

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE HIDALGO**



**INSTITUTO DE CIENCIAS  
BÁSICAS E INGENIERÍA**

LICENCIATURA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

**MONOGRAFÍA:**

“APLICACIÓN E INSPECCIÓN DE SOLDADURA”

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

INGENIERO INDUSTRIAL

**PRESENTA:**

P.D.I.I. DAVID OSTRIA HERNÁNDEZ

**DIRECTOR:**

ING. JOSÉ MANUEL HERNÁNDEZ ARREOLA

MINERAL DE LA REFORMA, HIDALGO ENERO 2009

## **AGRADECIMIENTOS:**

**A mi papa:** Gracias por educarme y darme todo el amor que pudiste brindar, siempre estarás en mi mente y corazón, siempre estaré contigo papa.

**A mi familia:** les agradezco mucho todo el apoyo que me han brindado, por el tiempo que me han cuidado y por todo el amor y cariño que me han dado, gracias por preocuparte por mí, te quiero muchísimo mama y a ustedes hermanos... los quiero mucho.

**A Mitzi:** Gracias chamaca por preocuparte por mí, por apoyarme, por estar a mi lado y por todo el amor que me has brindado, recuerda que te amo y que eres muy importante en mi vida.

**A dios:** Gracias por cuidarme y darme fuerza en los momentos más difíciles de mi vida, por no abandonarnos en ningún momento.

**A al UAEH y profesores:** Agradezco a esta gran institución por darme la oportunidad de concluir una carrera profesional. A mis profesores por sus conocimientos, experiencias, tiempo ofrecidos para mi formación universitaria y la consecución de este trabajo... Muchas Gracias.

Atte. David Ostria Hernández.

# Índice

**Página**

Introducción.....	1
Justificación.....	2
Objetivos.....	3
<b>Capítulo 1. Introducción a la soldadura.....</b>	<b>4</b>
1.1. Reseña histórica de la soldadura.....	4
1.2. Inspección en Soldadura.....	6
1.2.1. Inspector de soldadura.....	6
<b>Capítulo 2. Códigos, Normas y Especificaciones.....</b>	<b>10</b>
2.1. Introducción.....	10
2.2. Definiciones.....	10
2.2.1. Código (code).....	10
2.2.2. Normas (standards).....	10
2.2.3. Especificación.....	10
2.3. Origen De Las Normas.....	10
2.4. Aplicabilidad De Las Normas.....	11
2.4.1. Descripción De Algunas Normas De Soldadura.....	11
2.4.1.1. Código ANSI / ASME para calderas y recipientes a presión (ASME BPVC).....	11
2.4.1.2. Sección B31.4, "Sistemas de Transportación Líquida para Hidrocarburos, Gas Líquido de Petróleo, Amoníaco Anhidro y Alcoholes".....	12
2.4.1.4. Código para Soldadura de Puentes ANSI/ASHTO/AWS D1.5.....	12
2.4.1.5. Norma API 1104 para Líneas de tubería e Instalaciones Relacionadas.....	13
2.4.1.6. Especificaciones AWS para materiales consumibles de soldadura.....	13
<b>Capítulo 3. Calificación de Procedimientos y Personal de Soldadura.....</b>	<b>15</b>
3.1. Introducción.....	15
3.2. Formatos utilizados en soldadura.....	15
3.2.1. Especificación del Procedimiento de Soldadura.....	15
3.2.2. Registro de la Calificación del Procedimiento.....	15
3.2.3. Calificación de la Ejecución del Soldador.....	18
<b>Capítulo 4. Procesos de Soldadura.....</b>	<b>20</b>
4.1. SMAW (Stick Manual Arc Welding) Soldadura de arco manual.....	20
4.1.1. Introducción e Historia.....	20
4.1.2. Equipamiento del proceso SMAW.....	21
4.1.3. Principales Características y Variables del Proceso.....	22
4.1.4. Limitaciones y Beneficios.....	23
4.1.5. Electrodos.....	23
4.1.5.1. Subdivisión de los electrodos.....	24
4.1.5.2. Características de los diferentes tipos de electrodos.....	25
4.1.5.3. Clasificación de los electrodo.....	26
4.2. FCAW (Flux Cored Arc Welding) Soldadura de arco con electrodo tubular.....	28
4.2.1. Introducción e Historia.....	28
4.2.2. Principales Características.....	29
4.2.3. Equipamiento.....	31
4.2.4. Materiales.....	31
4.2.4.1. Gases de protección.....	31

4.2.4.2. Electroodos.....	32
4.2.4.3. Metales Bases Soldables.....	32
4.2.5. Control del Proceso.....	33
4.2.5.1. Corriente de soldadura.....	33
4.2.5.2. Tensión del arco.....	33
4.2.5.3. Extensión del electrode.....	33
4.2.5.4. Velocidad de trabajo.....	34
4.2.5.5. Flujo de gas.....	34
4.2.5.6. Velocidad de deposición y eficiencia.....	34
4.2.5.7. Angulo del electrode.....	34
4.2.5.8. Diseños de juntas.....	35
4.2.6. Ventajas y limitaciones del proceso FCAW.....	35
4.3. GMAW/MIG (Gas Metal Arc Welding) Soldadura de arco metal.....	36
4.3.1. Introducción.....	36
4.3.2. Ventajas y limitaciones.....	36
4.3.3. Equipamiento.....	37
4.3.4. Principales características.....	37
4.3.4.1. Transferencia en corto circuito.....	38
4.3.4.2. Transferencia globular.....	39
4.3.4.3. Transferencia tipo spray (axial).....	40
4.3.5. Variables del proceso.....	40
4.3.6. Materiales.....	41
4.3.6.1. Gases de protección.....	41
4.3.6.2. Electroodos.....	42
4.4. GTAW/TIG (Gas Tungsten Arc Welding) Soldadura de arco-gas Tungsteno.....	42
4.4.1. Introducción.....	43
4.4.2. Ventajas y limitaciones.....	43
4.4.3. Fundamentos del proceso.....	44
4.4.4. Equipamiento.....	45
4.4.4.1. Soplete o antorchas.....	45
4.4.4.2. Electroodos.....	45
4.4.4.3. Fuente de poder.....	46
4.4.4.4. Gases de protección.....	46
4.4.5. Técnicas del GTAW.....	47
4.5. SAW (Submerged Arc Welding) Soldadura de Arco Sumergido.....	48
4.5.1. Introducción.....	48
4.5.2. Descripción del Proceso.....	49
4.5.3. Operación del Proceso.....	49
4.5.4. Factores para su utilización.....	49
4.5.5. Equipo Necesario.....	50
4.5.6. Principio de funcionamiento.....	50
4.5.7. Métodos de Aplicación.....	51
4.5.8. Electroodos y Fundentes.....	52
4.5.9. Selección de los parámetros de soldadura.....	53
4.5.10. Ventajas y desventajas del proceso SAW.....	55
<b>Capítulo 5. Simbología, discontinuidades y defectos de soldadura.....</b>	<b>57</b>
5.1. Localización de los Elementos de un Símbolo de soldadura.....	57
5.2. Ubicación de la significación de la flecha.....	57
5.3. Los Tipos de Soldadura.....	58
5.4. Elementos Suplementarios.....	58
5.5. Los Elementos de un símbolo de soldadura.....	59

5.6. Elementos de un símbolo en Soldaduras de Ranura.....	59
5.7. Elementos de un símbolo para Soldaduras de Filete.....	60
5.8. Flecha Quebrada.....	61
5.9. Símbolos Combinados.....	61
5.10. Elementos de un símbolo para soldaduras de tapón.....	61
5.11. Símbolos para pruebas no destructivas.....	62
5.12. Juntas Básicas en Soldadura.....	63
5.13. Posiciones para aplicación de soldadura.....	63
5.14. Calificación del personal por posición de aplicación de soldadura.....	64
5.15. Discontinuidades y defectos en soldadura.....	64
<b>Capítulo 6. Métodos de inspección.....</b>	<b>70</b>
6.1. Inspección Visual.....	70
6.2. Líquidos penetrantes.....	75
6.2.1. Aplicación y limitaciones.....	75
6.2.2. Secuencia operacional de la prueba.....	75
6.2.3. Penetrantes y sus propiedades.....	80
6.2.3.1. Propiedades físicas de los penetrantes.....	81
6.2.3.2. Tipos de penetrantes.....	82
6.2.3.3. Selección del penetrante.....	83
6.2.4. Reveladores y su naturaleza.....	84
6.2.4.1. Propiedades de los reveladores.....	84
6.2.4.2. Tipos de reveladores.....	85
6.2.4.3. Selección del revelador.....	87
6.2.5. Ventajas y limitaciones de los líquidos penetrantes.....	87
6.3. Partículas Magnéticas.....	88
6.3.1. Descripción de las Partículas Magnéticas.....	89
6.3.2. Clasificación de los materiales para su inspección.....	89
6.3.3. Técnicas de un ensayo de partículas magnéticas.....	90
6.3.4. Método de magnetización.....	91
6.3.5. Técnicas de magnetización por inducción de campo magnético.....	93
6.3.6. Método de aplicación de las partículas magnéticas.....	93
6.3.7. Procedimiento a seguir en la prueba de partículas magnéticas.....	94
6.3.8. Ventajas y limitaciones de Partículas Magnéticas.....	95
6.4. Ultrasonido.....	95
6.4.1. Antecedentes Históricos.....	95
6.4.2. Métodos básicos de inspección.....	96
6.4.3. Características generales de las ondas ultrasónicas.....	97
6.4.4. Elementos de un Equipo de Ultrasonido.....	98
6.4.5. Procedimiento a seguir.....	98
6.4.6. Interpretaciones de las indicaciones o resultados.....	99
6.4.7. Ventajas y desventajas.....	99
6.5. Pruebas de radiografía.....	100
6.5.1. Introducción.....	100
6.5.2. Procedimientos de la inspección.....	100
6.5.3. Evaluación del nivel de calidad.....	101
6.5.4. Técnicas de radiografía.....	104
6.5.5. Ventajas y desventajas.....	105
6.5.6. Conclusiones.....	105

<b>Capítulo 7. Salud y seguridad en soldadura.....</b>	<b>106</b>
7.1. Tipo de riesgos a la salud.....	106
7.1.1. Radiaciones (UV, IR) y deslumbramientos.....	106
7.1.2. Vapores y gases.....	107
7.1.2.1. Vapores de soldadura.....	107
7.1.2.2. Gases de soldadura.....	108
7.1.2.3. Acciones Preventivas de vapores y gases.....	109
7.1.3. Riesgo de incendio y proyecciones.....	109
7.1.3.1. Riesgo asociado con proyecciones.....	109
7.1.3.2. Riesgo de Incendio.....	109
7.1.4. Riesgo por exposición a Ruidos.....	110
7.1.5. Ergonomía.....	110
7.1.6. Equipo de protección personal para inspeccionar y soldar.....	111
Conclusiones.....	112
Anexo.....	113
Bibliografía y referencias.....	129
Documentos electrónicos.....	130

## Índice de figuras:

Pagina

Figura 1. Experiencia en inspección.....	9
Figura 2. Planos o dibujos de fabricación.....	9
Figura 3. Condiciones del equipo de trabajo.....	9
Figura 4. Calidad de cordones individuales.....	9
Figura 5. Técnicas de acuerdos al procedimiento.....	9
Figura 6. Apariencia final.....	10
Figura 7. a) Equipamiento del Proceso SMAW, b) Aplicación del Proceso SMA.....	21
Figura 8. Clasificación de electrodos de acero dulce en proceso SMAW.....	26
Figura 9. Clasificación de electrodo cubierto de baja aleación de acero.....	27
Figura 10. Proceso FCAW bajo protección gaseosa.....	30
Figura 11. Proceso FCAW autoprotegido.....	30
Figura 12. Equipamiento necesario.....	31
Figura 13. Clasificación de los electrodos de aceros al carbono para FCAW.....	32
Figura 14. Clasificación de los electrodos de aceros aleados para FCAW.....	32
Figura 15. Posiciones de antorcha recomendadas.....	35
Figura 16. Equipo necesario para el proceso GMAW.....	37
Figura 17. Proceso GMAW.....	38
Figura 18. Corto circuito.....	38
Figura 19. Transferencia en corto circuito.....	39
Figura 20. Transferencia globular.....	39
Figura 21. Transferencia spray (axial).....	40
Figura 22. Electrodos de aceros al carbono para GMAW.....	42
Figura 23. Esquema del proceso GTAW.....	42
Figura 24. Equipamiento necesario.....	44
Figura 25. Técnica de soldadura.....	47
Figura 26. Proceso de arco sumergido.....	49
Figura 27. Equipo de soldadura para arco sumergido.....	50
Figura 28. Funcionamiento del proceso SAW.....	51
Figura 29. Inclinación del alambre.....	55
Figura 30. Proceso múltiple de soldadura por arco sumergido.....	56
Figura 31. Soldadura solapada.....	65
Figura 32. Socavación de soldadura.....	66
Figura 33. Rasgado laminar.....	67
Figura 34. Fractura de soldadura.....	67
Figura 35. Golpes de arco.....	67
Figura 36. Tamaño de soldadura.....	68
Figura 37. Identificación de discontinuidades y defectos.....	68
Figura 38. Proceso general de líquidos penetrantes.....	88
Figura 39. Magnetización con puntas de contacto.....	92
Figura 40. Magnetización entre causales.....	92
Figura 41. Magnetización con solenoide (bobina).....	93
Figura 42. Elementos de un Equipo de Ultrasonido.....	98
Figura 43. Interpretación de ultrasonido.....	99
Figura 44. Poros.....	102
Figura 45. Detección de poros por radiografía.....	102
Figura 46. Inclusiones de escoria.....	102
Figura 47. Detección de inclusiones de escoria por radiografía.....	103
Figura 48. Fracturas.....	103

Figura 49. Detección de fracturas por radiografía.....	103
Figura 50. Socavaciones.....	103
Figura 51. Detección de socavaciones por radiografía.....	104
Figura 52. Equipo de protección personal para soldar.....	111

## Índice de tablas

Página

Tabla 1 Tipos de electrodos.....	25
Tabla.2 Descripción de los dos últimos dígitos de electrodo cubierto.....	27
Tabla 3. Posición de operación del electrodo.....	27
Tabla 4. Códigos de color y elementos de aleación.....	45
Tabla 5. Regulación para soldadura en arco sumergido.....	56
Tabla 6. Principales pruebas no destructivas.....	70
Tabla 7. Ventajas y limitaciones de líquido penetrante fluorescente.....	83
Tabla 8. Ventajas y limitaciones líquido penetrante fluorescente post-emulsionable.....	84
Tabla 9. Ventajas y limitaciones de líquido penetrante coloreado.....	84
Tabla 10. Clasificación de los materiales para su inspección con partículas magnéticas.....	90

## Glosario de términos:

**Aleación:** Sustancia de características metálicas obtenida por la incorporación de unos o varios elementos a un metal.

**Angulo de Trabajo:** Los ángulos menores a 90° entre una línea perpendicular hacia la mayor superficie de la pieza de trabajo y un plano determinado por el eje del electrodo y el eje de la soldadura. En una junta en "T" o una junta en esquina la línea es perpendicular a el elemento no alineado. Este ángulo puede ser usado parcialmente definiendo la posición de la antorcha, perno o ojal.

**Calibrador de Soldadura:** Un aparato diseñado para medir la forma y tamaño de la soldadura.

**Calidad:** Es la totalidad de los rasgos y características de un producto o servicio que se sustenta en su habilidad para satisfacer las necesidades implícitas o explícitas de una persona.

**Cara de la Soldadura:** La superficie expuesta de una soldadura sobre el lado donde la soldadura fue hecha.

**Cedencia:** Es el punto en el cual la deformación del material se produce sin incremento sensible del esfuerzo.

**Chisporroteo:** Las partículas de metal expulsadas durante la fusión de la soldadura que no forman parte de la misma.

**Ciclo de Trabajo:** El porcentaje de tiempo durante un periodo de prueba arbitrario en que una fuente de poder o sus accesorios pueden ser operados a un nivel de salida sin sobrecalentar.

**Código:** Es un conjunto de requisitos y condiciones, generalmente aplicables a uno o más procesos que regulan de manera integral el diseño, materiales, fabricación, construcción, montaje, instalación, inspección, pruebas, reparación, operación y mantenimiento de instalaciones, equipos, estructuras y componentes específicos.

**Convexidad:** La máxima distancia de la cara de una soldadura convexa, perpendicular a la línea que une los bordes de la soldadura.

**Cordón de Respaldo:** Una soldadura de respaldo resultante de una soldadura posterior.

**Crater:** Una depresión en la cara de la aplicación al final de un cordón de soldadura.

**Defecto:** Una discontinuidad que por su naturaleza ó efecto acumulado no cubre el estándar mínimo de aceptación por lo que es rechazable.

**Discontinuidades Alineadas:** Tres o más discontinuidades alineadas aproximadamente paralelas al eje de la soldadura, espaciadas lo suficientemente cerca para ser consideradas una discontinuidad intermitente.

**Ductilidad:** Es la habilidad de un material para deformarse antes de fracturarse.

**Elasticidad:** Es la habilidad de un material para recuperar sus dimensiones originales al retirar el esfuerzo aplicado. Es decir, es la capacidad de recibir un esfuerzo sin deformarse permanentemente.

**Electrodo:** Varilla compuesta de diferentes elementos que se utiliza para la soldadura al arco eléctrico de dos piezas metálicas, originando su unión por el depósito de un cordón de soldadura

**Escoria:** Un producto no metálico resultado de una mutua disolución del fundente e impurezas no metálicas en algunas soldaduras y procesos abrasivos.

**Especificación:** es una norma que describe clara y concisamente los requisitos esenciales y técnicos para un material, producto, sistema o servicio. También indica los procedimientos, métodos, clasificaciones o equipos a emplear para determinar si los requisitos especificados para el producto han sido cumplidos o no.

**Exanimación No Destructiva (NDE):** El acto de determinar la conveniencia de un material o componente para el propósito proyectado usando técnicas que no afecten el servicio.

**Fundente:** Un material usado para impedir o prevenir la formación de óxidos y otras sustancias indeseables en el metal fundido y sobre las superficies de metal sólido, y para disolver o de otra manera facilitar la remoción de tales sustancias.

**Fusión:** unió de dos o más elementos para conformarse en uno solo

**Fractura de Soldadura:** Una fractura localizada en el material de la soldadura o en la zona afectada por el calor.

**Gas de Protección:** Gas de protección usado para prevenir o reducir la contaminación atmosférica.

**Inserto Consumible:** Metal de aporte que es colocado en la raíz de la junta antes de soldar, con el propósito de ser completamente fundido en la unión de raíz para ser parte de la soldadura.

**Junta de Borde:** Una junta entre los bordes de dos o mas elementos paralelos o cercanamente paralelos.

**Junta de Esquina:** Una junta entre dos elementos localizados aproximadamente en ángulo recto, uno con otro formando una "L".

**Junta de Penetración Completa:** Una soldadura de ranura en la cual la soldadura se extiende completamente en toda la junta.

**Junta de Penetración Parcial:** Una soldadura de ranura donde el material de aporte no se extiende en todo el espesor del material.

**Material Base:** El material que es soldado o cortado

**Metal de Aporte:** El metal o aleación a ser agregado en la fabricación de juntas soldadas.

**Normas:** se aplica de manera indistinta a especificaciones, códigos, métodos, practicas recomendadas, definiciones de términos, clasificaciones y símbolos gráficos que han sido aprobados por un comité patrocinador (vigilante) de cierta sociedad técnica y adoptados por esta.

**Penetración de la Junta:** La distancia de la aplicación que se extiende de la cara de la soldadura, dentro de la soldadura. Excluyendo su refuerzo o corona.

**Penetración de Raíz:** La distancia en la que se extiende la soldadura en el metal en la raíz de la junta.

**Pierna de Soldadura de Filete:** La distancia de la junta de raíz al borde de la soldadura de filete.

**Plasticidad:** Es la capacidad de un material para deformarse bajo la acción de un esfuerzo y retener dicha deformación al reiterarlo.

**Raíz de la Junta:** La posición de una junta a ser soldada, donde los elementos están muy cercanos en una sección cruzada. La raíz de la junta puede ser un punto, una línea o un área

**Raíz de la Soldadura:** Los puntos vistos en una sección de corte, en la cual la superficie de raíz interseca la superficie del metal base.

**Refuerzo de Cara:** Aplicación de refuerzo sobre el lado de la junta desde la cual la soldadura fue hecha.

**Refuerzo de Raíz:** Soldadura de refuerzo opuesta a el lado del cual la soldadura fue hecha.

**Remates de Soldadura:** Material adicional que se extiende mas allá del extremo de la junta en la cual la soldadura esta aplicada.

**Respaldo:** Un material o dispositivo colocado en el lado posterior de la junta, o en ambos lados de una soldadura en electro-escoria o electro-gas para retener el metal de soldadura fundido. El respaldo puede ser parcialmente fundido o no durante la soldadura y puede ser opcionalmente metálico o no metálico.

**Soldadura:** Una coalescencia localizada de metales o no metales producida por el calentamiento de los materiales hasta su temperatura de fusión, con o sin aplicación de presión y con o sin el uso de material de aporte.

**Soldadura Aceptable:** Una soldadura que cumple con los requerimientos aplicables.

**Soldadura de Borde:** Una soldadura en el borde de la junta, una pestaña o reborde en una junta a tope o una pestaña o reborde en una junta de esquina en la cual el espesor completo del elemento es fusionado.

**Soldadura de Campo:** Una soldadura echa en una localidad diferente que la del taller o lugar donde se inicio la construcción.

**Soldadura de Filete:** Una soldadura de sección aproximadamente triangular, uniendo dos superficies en aproximadamente ángulo recto en cualquiera de las siguientes juntas, traslapada, en "T", o esquina.

**Soldadura de Filete Cóncavo:** Una soldadura de filete teniendo una cara cóncava.

**Soldadura de Filete Convexa:** Soldadura de filete con cara convexa.

**Soplo Magnético:** La desviación de un arco de su normal debido a fuerzas magnéticas.

**Soldadura de fragua:** cuando los metales se calientan en un horno y se unen a golpes de martillo.

**Soldadura de Refuerzo:** Soldadura en exceso de la cantidad requerida para llenar la junta.

**Soldadura de Respaldo:** Una soldadura hecha en la parte posterior de una soldadura de ranura.

**Vaciado Posterior:** Remoción de soldadura y metal base del lado de la raíz de una junta soldada para facilitar la completa fusión y penetración en posteriores aplicaciones de ese lado.

**Velocidad de Alimentación del Alambre:** La rapidez a la cual el alambre es consumido en soldaduras o corte con arco.

**Zona Afectada por el Calor:** La porción del metal base cuyas propiedades mecánicas o su micro estructura han sido alteradas por el calentamiento de la soldadura o el corte térmico.

## INTRODUCCION

El fin de este trabajo es dar a conocer los aspectos mas importantes de la soldadura necesarios para comprender y establecer un correcto y completo "procedimiento de soldadura" que contemple los criterios de soldabilidad de los materiales ferrosos, la selección de materiales de aporte, las variables de los procesos de soldadura y sus influencias en las propiedades mecánicas y químicas de las estructuras soldadas, y los aspectos de la inspección de las soldaduras, necesarias para asegurar la eficiencia y vida útil de las mismas, comprender los criterios que afectan a la soldabilidad de los aceros y los ensayos e inspecciones que se realizan a las uniones soldadas.

En el capitulo uno se hablara sobre los acontecimientos mas importantes en la historia de la soldadura, así como la manera en como han ido evolucionando los distintos procesos existentes, así también los requerimientos, conocimientos que debe tener la personas que inspeccionan y aplican la soldadura

En el capitulo tres se menciona la definición de códigos, norma y especificaciones, así como también el origen y aplicación de las normas, además de la descripción de las principales códigos, normas y especificaciones aplicables a la soldadura.

También se encontrara definición de los principales formatos utilizados en soldadura como son: Especificación del procedimiento de soldadura, registro de la calificación del procedimiento y calificación de la ejecución del soldador.

El capitulo cinco trata de los procesos de soldadura mas destacados en la actualidad como son: SMAW (Stick Manual Arc Welding) Soldadura de arco manual, FCAW (Flux Cored Arc Welding) Soldadura de arco con electrodo tubular, GMAW/MIG (Gas Metal Arc Welding) Soldadura de arco metal, GTAW/TIG (Gas Tungsten Arc Welding) Soldadura de arco-gas Tungsteno, SAW (Submerged Arc Welding) Soldadura de Arco Sumergido. Se describen las principales características, elementos, ventajas y desventajas de estos.

