	CA	CC	PD	PI
4	Rutilo + Polvo de Hierro	CA	CC	PD	PI
5	Bajo Hidrógeno Sódico	-	CC	-	PI
6	Bajo Hidrógeno Potásico	CA	CC	-	PI
7	Bajo Hidrógeno + Polvo de Hierro	CA	CC	PD	-
8	Bajo Hidrógeno+ Polvo de Hierro	CA	CC	-	PI

(a) 6010 Es Alta Celulosa Sódica, 6020 es Alto Oxido de Hierro.

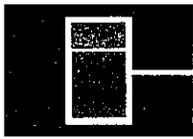
(b) 6010 Es CC-PI; 6020 es CA y CC - PD.

CA = Corriente Alterna

CC = Corriente Directa

PD = Polaridad Directa

PI = Polaridad Invertida



8.3.2 SOLDADURA DE ARCO METÁLICO CON GAS (Gas Metal Arc Welding-GMAW)

La soldadura GMAW o MIG (Metal Inert Gas), utiliza el calor generado por un arco eléctrico entre un electrodo consumible (material de aporte) y el material base, la atmósfera donde se deposita la soldadura se protege de la contaminación con el gas.

El proceso puede ser semiautomático o automático y se utiliza principalmente en soldaduras de alta producción. Usando gas y material de aporte adecuado, se pueden soldar metales como: acero al carbón, acero inoxidable, cobre, aluminio, aleaciones de níquel y aleaciones de magnesio.

Este proceso requiere de corriente directa con polaridad invertida y entre las ventajas que ofrece se tienen:

- A. Soldadura en todas posiciones
- B. No es necesaria mucha habilidad del soldador
- C. Mayor velocidad de depósito que con electrodo revestido
- D. Mayor calidad de depósito
- E. No hay necesidad de remover escoria
- F. Menores pérdidas por cabos de electrodos
- G. Menores pérdidas por chisporroteo

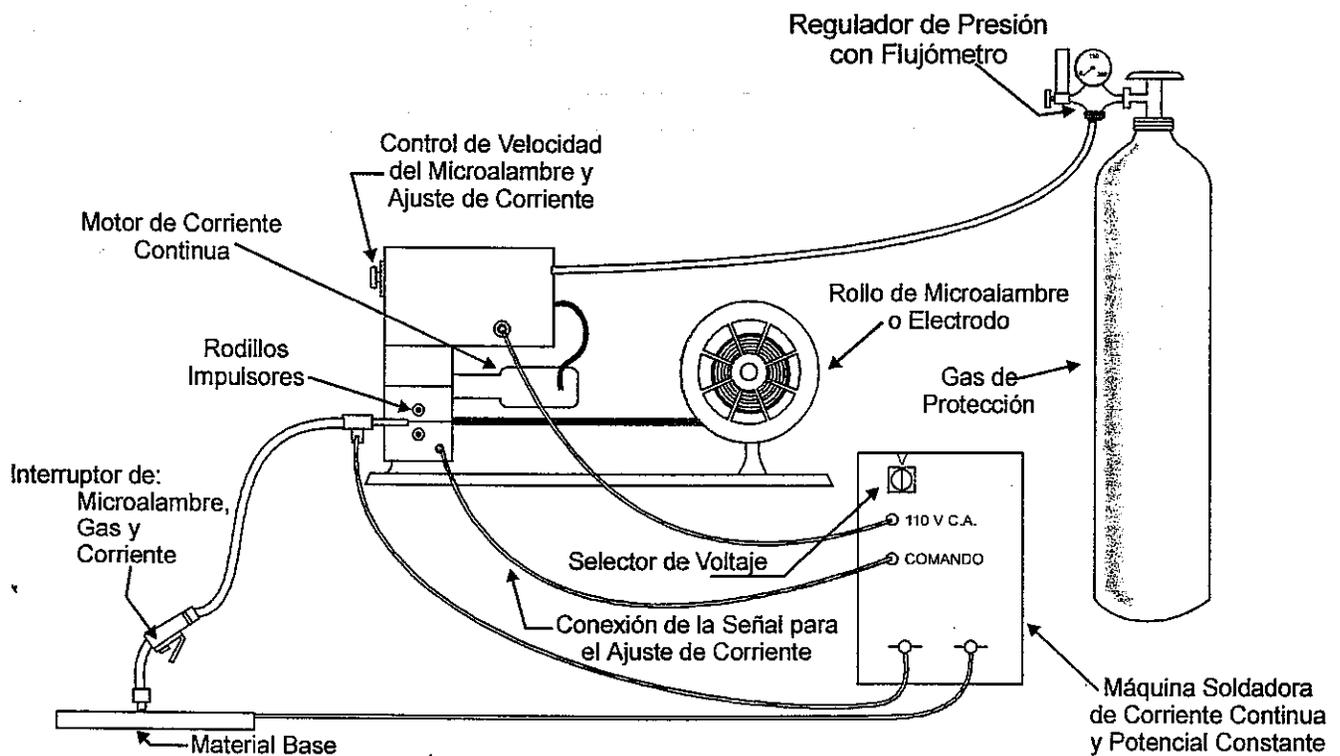
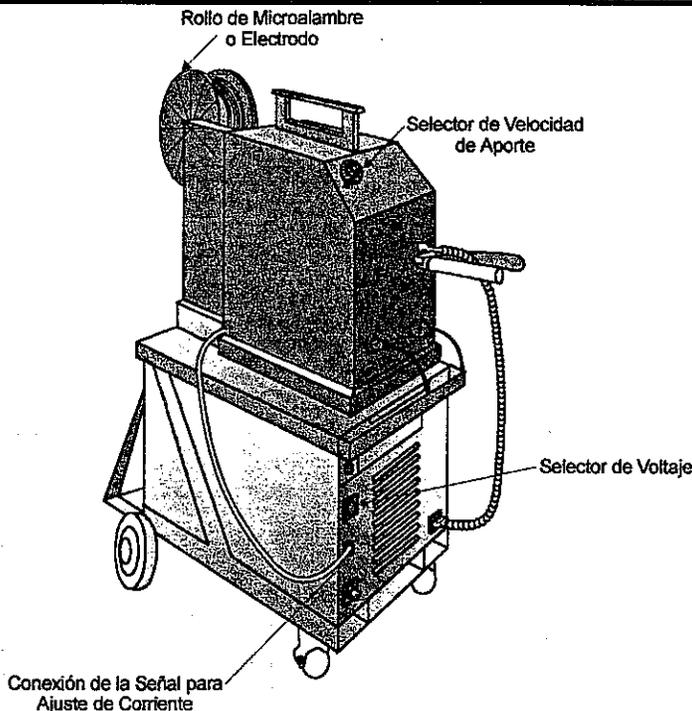


Diagrama Esquemático del Proceso GMAW



Máquina Semiautomática para GMAW



Los microalambres de acero al carbono están recubiertos por una capa de cobre que los protege de la oxidación y proporciona mejor contacto eléctrico al pasar por la punta de contacto del maneral.

A continuación se indican algunos ejemplos de la clasificación AWS dada para diferentes materiales de aporte, de acuerdo con:

- ❖ **A5.18** *Carbon Steel Electrodes and Rods for Gas Shielded Arc Welding*
- ❖ **A5.28** *Low-Alloy Steel Electrodes and Rods for Gas Shielded Arc Welding*

Ejemplo: Para aceros al carbono, al cromo molibdeno, al níquel y al manganeso molibdeno.

AWS ER70S-3

donde:

AWS: American Welding Society

E: Indica que el material de aporte es electrodo (microalambre)

R: Varilla que puede emplearse como material de aporte en otros procesos.

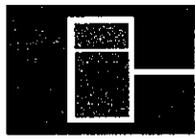
70: Multiplicando este número por 1000, nos indica la resistencia mínima a la tensión expresada en lb/pulg²

S: Indica que es alambre sólido

3: Este número o algunas letras indican la composición química del depósito. Según los tipos de alambre en lugar del número pueden tener una letra o un número combinado con letras para especificar los elementos mayoritarios y más información acerca del depósito.

Si en algún ejemplo aparece una última letra como :

ER XXS BXL = La letra L significa que este alambre de bajo carbono contiene un máximo de 0.05%C.



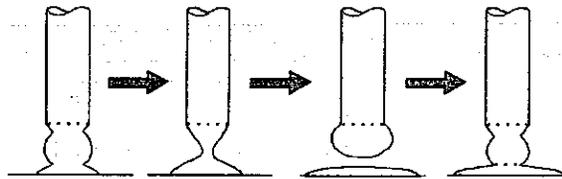
MECANISMOS DE TRANSFERENCIA DEL METAL

Los tres mecanismos básicos empleados para transferir metal del electrodo al trabajo son: Transferencia por Cortocircuito, Transferencia Globular, Transferencia por Spray

A. TRANSFERENCIA POR CORTOCIRCUITO

En este tipo de transferencia se utilizan bajas intensidades de corriente. Durante el instante del cortocircuito la gota es arrancada del alambre por la fuerza magnética, el arco se reestablece y se forma una gota de metal fundido en el extremo del alambre. Esta secuencia se repite cerca de 200 veces por segundo y el proceso es apropiado para soldar láminas delgadas de metal. Esta transferencia produce poca acumulación de metal y rápido enfriamiento por la baja corriente utilizada.

A. CORTOCIRCUITO

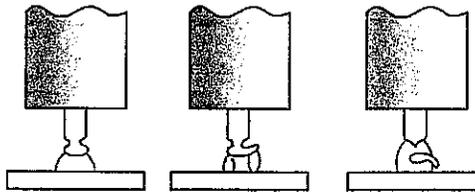


B. TRANSFERENCIA GLOBULAR

Según se aumenta la corriente de soldadura y el voltaje arriba del máximo recomendado para la soldadura de corto circuito, la transferencia del metal comienza a tomar una apariencia diferente, conocida como transferencia globular.

En este tipo de transferencia normalmente las gotas del metal tienen un diámetro más grande que el propio alambre, las cuales al crecer caen debido a su propio peso, produciendo un derrame excesivo, se puede decir en general que esta transferencia es muy errática por las salpicaduras y ocasionalmente por los cortos circuitos producidos.

El modo de transferencia globular solamente puede usarse en posición plana, ya que en otra posición se caería la gota antes de tocar el material.

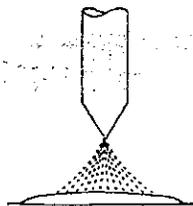


B. GLOBULAR (Separación por gravedad)

C. TRANSFERENCIA POR SPRAY

Este tipo de transferencia es sin lugar a duda el mayor que se presta en aquellas aplicaciones de soldadura como son rellenos por capas en uniones con bisel de espesor relativamente grueso debido al uso de altos rangos de corriente de soldadura.

C. SPRAY





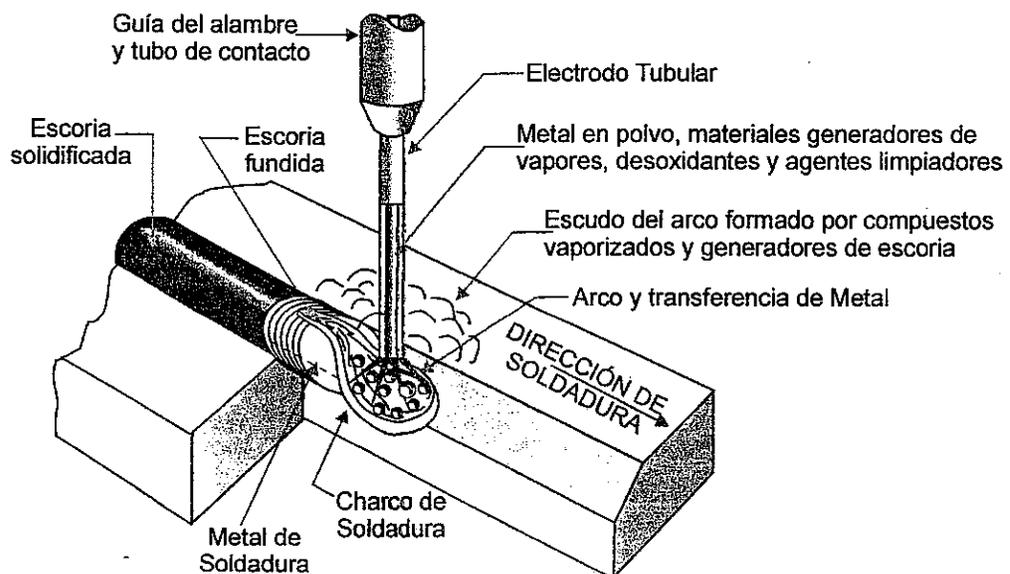
**8.3.3 SOLDADURA DE ARCO CON ALAMBRE TUBULAR
(Flux Cored Arc Welding - FCAW)**

La soldadura FCAW es un proceso que aprovecha una arco entre un electrodo continuo de metal de aporte y el charco de soldadura. Este proceso utiliza la protección de un fundente contenido dentro del electrodo tubular, con o sin un escudo adicional de gas de procedencia externa y sin aplicación de presión. El electrodo con núcleo de fundente es un electrodo tubular de metal de aporte compuesto que consiste en una funda metálica y un núcleo con diversos materiales pulverizados. Durante la soldadura, se produce un manto de escoria abundante sobre la superficie de la soldadura.

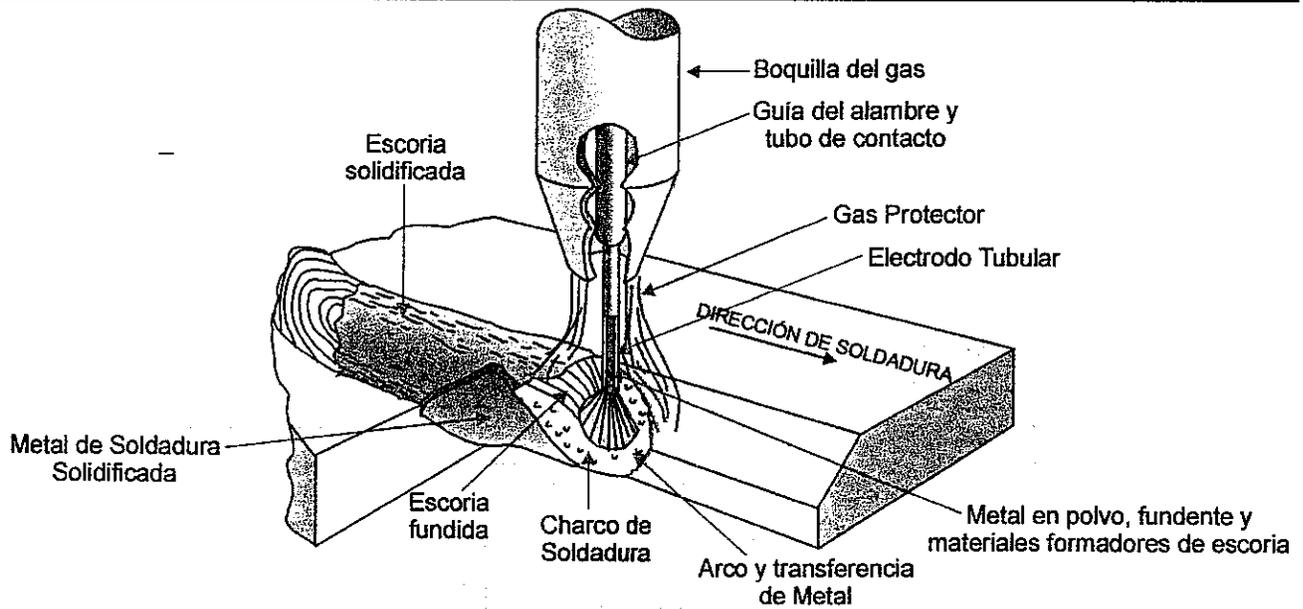
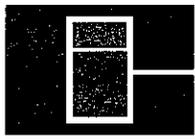
El aspecto que distingue al proceso FCAW de otros procesos de soldadura de arco es la inclusión de ingredientes fundentes dentro de un electrodo de alimentación continua. El proceso FCAW tiene dos variaciones principales que difieren en su método de protección del arco y del charco de soldadura contra la contaminación por gases atmosféricos (oxígeno y nitrógeno). La **FCAW con autoprotección**, protege el metal fundido mediante la descomposición y vaporización del núcleo de fundente con el calor del arco y la **FCAW con escudo de gas**, utiliza un flujo de gas protector además de la acción del núcleo de fundente. En ambos métodos, el material del núcleo del electrodo proporciona una cubierta de escoria sustancial que protege el metal de soldadura durante su solidificación.

Normalmente, la soldadura de arco con núcleo de fundente es un proceso semiautomático, aunque también se emplea en forma automática y mecanizada.

Los beneficios de FCAW se obtienen al combinar tres características generales: La productividad de la soldadura de alambre continuo, las cualidades metalúrgicas que pueden derivarse de un fundente y una escoria que sustenta y moldea la soldadura; así, el proceso FCAW combina características de los procesos SMAW, GMAW y SAW.



Soldadura con FCAW con Autoprotección



Soldadura FCAW con Escudo de Gas

Las aplicaciones de las dos variantes del proceso FCAW son similares, pero las características específicas de cada una las hacen apropiadas para diferentes condiciones de operación.

El proceso se emplea para soldar en aceros al carbono y de baja aleación, aceros inoxidables y hierros colados. También sirve para soldar por puntos uniones traslapadas en láminas y placas, así como para revestimiento de superficies duras.

En general, el método autoprotegido puede usarse en aplicaciones que normalmente se resuelven mediante soldadura SMAW. El método con escudo de gas puede servir para algunas aplicaciones donde se usa GMAW.