En el capitulo seis se menciona la simbología utilizada en soldadura, como son los elementos principales y suplementarios de un símbolo, así como el significado de las flechas de acuerdo a su ubicación y aplicación, también encontraremos los tipos de soldaduras, las juntas básicas de soldadura y calificación de personal por posición de acuerdo a la aplicación de soldadura. Después se encontrara las definiciones y tipos de discontinuidades y defectos de soldadura, además de las causas que los originan.

En el capitulo siete se encontrara información acerca de los principales métodos de inspección utilizados en soldadura, que son cinco diferentes: inspección visual, líquidos penetrantes, partículas magnéticas, ultrasonido y pruebas de radiografía. De estos métodos encontraremos información sobre sus principales característica, procedimiento básico para aplicarlos, ventajas y desventajas, forma de aplicarlos, etc.

En este trabajo también se existe información sobre riesgos de salud y protección personal en soldadura

## **Justificación.**

La justificación de este trabajo se basa de una mejor comprensión y conocimiento de la manera de aplicar e inspeccionar la soldadura dirigido a todas aquellas personas que poseen conocimientos de soldadura y desean complementarlos con el fin de lograr una homologación para la realización de trabajos que así lo demanden. Este trabajo cuenta con el apoyo del materia exclusivo y soporte por parte de tutores. De esta manera se obtiene la formación y preparación necesaria para poder desempeñar las funciones laborales propias de la soldadura, por lo que el contenido aporta información necesaria para poder optar a salidas profesionales que coincidan con este perfil.

## **Objetivos:**

- Aportar conocimientos de “Aplicación e inspección de soldadura” y crear un mayor interés sobre este tema a personas interesadas e involucradas en soldadura, así como su aplicación a empresas e industrias de manera individual o en su conjunto para lograr altos niveles de competitividad.
- Dar a conocer las herramientas y técnicas que conforman y se utilizan en la aplicación e inspección de soldadura, así como sus beneficios o resultados que se logran dentro de las organizaciones.
- Permitir a los lectores de este tema e involucrados en este ramo tener una idea general de cómo obtener productos y procesos de soldadura con un grado de calidad satisfactorio y aceptable ya que hoy en día es muy importante dentro de las industrias y vida diaria.
- Ayudar a personas con conocimientos de soldadura a realizar inspecciones y ensayos o pruebas no destructivas de las uniones soldadas y análisis de los defectos encontrados de las mismas.
- El personal que aplica inspección en soldadura deben tener conocimiento básico del equipo de protección personal a utilizar durante la inspección y aplicación de soldadura.
- Va dirigido a los inspectores de control de calidad y diseñadores mecánicos o a profesores de dibujo y proceso de fabricación de toda industria metal mecánica.

## Capítulo 1. Introducción a la soldadura

### 1.1. Reseña histórica de la soldadura

El entorno industrial con el que comienza este siglo se caracteriza por la competitividad, la velocidad de los cambios y la inestabilidad de la demanda. Ello se debe, en buena medida, al aumento de las exigencias de los clientes en mercados maduros, que requieren productos de calidad que se ajusten a sus necesidades específicas, así como entregas más frecuentes y rápidas.

En la fabricación de productos y estructuras metálicas uno de los elementos principales que los componen es la soldadura, que ha alcanzado en estos últimos decenios una importancia y un desarrollo sin precedentes; además de suplantar casi por completo el remachado, ha encontrado aplicación en muchísimos otros campos de construcciones mecánicas.

¿Qué es soldar? es un proceso de fabricación en donde se realiza la unión de dos materiales, (generalmente metales o termoplásticos), usualmente logrado a través de la coalescencia (fusión), en la cual las piezas son soldadas derritiendo ambas y agregando un material de relleno derretido (metal o plástico), el cual tiene un punto de fusión menor al de la pieza a soldar, para conseguir un baño de material fundido (el *baño de soldadura*) que, al enfriarse, se convierte en una unión fuerte (welding). A veces la presión es usada conjuntamente con el calor, o por sí misma, para producir la soldadura. Esto está en contraste con la soldadura blanda (en inglés *soldering*) y la soldadura fuerte (en inglés *brazing*), que implican el derretimiento de un material de bajo punto de fusión entre piezas de trabajo para formar un enlace entre ellos, sin fundir las piezas de trabajo.

Muchas fuentes de energía diferentes pueden ser usadas para la soldadura, incluyendo una llama de gas, un arco eléctrico, un láser, un rayo de electrones, procesos de fricción o ultrasonido. La energía necesaria para formar la unión entre dos piezas de metal generalmente proviene de un arco eléctrico. La energía para soldaduras de fusión o termoplásticos generalmente proviene del contacto directo con una herramienta o un gas caliente.

Mientras que con frecuencia es un proceso industrial, la soldadura puede ser hecha en muchos ambientes diferentes, incluyendo al aire libre, debajo del agua y en el espacio. Sin importar la localización, sin embargo, la soldadura sigue siendo peligrosa, y se deben tomar precauciones para evitar quemaduras, descarga eléctrica, humos venenosos, y la sobre exposición a la luz ultravioleta.

La historia de la unión de metales se remonta a varios milenios, con los primeros ejemplos de soldadura desde la edad de bronce y la edad de hierro en Europa y el Oriente Medio. La soldadura fue usada en la construcción del Pilar de Hierro en Delhi, en la India, construido cerca del año 310 y pesando 5.4 toneladas métricas. La Edad Media trajo avances en la soldadura de fragua, con la que los herreros repetidamente golpeaban y calentaban el metal hasta que ocurría la unión. En 1540, Vannoccio Biringuccio publicó *De la pirotecnica*, que incluye descripciones de la operación de forjado. Los artesanos del renacimiento eran habilidosos en el proceso, y la industria continuó creciendo durante los siglos siguientes. Sin embargo, la soldadura fue transformada durante el siglo XIX. En 1800, Sir Humphry Davy descubrió el arco eléctrico, y los avances en la soldadura por arco continuaron con las invenciones de los electrodos de metal por un ruso, Nikolai Slavyanov, y un americano, C. L. Coffin a finales de los años 1800, incluso como la soldadura por arco de carbón, que usaba un electrodo de carbón, ganó popularidad. Alrededor de 1900, A. P. Strohmenger lanzó un electrodo de metal recubierto en Gran Bretaña, que dio un arco más estable, y en 1919, la soldadura de corriente alterna fue inventada por C. J. Holslag, pero no llegó a ser popular por otra década.

Hasta el final del siglo XIX, el único proceso de soldadura era la soldadura de fragua, que los herreros han usado por siglos para juntar metales calentándolos y golpeándolos. La soldadura por arco y la soldadura a gas estaban entre los primeros procesos en desarrollarse tardíamente en el siglo, siguiendo poco después la soldadura por resistencia.

La soldadura por resistencia también fue desarrollada durante las décadas finales del siglo XIX, con las primeras patentes yendo a Elihu Thomson en 1885, quien produjo posteriores avances durante los siguientes 15 años. La soldadura de termita fue inventada en 1893, y alrededor de ese tiempo, se estableció otro proceso, la soldadura a gas. El acetileno fue descubierto en 1836 por Edmund Davy, pero su uso en la soldadura no fue práctico hasta cerca de 1900, cuando fue desarrollado un soplete conveniente. Al principio, la soldadura de gas fue uno de los más populares métodos de soldadura debido a su portabilidad y costo relativamente bajo. Sin embargo, a medida que progresaba el siglo XX, bajó en las preferencias para las aplicaciones industriales. En gran parte fue sustituida por la soldadura de arco, en la medida que continuaron siendo desarrolladas las cubiertas de metal para el electrodo (conocidas como fundente), que estabilizan el arco y blindaban el material base de las impurezas.

El señor Oscar Kjellberg fue el fundador de la ESAB a principios del siglo pasado. En 1904 creó el electrodo revestido que de forma substancial, mejoró la calidad del metal soldado. Mientras se funde, la capa de fundente se vaporiza y genera un gas que protege al metal caliente del aire y por lo tanto previene las reacciones de fragilidad que pueden ocurrir mientras el metal se enfría.

La Primera Guerra Mundial causó un repunte importante en el uso de los procesos de soldadura, con las diferentes fuerzas militares procurando determinar cuáles de los varios procesos nuevos de soldadura serían los mejores. Los británicos usaron primariamente la soldadura por arco, incluso construyendo una nave, el Fulagar, con un casco enteramente soldado. Los estadounidenses eran más vacilantes, pero comenzaron a reconocer los beneficios de la soldadura de arco cuando el proceso les permitió reparar rápidamente sus naves después de los ataques alemanes en el puerto de Nueva York al principio de la guerra. También la soldadura de arco fue aplicada primero a los aviones durante la guerra, pues algunos fuselajes de aeroplanos alemanes fueron construidos usando el proceso.

La tecnología de la soldadura avanzó rápidamente durante el principio del siglo XX mientras que la Primera Guerra Mundial y la Segunda Guerra Mundial condujeron la demanda de métodos de junta confiables y baratos

Durante los años 1920, importantes avances fueron hechos en la tecnología de la soldadura, incluyendo la introducción de la soldadura automática en 1920, en la que el alambre del electrodo era alimentado continuamente. El gas de protección se convirtió en un tema recibiendo mucha atención, mientras que los científicos procuraban proteger las soldaduras contra los efectos del oxígeno y el nitrógeno en la atmósfera. La porosidad y la fragilidad eran los problemas primarios, y las soluciones que desarrollaron incluyeron el uso del hidrógeno, argón, y helio como atmósferas de soldadura. Durante la siguiente década, posteriores avances permitieron la soldadura de metales reactivos como el aluminio y el magnesio. Esto, conjuntamente con desarrollos en la soldadura automática, la corriente alterna, y los fundentes alimentaron una importante extensión de la soldadura de arco durante los años 1930 y entonces durante la Segunda Guerra Mundial.

Después de las guerras, fueron desarrolladas varias técnicas modernas de soldadura, incluyendo métodos manuales como la Soldadura manual de metal por arco, ahora uno de los más populares métodos de soldadura, así como procesos semiautomáticos y automáticos tales como Soldadura GMAW, soldadura de arco sumergido, soldadura de arco con núcleo de fundente y soldadura por electro escoria. Los progresos continuaron con la invención de la soldadura por rayo láser y la soldadura con rayo de electrones a mediados del siglo XX.

A mediados del siglo XX, fueron inventados muchos métodos nuevos de soldadura. 1930 vio el lanzamiento de la soldadura de perno, que pronto llegó a ser popular en la fabricación de naves y la construcción. La soldadura de arco sumergido fue inventada el mismo año, y continúa siendo popular hoy en día. En 1941, después de décadas de desarrollo, la soldadura de arco de gas tungsteno fue finalmente perfeccionada, seguida en 1948 por la soldadura por arco metálico con gas, permitiendo la soldadura rápida de materiales no ferrosos pero requiriendo costosos gases de blindaje. La soldadura de arco metálico blindado fue desarrollada durante los años 1950, usando un fundente de electrodo consumible cubierto, y se convirtió

rápidamente en el más popular proceso de soldadura de arco metálico. En 1957, debutó el proceso de soldadura por arco con núcleo fundente, en el que el electrodo de alambre auto blindado podía ser usado con un equipo automático, resultando en velocidades de soldadura altamente incrementadas, y ése mismo año fue inventada la soldadura de arco de plasma. La soldadura por electro escoria fue introducida en 1958, y fue seguida en 1961 por su prima, la soldadura por electro gas.

Otros desarrollos recientes en la soldadura incluyen en 1958 el importante logro de la soldadura con rayo de electrones, haciendo posible la soldadura profunda y estrecha por medio de la fuente de calor concentrada. Siguiendo la invención del láser en 1960, la soldadura por rayo láser debutó varias décadas más tarde, y ha demostrado ser especialmente útil en la soldadura automatizada de alta velocidad. Sin embargo, ambos procesos continúan siendo altamente costosos debido al alto costo del equipo necesario, y esto ha limitado sus aplicaciones.

La soldadura es una tecnología en pleno auge, con un crecimiento muy rápido en muchos países subdesarrollados. La soldadura se ha convertido en un elemento esencial para la construcción de las más sofisticadas máquinas que el hombre haya hecho en su historia. Este progreso ha sido posible sólo a través del entendimiento y aplicación creativa de los procesos físicos que existen durante la soldadura. Por eso, es que hoy en día, a diferencia de unos cincuenta años atrás, un mínimo de educación es necesario para poder aplicar soldadura eficientemente. Los operadores deben saber entender los porqués de lo que observan diariamente, y los ingenieros deben entender los fundamentos físicos cada vez que diseñan una soldadura o aplican los estándares. De esta manera, el trabajo de todos los participantes se hace menos rutinario y más interesante, la calidad del producto mejora mientras que los problemas son reducidos, y quizás más importante que todo lo anterior: el trabajo de la gente es más esencial y valioso.

Hoy en día, la ciencia continúa avanzando. La soldadura robotizada está llegando a ser más corriente en las instalaciones industriales, y los investigadores continúan desarrollando nuevos métodos de soldadura y ganando mayor comprensión de la calidad y las propiedades de la soldadura.

Se dice que la soldadura es un sistema porque intervienen los elementos propios de este, es decir, las 5 M: mano de obra, materiales, máquinas, medio ambiente y medios escritos (procedimientos). La unión satisfactoria implica que debe pasar las pruebas mecánicas (tensión y doblez). Las técnicas son los diferentes procesos (SMAW, SAW, GTAW, etc.) utilizados para la situación más conveniente y favorable, lo que hace que sea lo más económico, sin dejar de lado la seguridad.

## **1.2. Inspección en Soldadura**

La Inspección de Soldadura es la que se encarga de controlar y asegurar la calidad de los trabajos de fabricación, construcción, montaje y reparación de equipos, estructuras e instalaciones en las que intervienen operaciones de soldadura.

Es decir, el propósito fundamental de la Inspección de Soldadura es determinar si los ensambles soldados satisfacen los requisitos de un código, una especificación o una normatividad.

### **1.2.1. Inspector de soldadura**

La inspección en Soldadura es una actividad que requiere de ciertas características en las personas que la desempeñan, adicionalmente a la disposición al realizar esta actividad se requiere de conocimientos sobre algunos aspectos de Soldadura, sentido común, interpretación de procedimientos y especificaciones, manejo de instrumentos de medición, habilidad para interactuar con las diferentes personas involucradas en el proceso.

Todas estas características forman a un Inspector en Soldadura confiable para las diferentes operaciones, con un criterio conforme a las normas y especificaciones que rigen la fabricación del producto.

CANTIDAD VS CALIDAD

APRECIACIÓN VS MEDICION

RECOMENDACIÓN VS ESPECIFICACIÓN

MIEDO VS RAZON

Una Visión Completa:

Algunas de las responsabilidades del inspector es la tener el juicio y argumentos necesarios para aceptar que un producto esta conforme a las especificaciones escritas.

Pero debe entender de manera clara tanto las limitaciones así como la intención de las especificaciones, su objetivo es cumplir con la calidad requerida y ofrecida al cliente ni más, ni menos.

**PERO SIN DETENER O LIBERAR LOS PRODUCTOS SIN UNA CAUSA JUSTIFICADA.**

Estas inspecciones se desempeñan en diferentes etapas durante la elaboración del producto, y así dependiendo de donde se realicen, se tendrá que mantener un juicio acorde a lo que marcan las especificaciones.

**Así:**

La responsabilidad será de acuerdo al lugar donde se realice la inspección categorizando si es antes, durante ó después de aplicada la soldadura.

Además de mantener una imparcialidad, tomando decisiones rápidas, así como ser tolerante con otras opiniones o sugerencias.

Lo más importante es no olvidar que deberá confiar en los hechos al tomar decisiones (mediciones, características), analizando las diferentes opiniones y apegándose a la normatividad.

**Punto Importante: NO SENTIRSE CON PRIVILEGIOS ESPECIALES.**

En las diferentes áreas de fabricación sus criterios serán exclusivamente los indicados en las especificaciones de aceptación o rechazo únicamente.

**Características de un Inspector:**

- ✓ Tener Condición Física.
- ✓ Buena Visión.
- ✓ Actitud Profesional.
- ✓ Conocimiento de Especificaciones y Códigos.
- ✓ Conocimiento de la terminología en Soldadura.
- ✓ Interpretación de Planos de Fabricación.
- ✓ Conocimiento de los diferentes métodos de prueba.
- ✓ Habilidad para realizar y mantener reportes.
- ✓ Conocimiento de los procesos de Soldadura.
- ✓ Interpretación adecuada de los WPS's.
- ✓ Experiencia en Inspección.

**Experiencia:**

Adecuada aplicación de criterios en la evaluación de elementos sueldados determinando de manera clara y objetiva la aceptación o rechazo del elemento.

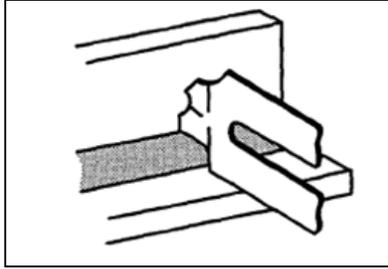


Figura1. Experiencia en inspección

Durante un proceso de soldadura es muy importante que el personal de aplicación e inspección de soldadura tenga pleno conocimiento de las actividades que se deben realizar antes, durante y después de la aplicación de esta, que permitan contar con una buena calidad en la elaboración del producto (Figura 1)

**ANTES:**

¿Que Hacemos antes de aplicar una soldadura?

- Planos ó Dibujos de Fabricación (Figura 2)
- Materiales de acuerdo a especificación.
- Materiales de Aporte.
- Condiciones del Equipo ( Figura3).
- Juntas armado y preparación.
- Procedimientos y Calificación de Soldadores.
- Temperaturas ó acciones previas a la aplicación.

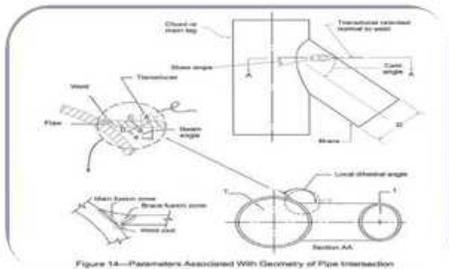


Figura. 2. Planos o dibujos de fabricación



Figura 3. Condiciones del equipo de trabajo

**DURANTE:**

¿Qué Hacemos Durante la aplicación de está?

- Parámetros y Técnicas de Acuerdo al Procedimiento (Figura 5).
- Calidad de cordones individuales y pasadas múltiples (Figura 4).
- Limpieza entre pasos.
- Temperaturas ó END si se requieren.



Figura 4. Calidad de cordones individuales



Figura 5. Técnicas de acuerdos al procedimiento

**DESPUES:**

¿Qué Hacemos después de aplicarla?

- Apariencia Final (Figura 6)
- tamaños y longitudes de soldaduras.
- Ensayos No destructivos si requiere.
- Elaborar y mantener reportes.



Figura 6. Apariencia final

## **Capítulo 2. Códigos, Normas y Especificaciones.**

### **2.1. Introducción**

El contenido de este documento ha sido preparado para dar un alcance y conocimiento básico en lo referente al porqué de la utilización de códigos, normas y especificaciones en la aplicación de la industria metal mecánica.

Los códigos, normas y especificaciones son documentos que rigen y regulan actividades industriales.

Los documentos que establecen lineamientos para las actividades relacionadas con la industria de la soldadura tienen el propósito de asegurar que solo se producirán bienes soldados seguros y confiables, y que las personas relacionadas con las operaciones de soldadura no estarán expuestas a peligros indebidos ni a condiciones que pudieran resultar dañinas a su salud.

Todo el personal que participa en la producción de bienes soldados, ya sean diseñadores, fabricantes, proveedores de productos y servicios, personal de montaje, soldadores o inspectores, tienen la necesidad de conocer, por lo menos, las porciones particulares de las normas que aplican a sus actividades.

### **2.2. Definiciones**

Los códigos, las especificaciones y otros documentos de uso común en la industria tienen diferencias en cuanto a su extensión, alcance, aplicabilidad y propósito. A continuación se mencionan las características claves de algunos de estos documentos.

#### **2.2.1. Código (code)**

Es un conjunto de requisitos y condiciones, generalmente aplicables a uno o más procesos que regulan de manera integral el diseño, materiales, fabricación, construcción, montaje, instalación, inspección, pruebas, reparación, operación y mantenimiento de instalaciones, equipos, estructuras y componentes específicos.

#### **2.2.2. Normas (standards)**

El término "norma" tal y como es empleado por la AWS, la ASTM, la ASME y el ANSI, se aplica de manera indistinta a especificaciones, códigos, métodos, prácticas recomendadas, definiciones de términos, clasificaciones y símbolos gráficos que han sido aprobados por un comité patrocinador (vigilante) de cierta sociedad técnica y adoptados por esta.

#### **2.2.3. Especificación**

Una especificación es una norma que describe clara y concisamente los requisitos esenciales y técnicos para un material, producto, sistema o servicio. También indica los procedimientos, métodos, clasificaciones o equipos a emplear para determinar si los requisitos especificados para el producto han sido cumplidos o no.

### **2.3. Origen De Las Normas**

Las normas son desarrolladas, publicadas y actualizadas por organizaciones y entidades gubernamentales y privadas con el propósito de aplicarlas a las áreas y campos particulares de sus intereses.

Algunas de las principales entidades que generan las normas relacionadas con la industria de la soldadura son las siguientes:

- American Association of State Highway and Transportation Officials – AASHTO (Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportación)
- American Bureau of Shipping –ABS (Oficina Americana de Barcos)
- American Institute of Steel Construction – AISC (Instituto Americano de Construcción de Aceros)
- American National Standards Institute – ANSI ( Instituto Nacional Americano de Normas)
- American Petroleum Institute – API (Instituto Americano del Petróleo)
- American Society of Mechanical Engineers – ASME (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos)
- American Water Works Association – AWWA (Asociación Americana de Trabajos de Agua)
- American Welding Society – AWS (Sociedad Americana de Soldadura)
- Association of American Railroads – AAR (Asociación de Ferrocarriles Americanos)
- ASTM, anteriormente The Society for Testing and Materials (Sociedad Americana de Pruebas y Materiales)
- International Organization for Standardization – ISO (Organización Internacional para la Normalización)
- SAE, anteriormente The Society of Automotive Engineers (Sociedad de Ingenieros Automotrices).

Las normas reflejan el consenso de las partes relacionadas con su campo de aplicación, por lo que cada organización que las prepara, tiene comités o grupos de trabajo compuestos por diferentes representantes de las diferentes partes interesadas. Todos los miembros de esos comités son especialistas en sus campos, y preparan borradores o versiones preliminares de las normas, mismos que son revisados por grupos más amplios antes de que las versiones finales sean aprobadas.

## **2.4. Aplicabilidad De Las Normas**

El cumplimiento de los requisitos de las normas es obligatorio cuando tales normas están referidas o especificadas en las jurisdicciones gubernamentales, o cuando estas están incluidas en contratos u otros documentos de compra.

El cumplimiento de las prácticas recomendadas o las guías es opcional. Sin embargo, si estos son referidos en los códigos o especificaciones aplicables o en acuerdos contractuales, su uso se hace obligatorio. Si los códigos o acuerdos contractuales contienen secciones o apéndices no obligatorios, el empleo de las guías o prácticas recomendadas, quedan a la discreción del usuario.

### **2.4.1. Descripción De Algunas Normas De Soldadura**

#### **2.4.1.1. Código ANSI / ASME para calderas y recipientes a presión (ASME BPVC).**

Erróneamente se ha creído por mucho tiempo que ASME es un tipo de soldadura que consta o se definen como:

Soldadura con proceso SMAW, con electrodo E 7018, en placa de acero y solamente en progresión ascendente, generalmente utilizado para soldar tanques de almacenamiento. Desafortunadamente, una mentira dicha y repetida tantas veces llega a convertirse en realidad para muchos.

En realidad, ASME son las siglas con las que se le conoce a los códigos aplicados a la Ingeniería Mecánica. Esta agrupación de información técnica, muy reconocida a nivel mundial, presenta una serie de libros conocidos como NORMAS tendientes a la normalización en la fabricación, inspección y control de calidad de ciertos artículos.

El código aplicable a la construcción de tanques y recipientes de presión es el: “ASME Boiler and Pressure Vessel – Code Reference”. Este código está dividido en 11 secciones identificadas con números romanos. De nuestro interés es la sección IX llamada “Welding and Brazing Qualification” donde se describen los requerimientos para la calificación de los

procedimientos de soldadura y soldadores que se utilizarán en la construcción de tanque y recipientes de presión.