A continuación se indican algunos ejemplos de la clasificación AWS dada para diferentes materiales de aporte, de acuerdo con:

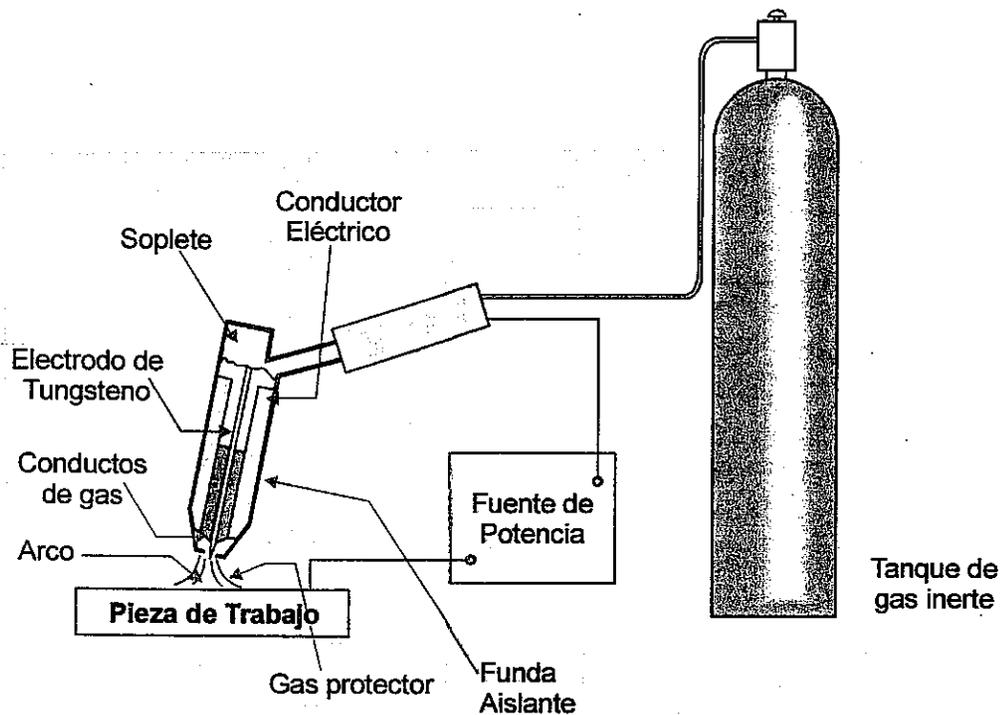
❖ **A5.20** *Carbon Steel Electrodes for Flux Cored Arc Welding*

Ejemplo: **AWS E71T-1**, utilizado para aceros al carbono, donde:

- E: Indica que el material de aporte es electrodo
- 7: Multiplicado por 10,000, nos indica la resistencia mínima a la tensión expresada en lb/pulg²
- 1: Indica la posición para soldar (en este caso se puede usar en todas las posiciones)
- T: Indica que es un electrodo TUBULAR con núcleo de fundente
- 1 Este número o algunas letras indican la composición química del depósito, según los tipos de alambre en lugar del número puede tener una letra o un número combinado con letras para especificar los elementos mayoritarios y más información acerca del depósito.

8.3.4 SOLDADURA DE ARCO CON ELECTRODO DE TUNGSTENO (Gas Tungsten Arc Welding - GTAW)

La soldadura GTAW, también conocida como TIG (Tungsten Inert Gas), es un proceso de soldadura que utiliza el arco entre un electrodo de Tungsteno (no consumible) y el charco de soldadura. El proceso se emplea con un gas protector y sin aplicación de presión, la adición de metal de aporte es opcional. La siguiente figura muestra el proceso de soldadura GTAW.



Este proceso utiliza un electrodo de tungsteno (o de una aleación de tungsteno) no consumible sostenido en un soplete. Se alimenta gas protector por el soplete para proteger el electrodo, el charco de soldadura y el metal de soldadura.

El arco eléctrico se produce por el paso de corriente a través del gas protector ionizado, que conduce la electricidad. El arco se establece entre la punta del electrodo y el trabajo. El calor generado por el arco funde el metal base. Una vez establecido el arco y el charco de soldadura, el soplete se mueve a lo largo de la unión y el arco funde progresivamente las superficies de unión. Si se usa alambre de aporte, se alimenta por el borde delantero del charco de soldadura para llenar la unión.

Todas las configuraciones de GTAW tienen en común cuatro componentes básicos:

1. Soplete
2. Electrodo
3. Fuente de potencia para soldadura
4. Gas protector

El proceso GTAW se ha vuelto una herramienta indispensable en la industria en virtud de la alta calidad de las soldaduras producidas y del bajo costo del equipo.

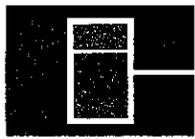
- ❖ Algunas de las **ventajas** del proceso GTAW son:
 1. Produce soldaduras de muy buena calidad, generalmente libres de defectos.
 2. Está libre de las salpicaduras que ocurren con otros procesos de soldadura de arco.
 3. Puede usarse con metal de aporte o sin él, según lo requiera la aplicación específica.
 4. Ofrece un control excelente de la penetración de la raíz.
 5. Puede producir soldaduras autógenas económicas a alta velocidad.
 6. Puede usar fuentes de potencia de costo relativamente bajo.
 7. Permite controlar de manera precisa las variables de soldadura.
 8. Puede servir para soldar casi todos los metales, incluso las uniones de metales diferentes.
 9. Permite controlar en forma independiente la fuente de calor y las adiciones de metal de aporte.

- ❖ Sin embargo, entre algunas de las **limitaciones** de la soldadura GTAW están:
 1. La velocidad de depósito es más baja que la que puede alcanzarse con procesos de soldadura de arco con electrodo consumible.
 2. El soldador requiere un poco más de destreza y coordinación que con la soldadura GMAW o con la soldadura SMAW cuando solda manualmente.
 3. Para secciones de más de 10 mm ($\frac{3}{8}$ ") de espesor, resulta menos económica que los procesos de soldadura de arco con electrodo consumible.
 4. En lugares donde hay corrientes de aire se dificulta la protección adecuada de la zona de soldadura.

Los electrodos de tungsteno se clasifican con base en su composición química. En la siguiente tabla se muestra el sistema de identificación por código de color de las diversas clases de electrodos.

Clasificación AWS	Color ^a	Elemento aleación	Óxido de aleación	Peso nominal del óxido de aleación (%)
EWP	Verde	--	--	--
EWCe-2	Anaranjado	Cerio	CeO ₂	2
EWLa-1	Negro	Lantano	La ₂ O ₃	1
EWTh-1	Amarillo	Torio	ThO ₂	1
EWTh-2	Rojo	Torio	ThO ₂	2
EWZr-1	Marrón	Zirconio	ZrO ₂	0.25
EWG	Gris	No se especifica ^b		--

- a. El color puede aplicarse en forma de bandas, puntos, etc. en cualquier punto de la superficie del electrodo.



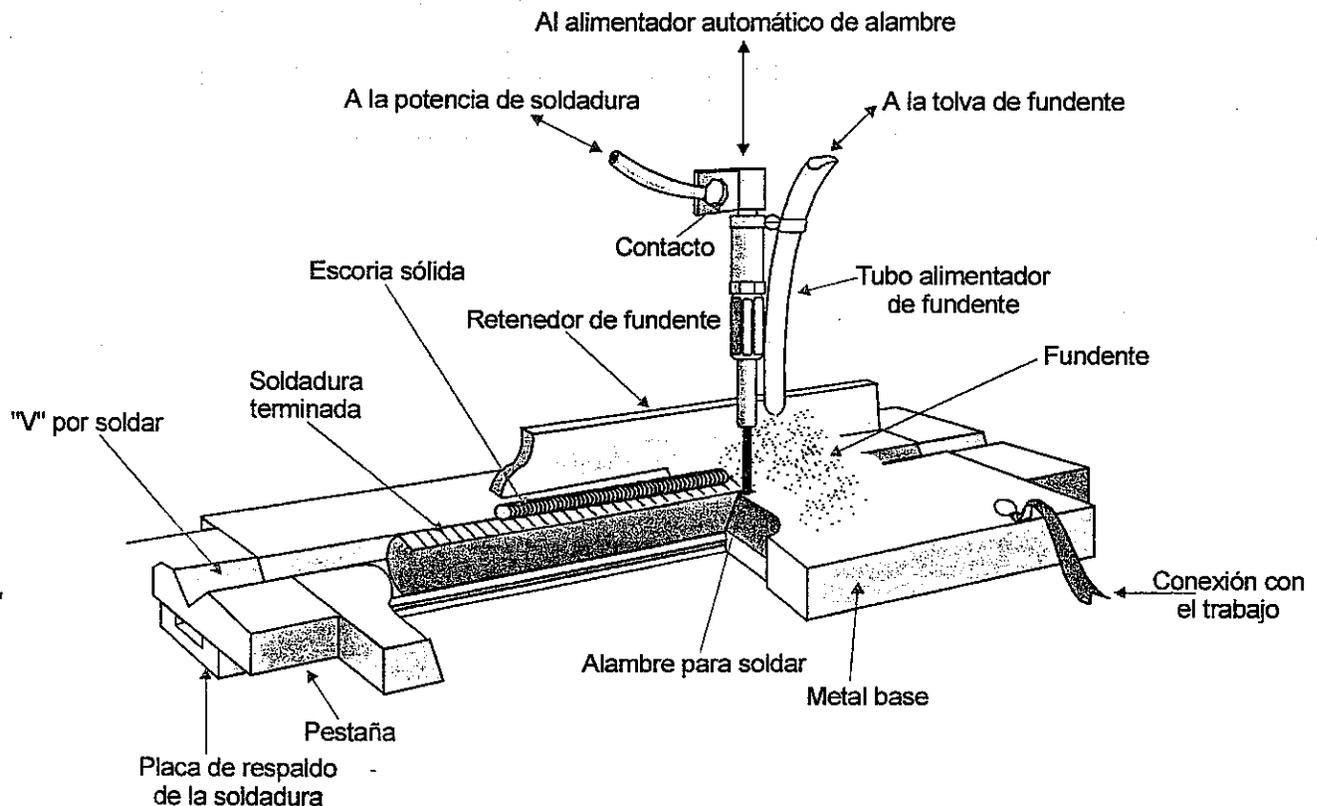
8.3.5 SOLDADURA DE ARCO SUMERGIDO (Submerged Arc Welding - SAW)

La soldadura SAW produce la coalescencia de metales calentándolos con un arco entre un electrodo de metal desnudo y una pieza de trabajo. El arco y el metal derretido están "sumergidos" en un manto de fundente granular sobre la pieza.

En la soldadura por arco sumergido, el arco está cubierto por fundente, el cual desempeña un papel importante porque:

- A. Ayuda a la estabilidad del arco
- B. Las propiedades mecánicas y químicas de la soldadura se pueden controlar con el fundente
- C. La calidad de la soldadura puede ser afectada por la forma como se maneje el fundente.

En este proceso de soldadura el extremo de un electrodo continuo de alambre desnudo se inserta en un montículo de fundente que cubre el área o la unión que se va a soldar, después un mecanismo alimentador de alambre comienza a introducir el electrodo en la unión a una velocidad controlada y el alimentador se desplaza manual o automáticamente a lo largo de la soldadura. Al avanzar la zona de soldadura a lo largo de la unión, el metal de soldadura y el fundente se enfrían y solidifican, formando una franja de soldadura con una capa protectora de escoria encima.





Entre los factores que determinan si conviene o no usar soldadura SAW están:

1. La composición química y las propiedades mecánicas que debe tener el depósito final.
2. El espesor del metal base que se va a soldar
3. La accesibilidad de la unión.
4. La posición en que se va a soldar.
5. La frecuencia o la cantidad de soldaduras que se van a efectuar.

La soldadura SAW se puede aplicar en tres modos distintos; automático, semiautomático y mecanizado. En todos ellos es preciso colocar el trabajo de modo que el fundente y el charco de soldadura permanezcan en su sitio hasta solidificarse.

Los electrodos para este proceso normalmente vienen empacados en carretes o bobinas y su diámetros pueden variar desde $1/16$ hasta $1/4$.

A continuación se indican algunos ejemplos de la clasificación AWS dada para diferentes materiales de aporte, de acuerdo con:

❖ **A5.17** *Carbon Steel Electrodes and Fluxes for Submerged Arc Welding*

A continuación se indica un ejemplo de la clasificación AWS dada para un electrodo

F7A6-EM12K

donde:

- F: Indica fundente
- 7: Multiplicado por 10,000 indica la resistencia mínima a la tensión
- A: Indica las condiciones de tratamiento térmico en que se efectuaron las pruebas
- 6: Indica la temperatura mínima a la resistencia al impacto
- E: Electrodo sólido
- M: Electrodo de medio manganeso
- 12K: Número de identificación y composición química

9. CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA Y SOLDADORES

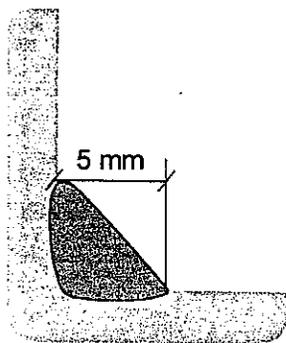
9.1 ESPECIFICACIONES DE PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA (WPSs).

Cuando se hace referencia a una especificación para procedimiento de soldadura, se le identifica como "Procedimiento de Soldadura" o como un "WPS" y la costumbre es utilizar el formato establecido por la norma que se esté usando, por ejemplo:

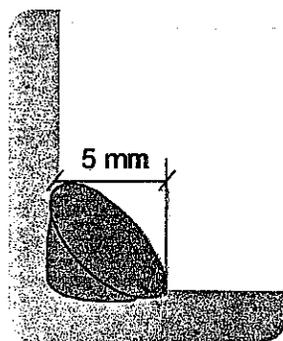
- ❖ **ASME SECCIÓN IX** - *Qualification Standard for Welding and Brazing Procedures, Welders, Brazers, and Welding and Brazing Operators, ó*
- ❖ **AWS D1.1** - *Structural Welding Code, ó;*
- ❖ **API 1104** - *Standard for Welding Pipe Lines and Related Facilities, etc.*

En cualquier caso, se pretende que el WPS contenga la información básica necesaria para poder efectuar una soldadura.

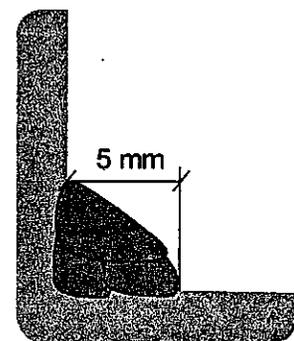
Un WPS dice como hacer una soldadura, pero si entramos a cualquier taller y preguntamos como se hace un filete de 5 mm con SMAW (suponiendo que es un caso común de soldadura en ese taller) lo más probable es que no se tenga un WPS, cada soldador trabaja según su criterio y quizá en el mismo taller se usen las tres alternativas siguientes:



UN PASO



DOS PASOS



TRES PASOS

Los WPSs deben ser elaborados por las personas más enteradas de como desea la Empresa que se hagan sus soldaduras, probablemente los responsables de producción, de ingeniería o de procesos de manufactura.

Una Empresa ha aprendido a utilizar WPSs cuando para cada caso específico existe un WPS aprobado que los soldadores siempre tienen a la mano, lo entienden y lo utilizan.

MERESA

ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)

PRECALIFICADO CALIFICADO MEDIANTE PRUEBAS

FORMATO AWS D1.1



WPS# S1

Revisión 1 Fecha 01/05/00

Proceso de Soldadura: SMAW
Soportado por PQR(s) No.: ISC 01/00

Tipo: Manual Semi-Automática
Máquina Automática

<p>DISEÑO DE LA UNION Tipo <u>ATOPE EN "V" SENCILLA</u> Sencilla <input type="checkbox"/> Doble <input checked="" type="checkbox"/> Respaldo Sí <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/> Material de Respaldo <u>NA</u> Separación de la Raíz <u>1/8 máx.</u> Hombro <u>1/8 máx.</u> Angulo de la Unión <u>60⁺¹⁰</u> Radio (J-U) <u>NA</u> Saneamiento de la Raíz: Sí <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Método: <u>ARCO AIRE Y/O PULIDOR</u></p>	<p>POSICION Posición de Ranura <u>TODAS</u> Filete <u>NA</u> Progresión: Ascendente <input checked="" type="checkbox"/> Descendente <input type="checkbox"/></p>
<p>MATERIALES BASE Especificación: <u>ASTM A36</u> Tipo o Grado: <u>NA</u> Espesor: Ranura <u>1</u> Filete <u>NA</u> Diámetro (Tubo): <u>NA</u></p>	<p>CARACTERISTICAS ELECTRICAS Modo de Transferencia (GMAW): <u>NA</u> Corto circuito <input type="checkbox"/> Globular <input type="checkbox"/> Spray <input type="checkbox"/> Corriente: CA <input type="checkbox"/> CDEP <input checked="" type="checkbox"/> CDEN <input type="checkbox"/> Pulsada <input type="checkbox"/> Otro: <u>NA</u> Electrodo de Tungsteno (GTAW): <u>NA</u></p>
<p>MATERIALES DE APORTE Especificación AWS: <u>A 5.1</u> Clasificación AWS: <u>E7018</u></p>	<p>TECNICA Aportación Recta u Oscilante <u>RECTA Y OSCILANTE</u> Paso sencillo o múltiple: <u>MULTIPLES</u> Número de electrodos: <u>UNO</u> Espaciamiento entre electrodos: <u>NA</u> Longitudinal: _____ Lateral: _____ Angulo: _____</p>
<p>PROTECCION DEL ARCO Fundente: <u>NA</u> Gas <u>NA</u> Composición <u>NA</u> Electrodo-Fundente (Clase) Flujo <u>NA</u> <u>NA</u> T. de la Copa <u>NA</u></p>	<p>Distancia tubo de contacto-pieza: <u>NA</u> Martilleo: <u>NA</u> Limpieza entre pasos: <u>CEPILLADO</u></p>
<p>PRECALENTAMIENTO Temp. de Precalentamiento: <u>10 °C mín.</u> Temp. entre pasos: Mín <u>10 °C</u> Máx <u>150 °C</u></p>	<p>TRATAMIENTO TERMICO <u>NA</u> Temperatura: <u>NA</u> Tiempo: <u>NA</u></p>

NOTA: Dimensiones en pulgadas.

PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

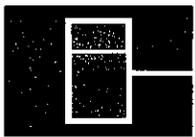
PASO No.	PROCESO	MATERIALES DE APORTE		CORRIENTE		VOLTS	VELOCIDAD DE AVANCE (pulg./min.)	DETALLE DE LA UNION
		CLASE	DIAMETRO	TIPO Y POLARIDAD	AMPS			
1	SMAW	E7018	1/8	CDEP	110±10	24±2	4±1	
2 a 7	SMAW	E7018	5/32	CDEP	150±15	26±2	3±1	
SANEADO DE RAIZ CON ARCO AIRE Y/O PULIDOR								
1'	SMAW	E7018	1/8	CDEP	110±20	24±2	4±1	

Elaborado por:

ING. JOSE GONZALEZ HERNANDEZ

Aprobado por:

ING. PEDRO GARZA ARELLANO



9.2 CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA

La Empresa debe utilizar WPSs aprobados, la aprobación de los WPSs es efectuada generalmente por el personal de Calidad y de acuerdo con un Código, cuando se está trabajando con AWS D1.1 se puede hacer esta aprobación con base en alguno de los siguientes criterios:

- A. se trata de un procedimiento precalificado,
- B. pruebas anteriormente hechas, o
- C. pruebas especiales para el WPS en cuestión.

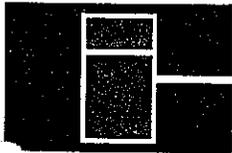
Un WPS precalificado es el que cumple en todas sus partes con AWS D1.1, se trata de un material base aprobado, un material de aporte aprobado, el tipo de unión y su preparación están aprobadas, el precalentamiento, la temperatura entre pasos, etc.

Si nos presentan para aprobación un WPS donde se describe como soldar a tope dos placas de $\frac{3}{4}$ " de espesor y ya existe un Registro de Calificación de Procedimiento (PQR) que describe esa misma soldadura en 1" de espesor, podemos aprobar el WPS en base al PQR ya existente.

Cuando no podemos aprobar un WPS en base a que es precalificado ni en base a pruebas anteriormente hechas, es necesario programar una prueba de calificación, deberán hacerse soldaduras bajo la supervisión de un Inspector de acuerdo con el WPS propuesto y estas soldaduras deberán ser sometidas a las pruebas destructivas y/o no destructivas especificadas.

El objetivo aquí es verificar si la unión resultante tiene las propiedades requeridas, por ésta razón la prueba que más se utiliza para calificar WPSs es la prueba de tensión.

En el PQR se registran los valores reales de los parámetros utilizados durante la soldadura y los resultados de las pruebas efectuadas, en las siguientes hojas se muestra un ejemplo utilizando el formato de AWS D1.1.



INSPECCION Y SISTEMAS
DE CALIDAD, S.A. DE C.V.

REGISTRO DE CALIFICACION DE
PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA
(PQR)

FORMATO AWS D1.1



EMPRESA: **MERESA**

PQR No.: **ISC 01/00**

WPS No.: **S1**

PROCESO: **SMAW**

Hoja: **1 de 2**

Fecha: **05/MAYO/00**

TIPO: Manual Semiautomática Automática Máquina

DISEÑO DE LA UNION

Tipo: **A TOPE "V" SENCILLA**
 Sencilla Doble
 Respaldo: Sí No
 Material de Respaldo: **NA**
 Separación en la Raíz: **1/16 max.** Hombro **1/16 max.**
 Angulo de la Unión: **58 a 62°** Radio (J-U): **NA**
 Saneamiento de la Raíz: Sí No
 Método: **ARCO AIRE**

POSICION

Posición de Ranura: **1G** Filete: **NA**
 Progresión: Ascendente Descendente **NA**

CARACTERISTICAS ELECTRICAS

Modo de Transferencia (GMAW): **NA**
 Corto circuito Globular Spray
 Corriente: CA CDEP CDEN Pulsada
 Otro: **NA**
 Electrodo de Tungsteno (GTAW): **NA**

TECNICA

Aportación Recta u Oscilante: **RECTA Y OSCILANTE**
 Paso sencillo ó múltiple: **MULTIPLE**
 Número de electrodos: **UNO**
 Espaciamiento entre electrodos: **NA**
 Longitudinal: _____
 Lateral: _____
 Angulo: _____

Distancia tubo de contacto-pieza: **NA**
 Martilleo: **NA**
 Limpieza entre pasos: **CEPILLADO**

MATERIALES BASE

Especificación: **ASTM A-36**
 Tipo ó Grado: **NA**
 Espesor: Ranura **1** Filete **NA**
 Diámetro (Tubo): **NA**

MATERIALES DE APORTE

Especificación AWS: **A 5.1**
 Clasificación AWS: **E7018**

PROTECCION DEL ARCO **NA**

Fundente _____ Gas: _____
 Composición: _____
 Electrodo-Fundente (Clase) _____ Flujo: _____
 T. de la Copa: _____

PRECALENTAMIENTO

Temp. de Pre calentamiento: **23° C**
 Temp. entre pasos: Mín. **>100° C** Máx. **<150° C**

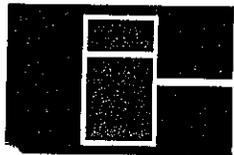
TRATAMIENTO TERMICO NA

Temperatura: _____
 Tiempo: _____

NOTA: Dimensiones en pulg.

PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

PASO No.	PROCESO	MATERIALES DE APORTE		CORRIENTE		VOLTS	VELOCIDAD DE AVANCE (pulg/min)	DETALLE DE LA UNION
		CLASE	DIAMETRO	TIPO Y POLARIDAD	AMPS			
1	SMAW	E7018	1/8	CDEP	110	24	5	<p>DOS PLACAS DE 8"x16" SOLDADAS EN 16"</p>
2 a 7	SMAW	E7018	5/32	CDEP	150	26	4	
1'	SMAW	E7018	1/8	CDEP	110	24	5	



**INSPECCION Y SISTEMAS
DE CALIDAD, S.A. DE C.V.**

**REGISTRO DE CALIFICACION DE
PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA
(PQR)**

PQR No.: ISC 01/00

Hoja: 2 de 2

PRUEBA DE RESISTENCIA A LA TENSION

MUESTRA No.	ANCHO (pulg.)	ESPESOR (pulg.)	AREA (pulg. ²)	CARGA ULTIMA (lb)	RESISTENCIA ULTIMA (psi)	LOCALIZACION Y TIPO DE FRACTURA
1	1.002	0.754	0.755	59,235	78,457	METAL BASE / DUCTIL
2	1.004	0.753	0.756	60,014	79,383	METAL BASE / DUCTIL

PRUEBA DE DOBLEZ GUIADO

MUESTRA No.	TIPO	RESULTADO	OBSERVACIONES
1	LATERAL	ACEPTABLE	- - -
2	LATERAL	ACEPTABLE	- - -
3	LATERAL	ACEPTABLE	- - -
4	LATERAL	ACEPTABLE	- - -

INSPECCION VISUAL

Apariencia: ACEPTABLE
 Cavado: NINGUNO
 Porosidad tubular: NINGUNA
 Convexidad: ACEPTABLE
 Fecha: 05/MAYO/00
 Inspector: ING. CARLOS RODRIGUEZ MORENO

INSPECCION RADIOGRAFICA/ULTRASONICA NA

Reporte RT No.: _____ Resultado: _____
 Reporte UT No.: _____ Resultado: _____

RESULTADOS DE LA PRUEBA DE FILETE NA

Tamaño mínimo con pasos múltiples	Tamaño máximo con paso sencillo
MACROATAQUE No.	MACROATAQUE No.
1. _____	1. _____
2. _____	2. _____
3. _____	3. _____

RESULTADO FINAL

ACEPTABLE INACEPTABLE

PRUEBA DE TENSION DEL METAL DE SOLDADURA NA

Resistencia a la tensión (psi): _____
 Punto de cedencia (psi): _____
 Elongación en 2" (%): _____
 Reporte No.: _____

Nombre del Soldador: PEDRO GARZA TREVIÑO

Estampa No.: 24

Pruebas efectuadas por: INSPECCION Y SISTEMAS DE CALIDAD, S.A. DE C.V.