#### **2.4.1.2. Sección B31.4, "Sistemas de Transportación Líquida para Hidrocarburos, Gas Líquido de Petróleo, Amoníaco Anhidro y Alcoholes"**

Esta sección prescribe requisitos para tubería que transporta líquidos tales como petróleo crudo, condensados, gasolina natural, líquidos de gas natural, gas licuado de petróleo, alcohol líquido, amoníaco anhidro líquido y productos líquidos de petróleo, entre las instalaciones de contratación de los productores, conjuntos de tanques, plantas de procesamiento de gas natural, refinerías, estaciones, plantas de amoníaco, terminales (marinas, de ferrocarril y de autocamiones) y otros puntos de entrega y recepción.

#### **2.4.1.3. Código ANSI/AWS D1.1 de Soldadura Estructural –Acero**

Este Código cubre los requisitos aplicables a estructuras de acero al carbono y de baja aleación. Está previsto para ser empleado conjuntamente con cualquier código o especificación que complemente el diseño y construcción de estructuras de acero. Quedan fuera de su alcance los recipientes y tuberías a presión, metales base de espesores menores a 1/8 Pulg (3.2 mm), metales base diferentes a los aceros al carbono y de baja aleación y los aceros con un límite de cedencia mínimo mayor a 100,000 lb/pulg<sup>2</sup> (690 MPa).

A continuación se indican las secciones que lo componen y un resumen de los requisitos que cubren:

##### *1. Requisitos Generales*

Contiene la información básica sobre el alcance y limitaciones del código.

##### *2. Diseño de Conexiones Soldadas*

Contiene requisitos para el diseño de conexiones soldadas compuestas por perfiles tubulares y no tubulares.

##### *3. Precalificación*

Cubre los requisitos para poder excluir a las especificaciones de procedimiento de soldadura de las exigencias de calificación propias del código.

##### *4. Calificación*

Contiene los requisitos de calificación para especificaciones de procedimientos y personal (soldadores, operadores de equipo para soldar y "punteadores") de soldadura necesarios para realizar trabajos de código.

##### *5. Fabricación*

Cubre los requisitos para la preparación, ensamble y mano de obra de las estructuras de acero soldadas.

##### *6. Inspección*

Contiene los criterios para la calificación y las responsabilidades de inspectores, los criterios de aceptación para soldaduras de producción y los procedimientos estándar para realizar la inspección visual y las pruebas no destructivas.

##### *7. Soldadura de Pernos*

Esta sección contiene los requisitos aplicables a la soldadura de pernos a acero estructural.

##### *8. Reforzamiento y Reparación de Estructuras Existentes*

Contiene la información básica relacionada con la modificación o reparación de estructuras de acero ya existentes.

#### **2.4.1.4. Código para Soldadura de Puentes ANSI/ASHTO/AWS D1.5**

Esta norma cubre los requisitos de fabricación por medio de soldadura aplicables a los puentes de carreteras, y debe ser usado conjuntamente con la *Especificación Estándar para Puentes de Carreteras AASHTO* o la *Especificación AASHTO para el Diseño de Puentes LRFD*.

Las provisiones de este código no son aplicables a la soldadura de metales base de espesores menores a 3 mm.

Las secciones de que consta este documento se listan a continuación:

1. *Provisiones Generales*
2. *Diseño de Conexiones Soldadas*
3. *Mano de Obra*
4. *Técnica*
5. *Calificación*
6. *Inspección*
7. *Soldadura de Pernos*
8. *Estructuras Estáticamente Cargadas (sin aplicaciones dentro de este código)*
9. *Puentes de Acero Soldados*
10. *Estructuras Tubulares (sin aplicaciones dentro de este código)*
11. *Reforzamiento y Reparación de Estructuras Existentes (sin aplicaciones dentro de este código)*
12. *Plan de Control de Fractura (Fracture Control Plan -FCP) para Miembros no Redundantes*

#### **2.4.1.5. Norma API 1104 para Líneas de tubería e Instalaciones Relacionadas**

Esta norma aplica a la soldadura por arco y por oxígeno y combustible de tubería empleada en la compresión, bombeo y transmisión de petróleo crudo, productos de petróleo y gases combustibles, y también para los sistemas de distribución cuando esto es aplicable.

Presenta métodos para la producción de soldaduras aceptables realizadas por soldadores calificados que usan procedimientos y equipo de soldadura y materiales aprobados. También presenta métodos para la producción de radiografías adecuadas, realizadas por técnicos que empleen procedimientos. Y equipo aprobados, a fin de asegurar un análisis adecuado de la calidad de la soldadura. También incluye los estándares de aceptabilidad y reparación para defectos de soldadura.

A continuación se citan las secciones que forman parte de esta norma:

*Sección 1 – Generalidades*

*Sección 2 - Calificación de Procedimientos de Soldadura para Soldaduras con Metal de Aporte*

*Sección 3 - Calificación de Soldadores*

*Sección 4 - Diseño y Preparación de una Junta para Soldaduras de Producción*

*Sección 5 - Inspección y Pruebas de Soldaduras de Producción*

*Sección 6 - Estándares de Aceptación para Pruebas no Destructivas*

*Sección 7 - Reparación y Remoción de Defectos*

*Sección 8 - Procedimientos para Pruebas no Destructivas*

*Sección 9 - Soldadura Automática*

*Sección 10 - Soldadura Automática sin Adiciones de Metal de Aporte*

*Apéndice – Estándares Alternativos de Aceptación para Soldaduras*

#### **2.4.1.6. Especificaciones AWS para materiales consumibles de soldadura**

La Sociedad Americana de Soldadura (AWS Structural Codes) es una institución que contiene un conjunto de códigos de Soldadura que regulan las estructuras con soldaduras, tales como edificios y puentes. Si la soldadura incluye construcción estructural, los diseñadores usan los códigos estructurales AWS.

La Sociedad Americana de Soldadura publica -entre una cantidad numerosa de normas (algunas de las cuales han sido descritas o referidas en este texto) sobre usos y calidad de materiales, productos, pruebas, operaciones y procesos de soldadura, las especificaciones para varillas, electrodos y metales de aporte de soldadura.

Estas especificaciones cubren la mayor parte de los materiales consumibles empleados en procesos de soldadura y soldadura fuerte, e incluyen requisitos obligatorios y opcionales. Los requisitos obligatorios cubren aspectos tales como composición química y propiedades mecánicas, fabricación, pruebas, marcado e identificación y empaque de los productos. Los requisitos opcionales incluidos en apéndices se proporcionan como fuente de información sobre la clasificación, descripción o uso previsto de los metales de aporte cubiertos.

La designación alfanumérica de la AWS para especificaciones de metales de aporte consta de una letra "A" seguida de un 5, un punto y uno o dos dígitos adicionales, por ejemplo la AWS A5-1, *Especificación para Electroodos de Acero al Carbono para Soldadura por Arco Metálico Protegido*.

Cuando ASME adopta estas especificaciones, ya sea de manera completa y fiel o con revisiones, le antepone las letras "SF" a la designación AWS, así, la especificación ASME SFA5.1 es similar, si no idéntica, a la AWS A5.1 (de la misma edición).

## **Capítulo 3. Calificación de Procedimientos y Personal de Soldadura**

### **3.1. Introducción**

En términos generales, todos los trabajos de soldadura necesitan de uno o más procedimientos de soldadura que definan, con suficiente detalle, cómo deben realizarse las operaciones involucradas, y todas las normas sobre equipos, partes de equipos, tuberías y estructuras en cuya fabricación, construcción y montaje intervienen operaciones de soldadura, establecen requisitos relacionados con la preparación, calificación y certificación de los procedimientos de soldadura, así como de la calificación de la habilidad de los soldadores y operadores de equipo para soldar a emplearse en la realización de soldaduras de producción en los trabajos a realizar.

La exigencia de tales requisitos se debe a que existen muchos factores que influyen en las características de las uniones soldadas. Entre estos factores pueden mencionarse, entre muchos otros, los diferentes procesos de soldadura con que puede realizarse una junta, los diversos materiales base (aceros al carbono, aceros inoxidable, aleaciones de níquel, magnesio, titanio, etc.), las variaciones de espesor del metal base y los diferentes diseños de junta.

A fin de que las uniones producidas tengan, de manera consistente, las propiedades especificadas y la calidad requerida, es necesario controlar, de manera rigurosa, todas las variables que intervienen en la producción de las uniones soldadas, y tal control se logra mediante la preparación por escrito los procedimientos de soldadura necesarios, la calificación de los mismos y la calificación de la habilidad del personal que los empleará.

Es un hecho indiscutible que el éxito de los trabajos de soldadura depende, en gran medida, del cumplimiento total de las condiciones anteriores (disponibilidad de los procedimientos de soldadura calificados y apropiados para cubrir los requisitos de las aplicaciones previstas, así como del personal apto para aplicarlos), además de una inspección completa antes, durante y después de soldar, a fin de asegurar que los procedimientos establecidos son aplicados de manera correcta por el personal debidamente calificado. ASME sección IX, API 1104 y AWS D1. 1, entre otras normas, establecen los requisitos de calificación y/o certificación para el personal que realiza los exámenes y pruebas o inspecciones por parte del fabricante o contratista y por segundas o terceras partes. Los requisitos de calificación para este tipo de personal generalmente están fijados en términos de entrenamiento y experiencia, aunque algunas veces se hace referencia a esquemas más completos de calificación y certificación, mismos que incluyen también requisitos de escolaridad, exámenes de pericia y de agudeza visual. Entre estos esquemas destaca el Programa de Certificación de Inspectores de Soldadura de la Sociedad Americana de Soldadura

### **3.2. Formatos utilizados en soldadura.**

#### **3.2.1. Especificación del Procedimiento de Soldadura.**

WPS (Welding Procedure Specification). Es un formato o documento en que se detallan todas las variables indispensables y suficientes en el proceso de soldadura para garantizar aplicaciones sanas, cualquier alteración al procedimiento de soldadura puede afectar la sanidad o propiedades mecánicas de ésta.

Los datos registrados en un WPS deben permitir al soldador, ajustar todos los parámetros de soldadura sin dejar nada a libre interpretación.

#### **3.2.2. Registro de la Calificación del Procedimiento.**

PQR (Procedure Qualification Record). Es un formato en el cual se detalla con claridad los datos reales utilizados para fabricar una probeta de soldadura así como los resultados obtenidos de las pruebas realizadas en la misma probeta.

Registro de Calificación de Procedimiento /  
 Procedure Qualification Record  
 Aseguramiento de la Calidad / Quality Assurance

PQR # \_\_\_\_\_ REV # \_\_\_\_\_

**Prueba de Tensión / Tensile Test**

Probeta No. / Specimen No.	Ancho / Width	Espesor / Thickness	Área / Area	Carga de último esfuerzo / Ultimate tensile load LB.	Resistencia a la Tensión / Ultimate unit stress PSI.	Característica de la Falla y Localización / Character of Failure and Location

**Prueba de Doblez Guiado / Guided Bend Test**

Probeta No. / Specimen No.	Tipo de Dobleza / Type of Bend	Resultado / Result	Observaciones / Remarks

Inspección Visual / Visual Inspection Apariencia / Appearance Socavación / Undercut  Porosidad Tubular / Piping Porosity Convexidad / Convexity  Fecha de Prueba / Test Date Atestiguado por / Witnessed by	_____ _____ _____  _____ _____  _____ _____	Examinación Radiográfica-Ultrasonica / Radiographic-Ultrasonic Examination Reporte No./RT report No.      Resultado/Result _____ _____  Reporte No./UT report No.      Resultado/Result _____ _____  Resultado de Pruebas de Filete / Fillet Weld Test Results
Otras Pruebas / Other Tests Prueba de Torsión / Torsión Test <b>Test 1.</b> Diametro / Nugget Diameter 3/8" Refuerzo Soldadura 1/32" Weld Reinforcement 1/32"  <b>Test 2.</b> Diametro / Nugget Diameter 3/8" Refuerzo Soldadura 1/32" Weld Reinforcement 1/32"	Tamaño mínimo - Paso múltiple / Minimum size multiple pass Macroataque / Macroetch 1. _____ 3. _____ 2. _____  Prueba de tensión de metal depositado / All-weld-metal tension test Resistencia a la tensión / tensile strength, psi Punto de cedencia / Yield point / strength, psi Elongación en 2" / Elongation in 2", % Prueba de laboratorio No. / Laboratory test No.	Tamaño máximo – Paso Sencillo / Maximum size single pass Macroataque /Macroetch 1. _____ 3. _____ 2. _____  _____ _____ _____ _____
Nombre del soldador / Welder's name Prueba conducida por / Test conducted by Prueba No. / Test number	_____ _____ Laboratorio / Laboratory _____ Por / Per	Sello No. / Stamp No. _____ _____ _____

Los firmantes, certificamos que los datos contenidos en este registro son correctos y que las pruebas fueron preparadas, soldadas y probadas de acuerdo a los requerimientos de la sección 4 de AWS D1.1 2002 Código de Soldadura Estructurales en Acero.

We, undersigned, certify that the statements in this record are correct and that the test welds were prepared, welded and tested in accordance with the requirements of section 4 of AWS D1.1 2002, Structural Welding Code, Steel.

Registro de Calificación de Procedimiento /  
Procedure Qualification Record  
Aseguramiento de la Calidad / Quality Assurance

Esquema y Parámetros WPS / Sketch and WPS Parameters:

PQR#:

Rev #:

Fotografía / Picture:

Charpy V de referencia para las  
pruebas / Charpy V Test Reference:

Firmado / Signed

\_\_\_\_\_  
Fabricante o Contratista / Manufacturer or Contractor

Por / by

\_\_\_\_\_

Puesto / Title

\_\_\_\_\_

Fecha / Date

\_\_\_\_\_

3.2.3. Calificación de la Ejecución del Soldador.

WPQ (Welding Performance Qualification). Formato donde se especifican los resultados de las pruebas realizadas a la junta soldada, no para calificar un procedimiento sino para determinar la habilidad de una persona (soldador) para hacer soldaduras de buena calidad.

Registro de calificación de Soldadores/  
Welder qualification test record  
Soldadura y Entrenamiento/Welding & Training

NOMBRE (NAME) <u>BENITEZ RODRIGUEZ MAGDALENO</u>		No.IDENTIFICACION (IDENTIFICATION NO.) <u>1511</u>	
TIPO DE SOLDADOR (TYPE OF WELDER) <u>SOLDADOR (WELDER)</u>		FECHA DE EMISION (EMISSION DATE) <u>7-Aug-08</u>	
No.ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WELDING PROCEDURE SPECIFICATION NO.) <u>FC11089</u>		REV. <u>2</u>	FECHA (DATE) <u>22-Apr-08</u>
VARIABLES	VALORES REALES UTILIZADOS DURANTE LA CALIFICACION (CURRENT VALUES USED IN QUALIFICATION)	RANGO DE CALIFICACION (QUALIFICATION RANGE)	
TIPO DE PROCESO (PROCESS TYPE)	<u>SOLDADURA CON NUCLEO FUNDENTE FLUXED CORED ARC WELDING (FCAW)</u>		
ELECTRODO SECILLO O MULTIPLE (ELECTRODE SINGLE OR MULTIPLE)	<u>SENCILLO (SINGLE)</u>	N/A	
CORRIENTE/POLARIDAD (CURRENT/POLARITY)	<u>CD EP (DC EP)</u>		
POSITION (POSITION)	<u>2F, 3F</u>	1F, 2F, 3F	
MOVIMIENTO VERTICAL (VERTICAL PROGRESSION)	<u>ASCENDENTE (UP HILL)</u>	ASCENDENTE (UP HILL)	
RESPALDO (BACKING)	<u>N/A</u>		
METAL BASE (BASE METAL)			
ESPECIFICACION DE MATERIAL (MATERIAL/SPEC)	<u>ASTM A572 GDO. 50 - A572 GDO. 50</u>		
NUMERO (S) M (M NUMBER (S))	<u>1</u>		
ESPESORES (THICKNESS)			
PLACA O LAMINA (PLATE OR SHEET)			
RANURA (GROOVE)	<u>N/A</u>	N/A	
FILETE (FILLET)	<u>3/8" (9.5mm)</u>	1/8" - 3/4" (3.2 - 19mm)	
TUBERIA Y TUBULARES (PIPE AND TUBE)			
RANURA (GROOVE)	<u>N/A</u>	N/A	
FILETE (FILLET)	<u>N/A</u>	N/A	
DIAMETRO TUBERIA (PIPE DIAMETER)			
RANURA (GROOVE)	<u>N/A</u>	N/A	
FILETE (FILLET)	<u>N/A</u>	N/A	
METAL DE APORTE (FILLER METAL)			
ESPECIFICACION (SPEC. NO.)	<u>AWS A5.20</u>		
CLASIFICACION (CLASS)	<u>E 71T-1</u>		
NUMERO F (F N°)	<u>F6</u>	N/A	
TIPOS DE GAS O FUNDENTE (GAS/FLUX TYPE)	<u>CO2</u>		
OTROS (OTHER)	<u>N/A</u>		
INSPECCION VISUAL (VISUAL INSPECTION)		PRUEBA DE FILETE (FILLET TEST)	
ACCEPTABLE SI O NO (ACCEPTABLE YES OR NOT) <u>SI (YES)</u>		APARIENCIA (APPEARANCE) <u>BUENA (OK)</u>	
PRUEBA DE DOBLEZ GUIADO (GUIDED BEND TEST)		TAMANO DE FILETE (FILLET SIZE) <u>1/4"</u>	
TIPO (TYPE)	RESULTADO (RESULT)	PENETRACION DE RAIZ DE LA PRUEBA DE FRACTURA (FRACTURE TEST ROOT PENETRATION) <u>BUENA (OK)</u>	
<u>N/A</u>	<u>N/A</u>	MACROATAQUE (MACROETCH) <u>BUENO (OK)</u>	
<u>N/A</u>	<u>N/A</u>	DESCRIBA LA LOCALIZACION, NATURALEZA Y TAMANO DE CUALQUIER FISURA O DESGARRAMIENTO DEL ESPECIMEN (DESCRIBE THE LOCATION NATURE AND SIZE OF ANY CRACK OR TEARING OF THE SPECIMEN.) <u>N/A</u>	
INSPECCION POR (INSPECTED BY)		PRUEBA NUMERO (TEST NUMBER) <u>1511</u>	
		FECHA (DATE) <u>7-Aug-08</u>	
		RESULTADO FINAL / FINAL RESULT <u>APRUEBA (PASS)</u>	
<b>RESULTADO DE PRUEBA RADIOGRAFICA (RADIOGRAPHIC TEST RESULTS)</b>			
NUMERO DE IDENTIFICACION DE PELICULA (FILM IDENTIFICATION NUMBER)	RESULTADOS (RESULTS)	OBSERVACIONES (REMARKS)	
<u>N/A</u>	<u>N/A</u>	<u>N/A</u>	
INTERPRETADA POR (INTERPRETED BY)	<u>N/A</u>	PRUEBA NUMERO (TEST NUMBER)	<u>N/A</u>
ORGANIZACION (ORGANIZATION)	<u>N/A</u>	FECHA (DATE)	<u>N/A</u>
NOSOTROS, LOS QUE FIRMAMOS, CERTIFICAMOS QUE LAS DECLARACIONES EN ESTE REGISTRO SON CORRECTAS Y QUE LAS PROBETAS FUERON PREPARADAS, SOLDADAS Y SOMETIDAS A PRUEBA DE ACUERDO CON LOS REQUERIMIENTOS DE AWS D15.1:2007 Y DE GUNDERSON-CONCARRIL; (WE THE UNDERSIGNED, CERTIFY THAT THE STATEMENTS IN THIS RECORD ARE CORRECT AND THAT THE TEST WELD, WERE PREPARED, WELDED AND TESTED IN ACCORDANCE WITH THE REQUIREMENTS OF AWS D15.1:2007 AND OF GUNDERSON - CONCARRIL).			
FABRICANTE O CONTRATISTA (MANUFACTURER OR CONTRACTOR)		GUNDERSON-CONCARRIL S.A. DE C.V.	

Especificación de Procedimiento de Soldadura.  
Welding Procedure Specification.

Soldadura y Servicios Técnicos

Procedimiento No. - Procedure No.	<b>SM14117</b>	Fecha - Date	8-Feb-08	Procedimiento precalificado - Precalified	No/No
Calificado por pruebas - Qualified	Si/Yes	No de registro de calificación - PQR	SM14117	Tipo de aplicación - Type	Manual - Manual
Proceso de Soldadura - Welding	Electrodo Revestido - SMAW	Respaldo - Backing	N/A	Corriente y Polaridad Current & Polarity	CDEP - DCEP
Metales Base - Base Metals	AAR M201- PL s/stl	Vaciado Posterior Back Gouging	No - No	Tipo de Transferencia Transfer Mode	N/A
Tipo o Grado - Type or Grade	grado B- 11-14% Mn	Gas o fundente - Gas or Flux	N/A	Angulo de avance Travel Angle	Anastre 30°
Espesor - Thickness	1/8" y mayores	Rango de Flujo - Flow Rate	N/A	Técnica de aplicación - Technique	Recta - Stringer
Materiales de Aporte - Filler Metals		Posición - Position	PLANA 1G	Extensión electrizada - Stickout	N/A
Especificación AWS - AWS Specification	A 5.4	Avance Vertical - Vertical Progresión	N/A	Limpieza - Cleaning	Escoriar y limpiar comple- tamente antes de cada pasada y reinicio - cleaning completely before each pass and each restarting
Clasificación AWS - AWS Classification	E 309L-16	Diámetro de la Boquilla - Gas Cup	N/A		

Pre calentamiento-Preheat 66°C(150°F) min. 204°C (400°F) max. Temperatura de Interpaso 66°C(150°F) min. 204°C(400°F) max.  
Tratamiento Térmico Posterior - Postweld Heat Treatment Temperatura - Temp. N/A Tiempo - Time N/A



Aplicar 2 cordones para lograr el 1/4"  
con electrodo de 1/8"

Pasada - Layer	Espesor mat base mm (inchs) Base metal thickness mm (inch)		Lado Side	Diámetro de electrodo - Electrode diameter	Amp ± 10%	Volt ± 7%	Velocidad de alambre - Wire feed speed cm/min (in/min)	Velocidad de avance - Travel speed (in/min)	Observaciones - Remarks
	T1	T2							
1	1/8" minimo		2	1/8"	135	N/A	N/A	22	
2	1/8" minimo		2	1/8"	135	N/A	N/A	22	

No. de Revisión	0
Fecha / Date	8-Feb-2008
Por / By	G. Islas
Firma y Sello	

## Capítulo 4. Procesos de Soldadura

La mayoría de los procesos de soldadura requieren la generación de altas temperaturas para hacer posible la unión de los metales envueltos. El tipo de fuente de calor es básicamente lo que describe el tipo de proceso, Ej.: soldadura autógena (gas), soldadura de arco (eléctrica). Uno de los principales problemas en soldadura, es el comportamiento de los metales ante la combinación de los agentes atmosféricos y los cambios en su temperatura. El método de proteger el metal caliente del ataque de la atmósfera es el segundo de los más grandes problemas a resolver. Las técnicas desarrolladas desde "Protección por fundente" (Flux Covering), hasta la de Protección por gas Inerte, son mas que escudos protectores en muchos casos pero eso es básicamente para lo que fueron creados. En algunas instancias la atmósfera es removida toda usando sistemas de Vacío.

Los procesos más resaltantes son:

- **SMAW (*Stick Manual Arc Welding*) Soldadura de arco manual**
- **FCAW (*Flux Cored Arc Welding*) Soldadura de arco con electrodo tubular**
- **GMAW/MIG (*Gas Metal Arc Welding*) Soldadura de arco metal**
- **GTAW/TIG (*Gas Tungsten Arc Welding*) Soldadura de arco-gas Tungsteno**
- **SAW (*Submerged Arc Welding*) Soldadura de Arco Sumergido**

Algunos procesos han sido desarrollados para algunas aplicaciones específicas mientras otros se mantienen muy flexibles cubriendo un amplio rango de actividades en la soldadura. Aunque la soldadura es usada principalmente para unir metales similares y hasta partes metálicas no similares es también muy usada, de manera muy notable, para reparar y reconstruir partes y componentes averiados o gastados. Existe también, un crecimiento notable en el uso de diferentes aplicaciones para tratar las superficies con una capa de alto endurecimiento (hardfacing) de partes nuevas, que provee una superficie altamente resistente a la corrosión, abrasión, impactos y desgaste. Introducido en las últimas décadas del siglo 19, el proceso de arco se mantiene como el más usado de todos los grupos de las técnicas de soldadura. Como el mismo nombre lo sugiere, es un arco eléctrico que se establece entre las partes a ser soldada y un electrodo metálico. La energía eléctrica, convertida en calor, genera una temperatura en el arco cerca de 7,000 grados centígrados (10,000 F), causando la fundición de los metales y después la unión. El equipo puede variar en tamaño y complejidad, siendo la diferencia principal entre el proceso de arco, el método usado para separar la atmósfera o crearla y el material consumible empleado para ser aportado al proceso.