Reporte No.: PF 01/00

Certificamos que todos los datos contenidos en este PQR son correctos y verdaderos y que las soldaduras de prueba fueron preparadas, soldadas e inspeccionadas de acuerdo a los requerimientos de la Sección 4 del Código ANSI/AWS D1.1, Edición 2002.

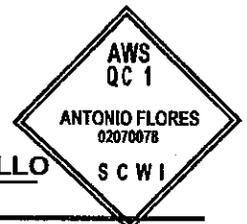
Elaborado por:

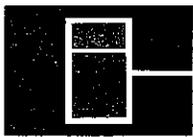
Aprobado por:



ING. CARLOS RODRIGUEZ MORENO
Responsable de las Pruebas

ING. ANTONIO FLORES CASTILLO
AWS SCWI 02070078





9.3 CALIFICACIÓN DE SOLDADORES

El objetivo de una prueba de soldador es verificar que la persona puede efectuar soldaduras sanas utilizando un WPS aprobado. No nos interesa ver si la unión aguanta una prueba de tensión, eso ya lo sabemos porque se trata de un WPS aprobado. Solamente nos interesa la SANIDAD y para eso se utilizan básicamente dos pruebas:

- ❖ Pruebas de Doblez Guiado, o
- ❖ Prueba Radiográfica

Generalmente se decide sobre bases económicas cuál de estas pruebas utilizar.

Si el soldador va a trabajar con varios procesos, se requiere que haga una prueba para cada uno de ellos, en virtud de una prueba exitosa el soldador queda aprobado para trabajar en un rango de materiales base, materiales de aporte, posiciones, etc., se necesita hacer un buen análisis de lo que va a hacer el soldador para reducir el número de pruebas de calificación requeridas.

Las diferentes normas manejan diferentes alternativas para las soldaduras de prueba, pero algo que nunca falla es que haga una soldadura igual a las soldaduras de la producción.

La mayoría de las normas permite calificar soldadores sobre la marcha con soldaduras reales de la producción.

En la siguiente hoja se incluye un ejemplo de Registro de Calificación de Soldador (WPQ) con el formato de AWS D1.1.

REGISTRO DE PRUEBA DE CALIFICACION DE ACUERDO CON



**INSPECCION Y SISTEMAS
DE CALIDAD, S.A. DE C.V.**

SOLDADOR
 OPERADOR DE SOLDADURA

CLIENTE: MERESA WPQ No.: 01/00
Nombre: PEDRO GARZA TREVIÑO Identificación No.: G100
Especificación de Procedimiento de Soldadura No.: S1 Rev.: 1 Fecha: 10 / MAYO / 00
Material Base Soldado: DOS PLACAS DE 1" x 4" x 8", SOLDADAS EN 8"

VARIABLES	VALORES UTILIZADOS EN LA CALIFICACION	RANGO DE CALIFICACION
Proceso	SMAW	
Electrodo (Sencillo ó Múltiple)	SENCILLO	SENCILLO
Corriente/Polaridad	CDEP	RANURA: PLACA Y TUBO: PLANA
Posición	1G	FILETE: PLACA Y TUBO: PLANA Y HORIZONTAL
Progresión	NA	NA
Respaldo (sí ó no)	NA	NA
Especificación del Material	ASTMA36 a ASTMA36	
METAL BASE		
Espesor: (Placa)		
Ranura	1"	1/8" Y MAYORES
Filete	NA	TODOS
Espesor: (Tubo)		
Ranura	NA	1/8" Y MAYORES
Filete	NA	TODOS
Diámetro: (Tubo)		
Ranura	NA	MAYOR DE 24"
Filete	NA	TODOS
METAL DE APORTE		
Especificación:	AWS A5.1	
Clasificación:	E7018	
No.F:	4	4 Y MENORES
Gas ó Fundente:	NA	NA

INSPECCION VISUAL

Aceptable SI NO

RESULTADOS DE LA PRUEBA DE DOBLEZ GUIADO NA

Tipo	Resultado	Tipo	Resultado

RESULTADO DE LA PRUEBA DE FILETE NA

Apariencia: _____
Penetración en la raíz de la Prueba de Fractura: _____ Tamaño del filete: _____
Macroataque: _____
Tipo de Fractura: _____

Inspector: _____ Prueba No.: _____
Empresa: _____ Fecha: _____

RESULTADOS DE LA PRUEBA RADIOGRAFICA

No. de Identificación de la Película	Resultados	Observaciones
PGT	ACEPTABLE	---

RESULTADO FINAL

APROBADO

Radiólogo: MARIO VILLARREAL CHAPA Prueba No.: RT 01/00
Empresa: INSPECCION Y SISTEMAS DE CALIDAD SA DE CV Fecha: 10 / MAYO / 00

Certificamos que toda la información contenida en este registro es correcta y verdadera y que las soldaduras de prueba fueron preparadas, soldadas y probadas de acuerdo con los requerimientos del Código: ANSI/AWS D1.1-2000

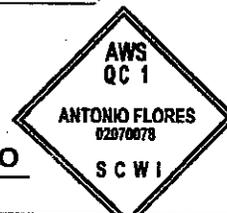
FORMATO AWS D1.1



Elaborado por:



Aprobado por:

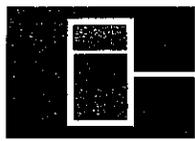


ING. CARLOS RODRIGUEZ MORENO

AWS CWI 00110641

ING. ANTONIO FLORES CASTILLO

AWS SCWI 02070078

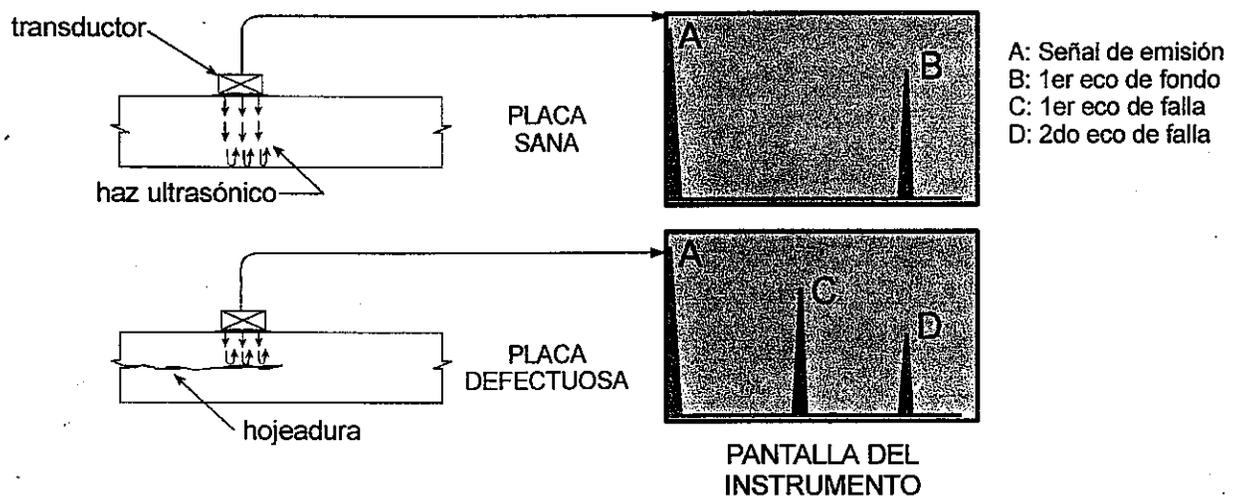


10. ANÁLISIS DE FALLAS EN MATERIALES Y SOLDADURA

10.1 FALLAS EN MATERIALES.

En las placas de acero roladas el defecto más común son las laminaciones, el término "laminaciones" se utiliza generalmente para referirse a una irregularidad o falta de homogeneidad (rechupe, hojeadura, porosidad, inclusión o segregación) en la placa, que como resultado del proceso de laminación ha tomado una forma laminar y se encuentra orientada en dirección paralela a las superficies mayores de la placa. Estas laminaciones por definición se presentan en una gran variedad de tipos, tamaños, formas y localizaciones y su presencia puede ser o no peligrosa dependiendo de las características de la laminación particular y los requerimientos de servicio de la placa que la contiene.

De los métodos disponibles para la detección y evaluación de laminaciones, el más práctico y seguro es el **Método Ultrasonico**. Cada día más utilizado, este método se basa en la reflexión del sonido en las fronteras entre medios de distintas características acústicas. En el caso de una separación total con una área mayor que el diámetro del haz ultrasónico, se tiene una reflexión del sonido del 100%.



10.2 FALLAS EN SOLDADURA

Las fallas de soldadura pueden ser de tres tipos:

- A. **GEOMÉTRICAS:** Por ejemplo la torsión, durante el trabajo con soldadura se establecen "SECUENCIAS DE SOLDADURA" apropiadas para minimizarla. La contracción cuando se solidifica el metal de soldadura puede también ser problemática.
- B. **FALLAS EN LAS PROPIEDADES:** Cuando se desea tener una soldadura muy resistente, no existe un método no destructivo para verificarlo, por eso se usan mucho las pruebas de dureza en soldaduras terminadas, esta es una manera indirecta de verificar resistencia y en su caso, ductilidad.
- C. **DISCONTINUIDADES:** Son interrupciones en la estructura física esperada en la soldadura, los tipos más comunes de estas fallas se muestran en la siguiente hoja.