### 4.1. SMAW (*Stick Manual Arc Welding*) Soldadura de arco manual

La Soldadura de Arco Manual o MMA es también conocida como Soldadura de Electrodo Revestido, Soldadura de Varilla o Soldadura de Arco Eléctrico. Es la más antigua y más versátil de todos los diferentes procesos de soldadura de arco.

La soldadura por arco con electrodos revestidos es un procedimiento manual en el que la fuente térmica está constituida por el arco eléctrico que, disparándose entre electrodo revestido (soportado por la pinza porta electrodo) y la pieza a soldar (material base), desarrolla el calor que provoca una rápida fusión tanto del material base como del electrodo (material de aporte).

#### 4.1.1 Introducción e Historia

Un Arco Eléctrico es mantenido entre la punta de un electrodo cubierto (Coated Electrode) y la pieza a trabajar. Las gotas de metal derretido son transferidas a través del arco y son convertidas en un cordón de soldadura, un escudo protector de gases es producido de la descomposición del material fundente que cubre el electrodo además, el fundente también puede proveer algunos complementos a la aleación, la escoria derretida se escurre sobre el cordón de soldadura donde protege el metal soldado aislándolo de la atmósfera durante la solidificación, esta escoria también ayuda a darle forma al cordón de soldadura especialmente en soldadura vertical y sobre cabeza. La escoria debe ser removida después de cada procedimiento.

Oscar Kjellberg fue el inventor del electrodo cubierto, y con éste la invención de la soldadura de arco, cuando en 1904 entregó en la oficina de patentes de Suecia una nota escrita a mano que describía su invención única, hasta ahora y al pasar del tiempo cientos de diferentes variedades de electrodos son producidos, a veces conteniendo aleaciones para el trabajo estructural metálico, fuerza y ductilidad para la soldadura, las labores más ligeras son efectuadas usando potencia AC por el bajo costo de los transformadores que la producen, el trabajo de alta producción industrial usualmente requiere de fuentes DC más poderosas y grandes rectificadores, para darle la polaridad exacta al proceso. El proceso es mayormente usado para soldar aleaciones ferríticas en trabajos metálicos estructurales, fabricación de barcos e industrias en general. A pesar de lo relativamente lento del proceso, por el recambio de electrodos y la remoción de la escoria, se mantiene como una de las técnicas más flexibles y sus ventajas en áreas de acceso restringido son notables.

La Sociedad Americana de Soldadura "AWS" ha establecido una serie de códigos de identificación y a su vez de clasificación para los diferentes productos que las grandes y medianas fabricas de electrodos producen para abastecer el mercado, estos códigos se han convertido en la referencia mas comúnmente usada en Latino-América por su fácil reconocimiento y manejo y aunque algunos fabricantes nombran sus productos con sus propios nombres comerciales, los usuarios en su mayoría prefieren llamarlos por su código de identificación de la AWS.

Otras agencias, especializadas en áreas específicas, han establecido sus código para identificar sus productos, como algunas agencias que regulan los productos de uso militar, Military "MIL", La Sociedad Americana de Ingenieros Metalúrgicos (American Society of Metallurgical Engineer) "ASME", el Bureau Americano de constructores de Barcos (American Bureau of Shipping) "ABS", el Bureau Canadiense de Soldadura (Cannadian Bureau of Welding) "CBW", sólo para nombrar los más grandes.

#### 4.1.2. Equipamiento del proceso SMAW

El circuito de soldadura está compuesto principalmente por los siguientes elementos (Figura 7):

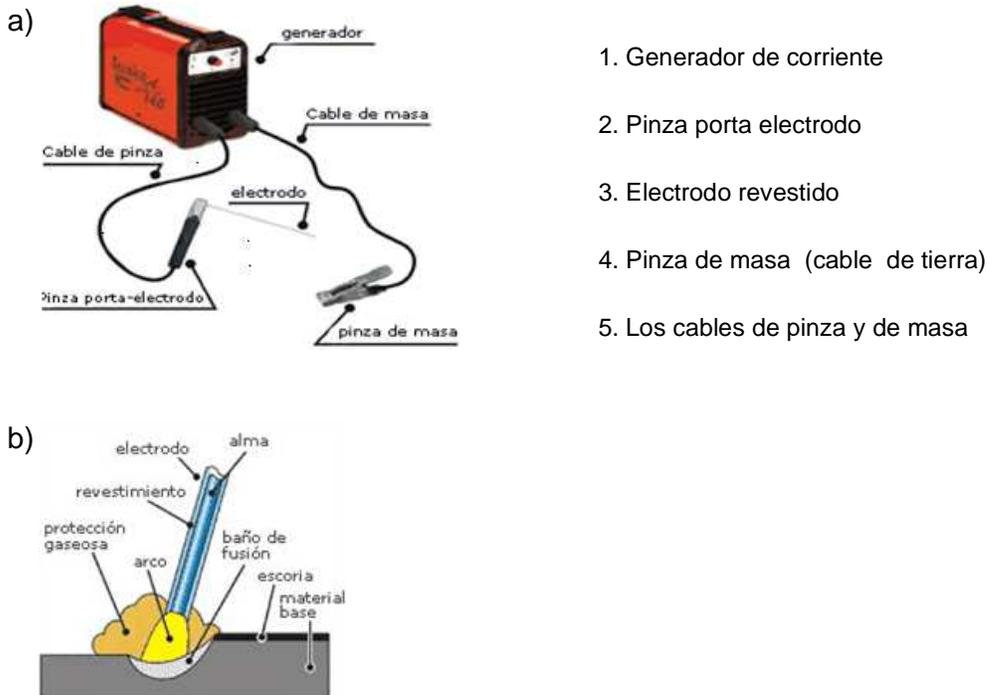


Figura 7. a) Equipamiento del Proceso SMAW, b) Aplicación del Proceso SMAW

### **4.1.3. Principales Características y Variables del Proceso**

El proceso de soldadura con electrodo revestido es el más conocido y probablemente el más utilizado de los procesos de soldadura con arco, y es a la vez versátil y flexible. El soldador puede trabajar lejos de la fuente de poder y además no hay necesidad de utilizar gases comprimidos como protección.

El procedimiento es excelente para trabajos, reparación, fabricación y construcción. Gran parte del trabajo de soldadura con arco que se realiza en forma rutinaria se efectúa con el proceso de soldadura con electrodo revestido.

Con este proceso se puede soldar metal de casi cualquier espesor y se pueden hacer uniones con la configuración que sea. Hay electrodos que se pueden usar con los aceros al carbono y de baja aleación, aceros inoxidable, aceros de alta aleación, resistentes a la corrosión, y aun aceros templados, hierro colado y maleable. A pesar de que no se utilizan tanto, también hay electrodos para soldar cobre, níquel y otras aleaciones. También se efectúa algo de trabajo de soldadura de piezas gruesas de aluminio, pero en cantidades muy pequeñas.

En muchos talleres pequeños se emplea el procedimiento de soldadura con electrodo revestido. La técnica es flexible y el equipo que se requiere es de un costo relativamente bajo. El soldador puede pasar fácilmente de un tipo de estructura a otro.

#### *Factores relacionados con el avance*

Puesto que el revestimiento del electrodo aísla eléctricamente la varilla metálica del núcleo, es posible arrastrar muchos electrodos sobre la pieza de trabajo. La parte externa del revestimiento mantiene el núcleo metálico alejado del objeto, por lo que no hay peligro de hacer corto circuito y apagar el arco.

Con algunos electrodos se obtienen mejores resultados cuando se mantienen alejados del objeto a soldar, que cuando se aplica la técnica de arrastre. Hay que tratar de que la distancia entre la punta del electrodo y el objeto sea siempre la misma. La soldadura presenta un mejor aspecto cuando se avanza a una velocidad constante y se mantiene en un arco de longitud uniforme. Cada vez que se hace una pausa en algún sitio, el cordón se hace más ancho. Por el contrario, siempre que uno se brinca un espacio, el cordón se adelgaza. Cuando el metal depositado solidifica, se notan con claridad los lugares en que varió la velocidad de avance. La transferencia de metal da como resultado un cordón bien formado cuando la velocidad de avance es constante. No se debe variar la velocidad del electrodo al soldar.

#### *Factores eléctricos*

La energía del arco y la transferencia de metal varían junto con la dirección del flujo de la corriente. Cuando se utilice corriente directa, hay que asegurarse de que la polaridad sea la correcta. Es necesario utilizar el tipo de corriente correcto, es decir, no hay que usar corriente directa en lugar de corriente alterna, o viceversa. Los electrodos están diseñados para trabajar con una determinada cantidad de corriente y polaridad. Si se emplea la corriente equivocada, el arco puede resultar inestable e imposible de manejar. El que las salpicaduras aumenten es un síntoma de que la polaridad no es correcta. Otros síntomas son las variaciones en la forma que se espera que tenga el arco, una penetración insuficiente, demasiada turbulencia del charco y una cantidad considerable de salpicadura. Puede llegar a ser imposible encender el arco. Cuando se observe que algo raro sucede con éste o con la transferencia de metal, hay que revisar las conexiones de la fuente de poder.

#### *El control de la penetración*

La transferencia de metal y la fuerza del arco se controlan con la longitud de éste y con la corriente. Cuando hay poca corriente, el arco pierde fuerza y disminuye la penetración. El cordón se adelgaza y el metal se empieza a acumular. También puede suceder que el

electrodo se pegue a la pieza de trabajo. Cuando hay demasiada corriente, el arco tiene mucha fuerza; penetra demasiado en el objeto y produce demasiada salpicadura. Un exceso de corriente produce rebajos a lo largo de la orilla de la soldadura y puede llegar a perforar el objeto.

Cuando el arco es demasiado corto, excava en el objeto. Un arco corto puede hacer que la transferencia de metal sea dispereja y que las ondulaciones del cordón sean grandes. Hay una tendencia a que se formen agujeros de escoria y porosidad. Si el arco es largo, las fuerzas de penetración disminuyen. Puede ser que el arco se aparte de su trayectoria normal y que los bordes del cordón resulten irregulares y disperejos.

#### *Ángulo del electrodo*

El ángulo que forma el electrodo con el charco también afecta la transferencia de metal, puesto que este ángulo dirige la fuerza del arco. Al acercar el ángulo hacia la vertical, aumenta la penetración. A medida que se disminuye el ángulo, se reduce la penetración. Cuando el arco apunta hacia el charco, puede suceder que el cordón se acumule y se solidifique en forma de grandes ondulaciones. Cuando se inclina el electrodo hacia la izquierda o hacia la derecha, que es lo que se conoce como ángulo de trabajo, el cordón se desplaza del centro. Hay que manejar el electrodo como si de su punta emergiera un chorro imaginario de aire. El aire puede empujar el metal fundido, en cualquier punto que se dirija el electrodo. Una vez que se aprenda a controlar la fuerza del arco, se logra mover el metal fundido hacia donde se desea.

#### **4.1.4. Limitaciones y Beneficios**

##### *Limitaciones*

El procedimiento de soldadura con electrodo revestido no se presta para su utilización con equipos automáticos o semiautomáticos; su aplicación es esencialmente manual. La longitud de los electrodos es relativamente corta: de 230 a 700 mm. Se requieren únicamente unos cuantos minutos para depositar un electrodo.

Debido a que el electrodo se consume en muy poco tiempo, el soldador tiene que interrumpir el trabajo a intervalos regulares para cambiarlo y debe limpiar el punto de inicio antes de empezar a usar electrodo nuevo. Normalmente, el arco funciona menos de la mitad del tiempo total. Sin embargo, aun con todo este tiempo muerto y de preparación, un soldador eficiente puede ser muy productivo.

##### *Beneficios*

- Baja inversión inicial
- Disponibilidad y variedad de consumibles para diversas aplicaciones
- Gran flexibilidad operacional

#### **4.1.5. Electrodos**

Hay que tener cuidado al seleccionar los electrodos, pues importante que su composición sea adecuada de acuerdo con el metal que se desea soldar. Si el electrodo y el metal depositado no son compatibles, es muy probable que la soldadura obtenida no sea buena. No es posible esperar que una soldadura soporte la carga para la que se diseñó si no se realiza con el electrodo correcto. Un electrodo inadecuado da origen a porosidad, poca resistencia a la corrosión, soldaduras débiles y otros defectos.

Constantemente se desarrollan electrodos nuevos. Los que se utilizaron durante la Primera Guerra Mundial eran totalmente diferentes de los que hay en la actualidad. La calidad de los depósitos de soldadura de nuestros días se debe al mejoramiento en la composición de los electrodos y sus recubrimientos.

Algunos electrodos se pueden usar ya sea con corriente alterna o con corriente directa. Se han desarrollado ciertos revestimientos con el propósito de incrementar la cantidad de metal de aporte que se deposita por unidad de tiempo. Otros revestimientos contienen aditivos que aumentan la resistencia mejoran la calidad de la soldadura.

A pesar de que la mayoría de los revestimientos facilitan mucho el trabajo con los electrodos, otros requieren mayor habilidad del soldador. Una persona que sabe seleccionar y usar cualquier electrodo se puede llamar soldador.

#### **4.1.5.1. Subdivisión de los electrodos**

Existen a la venta diferentes tipos de electrodos revestidos, donde su composición química influye fuertemente en la estabilidad del arco eléctrico, la profundidad de penetración, la deposición del material, la pureza del baño, esto es, los campos de aplicación de los mismos. Considerando el tipo de revestimiento, las principales tipologías de electrodos son:

##### *Electrodos con revestimiento ácido.*

Los revestimientos de estos electrodos están formados por óxidos de hierro, aleaciones ferrosas de manganeso y silicio. Garantizan una buena estabilidad del arco que los hace idóneos tanto para la corriente alterna (CA) como para la corriente continua (CC). Tienen un baño muy fluido que no permite soldaduras en determinadas posiciones; además no tienen un gran poder de limpieza en el material base y esto puede causar fracturas. No soportan elevadas temperaturas de secado, con el consiguiente riesgo de humedad residual y por lo tanto de inclusiones de hidrógeno en la soldadura.

##### *Electrodos con revestimiento al rutilo*

El revestimiento de este electrodo está compuesto esencialmente por un mineral llamado rutilo. Este último está formado por un 95% de bióxido de titanio, un compuesto muy estable que garantiza una óptima estabilidad del arco y una elevada fluidez del baño, con un apreciable efecto estético en la soldadura. La tarea del revestimiento rutilo es, en cualquier caso, garantizar una fusión dulce, de fácil realización, facilitando la formación de una escoria abundante y viscosa que permite un buen deslizamiento en la soldadura, sobre todo en posición plana. En este caso el cordón se presenta visualmente bello y regular. Sin embargo, tampoco estos revestimientos tienen una gran eficacia como limpiadores y por lo tanto se aconsejan en los casos donde el material base no contiene muchas impurezas; además no secan bien y por lo tanto desarrollan mucho hidrógeno en la soldadura.

En algunas aplicaciones se combina al rutilo otro componente típico de otros revestimientos, como la celulosa (electrodo rutilo-celulósicos) o la fluorita (electrodos rutilo-básicos). El objetivo es normalmente obtener un electrodo con arco estable pero con unas características de soldadura con mayor rendimiento. La estabilidad del arco es una prerrogativa que hace posible el empleo de este electrodo tanto con corriente alterna (CA) como con corriente continua (CC) en polaridad directa. Se usa sobre todo en espesores reducidos.

##### *Electrodos con revestimiento celulósico*

El revestimiento de estos electrodos está formado sobretodo por celulosa integrada con aleaciones ferrosas (magnesio y silicio). El revestimiento gasifica casi completamente, permitiendo de esta manera la soldadura también en posición vertical descendiente, lo que no está permitido con otros tipos de electrodo; la elevada gasificación de la celulosa reduce la cantidad de escorias presentes en la soldadura. El elevado desarrollo de hidrógeno (derivado de la especial composición química del revestimiento) hace que el baño de soldadura sea "caliente", con la fusión de una notable cantidad de material base; se obtienen de esta manera soldaduras que penetran en profundidad, con pocas escorias en el baño. Las características mecánicas de la soldadura son óptimas; el nivel estético es bastante bajo ya que la casi total ausencia de la protección líquida ofrecida por el revestimiento impide una modelación del baño durante la solidificación.

##### *Electrodos con revestimiento básico*

El revestimiento de los electrodos básicos está formado por óxidos de hierro, aleaciones ferrosas y sobretodo por carbonatos de calcio y magnesio a los cuales, añadiendo el fluoruro de calcio, se obtiene la fluorita, o sea, un mineral adecuado para facilitar la fusión. Tienen una

elevada capacidad de depuración del material base, por lo que se obtienen soldaduras de calidad y con una notable robustez mecánica. Además, estos electrodos soportan elevadas temperaturas de secado, y por lo tanto no contaminan el baño con hidrógeno.

La fluorita hace que el arco sea muy inestable: el baño es menos fluido, se producen frecuentes corto circuitos debidos a una transferencia del material de aporte con grandes gotas; el arco debe mantenerse muy cortó por la escasa volatilidad del mismo revestimiento; todas estas características hacen necesario que el soldador tenga una buena experiencia. Tienen una escoria dura y difícil de quitar, y debe eliminarse completamente en caso de repasos. Estos electrodos se prestan para realizar soldaduras en posición, verticales, por encima de la cabeza, etc.

En lo que se refiere a la corriente a emplear, se aconseja el empleo de generadores de corriente continua (CC) en polaridad inversa. Los electrodos básicos se distinguen por la elevadísima cantidad de material depositado y se adaptan notablemente a la soldadura de juntas de grandes espesores. Son fuertemente higroscópicos y se aconseja mantener estos electrodos en ambientes secos y en cajas bien cerradas; si esto no fuese posible, se aconseja efectuar un nuevo secado del electrodo antes de la utilización.

**4.1.5.2. Características de los diferentes tipos de electrodos**

Tabla 1 Tipos de electrodos

<b>TIPO</b>	<b>VENTAJAS</b>	<b>INCONVENIENTES</b>	<b>APLICACIONES</b>
Ácido	<ul style="list-style-type: none"> <li>* bajo costo</li> <li>* arco estable</li> <li>* corriente CA y CC</li> <li>* escoria fácil de eliminar</li> <li>* elevada desoxidación</li> <li>* fácilmente conservables</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* baño fluido</li> <li>* escaso efecto de limpieza</li> <li>* elevado aporte de hidrogeno</li> <li>* escoria no se puede refundir</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* soldaduras en horizontal</li> <li>* aceros bajos en carbono y con poca presencia de impurezas</li> <li>* soldaduras económicas y con características mecánicas suficientes (buena robustez pero riesgo de grietas)</li> </ul>
Rutilo	<ul style="list-style-type: none"> <li>* bajo costo</li> <li>* arco estable</li> <li>* corriente CA y CC</li> <li>* cordón estéticamente mejor</li> <li>* fácilmente conservables</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* baño fluido</li> <li>* escaso efecto de limpieza</li> <li>* elevado aporte de hidrogeno</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* soldaduras en horizontal</li> <li>* soldaduras en vertical y en esquinas para pequeños espesores</li> <li>* aceros bajos en carbono y con poca presencia de impurezas</li> <li>* soldaduras estéticamente buenas pero características mecánicas suficientes (buena robustez pero riesgo de grietas)</li> </ul>
Celulósico	<ul style="list-style-type: none"> <li>* elevada penetración</li> <li>* elevada manejabilidad</li> <li>* escoria reducida</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* son necesarios generadores CC con elevada tensión en vacío</li> <li>* cordón irregular</li> <li>* elevado aporte de hidrogeno</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* soldaduras en todas las posiciones, incluida la vertical descendiente</li> <li>* tubos o donde no sea posible el cordón al reverso</li> <li>* soldaduras en las que el acceso del electrodo resulta crítico</li> </ul>

Básico	<ul style="list-style-type: none"> <li>* óptima limpieza del material</li> <li>* aporte de hidrogeno muy reducido</li> <li>* baño frío</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* arco poco estable</li> <li>* escoria no se puede refundir y de difícil eliminación</li> <li>* arco corto y difícil de trabar</li> <li>* cebado difícil</li> <li>* generadores CC</li> <li>* de difícil conservación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* soldaduras en todas las posiciones, incluso con grandes espesores</li> <li>* elevadas velocidades de depósito</li> <li>* soldaduras de elevada calidad mecánica, incluso con materiales que contengan impurezas</li> </ul>
--------	---	---	---

Fuente: **ACREDITED STANDARDS COMMITTEE**. Safety in Welding, Cutting, and Allied Processes. ANSI Z49.1:2005.

#### 4.1.5.3. Clasificación de los electrodos

Los electrodos, en particular, tienen su propio código en todas las agencias que los clasifica, que los separa de los demás productos y los hace identificables de manera específica, el código que AWS usa para esto, y que probablemente sea el mas popular en Latino-América se ha convertido en la referencia que mas comúnmente se usa para Clasificar, son el AWS A5.1 para los electrodo de acero "dulce" o de relleno, y el AWS A5.5 para los electrodos de aleación de acero (alto contenido de carbón), muchos los identifican separándolos erróneamente como "Electrodos de Bajo Hidrogeno y Electrodos de Alto Hidrogeno" respectivamente, pero algunas variaciones de los electrodos en ambas clasificaciones contienen en sus fundentes altas o bajas cantidades de Hidrogeno que los excluye de esa referencia.

**Clasificación AWS para los metales de aporte de la especificación A5.1**

**Electrodo cubierto de Acero "Dulce"**

**E - XXXX**

(1) (2) (3) (4) (5)

<p><b>(1)</b> Lo identifica como electrodo</p> <p><b>(2) y (3)</b> Dos primeros dígitos indican su fuerza tensil x 1000 PSI.</p>	<p><b>(4)</b> Indica la posición que se debe usar para optimizar la operación de este electrodo</p> <p><b>(5)</b> Indica la usabilidad del electrodo, Ej.: tipo de corriente y tipo de fundente, en algunos casos, tercer y cuarto dígito son muy significativos</p>
--	--

Figura 8. Clasificación de electrodos de acero dulce en proceso SMAW

#### Ejemplo: E-6010

E = Electrodo cubierto

60 = 60 X 1000 PSI = 60.000 PSI de fuerza tensil

1 = Cualquier posición, (de piso, horizontal, vertical y sobre cabeza) \*\*

0 = DCEP (direct current electrode positivo) Corriente Directa "DC" electrodo positivo \*

\* Ver la tabla debajo para mas detalles de los dos últimos dígitos

\*\* Ver tabla de posición de operación del electrodo

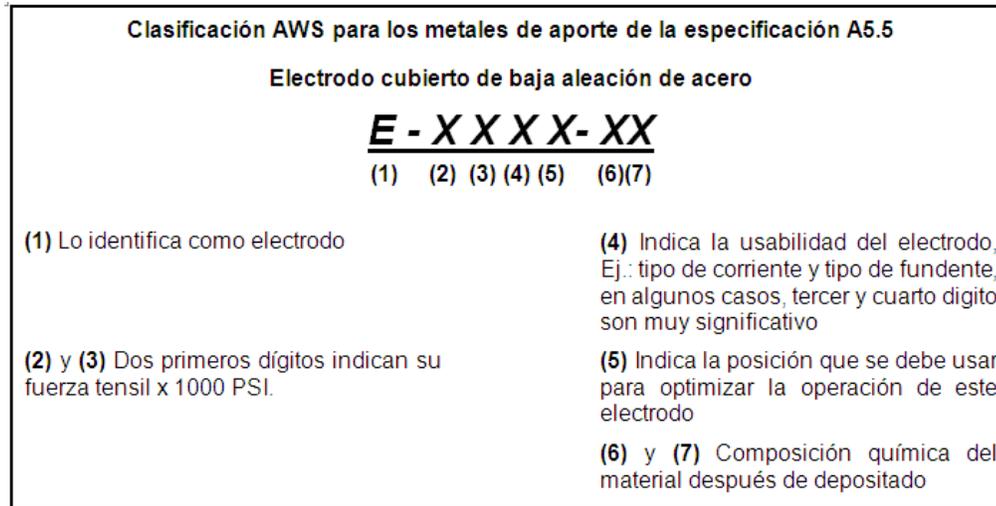


Figura 9. Clasificación de electrodo cubierto de baja aleación de acero

**Ejemplo: E-7018-Mo**

E = Electrodo cubierto  
 70 = 70 X 1000 PSI = 70.000 PSI de fuerza tensil  
 1 = Cualquier posición, (de piso, horizontal, vertical y sobre cabeza) \*\*  
 8 = AC o DCEP Corriente Alterna o Directa con electrodo positivo "+" \*  
 Mo = Molibdeno en el material después de depositado

\* Ver la tabla debajo para mas detalles de los dos últimos dígitos

\*\* Ver tabla de posición de operación del electrodo

\* Tabla.2 Descripción de los dos últimos dígitos de electrodo cubierto

Clasf.	Corriente	Arco	Penetracion	Fundente Y Escoria
EXX10	DCEP	Penetrante	Profunda	Celuloso - Sodio (0 - 10% de polvo de Hierro)
EXXX1	AC o DCEP	Penetrante	Profunda	Celuloso - Potasio (0 - 10% de polvo de Hierro)
EXXX2	AC o DCEN	Mediano	Mediana	Titanio - Sodio (0 - 10 % de Polvo de Hierro)
EXXX3	Ac o DCEP o DCEN	Suave		Titanio - Potasio (0 - 10% de Polvo de Hierro)
EXXX4	Ac o DCEP o DCEN	Suave		Titanio - Polvo de Hierro (25 - 40% de Polvo de Hierro)
EXXX5	DCEP	Mediano	Mediana	Bajo Hidrogeno - Sodio (0% de Polvo de Hierro)
EXXX6	AC o DCEP	Mediano	Mediana	Bajo Hidrogeno - Potasio (0% de Polvo de Hierro)
EXXX8	AC o DCEP	Mediano	Mediana	Bajo Hidrogeno - Polvo de Hierro (25 - 40% de Polvo de Hierro)
EXX20	AC o DCEN	Mediano	Mediana	Oxido de Hierro - Sodio (0% de Polvo de Hierro)
EXX22	AC o DCEN o DCEP	Mediano	Mediana	Oxido de Hierro - Sodio (0% de Polvo de Hierro)

EXX24	AC o DCEN o DCEP	Suave	Lijera	Titanio - Polvo de Hierro (50% de Polvo de Hierro)
EXX27	AC o DCEN o DCEP	Mediano	Mediana	Oxido de Hierro - Polvo de Hierro (50% de polvo de Hierro)
EXX28	AC o DCEP	Mediano	Mediana	Bajo Hidrogeno - Polvo de Hierro (50% de polvo de Hierro)
EXX48	AC o DCEP	Mediano	Mediana	Bajo Hidrogeno - Polvo de Hierro (25 - 40% de Polvo de Hierro)
DCEP - Corriente Directa Electrodo Positivo DCEN - Corriente Directa Electrodo Negativo				
Nota: El porcentaje del polvo de Hierro esta calculado en base al peso del fundente				

\*\* Tabla 3. Posición de operación del electrodo

Clasf.	Posición
EXX1X =	Cualquier Posición (De piso, horizontal, sobre cabeza y vertical)
EXX2X =	Horizontal y de piso solamente
EXX3X =	De piso solamente
EXX4X =	De piso, sobre cabeza, horizontal y vertical hacia abajo

Fuente: **ACREDITED STANDARDS COMMITTEE**. Safety in Welding, Cutting, and Allied Processes. ANSI Z49.1:2005.

#### **4.2. FCAW (Flux Cored Arc Welding) Soldadura de arco con electrodo tubular**

FCAW es un proceso de soldadura por arco eléctrico cuyo electrodo es un alambre tubular con fundente interno que produce el arco entre él y el metal base, formando un charco de metal fundido en el cual la protección es creada exclusivamente por el fundente del alambre y sin aplicación de presión.

##### **4.2.1. Introducción e Historia**

El proceso FCAW presenta las bondades de la soldadura por arco eléctrico con electrodo continuo (GMAW) y de la soldadura manual con electrodo revestido (SMAW), es por ello que su uso se encuentra en constante crecimiento, por lo que presentamos una descripción del método, con sus distintas opciones. Es así que se considera el uso o no de gases de protección; los consumibles disponibles para la soldadura de aceros al carbono y baja aleación; se identifican los defectos y las formas de evitarlos.

En el proceso FCAW se genera un arco eléctrico entre un electrodo continuo de metal de aporte y la piletta soldada. Este proceso es usado con la protección de un fundente contenido dentro del electrodo tubular, con o sin protección adicional de un gas externamente suministrado, y sin la aplicación de presión.

El proceso ofrece dos variantes, una en la que se emplea un gas de protección externamente suministrado y otra (autoprottegida) que se basa enteramente en el gas de protección generado por la desintegración de los fundente dentro del electrodo. En ambas el material del núcleo del electrodo provee una escoria que protege la solidificación del metal de soldadura. Los electrodos para FCAW también son utilizados en soldadura electrogas (EGW).

El FCAW es un proceso semiautomático, no obstante con una máquina apropiada puede automatizarse.

Los procesos de soldadura por arco con protección gaseosa fueron desarrollados desde alrededor de 1920. Experimentos en el tiempo muestran una significativa mejora en las propiedades del metal de soldadura cuando es protegido de la contaminación atmosférica, sin

embargo el desarrollo del electrodo revestido a fines de 1920 reduce el interés de los métodos protegidos con gas.

No es hasta 1940, con la introducción comercialmente aceptable del proceso Gas-Tungsten Arc Welding que se renueva el interés por los métodos de protección gaseosa. Luego en la misma década el proceso GMAW fue satisfactoriamente comercializado, utilizándose al mismo tiempo protección con Argón y con Helio.

Investigando los gases que se liberan en la soldadura con electrodo manual se encuentra que es principalmente CO<sub>2</sub>, con lo que comienza a utilizarse este gas en la protección de aceros al carbono, apareciendo en 1950 el proceso GMAW.

Casi al mismo tiempo, la protección con CO<sub>2</sub> se combina con electrodos tubulares conteniendo flux en su interior lo cual soluciona muchos problemas encontrados previamente.

Las características de operación se mejoran por la adición de materiales en el núcleo y la calidad de la soldadura fue mejorada por la eliminación de la contaminación atmosférica. Este proceso se introduce a publicidad en la exposición de AWS realizada en Buffalo, Nueva York en mayo de 1954, los consumibles y equipamientos fueron refinados y comercializados desde 1957.

El proceso continuo mejorándose pudiendo disponerse actualmente de electrodos de diámetro menores de 0,035 in (0,9 mm).

#### 4.2.2. Principales Características

Los beneficios del FCAW se obtienen por la combinación de tres hechos generales:

- 1) La productividad debido a un alambre de soldadura continuo.
- 2) Los beneficios metalúrgicos que pueden ser obtenidos desde el flux.
- 3) Una escoria que le da soporte y forma a la piletta soldada.

El FCAW combina características del proceso de soldadura manual (SMAW), del proceso de soldadura con protección gaseosa (GMAW) y del proceso de arco sumergido (SAW).

En el caso del método con protección gaseosa, mostrado en la figura 10, el gas de protección (usualmente dióxido de carbono o una mezcla de argón y dióxido de carbono) protege el metal fundido del oxígeno y nitrógeno del aire rodeando el arco y a la piletta soldada. La composición del electrodo es formulada para proveer desoxidantes que se combinen con la pequeña cantidad de oxígeno debido al gas de protección.

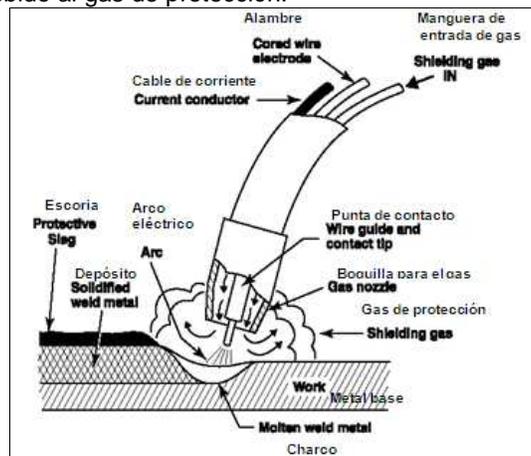


Figura 10. Proceso FCAW bajo protección gaseosa.

En el método autoprotegido, (Figura 11), la protección es obtenida desde componentes del flux vaporizado, los cuales desplazan el aire, y por la composición de la escoria que cubre las gotas del metal fundido durante la soldadura. La producción de CO<sub>2</sub> y la introducción de agentes

desoxidantes y denitrificantes a partir de adecuados ingredientes del flux sobre la superficie de la piletta soldada explican por que estos electrodos pueden tolerar mayores corrientes de aire que los protegidos por gas.

Otra característica de los electrodos auto-protegidos es el uso de grandes extensiones de electrodos, la extensión del electrodo es la longitud del electrodo no fundido desde el extremo del tubo de contacto durante la soldadura. Extensiones de 19 a 95 mm son generalmente utilizadas. El incremento de la extensión del electrodo aumenta la resistencia al calentamiento. Esto precalienta el electrodo y disminuye la caída de voltaje a través del arco, al mismo tiempo la corriente de soldadura disminuye, lo cuál baja el calor disponible para fundir el metal base, resultando en una piletta soldada angosta y poco profunda esto hace adecuado el proceso para soldar materiales de poco espesor. Si la longitud de arco (voltaje) y la corriente de soldadura se mantienen (por la elección de un mayor voltaje en la fuente de poder y mayor velocidad de alimentación del electrodo) mayores extensiones podrán incrementar la velocidad de deposición. En cierto tipo de electrodos auto-protegidos la polaridad podrá ser DCEN, esta resulta en menos penetración en el metal base, como resultado electrodos de diámetros pequeños (0,8-0,9 y 1,2 mm) resultan ser adecuados para materiales finos. Se han desarrollado algunos electrodos especiales para soldadura de aceros revestidos con cinc o aluminio, los cuales son comunes en la industria automotriz.

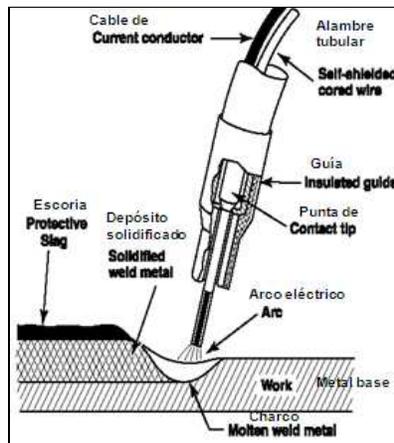


Figura 11. Proceso FCAW autoprotegido.

En contraste, el método protegido con gas es adecuado para producción de juntas angostas y profundas. Debido a la protección gaseosa cortas extensiones de electrodos y altas corrientes de soldadura son usadas para todos los diámetros de alambres. Para soldadura de filete, comparada con SMAW, en FCAW las soldaduras son más angostas y con grandes longitudes de gargantas.

#### 4.2.3. Equipamiento

El equipamiento necesario para la soldadura con alambre tubular de arco abierto es básicamente similar al del proceso con protección gaseosa. En la Figura 12, podemos ver las partes necesarias.

Los elementos del equipo son:

- 1.- Fuente de poder y cable de control
- 2.- Cable de soldar
- 3.- Cable de tierra
- 4.- Material base
- 5.- Pistola
- 6.- Cable de pistola
- 7.- Alimentación del alambre y sistema de control
- 8.- Electrodo tubular o rollo de alambre

9.- Sistema de alimentación del gas de protección (en los procesos con protección gaseosa: cilindro de gas, regulador, flujómetro, manguera)

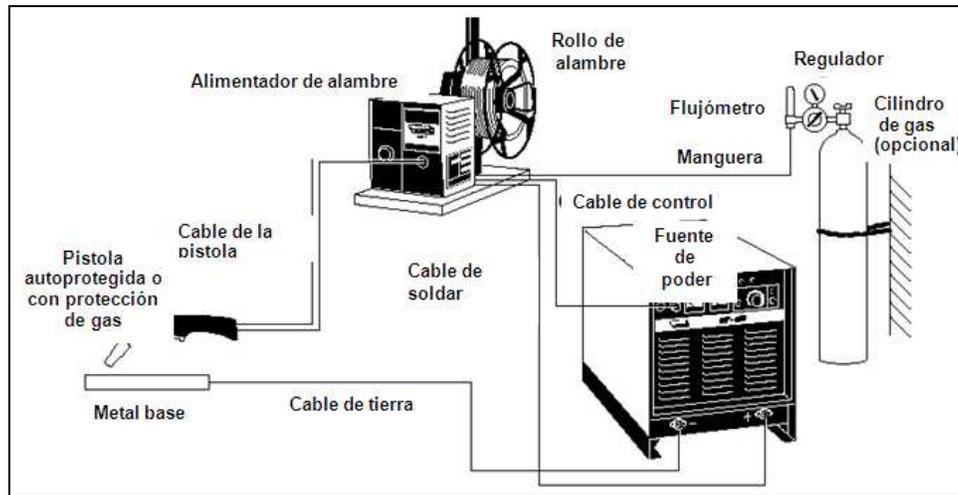


Figura 12. Equipamiento necesario

La mayor diferencia entre los métodos está dada en la necesidad de suministro de gas.

#### **4.2.4. Materiales**

A continuación se dará un detalle de todos los materiales involucrados en el proceso, con una observación acerca de la importancia de los mismos.

##### **4.2.4.1. Gases de protección**

###### *Dióxido de carbono*

El dióxido de carbono es el gas de protección más ampliamente usado para FCAW, dos ventajas de este gas son su bajo costo y su profunda penetración de la soldadura.

###### *Mezclas de gases*

Permiten combinar las ventajas de dos o más gases. Un mayor porcentaje de gas inerte mezclado con CO<sub>2</sub> u oxígeno, mejora la eficiencia en la transferencia de los desoxidantes contenidos en el núcleo. El Argón es capaz de proteger la piletta fundida a todas las temperaturas de soldadura. Su presencia en suficientes cantidades, como gas de protección, resulta en menos oxidación que con 100% de CO<sub>2</sub>.

##### **4.2.4.2. Electrodo**

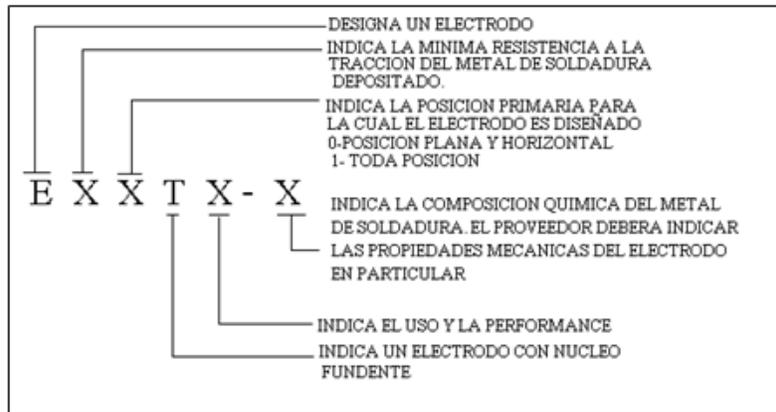


Figura 13. Clasificación de los electrodos de aceros al carbono para FCAW

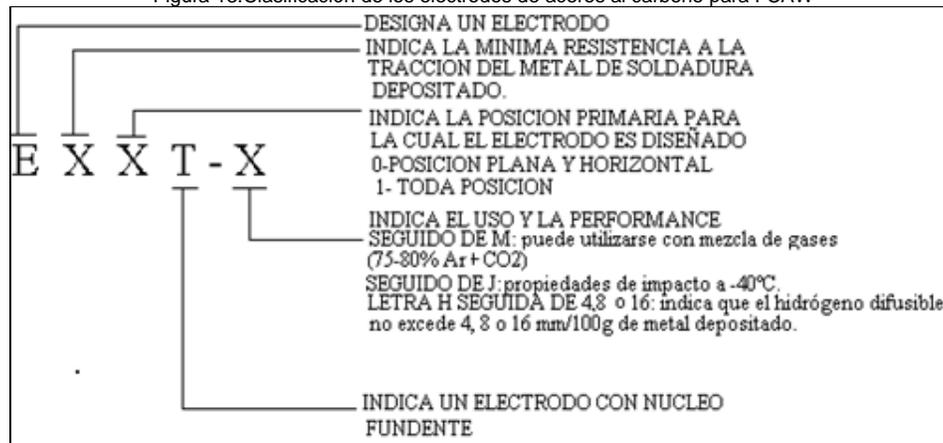


Figura 14 Clasificación de los electrodos de aceros aleados para FCAW

#### 4.2.4.3. Metales Bases Soldables

Muchos de los aceros que son soldables con los procesos SMAW, GMAW o SAW pueden ser soldados con FCAW, a continuación se dan algunos ejemplos:

- (1) Aceros dulces, aceros estructurales, grados de recipientes a presión tales como: ASTM A36, A515 y A516.
- (2) Aceros de grados estructurales de alta resistencia y baja aleación. ASTM A440, A441, A 572 y A548.
- (3) Aceros aleados de alta resistencia templados y revenidos, ASTM A514, A517 y A533.
- (7) Aceros aleados resistentes a la abrasión cuando son soldados con metales de aportes que tienen tensiones de fluencia menores que la de los aceros a soldar.

#### 4.2.5. Control del Proceso

A continuación se dará un detalle de los distintos parámetros de soldadura que influyen en el proceso y la forma de controlarlos.

##### 4.2.5.1. Corriente de soldadura

Es proporcional a la velocidad de alimentación del electrodo para un diámetro específico, composición y extensión del electrodo. Una fuente de potencia de tensión constante de adecuado tamaño es utilizada para fundir el electrodo a una velocidad que mantenga la tensión

de salida seleccionada (longitud de arco). Si para un diámetro de electrodo dado las otras variables se mantienen constante, un cambio en la corriente puede tener los siguientes efectos:

- (1) Incremento en la corriente incrementa la velocidad de deposición del electrodo.
- (2) Incremento en la corriente, incrementa la penetración.
- (3) Corriente excesiva produce piletas convexas con pobre apariencia.
- (4) Corriente insuficiente produce transferencia de grandes gotas y excesivo salpicado.
- (5) Corriente insuficiente puede resultar en contaminación con nitrógeno y también porosidad en el metal de soldadura, cuando se utilizan electrodos autoprotectidos.

La corriente de soldadura incrementa o disminuye cambiando la velocidad de alimentación del electrodo, la tensión de salida deberá ser cambiada para mantener la óptima relación de tensión-corriente. *Para una velocidad dada de alimentación del electrodo, la corriente medida varía con la extensión del electrodo. Cuando la extensión del electrodo incrementa, la corriente puede disminuir y viceversa.*

#### **4.2.5.2. Tensión del arco**

La tensión del arco y la longitud del arco se encuentran muy relacionados. El voltaje mostrado en el medidor de la máquina de suministro de potencia es la suma de la caída de voltaje a través del circuito de soldadura. Esto incluye la caída a través de los cables, la extensión del electrodo, el arco, la pieza de trabajo, y el cable de masa.

La apariencia, sanidad y propiedades de la soldadura realizada con FCAW pueden ser afectados por la tensión del arco. Una tensión de arco demasiado alta (un arco demasiado largo) puede resultar en un excesivo salpicado y una piletta ancha y de forma irregular. Con los electrodos autoprotectidos, un voltaje demasiado alto puede deteriorar la tenacidad de la junta.

Con electrodos de acero dulce esto puede causar porosidad. Con electrodos de acero inoxidable puede aumentar el riesgo a fisuras. Tensión de arco muy baja (o arco corto) puede resultar en una piletta angosta convexa con penetración reducida. Para los demás alambres se recomienda usar electrodos negativos (polaridad directa).

#### **4.2.5.3. Extensión del electrodo**

El electrodo no fundido se extiende debajo del tubo de contacto durante la soldadura, la resistencia al calentamiento es proporcional a esta longitud asumiendo que las otras variables se mantienen constante, la Figura 10 muestra detalles de la punta de la antorcha. Este calentamiento afecta la energía del arco, la velocidad de deposición del electrodo y la penetración de la soldadura, esto también puede afectar la sanidad y la estabilidad del arco.

El efecto de la extensión del electrodo es un factor operativo en FCAW que introduce nuevas variables que pueden ayudar en el balance con las condiciones de protección y las variables de soldadura.

Una extensión demasiado larga produce un arco inestable con excesivo salpicado. Una extensión demasiado corta puede causar una excesiva longitud de arco para el voltaje seleccionado. Con protección gaseosa esto puede causar excesivo salpicado delante de la antorcha que interfiere con el flujo de gas de protección, generando porosidad en el metal de soldadura y excesiva oxidación.

Muchos fabricantes recomiendan una extensión de 19 a 38 mm para electrodos protegidos con gas y de 19 a 95 mm para autoprotectidos, dependiendo de la aplicación.

#### **4.2.5.4. Velocidad de trabajo**

La velocidad de trabajo influye en la penetración de la piletta y su contorno. Si otros factores permanecen constantes, la penetración a bajas velocidades de trabajo es mayor que a altas velocidades. Bajas velocidades y altas corrientes pueden resultar en sobrecalentamiento del metal de soldadura. Esto puede resultar en una soldadura de apariencia rugosa con

posibilidades de escoria atrapada, o de fusión del metal base. Altas velocidades de trabajo pueden resultar en una pileta viscosa e irregular.

#### **4.2.5.5. Flujo de gas**

En el caso de electrodos con protección gaseosa el flujo de gas es una variable que afecta la calidad de la soldadura. Su efecto es similar a otros procesos protegidos con gas.

El flujo adecuado depende del tipo y diámetro de la torcha, la distancia desde la superficie de trabajo, y el movimiento de aire en las regiones cercanas a la soldadura.

#### **4.2.5.6. Velocidad de deposición y eficiencia**

La velocidad de deposición es el peso de material depositado por unidad de tiempo. Depende de variables de soldadura tales como: diámetro, composición y extensión del electrodo y corriente de soldadura. Los proveedores de consumibles suministran gráficos que vinculan, la velocidad de deposición en función de la corriente de soldadura para electrodos de varios diámetros y en distintas posiciones de soldadura.

Para electrodos FCAW protegidos con gas la eficiencia en la deposición está en el rango de 80 a 90%, mientras que para los autoprottegidos es de 78 a 87%. Eficiencia de deposición es la relación entre peso de metal depositado sobre peso de metal consumido.

#### **4.2.5.7. Angulo del electrodo**

El ángulo en el cuál el electrodo es mantenido durante la soldadura determina la dirección de aplicación de la fuerza en la pileta fundida. Cuando las variables son adecuadamente ajustadas para la aplicación involucrada, la fuerza puede ser usada para oponerse a los efectos de gravedad. En los procesos FCAW y SMAW, la fuerza es utilizada no solamente para ayudar en la forma de la pileta deseada sino para prevenir escoria por delante de la pileta y que quede atrapada en la misma.

Un problema que presenta la soldadura en posición plana es que la fuerza de gravedad hace que la pileta de soldadura fundida avance por delante de la soldadura. Esto debe ser contrarrestado con un adecuado ángulo entre el electrodo y la posición de trabajo, el cuál se denomina ángulo de avance. Este ángulo de avance, definido como "ángulo de arrastre", es medido desde una línea vertical en el plano axial de la soldadura, como muestra la Figura 11.

El ángulo de arrastre adecuado depende de: el tipo de protección, el espesor del metal base, y la posición de soldadura. Para soldadura autoprottegida, el ángulo de arrastre deberá ser el mismo que el que se utiliza en SMAW, variando de 20 a 45 grados para posición plana, los mayores ángulos se utilizan para secciones finas. Cuando el espesor del material incrementa, el ángulo de arrastre deberá disminuir para incrementar la penetración. Para vertical descendente, el ángulo deberá ser de 5 a 10 grados.

Para protección gaseosa, el ángulo de arrastre deberá ser pequeño, usualmente de 2 a 15 grados, pero no más de 25 grados.

Cuando se realizan soldaduras de filete en posición horizontal, la pileta tiende a fluir tanto en la dirección de trabajo como hacia los lados de esta. Para contrarrestar esto se debe posicionar el electrodo con un ángulo de trabajo de 40 a 50° desde la vertical, (Figura 15).