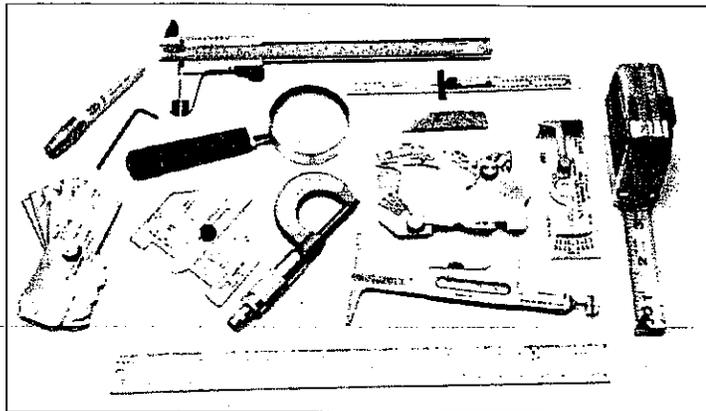
10.4 USO DE INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN Y CALIBRADORES DE SOLDADURA

Antes de utilizar cualquier instrumento de medición se debe verificar su estado de calibración y se debe utilizar solamente para las aplicaciones aprobadas de acuerdo con los procedimientos aplicables.

10.4.1 MEDICIONES DE LONGITUD

Para verificar las dimensiones de los materiales base como placas, tubos y perfiles, así como las preparaciones para soldar, el equipo del Inspector debe incluir instrumentos como:

- ❖ Escala de 15 cm
- ❖ Cinta métrica de 3 ó 5 m
- ❖ Cinta métrica de 15 ó 20 m
- ❖ Vernier
- ❖ Micrómetro
- ❖ Escuadra
- ❖ Goniómetro



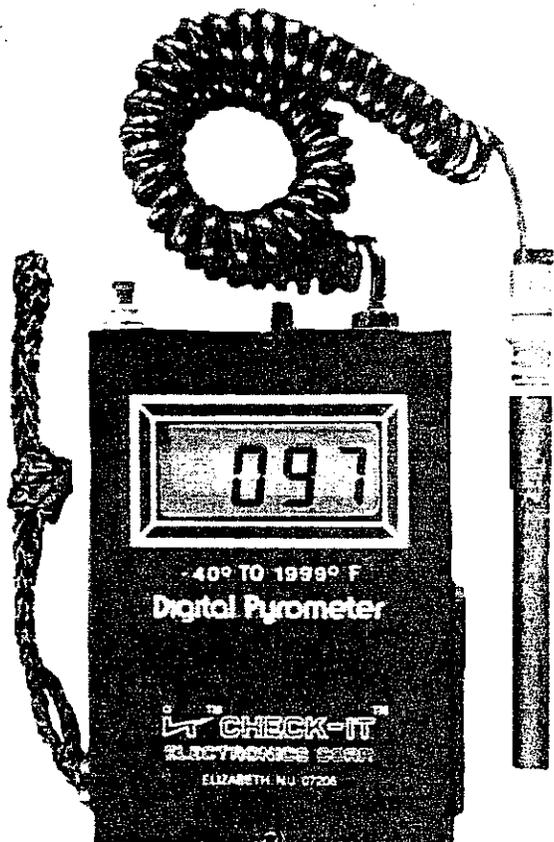
Cuando se requiere verificar linealidad en un tubo, columna, trabe, etc., dos imanes adecuados y un cordel de pesca pueden ser excelentes herramientas.

10.4.2 MEDICIONES DE TEMPERATURA

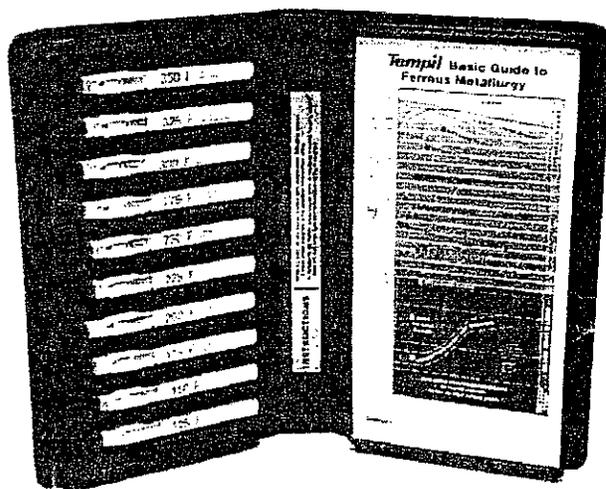
Antes del inicio de la soldadura, es importante verificar la temperatura de precalentamiento y durante el proceso los WPSs especifican una temperatura máxima entre pasos, para estas verificaciones se utilizan:

- ❖ Termómetro, o
- ❖ Crayones indicadores de temperatura

La gran variedad de termómetros disponibles a precios cada vez accesibles y la ventaja de poder medir la temperatura real, son factores que influyen para que el uso de los crayones indicadores de temperatura sea cada vez menor.



Termómetro



Crayones indicadores

MEDICIONES DE TEMPERATURA

10.4.3 MEDICIONES ELÉCTRICAS

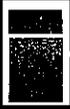
Para los procesos que utilizan electricidad, los WPSs, establecen el amperaje y el voltaje a utilizar en cada paso de soldadura, se considera esencial poder controlar estos parámetros para obtener una unión soldada de calidad.

Las máquinas de soldar deben incluir un amperímetro y un voltímetro calibrados, dependiendo de la situación particular, puede ser necesario que el Inspector cuente con equipo para verificar amperaje y/o voltaje.

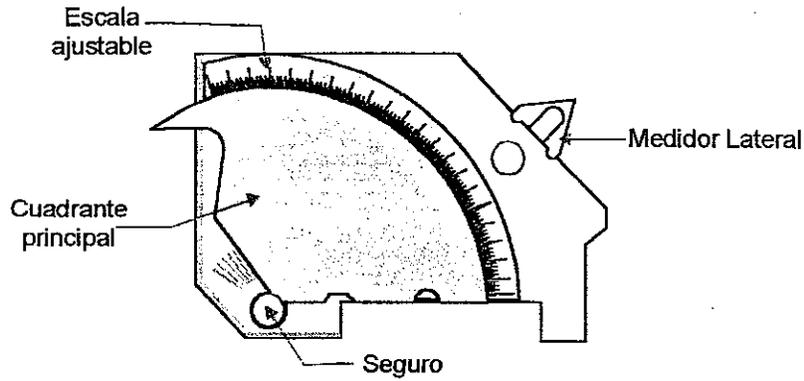
10.4.4 CALIBRADORES (GAGES)

En la fabricación con soldadura de productos y estructuras se utiliza una gran variedad de calibradores cuya idea básica es evitar una medición para una magnitud que se está verificando en forma repetitiva y que se ha especificado como aceptable dentro de cierto rango.

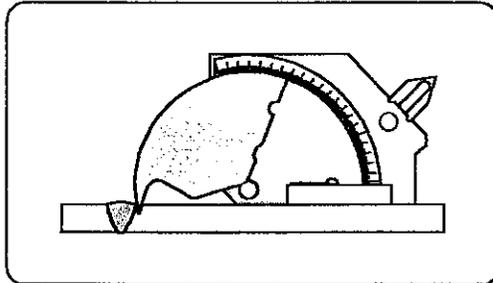
Los calibradores de soldadura funcionan bajo el mismo principio, no se pretende medir, solo establecer aceptabilidad o rechazo. A continuación se muestran tres de los más utilizados.