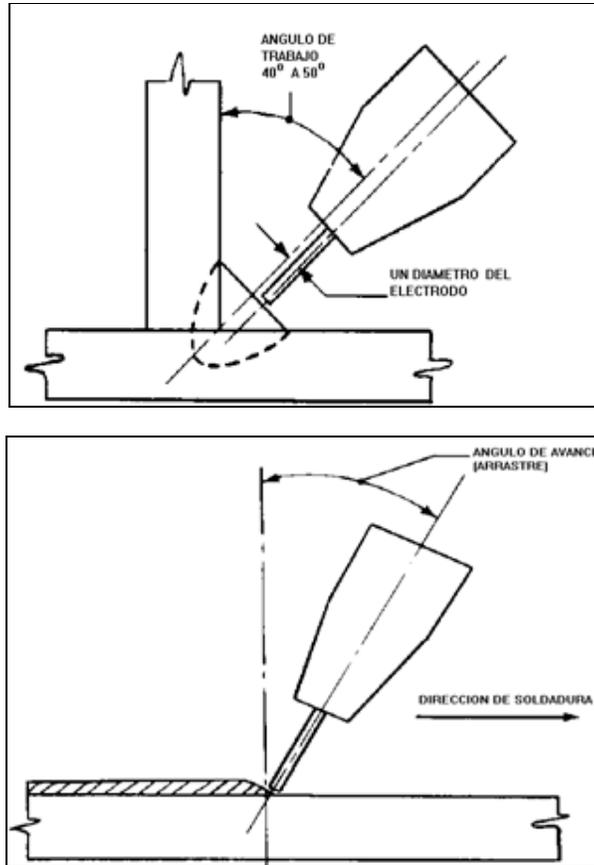


Figura 15. Posiciones de antorcha recomendadas.

#### 4.2.5.8. Diseños de juntas

El diseño de junta adecuado depende del tipo de protección que se utilice. El diseño de junta debe permitir que se pueda mantener una extensión del electrodo constante, un adecuado acceso a la raíz y que se pueda manejar fácilmente el electrodo durante la realización de la unión.

#### 4.2.6. Ventajas y limitaciones del proceso FCAW

*Ventajas:*

- Alta calidad del metal depositado
- Excelente apariencia del cordón, soldadura suave y uniforme.
- Excelente contorno de los cordones de filete horizontales.
- Se puede soldar una variedad de aceros con un amplio rango de espesores.
- Factor de alta operatividad: fácil mecanizado
- Alta tasa de deposición: densidad de alta corriente
- Utilización del metal de electrodo: relativamente alta.
- Velocidades de desplazamiento relativamente alta.
- Economía en los diseños ingenieriles de las juntas.
- Arco visible: fácil de usar.
- La limpieza previa es menor que la que se requiere para la soldadura por arco de metal con protección gaseosa GMAW.
- Distorsión reducida comparada con la soldadura SMAW.
- Alrededor de cuatro veces más velocidad de deposición que con SMAW.
- Los electrodos autoprottegidos tienen buena tolerancia al viento y no requieren del manejo de equipos de gas.
- Mayor tolerancia a los contaminantes que pueden causar fisuras en la soldadura.

- Resistentes a la fisuración bajo pileta.

*Limitaciones:*

- Está limitado a la soldadura de materiales ferrosos y aleaciones base níquel.
- El proceso produce escoria la que debe ser eliminada.
- El consumible es más caro a igualdad de peso que los alambres sólidos, excepto para aceros de alta aleación.
- El equipamiento es más caro y complejo que el requerido por SMAW, sin embargo el incremento de productividad generalmente compensa esto.
- La alimentación del alambre y la fuente de poder pueden ser juntamente cerradas en el punto de soldadura.
- En el caso de protección gaseosa esta puede verse afectada por condiciones atmosféricas.
- El equipamiento es más complejo que para SMAW, y se requiere más mantenimiento.
- Se generan más humos de soldadura. (Comparados con GMAW y SAW)

### **4.3. GMAW/MIG (Gas Metal Arc Welding) Soldadura de arco metal**

La soldadura GMAW (gas metal arc welding) o Soldadura MIG (metal inert gas) es también conocida como Gas Arco Metal o MAG, y es un proceso de soldadura por arco eléctrico, el cual se forma entre un alambre continuo de metal y el material base para producir una fusión de los dos. El proceso usa un gas para protección del área de soldadura (o mezcla de gas) que proviene de un contenedor externo y sin aplicación de presión alguna.

#### **4.3.1. Introducción**

Este proceso es usado con la protección de un gas externamente suministrado, y sin la aplicación de presión.

La aplicación primaria de este proceso fue en la soldadura de aluminio, por lo que se denominada MIG (Metal inerte gas). Avances posteriores aplicaron este proceso a la soldadura de aceros con menores densidades de corriente y el uso de gases y mezclas de gases reactivos (CO<sub>2</sub>).

Una variación de este proceso es el uso de un electrodo tubular dentro del cuál hay un núcleo constituido por polvos metálicos (Metal -Cored).

El GMAW es un proceso semiautomático, no obstante con una máquina apropiada puede automatizarse. Con este proceso pueden soldarse todos los metales de importancia comercial. Continuos desarrollos al proceso de soldadura MIG lo han convertido en un proceso aplicable a todos los metales comercialmente importantes como el acero, aluminio, acero inoxidable, cobre y algunos otros. Materiales por encima de 0.076 mm (.030-in) de espesor pueden ser soldados en cualquier posición, incluyendo "de piso", vertical y sobre cabeza.

Es muy simple escoger el equipo, el alambre o electrodo, el gas de la aplicación y las condiciones optimas para producir soldaduras de alta calidad a muy bajo costo.

#### **4.3.2. Ventajas y limitaciones**

*Los beneficios más importantes de este proceso son:*

1. Es el único proceso de electrodo consumible que puede servir para soldar todos los metales y aleaciones comerciales
2. Por ser el electrodo un alambre continuamente suministrado no existe limitación de tamaño.
3. Permite soldar en todas posiciones.
4. Se logran tasas de deposición superiores al proceso con electrodo revestido.
5. La velocidad para soldar es mas rápida que la de electrodo (SMAW), se evita estar cambiando electrodo.

6. Cuando se utiliza transferencia spray, se logra mayor penetración que con la soldadura manual, lo que permite el uso de soldaduras de filete más pequeñas para obtener una resistencia mecánica equivalente
7. No requiere limpieza después de la soldadura ya que no se produce escoria.
8. Alto nivel de deposición y mayor eficiencia.
9. Soldaduras en la mayoría de los metales comerciales.
10. Limpio, Sin generación de escoria.
11. Todas Posiciones y bajo nivel de habilidad.

*Algunas de las limitaciones del proceso son:*

1. Es más difícil de usar en lugares de difícil acceso porque la antorcha debe estar cerca de la unión (entre 10 y 19mm) para asegurar buena protección del metal fundido.
2. El arco de soldadura debe protegerse contra corrientes de aire que puedan dispersar el gas protector, lo que limita su aplicación en la intemperie.
  - Equipo más costoso complejo y menos portátil que el de SMAW.
  - Difícil de aplicar en lugares de acceso limitado por la antorcha.
  - Altos niveles de calor y radiación.
  - Chisporroteo.
  - Tendencia a la Falta de Fusión en espesores  $>3/8$ " (corto circuito).
  - Requiere limpieza extrema.
  - Sensible a las corrientes de aire.

#### 4.3.3. Equipamiento

El equipamiento necesario para la soldadura GMAW se muestra en las Figura 16.

Los elementos del equipo son:

- 1.- Fuente de poder
- 2.- Alimentador del electrodo y sistema de control
- 3.- Antorcha y cables
- 4.- Electrodo o rollo de alambre
- 5.- Sistema de alimentación del gas de protección (cilindro, mangueras).
- 6.- Circulador de agua (opcional)

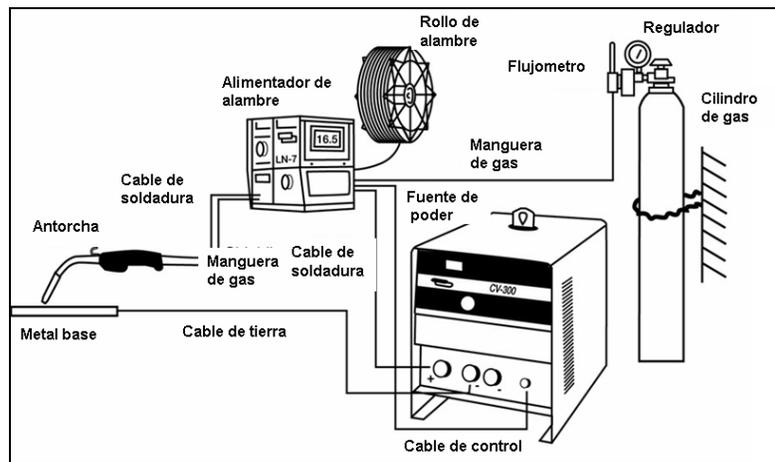


Figura 16. Equipo necesario para el proceso GMAW

#### 4.3.4. Principales características

El proceso GMAW se basa en la alimentación automática de un electrodo continuo que se protege mediante el uso de gas externamente suministrado. La Figura 17 ilustra el proceso. Una vez que el operador ha hecho los ajustes iniciales, el equipo puede regular automáticamente las características eléctricas del arco. Es por ello que en el proceso semiautomático el soldador solo controla la velocidad de avance y dirección de

desplazamiento, así como el posicionamiento de la antorcha. Esto hace que la longitud de arco y la corriente (esto es velocidad de alimentación del alambre) se mantienen automáticamente.

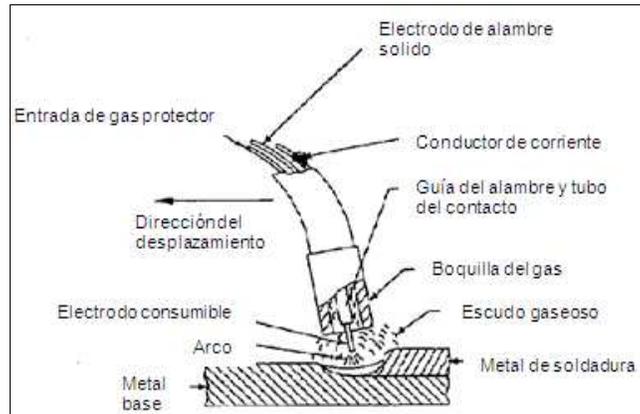


Figura 17. Proceso GMAW

El proceso básico MIG incluye tres técnicas muy distintas:

1. Transferencia por "Corto Circuito"
2. transferencia "Globular"
3. transferencia de "Arco Rociado (Spray Arc)"

Estas técnicas describen la manera en la cual el metal es transferido desde el alambre hasta la soldadura fundida.

El tipo de transferencia depende principalmente de:

1. Magnitud y tipo de corriente de soldadura
2. Diámetro del electrodo
3. Composición química del electrodo
4. Extensión del electrodo
5. Gas de protección

#### 4.3.4.1. Transferencia en corto circuito

En la transferencia por corto circuito, también conocido como "Arco Corto", "Transferencia espesa" y "Micro Wire", la transferencia del metal ocurre cuando un corto circuito eléctrico es establecido, esto ocurre cuando el metal en la punta del alambre hace contacto con la soldadura fundida.

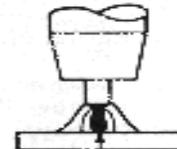


Figura 18. Corto circuito

Este tipo de transferencia abarca el intervalo más bajo de corrientes de soldadura y de diámetros de electrodos asociados al proceso GMAW. La transferencia en corto circuito produce un charco de soldadura pequeño, de rápida solidificación, que generalmente es apropiado para unir secciones delgadas, soldar fuera de posición y tapar aberturas de raíz anchas. El metal se transfiere del electrodo al trabajo solo durante el período en que está en contacto con el charco de soldadura.

El electrodo hace contacto con el charco de soldadura a razón de 20 a más de 200 veces por segundo. Cuando el alambre toca el metal de soldadura, la corriente aumenta en [D y E] el metal fundido en la punta del electrodo se estrangula, iniciando el arco como se aprecia en. La rapidez con que aumenta la corriente debe ser suficiente para calentar el electrodo y promover la transferencia del metal, pero lo bastante baja como para minimizar salpicaduras causadas por la separación violenta de la gota de metal. Este aumento de la corriente se controla a través de la inductancia de la fuente de poder. El ajuste de la inductancia óptimo depende tanto de la resistencia eléctrica del circuito de soldadura como del punto de fusión del electrodo. Una vez establecido el arco, la punta del alambre se funde al tiempo que el alambre se alimenta hasta el siguiente corto circuito.

Aunque sólo hay transferencia de metal durante el corto circuito, la composición del gas de protección tiene un efecto drástico sobre la tensión superficial del metal fundido. Los cambios en la composición del gas de protección pueden afectar el tamaño de las gotas y la duración del corto circuito. El CO<sub>2</sub> en general produce niveles de salpicado elevado en comparación con los gases inertes, pero promueve la penetración.

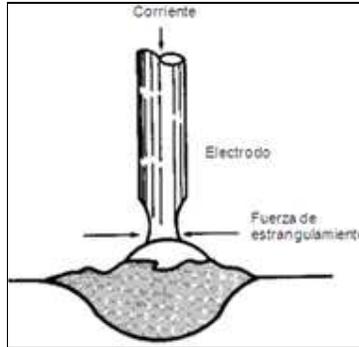


Figura 19. Transferencia en corto circuito

La Figura 19 muestra el efecto de estrangulación electromagnética, esta es la fuerza de "constricción" (pinch) que la corriente ejerce sobre un conductor al fluir por él. Esta fuerza es función de la pendiente de la curva Volt- amper, que cambia la corriente de cortocircuito, una menor corriente de cortocircuito produce un efecto de estrangulación menos intenso. Esta fuerza es importante ya que determina la forma en que una gota fundida se desprende del electrodo, lo que afecta a su vez la estabilidad del arco.

#### 4.3.4.2. Transferencia globular

En la transferencia globular el proceso ocurre cuando las gotas del metal fundido son lo suficientemente grandes para caer por la influencia de la fuerza de gravedad.

Con polaridad positiva, hay transferencia globular cuando la corriente es relativamente baja sea cual fuere el gas de protección utilizado, pero con CO<sub>2</sub> y helio este tipo de transferencia ocurre para todos los rangos de corriente útiles.

La transferencia globular (figura 20) se caracteriza por un tamaño de gota mayor que el diámetro del electrodo. La gravedad actúa fácilmente sobre esta gota grande, por lo que en general solo hay transferencia útil en posición plana. Con gas inerte se puede lograr transferencia globular con corrientes levemente mayores a las de transferencia en corto circuito, se debe tener cuidado de no usar un voltaje bajo ya que puede producir salpicado ni uno muy elevado, que produce falta de penetración. La protección con CO<sub>2</sub> produce transferencia globular en forma aleatoria, es por ello que el uso de este gas de protección exige técnicas especiales en la soldadura (enterrar el arco) a fin de evitar el salpicado.

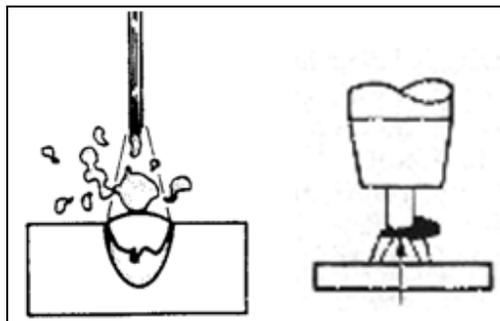


Figura 20. Transferencia globular

#### 4.3.4.3. Transferencia tipo spray (axial)

En la transferencia por rociado (spray arc) diminutas gotas de metal fundido llamadas "Moltens" son arrancadas de la punta del alambre y proyectadas por la fuerza electromagnética hacia la soldadura fundida.

Este tipo de transferencia, la cuál es posible lograr con mezclas ricas en argón. Para ello se necesita utilizar polaridad positiva y un nivel de corriente por encima de la corriente de transición. Por debajo de este nivel tenemos la transferencia globular.

La corriente de transición depende de la tensión superficial del metal líquido, es inversamente proporcional al diámetro del electrodo y en menor grado de la extensión del electrodo. Varía con la temperatura de fusión del metal de aporte y con el tipo de gas de protección.

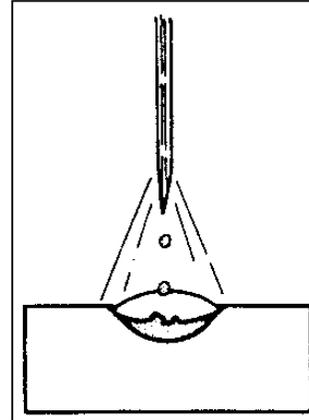


Figura 21. Transferencia spray (axial)

Este tipo de transferencia sí bien puede aplicarse a cualquier tipo de aleación y en cualquier posición de soldadura, tiene como limitación que los elevados aportes térmicos puede resultar inadecuada para chapas finas y que el charco grande producido dificulta posiciones no planas. Estos inconvenientes han sido subsanados mediante el uso de máquinas que producen formas de ondas y frecuencias cuidadosamente controladas que "pulsan" la corriente de soldadura. Existen dos maneras para suministrar niveles de corriente:

una de fondo baja y constante que mantiene el arco sin proporcionar energía suficiente para que se formen las gotas en la punta del alambre, y una corriente a pulsos superpuesta cuya amplitud es mayor que la corriente de transición necesaria para la transferencia spray. Durante este pulso se forman y transfieren una o más gotas. La frecuencia y amplitud de los pulsos controla la energía del arco, y por lo tanto la rapidez con que se funde el alambre. Existen fuentes que permiten controlar las corrientes de fondo y de pulso (fuentes sinérgicas) apropiada para la velocidad del alambre escogida.

Los factores que determinan la manera en que los metales son transferidos son la corriente de soldadura, el diámetro del alambre, la distancia del arco (voltaje), las características de la fuente de poder y el gas utilizado en el proceso.

La soldadura MIG es un proceso versátil, con el cual se puede depositar soldadura a un rango muy alto y en cualquier posición.

El proceso es ampliamente usado en laminas de acero de bajo y mediano calibre de fabricación y sobre estructuras de aleación de aluminio particularmente donde existe un alto requerimiento de trabajo manual o trabajo de soldador.

#### 4.3.5. Variables del proceso

Establecer adecuadamente un procedimiento de soldadura GMAW implica manejar las siguientes variables, las cuales se encuentran relacionadas entre sí.

- a) Corriente de soldadura (velocidad de alimentación del electrodo)
- b) Polaridad
- c) Voltaje del arco (longitud de arco)
- d) Velocidad de avance
- e) Extensión del electrodo
- f) Orientación del electrodo (ángulo respecto a la dirección de desplazamiento)
- g) Posición de soldadura
- h) Diámetro del electrodo

i) Composición y caudal del gas de protección.

Como ya hemos mencionado, si todas las demás variables se mantienen constantes, la corriente de soldadura varía con la velocidad de alimentación del electrodo.

La extensión del electrodo es la distancia entre el extremo del tubo de contacto y la punta del electrodo. El aumento de la extensión del electrodo produce un aumento en su resistencia eléctrica, esto aumenta la tasa de fusión del electrodo. La mayor resistencia eléctrica hace que aumente la caída de voltaje entre el tubo de contacto y la superficie de trabajo, lo que es detectado por la fuente que reacciona reduciendo la corriente. Esto inmediatamente disminuye la velocidad de fusión del electrodo y se acorta la longitud física del arco.

La *extensión* deseable del electrodo generalmente está entre **6 y 13 mm** para la transferencia en corto circuito y entre **13 y 15 mm** para los demás tipos de transferencia.

Como en todos los procesos de soldadura por arco la orientación del electrodo con relación a la unión afecta la forma y penetración de la soldadura, y el efecto sobre el ancho del cordón es mayor que la tensión del arco o la velocidad de avance. Hay dos relaciones a tener en cuenta:

- 1) El ángulo que forma el eje del electrodo y la dirección de desplazamiento (ángulo de avance).
- 2) El ángulo entre el eje del electrodo y la superficie de trabajo (ángulo de trabajo)

Cuando el electrodo apunta en la dirección opuesta a la de avance se denomina ángulo de arrastre.

La penetración máxima en soldadura plana se obtiene con al técnica de arrastre, empleando un ángulo de arrastre de unos 25° con respecto a la perpendicular.

Para soldadura de filete el electrodo deberá colocarse a 45° respecto a la pieza en vertical.

#### **4.3.6. Materiales**

Daremos a continuación una descripción de los materiales involucrados en el proceso, con una observación acerca de la importancia de los mismos.

- a) Gases de protección
- b) Electrodo
- c) Diseño de la junta en el metal base

##### **4.3.6.1. Gases de protección**

La función primaria del gas de protección es impedir que la atmósfera entre en contacto con el metal de soldadura fundido. Los principales gases utilizados en este proceso de soldadura son: Argón, Dióxido de Carbono, Helio, Hidrogeno, Nitrógeno, Oxígeno.

El gas de protección influye también en:

- 1) Características del arco
- 2) Tipo de transferencia
- 3) Penetración y ancho de la soldadura
- 4) Velocidad de soldadura
- 5) Tendencia al socavado
- 6) Acción limpiadora
- 7) Propiedades mecánicas del metal de soldadura.

##### *Dióxido de carbono*

El dióxido de carbono es el único gas de protección reactivo que puede utilizarse solo en GMAW. La mayor velocidad de soldadura, junto con su profunda penetración y su bajo costo ha promovido el uso de este gas como protector. Con CO<sub>2</sub> se puede obtener transferencia en corto circuito o globular. Con transferencia globular para evitar el salpicado se utiliza la técnica de enterrar el electrodo.

#### Gases Inertes Ar - He

El Argón y el Helio son gases inertes, estos dos y sus mezclas se emplean para soldar metales no ferrosos y aceros inoxidable, al carbono y de baja aleación.

#### Mezclas de gases:

Permiten combinar las ventajas de dos o más gases.

#### 4.3.6.2. Electrodo

Las Normas que se utilizan para la clasificación de los electrodos para GMAW incluyen las varillas para GTAW, estas se denominan de acuerdo a los metales base involucrados las cuales son:

ACEROS AL CARBONO: AWS A5.18

ACEROS DE BAJA ALEACION: AWS A5.28

ACEROS INOXIDABLES: AWS A5.9

ALUMINIO Y SUS ALEACIONES: AWS A5.10

Los electrodos se fabrican en tamaños estándares de 0,9, 1,2 a 2,4mm de diámetro. Las propiedades de la soldadura pueden variar apreciablemente dependiendo del tamaño de electrodo, corriente de soldadura, espesor de la placa, geometría de la junta, precalentamiento, temperatura entre pasadas, condición superficial, composición del metal base y diferencias con el metal depositado y gas de protección.

Clasificación de los electrodos de aceros al carbono para GMAW:

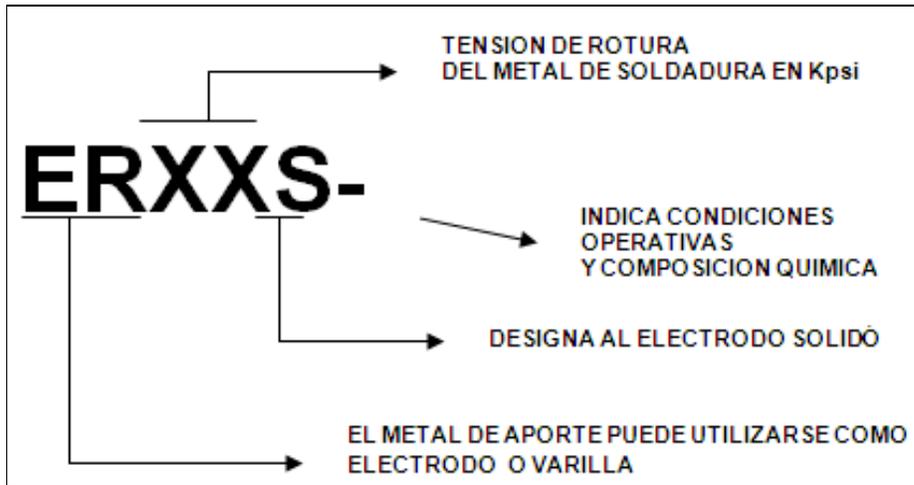


Figura 22. Electrodo de aceros al carbono para GMAW

#### 4.4. GTAW/TIG (Gas Tungsten Arc Welding) Soldadura de arco-gas Tungsteno

La soldadura GTAW (gas tungsten arc welding) o Soldadura TIG (tungsten inert gas) es también conocida como soldadura Heliarc, es un proceso en el que se usa un electrodo no consumible de tungsteno sólido, el electrodo, el arco y el área al rededor de la soldadura fundida son protegidas de la atmósfera por un escudo de gas inerte, si algún metal de aporte es necesario es agregado a la soldadura desde el frente del borde de la soldadura que se va formando.

La soldadura TIG fue desarrollada inicialmente con el propósito de soldar metales anticorrosivos y otros metales difíciles de soldar, no obstante al pasar del tiempo, su aplicación se ha expandido incluyendo tanto soldaduras como revestimientos endurecedores (hardfacing) en prácticamente todos los metales usados comercialmente.

#### 4.4.1. Introducción

En cualquier tipo de proceso de soldadura la mejor soldadura, que se puede obtener, es aquella donde la soldadura y el metal base comparten las mismas propiedades químicas, metalúrgicas y físicas, para lograr esas condiciones la soldadura fundida debe estar protegida de la atmósfera durante la operación de la soldadura, de otra forma, el oxígeno y el nitrógeno de la atmósfera se combinarían, literalmente, con el metal fundido resultando en una soldadura débil y con porosidad.

En el proceso GTAW se genera un arco eléctrico entre un electrodo de tungsteno virtualmente no consumible y la pileta fundida de metal base. Este proceso es usado con la protección de un gas externamente suministrado, y sin la aplicación de presión. La adición de metal de aporte es opcional y se realiza en forma externa. La figura 23 muestra esquemáticamente el proceso de soldadura GTAW.

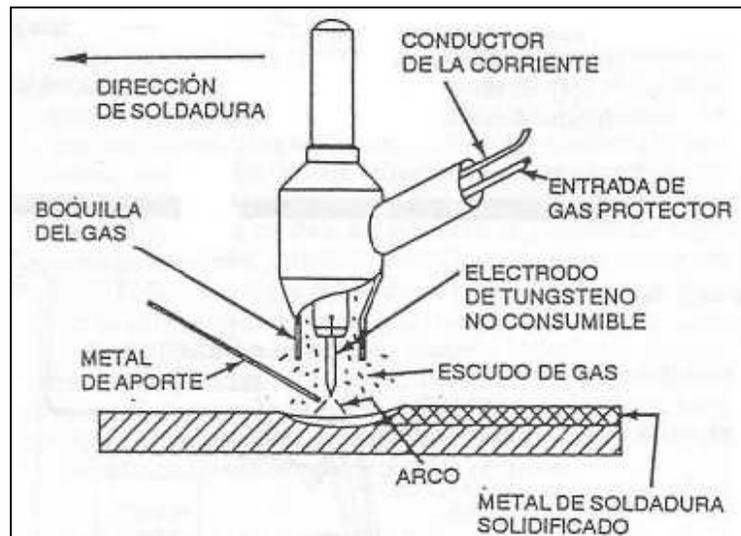


Figura 23. Esquema del proceso GTAW

Este proceso ha recibido los nombres de soldadura con tungsteno y gas inerte (TIG), pero la terminología empleada por AWS1 es de GTAW porque en algunas aplicaciones es posible usar mezclas de gases protectores que no son inertes.

El uso de este proceso en forma automática está muy difundido, y es ampliamente utilizado en soldaduras de cañerías de pequeños diámetros.

#### 4.4.2. Ventajas y limitaciones

*Los beneficios más importantes de este proceso son:*

1. Produce soldaduras de buena calidad, generalmente libres de defectos
2. Esta libre de salpicaduras que ocurren con otros procesos de arco.
3. Puede utilizarse con metal de aporte o sin él, según requiera la aplicación específica.
4. Ofrece un control excelente de la penetración en la pasada de raíz.
5. Puede producir soldaduras económicas a altas velocidades.
6. Las fuentes de potencia son de costos relativamente bajos
7. Permite controlar de manera precisa las variables de soldadura.
8. Sirve para soldar casi todos los metales incluso aleaciones disímiles
9. Permite controlar en forma independiente la fuente de calor y la adición de metal de aporte.

*Algunas de las limitaciones del proceso son:*

1. Las tasas de deposición son más bajas que con GMAW.
2. El soldador requiere un poco más de destreza y coordinación que con los otros procesos de soldadura.

3. Para espesores mayores de 10mm (3/8") resulta más costoso que los procesos con electrodo consumible
4. Es difícil proteger la zona de soldadura en lugares donde hay corrientes de aire.

Entre los problemas potenciales del proceso están:

1. Puede haber inclusiones de tungsteno si se permite que el electrodo haga contacto con la piletta líquida.
2. Una inadecuada posición del metal de aporte podrá producir contaminación del mismo.
3. Requiere buena calidad en el metal base y en el aporte.
4. Puede haber contaminación o porosidad causada por fuga del refrigerante en el caso de antorchas refrigeradas por agua.
5. Puede haber golpe, o desviación del arco, al igual que en los otros procesos por arco.

#### 4.4.3. Fundamentos del proceso

El proceso GTAW se basa en el uso de un electrodo de tungsteno (o una aleación de tungsteno) no consumible sostenido en una antorcha (o soplete). Se alimenta un gas de protección para proteger el electrodo, la piletta líquida y el metal de soldadura durante la solidificación de la contaminación atmosférica. El arco eléctrico se produce por el paso de la corriente a través del gas de protección ionizado, que conduce la electricidad. El arco se establece entre la punta del electrodo y la superficie de trabajo. El calor generado 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 empalme. Si se usa alambre de aporte, se alimenta por el borde delantero del charco de soldadura para llenar la unión.

Todos los sistemas de soldadura GTAW tienen en común cuatro componentes básicos, los cuales se muestran en la Figura 24.

1. Soplete o antorcha
2. -Electrodo
3. Fuente de poder
4. Sistema de alimentación del gas de protección

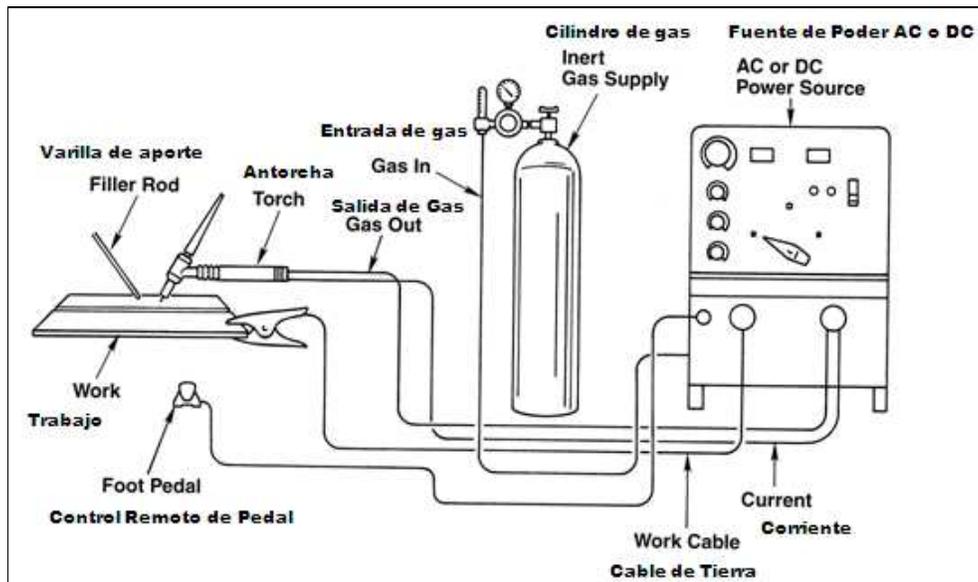


Figura 24. Equipamiento necesario

#### 4.4.4. Equipamiento

##### 4.4.4.1. Soplete o antorchas

Los sopletes de GTAW sostienen el electrodo de tungsteno que transporta la corriente de soldadura y conducen el gas de protector a la zona de soldadura.

La elección de un soplete se basa en la corriente máxima de soldadura que pueden transportar sin recalentarse. La mayoría de los sopletes permiten manejar electrodos de distintos tamaños para un intervalo dado de boquillas. En función de la corriente máxima de trabajo los sopletes podrán ser refrigerados con agua o con gas, estos últimos eliminan el calor por medio del gas de protección. Los sopletes refrigerados por gas están limitados a una corriente máxima de soldadura de 200 Amperes. En los sopletes enfriados por agua pueden llegar a utilizarse corrientes entre 300 y 500 Amperes.

Los accesorios que utiliza el soplete son los mandriles y las boquillas. Los mandriles generalmente son de cobre y el tamaño debe adecuarse al electrodo. Las boquillas son las que dirigen el gas de protección a la zona de soldadura.

La elección del tamaño de la boquilla depende de:

- Tamaño del electrodo
- Tipo de unión a soldar
- Área de soldadura que debe protegerse efectivamente
- Acceso a la unión que se va a soldar

##### 4.4.4.2. Electrodos

Los electrodos de tungsteno son no consumibles, si el proceso se emplea como es debido, ya que no se derriten ni transfieren a la soldadura. La función del electrodo de tungsteno es servir como una de las terminales eléctricas del arco que proporciona el calor necesario para soldar. La temperatura de fusión del tungsteno es de 3410 °C, y cuando se acerca a esta temperatura se vuelve termiónico, es decir, es una fuente abundante de electrones. El electrodo alcanza esta temperatura gracias al calentamiento por resistencia y, de no ser por el considerable efecto de enfriamiento de los electrones que se desprenden de su punta, dicho calentamiento haría que se fundiera la punta. De hecho, la punta del electrodo tiene una temperatura mucho menor que el cuerpo del mismo. Cinco factores se consideran en la selección de los electrodos para GTAW: composición química, tamaño, forma de la punta, mandriles y boquillas.

##### *Clasificación de los electrodos*

Los electrodos de tungsteno se clasifican de acuerdo a su composición química. La Norma ANSI/AWS A 5.12 "Especificación para electrodos de tungsteno para soldadura y corte por arco", establece los requisitos que deben cumplir los mismos. La tabla 4 muestra la composición química y el sistema de clasificación por Código de color que es ampliamente utilizado.

Tabla 4. Códigos de color y elementos de aleación

Clasificación AWS	Color <sup>a</sup>	Elemento de aleación	Óxido de aleación	Porcentaje de óxido
EWP	Verde	--	---	-----
EWCe-2	Anaranjado	Cerio	CeO <sub>2</sub>	2
EWLa-1	Negro	Lantano	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1
EWTh-1	Amarillo	Torio	ThO <sub>2</sub>	1
EWTh-2	Rojo	Torio	ThO <sub>2</sub>	2
EWZr-1	Marrón	Zirconio	ZrO <sub>2</sub>	0,25
EWG	Gris	No se especifica	-----	-----

a) El color puede aplicarse en forma de bandas, puntos, etc.

b) El fabricante debe especificar el tipo y contenido de óxidos de tierras raras

#### *Electrodos EWP*

Los electrodos de tungsteno puro (EWP) contienen por lo menos 99,5% de tungsteno, y ningún elemento de aleación intencional. La capacidad de transporte de corriente es menor que la de los electrodos aleados. Se emplean principalmente con corriente alterna para soldar aleaciones de *aluminio y magnesio*.

#### *Electrodos EWTh*

La emisión termiónica del tungsteno puede mejorarse aleándolo con óxidos metálicos que tienen funciones de trabajo muy bajas. El resultado es que los electrodos pueden manejar corrientes de soldadura más altas sin fallar. El óxido de torio se usa para tal fin.

Estos electrodos superan a los de tungsteno puro en varios aspectos. La toria aumenta en cerca del 20% la capacidad de transporte de corriente, los hace más duraderos y tienen mejor encendido del arco.

El Torio es radiactivo de muy bajo nivel, por lo que debe extremarse las precauciones en el amolado y en la ventilación durante la soldadura.

#### *Electrodos EWCe, EWLa*

Estos electrodos tienen iguales característica operativa que los electrodos con torio pero su uso se prefiere ya que no son radiactivos.

#### *Electrodos EWZr*

Los electrodos de tungsteno con zirconio. Tienen características operativas intermedias entre los de tungsteno puro y las de tungsteno con torio. Son los preferidos para soldar con CA. Tienen buena resistencia a la contaminación.

### **4.4.4.3. Fuente de poder**

La fuente de poder utilizadas en GTAW son las de corriente constante. La potencia requerida para soldar pueden obtenerse de fuentes transformador rectificador o rotatorias CA o CC. Casi todas las fuentes disponen de rampas de ascenso y descenso del arco, programas para pulso del arco, etc.

Las fuentes de potencia para GTAW suelen tener características estáticas de caída o de corriente prácticamente constante.

### **4.4.4.4. Gases de protección**

El soplete dirige el gas hacia el arco y la pileta líquida con el fin de proteger el electrodo y el metal fundido de la contaminación atmosférica. También suele utilizarse gas purgante de respaldo para proteger el lado de debajo de la soldadura y las superficies del metal base adyacente contra la oxidación durante al soldadura.

El argón y el helio o la mezcla de ambos, son los gases inertes más utilizados en soldadura.

El caudal de gas depende del tamaño de la boquilla, en general se recomienda 7 a 16l/min. para el argón y 14-24l/min. para el helio.

#### *Argón*

El Ar se utiliza más que el He por las siguientes ventajas:

1. Acción de arco más uniforme y silencioso
2. menor penetración
3. acción de limpieza al soldar materiales como Aluminio y el magnesio
4. menor costo y mayor disponibilidad
5. Buena protección con menores caudales
6. Mayor resistencia a ráfagas transversales
7. Más fácil iniciación del arco.

La menor penetración del Ar resulta especialmente útil para soldar materiales delgados, y para la soldadura vertical y sobre cabeza.

### Helio

Con valores fijos de corriente de soldadura y longitud de arco, el He transfiere más calor al trabajo que el Ar, lo que lo hace ventajoso para soldar metales de elevada conductividad térmica y aplicaciones mecanizadas a alta velocidad. También se prefiere para soldar placas gruesas. Las mezclas de He y Ar son útiles cuando se desea un término medio entre las características e ambos gases.

### Mezclas de Argón e Hidrógeno

Esta mezcla suele utilizarse en soldaduras automatizadas de aceros inoxidables de pared delgada donde el hidrógeno no causa ni porosidad ni fisuración en frío. Es posible aumentar la velocidad de soldadura máxima en proporción casi directa a la cantidad de hidrógeno añadida en el argón, en virtud del aumento del voltaje de arco. La cantidad de hidrógeno que puede agregarse varía con el espesor del metal base y el tipo de unión. Un exceso de hidrógeno causará porosidad.

Las mezclas de argón hidrógeno más comunes contienen 15% de hidrógeno y se usan para soldar mecánicamente uniones a tope estrechas de acero inoxidables.

## 4.4.5. Técnicas del GTAW

La soldadura en GTAW puede ser manual, semiautomática o automática.

Para la soldadura manual la figura 25 ilustra la técnica a seguir. Una vez iniciado el arco el electrodo se mueve describiendo un círculo pequeño hasta establecer la piletta líquida. Luego se sostiene la antorcha con un ángulo de 15° respecto a la vertical y se mueve a lo largo de la unión para fundir progresivamente la superficie de empalme.

En la soldadura semiautomática la antorcha lleva la alimentación de metal de aporte, el soldador sólo controla el avance de la misma.

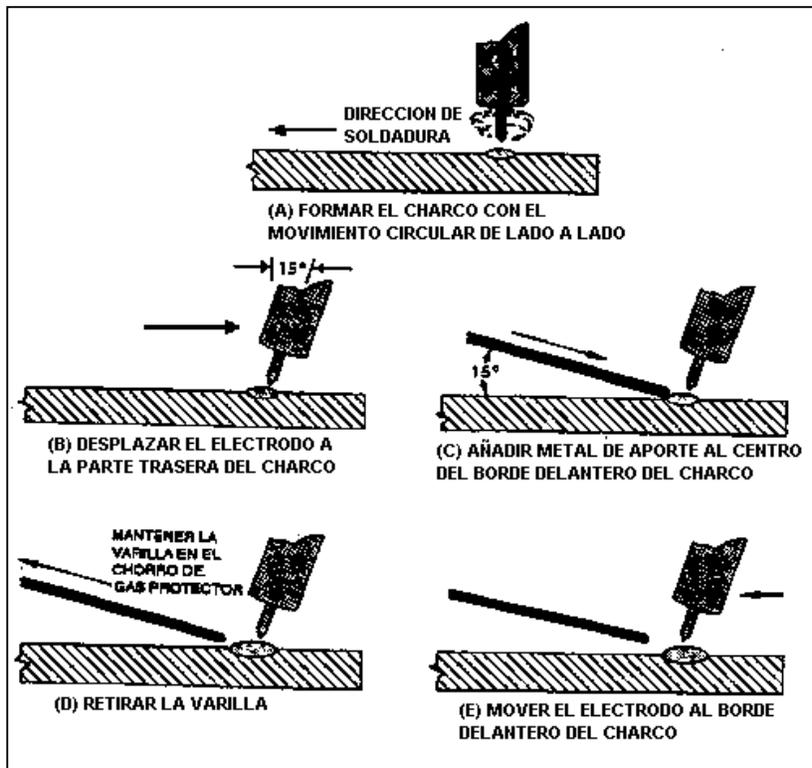


Figura 25. Técnica de soldadura.

#### **4.5. SAW (Submerged Arc Welding) Soldadura de Arco Sumergido**

En el proceso de Arco Sumergido "SAW", el arco es iniciado entre el material base a ser soldado y la punta de un electrodo consumible, los cuales son cubiertos por una capa de un fundente granulado. El arco es, por consiguiente, escondido en esta capa densa de fundente granulado el cual parte se funde para formar una cubierta protectora sobre el cordón de soldadura fundido, en donde sus remanentes pueden ser recuperados para ser usado nuevamente.

El proceso de arco sumergido es, principalmente llevado a cabo con equipo totalmente automático, aunque hay algunas pistolas de mano para el proceso. Por su alto poder de deposición de metal de aporte, es particularmente conveniente para las soldaduras rectas de gran longitud con excelente calidad en posición de piso, siendo muy usado en la fabricación de grandes tanques, plantas químicas, pesadas estructuras y en la industria de la fabricación y reparación de barcos.

##### **4.5.1. Introducción**

Al igual que en los demás procesos de soldadura por arco, éste es un proceso en el cual el calor es aportado por un arco eléctrico generado entre uno o más electrodos y la pieza de trabajo.

El arco eléctrico mencionado está sumergido en una capa de fundente granulado que lo cubre totalmente protegiendo el metal depositado durante la soldadura. De aquí el nombre del proceso.

Una ventaja del proceso es que, estando el arco completamente encerrado, pueden utilizarse intensidades de corriente extremadamente elevadas sin chisporroteo o arrastre de aire. Las intensidades elevadas producen una penetración profunda y el proceso es térmicamente eficiente, puesto que la mayor parte del arco está bajo la superficie de la plancha.

Es un proceso de alta dilución, en el que aproximadamente se funde dos veces más metal base que electrodo. Corrientemente se utilizan intensidades de 200 a 2000 Amperes, aunque en los primeros días del proceso se emplearon intensidades hasta 5000 Amperes. En la actualidad estas intensidades extremadamente elevadas no son utilizadas generalmente por distintas razones, relacionadas principalmente con la metalurgia del depósito, y se prefiere depositar el metal en capas para aprovechar la ventaja de la normalización resultante del recalentamiento.

Un proceso de arco abierto que trabaje con intensidades por encima de los 300 A debe utilizarse con precaución, porque el arco es una intensa fuente de luz con elevado contenido de radiación infrarroja y ultravioleta. En la soldadura con arco sumergido no es visible el arco y tales precauciones son innecesarias. Por la misma causa el operario no puede ver el baño y juzgar el avance de la soldadura; debe confiar en que el ajuste sobre la unión permanece constante ó bien ajustar previa y cuidadosamente la trayectoria del cabezal de soldadura con respecto a la unión.

La cantidad de polvo fundente fundido durante la soldadura es aproximadamente la misma en peso que la de alambre fundido, y se deja sobre el cordón de soldadura como una capa de escoria vítrea. Bajo esta escoria el metal soldado tiene una superficie lisa, casi sin ondulaciones, debido al alto aporte de calor que produce un baño de soldadura grande que solidifica lentamente en contacto con la escoria relativamente fluida. Las soldaduras obtenidas por arco sumergido son notables por su apariencia limpia y contornos lisos. El polvo fundente no fundido durante la operación de soldadura se recupera para utilizarlo nuevamente, pero debe tenerse cuidado que no esté contaminado. Cuando se hace la soldadura en superficies inclinadas o cerca de los cantos es necesario un estante ó un dispositivo similar para soportar el fundente.

#### **4.5.2. Descripción del Proceso.**

El proceso de soldadura con arco Sumergido utiliza el calor de un arco eléctrico entre un electrodo de alimentación continua y los materiales base.

Donde el metal de soldadura es depositado la protección es obtenida de una cubierta de fundente granulado, el cual es mantenido directamente sobre el área de soldadura (figura 26).

El fundente forma una cubierta de escoria vitrificada de poco peso que flota sobre la superficie del metal depositado formando una cubierta protectora.



Figura 26. Proceso de arco sumergido

#### **4.5.3. Operación del Proceso**

1. En arco sumergido el extremo de un electrodo continuo es insertado dentro de una cantidad de fundente que cubre el área de la junta a ser sueldada.
2. El arco eléctrico es iniciado y un mecanismo de alimentación empieza a suministrar el electrodo hacia la junta, el alimentador es movido de manera manual, mecanizada ó automática a lo largo de la junta.
3. Fundente adicional es suministrado continuamente y distribuido sobre la junta.
4. El calor generado por el arco eléctrico fusiona progresivamente parte del fundente, la punta del electrodo, y las caras de fusión del material base.
5. El fundente flota sobre el metal fundido protegiéndolo completamente de la atmósfera.
6. La escoria sólida sobre la superficie de la soldadura la protege de la contaminación del medio ambiente.
7. El fundente puede adicionalmente agregar o remover ciertos elementos aleantes a/o de la soldadura.

#### **4.5.4. Factores para su utilización.**

Factores que determinan el uso del proceso por arco sumergido SAW

- Frecuencia y volumen de la soldadura a ser aplicada.
- Propiedades químicas y mecánicas requeridas al final de la aplicación.
- Espesor del material base a ser sueldado.
- Posición en que la soldadura será aplicada.
- Accesibilidad de la junta.

#### 4.5.5. Equipo Necesario

El siguiente es el diagrama de los componentes de un equipo de soldadura de arco sumergido.

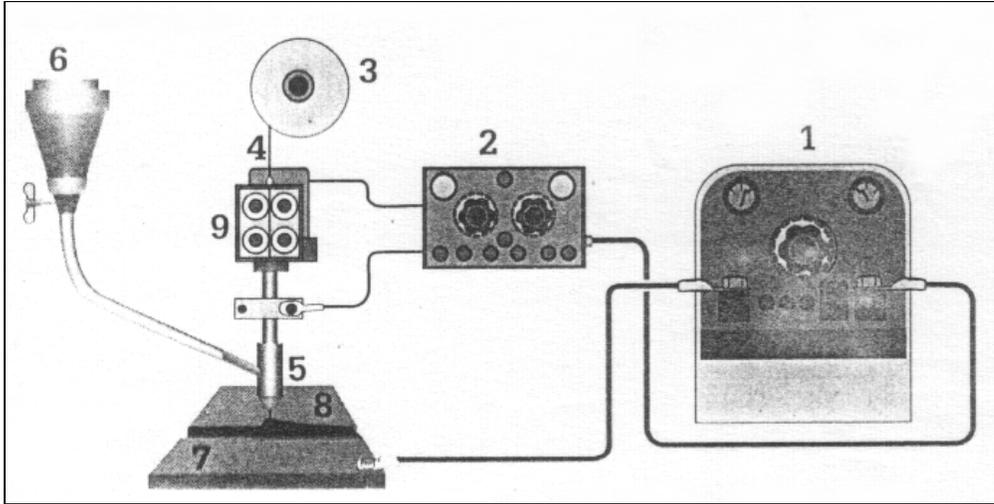


Figura 27. Equipo de soldadura para arco sumergido

1- Fuente de poder de CC o CA (100% ciclo de trabajo).

2- Sistema de control.

3- Porta carrete de alambre.

4- Alambre-electrodo.

5- Tobera para boquilla.

6- Recipiente porta-fundente.

7- Metal base.

8- Fundente.

9- Alimentador de alambre

#### 4.5.6. Principio de funcionamiento

La corriente eléctrica se conduce entre el electrodo y la pileta fundida a través de un plasma gaseoso inmerso en el fundente.

La figura 28 nos muestra el principio de funcionamiento de este proceso de soldadura.

La potencia la suministra un generador, un transformador – rectificador ó un transformador y se conduce al alambre (electrodo) a través del tubo de contacto, produciéndose el arco entre aquel y el metal base.