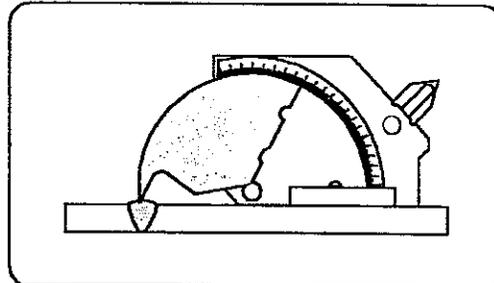
CALIBRADOR CAMBRIDGE



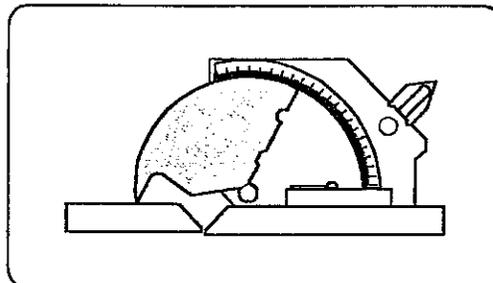
ALGUNAS APLICACIONES:



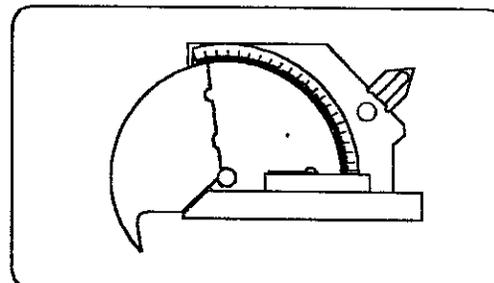
Socavado



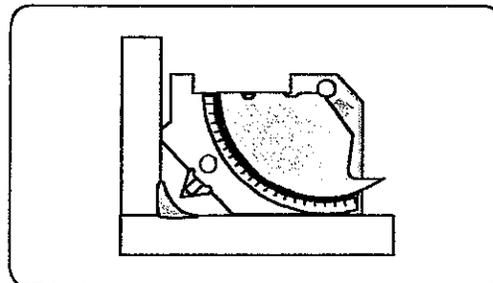
Tamaño del Refuerzo



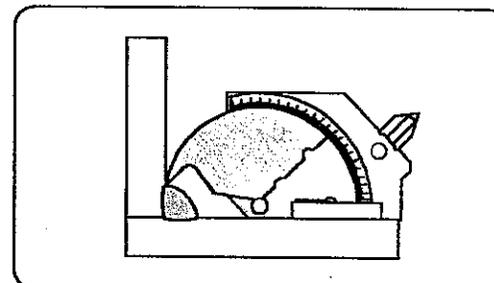
Desalineamiento



Ángulo de Preparación



Tamaño de un filete cóncavo



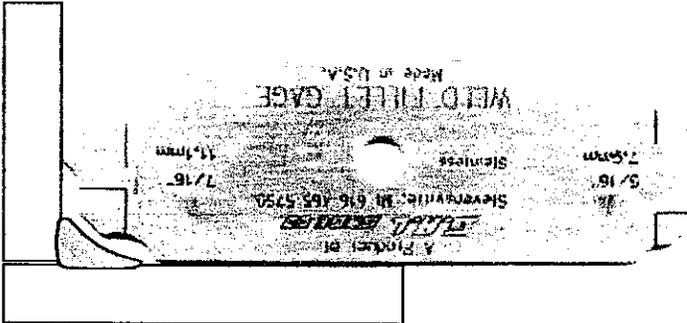
Tamaño de un filete convexo



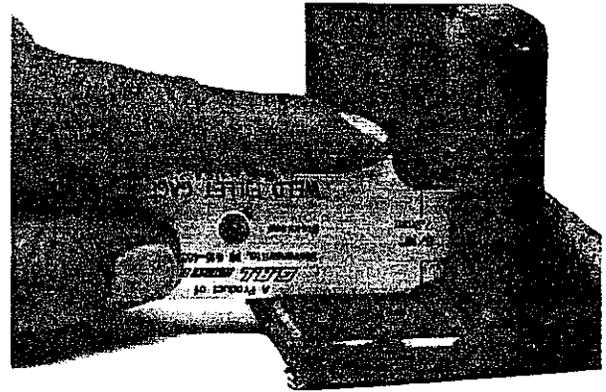
CALIBRADOR DE LAINAS PARA SOLDADURA DE FILETE

Este calibrador consiste en un juego de linternas que se utilizan para verificar el tamaño de la soldadura:

A. FILETES CÓNCAVOS

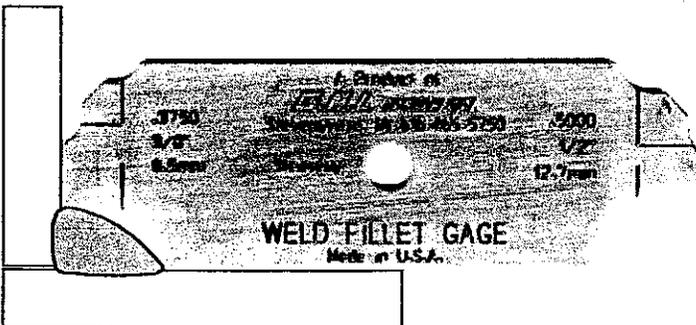


Soldadura inaceptable

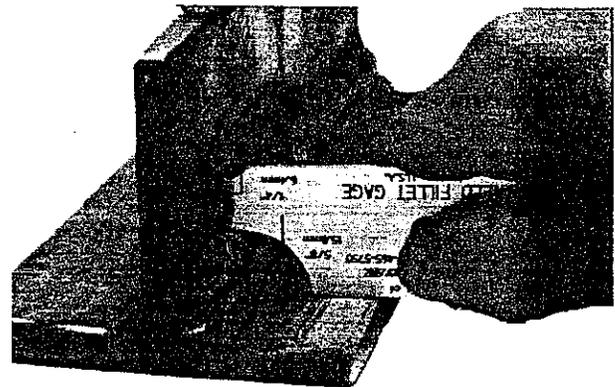


Soldadura aceptable

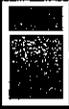
B. FILETES CONVEXOS



Soldadura inaceptable

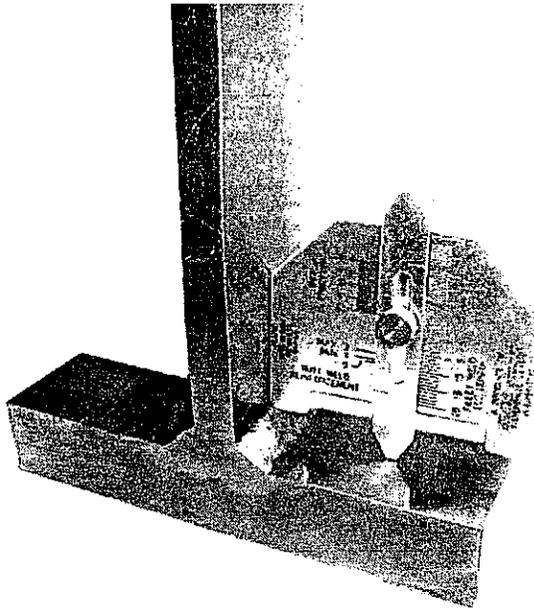


Soldadura aceptable

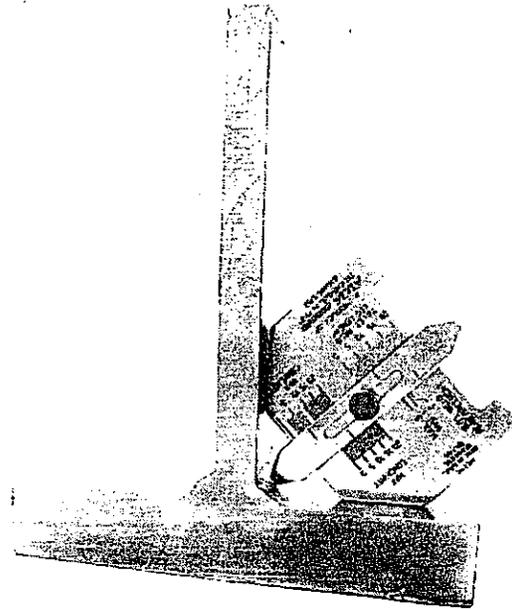


CALIBRADOR DE REFUERZOS

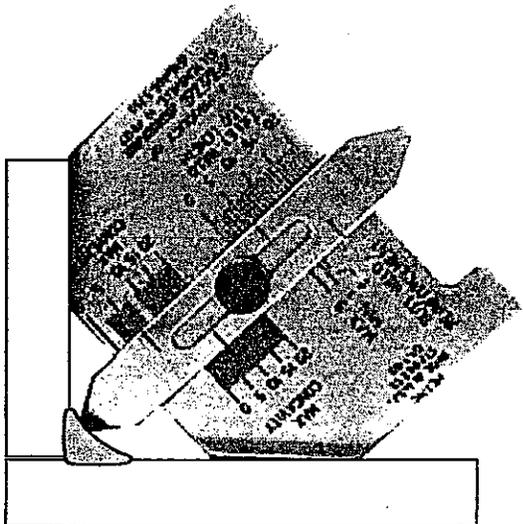
Es ideal para verificar el tamaño del refuerzo de una soldadura a tope y además:



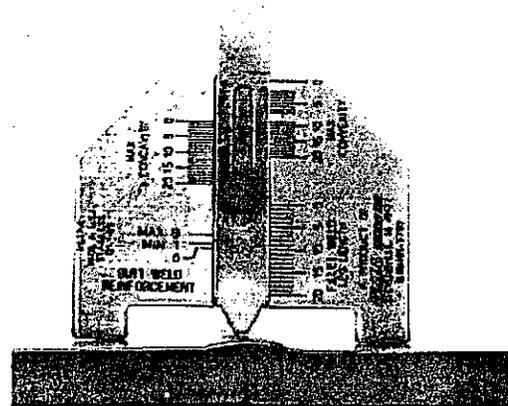
Tamaño de un filete convexo



Convexidad



Tamaño de un filete cóncavo



Tamaño del Refuerzo