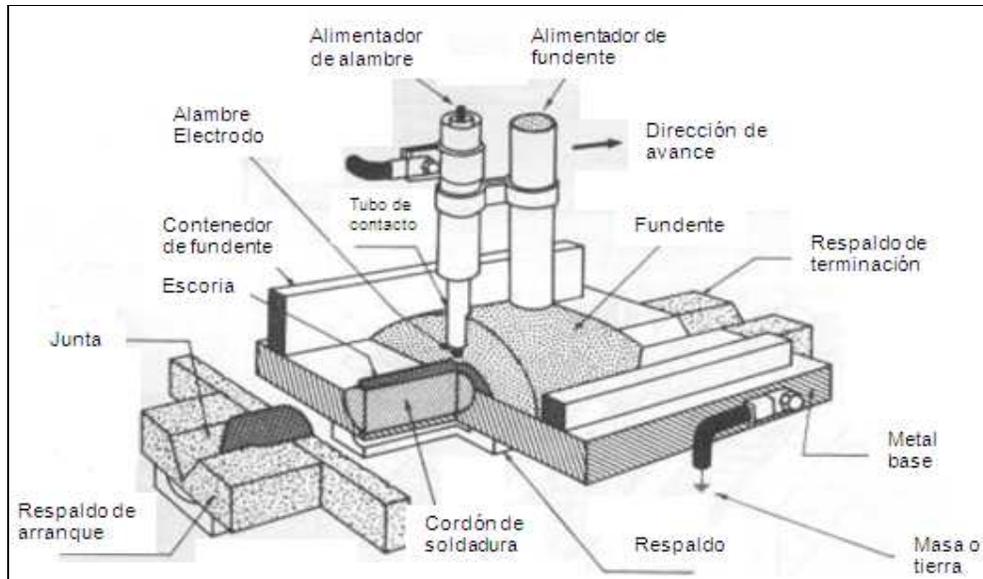


Figura 28. Funcionamiento del proceso SAW

El calor del arco funde el electrodo, el fundente y parte del metal base, formando la piletta de soldadura que conforma la junta.

En todos los equipos de este tipo existe un mecanismo que tracciona el alambre y lo conduce a través del tubo de contacto y de la capa de fundente hasta el metal base.

Los alambres utilizados son generalmente aceros de bajo carbono y de composición química perfectamente controlada; el alambre se encuentra usualmente enrollado en una bobina.

El fundente se va depositando delante del arco a medida que avanza la soldadura. Cuando se solidifica, se extrae el exceso para utilizarlo nuevamente y el fundido se elimina mediante un piqueteado. En los equipos modernos existe una aspiradora que absorbe el excedente de fundente y lo envía nuevamente a la tolva de alimentación.

#### **4.5.7. Métodos de Aplicación**

##### *Semiautomático*

Es aplicado con una antorcha manual que suministra el electrodo y el fundente. Se utiliza con pequeños diámetros de electrodo y velocidades de avance moderado.

##### *Mecanizado*

El equipo que realiza la operación completa pero debe de ser monitoreado y ajustado por el operador así como regular la velocidad en cada aplicación.

##### *Automático*

El equipo realiza la operación de soldadura sin requerir un continuo monitoreo ó ajuste del operador, el alto costo del equipo de autorregulación se puede compensar con los altos rangos de deposición.

*Aplicaciones:*

En Materiales Base:

- Materiales base con espesores a partir de 3/8".
- Aceros al Carbón con 0.29 C. mínimo.
- Aceros de Baja Aleación (arriba de 100 KSI).
- Aceros al Cromo-Molibdeno (0.5-9 % Cr,-0.5-1% Mo.)
- Aceros Inoxidables.
- Aleaciones base níquel.

En Productos:

- Envases sujetos a Presión.
- Construcción de Barcos.
- Equipo Ferroviario.
- Manufactura de grandes tuberías.
- Fabricación de Estructuras con largas aplicaciones de Soldadura.

Características de las Soldaduras:

- Por la alta Calidad en Soldaduras.
- Por los muy Altos rangos de deposición.
- Por la excelente penetración en los materiales.
- Por su adaptabilidad para aplicaciones automáticas.

**4.5.8. Electrodo y Fundentes.**

***Tipos de Electrodo:***

Los electrodos están clasificados de acuerdo a su composición química. Los fundentes están clasificados de acuerdo a las propiedades del material depositado cuando se utiliza con un electrodo en específico.

Para arco sumergido el fabricante produce la combinación de electrodo–fundente para cubrir propiedades mecánicas y químicas determinadas.

El alambre para soldadura por arco sumergido se emplea en forma de bobinas y esté cobreado; esto evita la oxidación superficial en el almacenaje y proporciona seguridad en el contacto eléctrico; con poca resistencia entre el alambre de soldar y los contactos de cobre a través de los cuales se conduce la corriente.

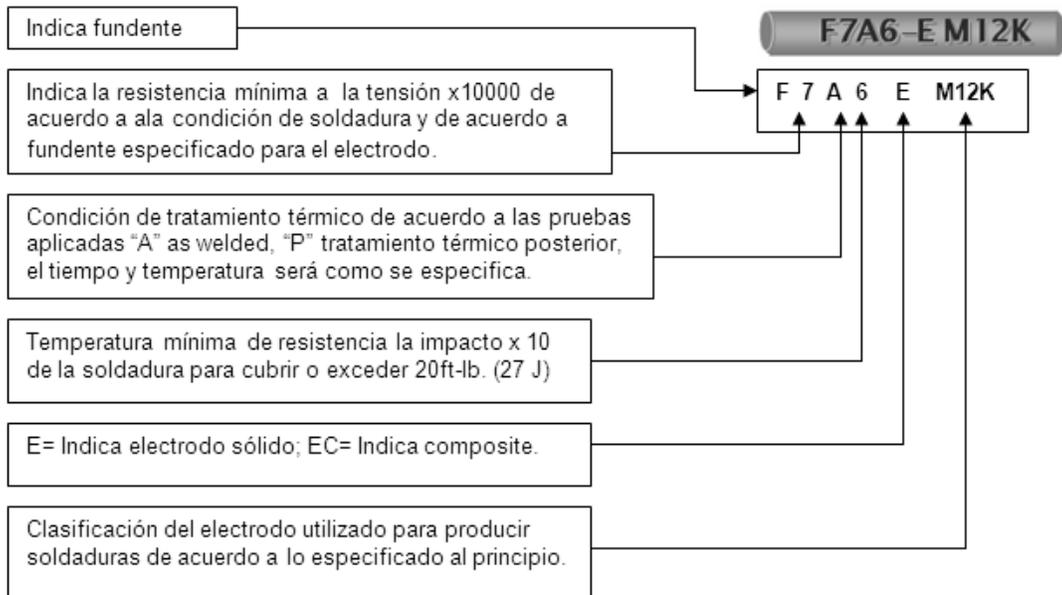
El diámetro del hilo utilizado depende fundamentalmente de la intensidad de corriente de soldadura necesaria y puede situarse entre 5mm de diámetro, para corriente de 150 A, a 10mm de diámetro, para una corriente de 3000 A.

El cordón de soldadura es ligeramente más estrecho con un alambre delgado que con un alambre grueso con la misma intensidad de corriente, pero el efecto principal del tamaño del alambre reside en su penetración.

La composición de los alambres para soldadura por arco sumergido depende del material que se suelda, puesto que los elementos aleados se añaden generalmente al alambre y no al fundente. En este proceso las variaciones en la técnica pueden alterar las relaciones de las cantidades fundidas de plancha alambre y fundente.

Cuando se utilizan alambres altamente aleados, por ejemplo, aceros inoxidables, puede ser necesario añadir compuestos de los elementos aleantes al fundente, para disminuir las reacciones metal-escoria que pueden traducirse en pérdidas de los elementos aleantes hacia la escoria.

Sistema de Clasificación para combinación de electrodos-fundente.



***Tipos de Fundentes:***

- Neutral. (No afecta las propiedades del material base).
- Activo. (Modifica las propiedades del material base).
- Fundido. (Homogéneo, NO higroscópico, recuperable).
- Aglomerado. (Elementos aleantes, Higroscópico, capas gruesas).
- Mecánicamente mezclado. (Mezcla de Fundido y Aglomerado para obtener Características específicas).

Los fundentes para la soldadura por arco sumergido están granulados a un tamaño controlado y pueden ser de tipo fundido, aglomerado ó sinterizado.

Originalmente se utilizaban fundentes fundidos, machacados y calibrados; atribuyéndoseles las ventajas de estar totalmente libres de humedad y no ser higroscópicos. Tanto la composición química como el estado de división de los fundentes tienen una importante influencia sobre la forma de comportarse en la soldadura.

Los fundentes aglomerados se hacen mezclando los constituyentes, finamente pulverizados, con una solución acuosa de un aglomerante tal como silicato sódico; la finalidad es producir partículas de unos pocos milímetros de diámetro formados por una masa de partículas más finas de los componentes minerales. Después de la aglomeración el fundente se seca a temperatura de hasta 800 °C.

Los fundentes sinterizados se hacen calentando pellets componentes pulverizados a temperaturas justo por debajo del punto de fusión de algunos de los componentes. Las temperaturas alcanzadas durante la fabricación limitan los componentes de los fundentes. Para fundir un fundente las temperaturas deben ser tan altas que los carbonatos y muchos otros minerales se descomponen, por lo cual los fundentes básicos que llevan carbonatos deben hacerse por alguno de los otros procedimientos, tales como aglomeración.

Se ha sabido durante años que la baja tenacidad se favorece con el uso de fundentes ácidos y que los fundentes de elevado contenido en silicio tienden a comunicar oxígeno al metal

soldado. Inversamente los fundentes básicos dan un metal soldado limpio, con pocas inclusiones no metálicas, y, consecuentemente, de elevada tenacidad.

Tanto la composición del fundente como su estado de división influyen en el control de la porosidad. El proceso de arco sumergido es generalmente más susceptible a la porosidad causada por superficies herrumbrosas y sucias que el proceso de arco abierto. Ello es debido a que con el proceso de arco abierto el vapor de agua y los productos gaseosos, que abandonan la plancha por el calor de la soldadura, pueden escapar; mientras que en el arco sumergido tienden a ser retenidos bajo el cojín de fundente. Por esta razón es por lo que fundentes que tienen la mayor tolerancia a la oxidación y suciedad son también los que tienen mayor permeabilidad, lograda usando un grado grueso de gran regularidad. Sin embargo, cuando es necesario soldar utilizando intensidades elevadas se requiere un fundente que cubra más estrechamente, para dar un buen cierre al arco; esto se logra utilizando un tamaño de partículas lo más fino posible y una mayor variedad en tamaños, para aumentar el cierre de recubrimiento.

#### **4.5.9. Selección de los parámetros de soldadura**

La selección de condiciones de soldadura más conveniente para el espesor de chapa y preparación de junta a soldar es muy importante, a los efectos de lograr soldaduras libres de defectos tales como fisuras, poros y socavación lateral.

Las variables del proceso a ser consideradas son las siguientes:

- Amperaje de Soldadura.
- Fundente y tamaño del grano.
- Voltaje de Soldadura.
- Velocidad de Avance.
- Diámetro del Electrodo.
- Stick Out.
- Tipo de electrodo.
- Ancho y espesor de la capa de fundente.

##### *Polaridad:*

Con corriente continua positiva, CC(+) se logra mayor penetración, mejor aspecto superficial y mayor resistencia a la porosidad.

Con corriente continua negativa, CC(-) se obtiene mayor velocidad de deposición con menor penetración.

##### *Corriente de soldadura:*

Determina en forma directa la penetración y la velocidad de deposición, aumentando ambas con el incremento de corriente.

##### *Diámetro del alambre:*

Para una corriente dada, aumentando el diámetro se reduce la penetración pero el arco se torna más inestable y se dificulta su encendido.

##### *Tensión de arco:*

Al aumentar la tensión se incrementan la dilución y el ancho del cordón y disminuye la sobremonta lográndose un cordón ancho y plano. Al mismo tiempo aumenta la cantidad de fundente que se funde con igual cantidad de alambre, lo que afecta a la composición química del metal de soldadura en el caso se emplear fundentes activos. Los voltajes excesivamente pequeños hacen que el arco muera completamente bajo la superficie de la plancha, de modo que la penetración tiene una sección transversal en forma de tulipa.

El voltaje de trabajo normal para soldar a tope es de 35 Voltios a 1000 A.

##### *Velocidad de avance:*

Al aumentar la velocidad de traslación del arco disminuye el ancho del cordón y la penetración, incrementándose el riesgo de porosidad. Las velocidades excesivas se traducen en cordones mordidos y rugosos ó picudos.

*Longitud libre del avance:*

Con un incremento de la longitud libre del alambre, se aumenta la velocidad de deposición y decrece la penetración.

*Inclinación del alambre:*

Tiene un efecto considerable sobre la penetración y sobre las eventuales socavaciones. En la figura se muestra su incidencia.

*Espesor de la capa de fundente:*

Una cama de fundente de poco espesor puede producir porosidad por una inadecuada protección del metal fundido. Por otro lado, una cama muy gruesa desmejora el aspecto del cordón y puede conducir a derrames del metal fundido en soldaduras circunferenciales y producir dificultades para la remoción de la escoria en chaflanes profundos.

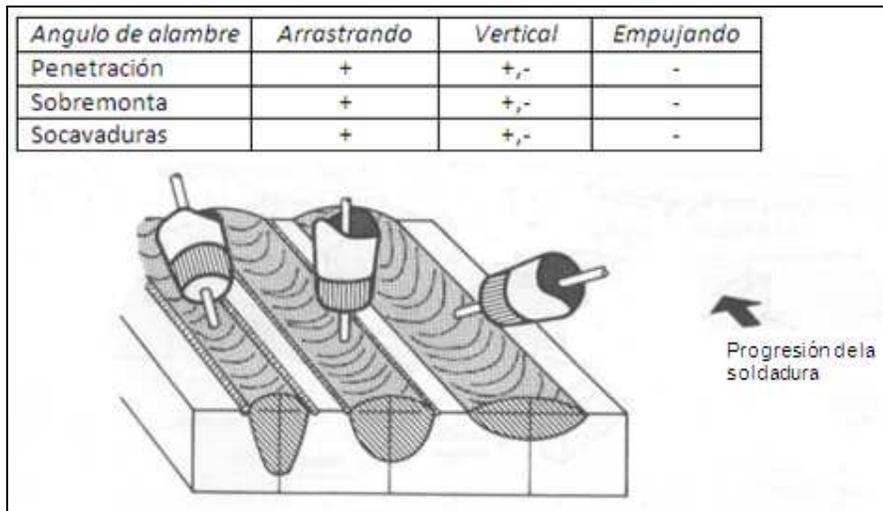


Figura 29. Inclinación del alambre

**4.5.10. Ventajas y desventajas del proceso SAW**

*El arco sumergido, respecto de los otros procesos de soldadura, ofrece las siguientes ventajas:*

Las juntas pueden ser preparadas en "V" con poca profundidad debido a la elevada penetración del proceso, obteniéndose con esto un menor consumo de alambre y fundente.

Los procesos de soldadura pueden realizarse a altas velocidades debido a la elevada intensidad con que se opera en la mayoría de las aplicaciones.

No es necesario proteger al operador de la máquina de la emisión de radiación, ya que el arco se encuentra sumergido en el fundente, evitándose además las salpicaduras del metal fundido.

El fundente actúa como un desoxidante protegiendo el arco y aportando elementos de aleación al cordón en el caso de emplear fundentes aleados.

*Por otro lado, las limitaciones del proceso son:*

Muchas soldaduras requieren algún tipo de respaldo para evitar la perforación del metal base. Este proceso conlleva un tiempo de preparación mayor previa mayor que otros.

Con este sistema generalmente se sueldan piezas a partir de los 5 mm de espesor. La posición de soldadura está restringida a plana y horizontal.

Ejemplo de aplicación del proceso:

Las siguiente imagen ilustra el empleo del proceso de soldadura por arco sumergido en el armado de perfiles tipo "doble T" soldados.

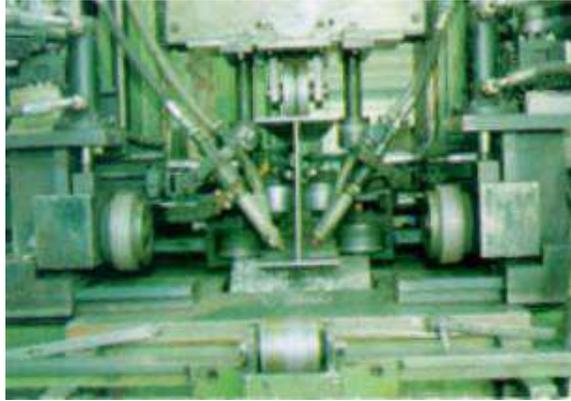


Figura 30. Proceso múltiple de soldadura por arco sumergido

Tabla 5. Regulación para soldadura en arco sumergido en aceros de mediana y baja aleación

<b>Espesor del material (mm)</b>	<b>Diámetro del electrodo (mm)(in)</b>	<b>Amperaje</b>	<b>Voltaje</b>	<b>Velocidad de avance (m/min)</b>
4	2.4 3/32	375	30	1
5	2.4 3/32	425	35	1
6	3.2 1/8	480	35	0.90
7	3.2 1/8	550	30	0.88
8	4.0 5/32	550	35	0.90
10	4.0 5/32	600	35	0.90
12	4.8 3/16	750	35	0.80
16	4.8 3/16	800	36	0.55
20	4.8 3/16	925	38	0.45
25	6.0 1/4	925	36	0.45
30	6.0 1/4	925	36	0.35
35	6.0 1/4	1000	34	0.28

Fuente: **ACREDITED STANDARDS COMMITTEE**. Safety in Welding, Cutting, and Allied Processes. ANSI Z49.1:2005.

## Capítulo 5. Simbología, discontinuidades y defectos de soldadura

La Sociedad Americana de Soldadura (AWS) ha desarrollado un sistema estándar de simbología en soldadura el cual es reconocido y ampliamente usado a nivel mundial. Este estándar tiene por objetivo mostrar mediante una representación gráfica la ejecución y tipo de unión de soldadura en forma más sencilla que la representación escrita de la misma.

Los símbolos de soldadura son un método de representación del desarrollo y ejecución de la soldadura sobre un plano, y tiene como objetivo simplificar y comunicar de manera fácil el desempeño del mismo. Básicamente consiste en ocho elementos, los cuales no todos son necesarios, a menos que se requiera para claridad del plano.

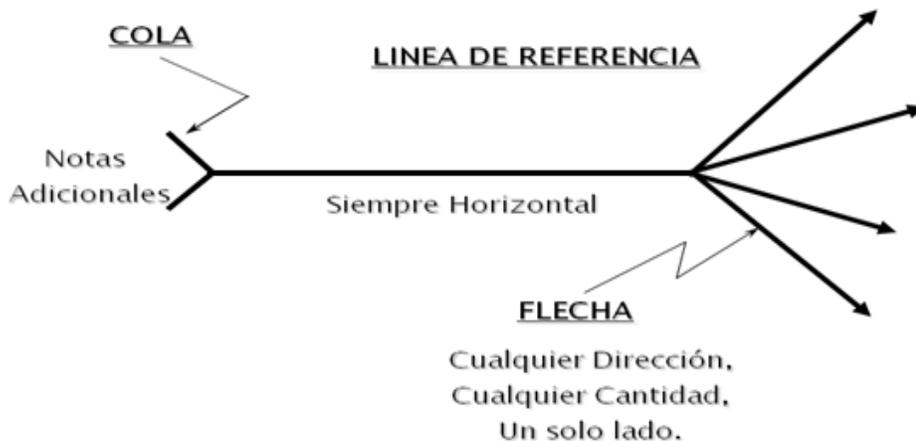
Estos elementos son los siguientes:

1. Línea de referencia
2. Flecha
3. Símbolos básicos de soldadura
4. Dimensiones y otros datos
5. Símbolos suplementarios
6. Símbolos de término
7. Cola
8. Especificación, procesos y otras referencias

### 5.1. Localización de los Elementos de un Símbolo de soldadura

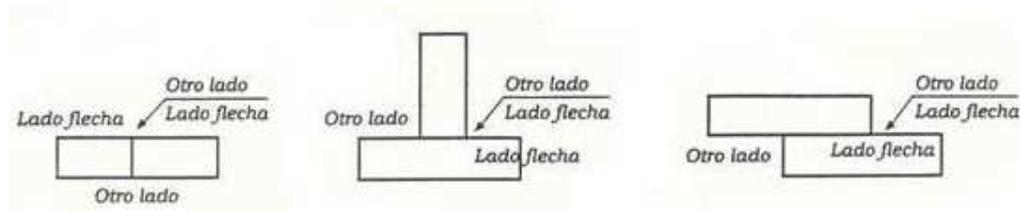
Los elementos principales de un símbolo de soldadura son:

( 3 Básicos.)



### 5.2. Ubicación de la significación de la flecha

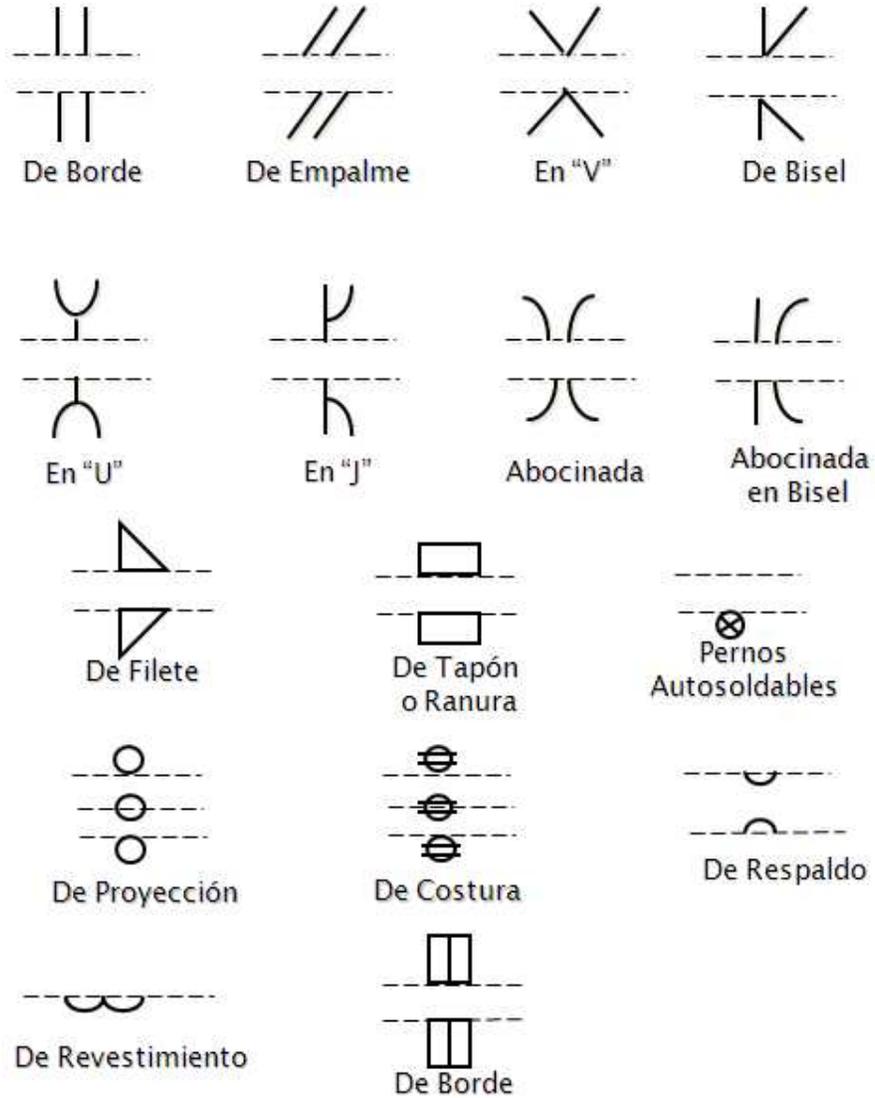
A continuación esquematizamos la manera correcta de cómo interpretar en que parte de una junta la soldadura debe ser aplicada, identificando el lado opuesto y lado cercano a la flecha.



### 5.3. Los Tipos de Soldadura

Las diversas categorías de soldadura, se caracterizan por un símbolo, que en general, es similar a la forma de soldadura a ejecutar.

El símbolo no sugiere el proceso de soldadura a ejecutar. Los símbolos elementales se muestran a continuación.



### 5.4. Elementos Suplementarios

Los símbolos elementales pueden ser completados con un símbolo que caracterice la forma de la superficie externa de la soldadura.

Los símbolos suplementarios recomendados, se indican a continuación.

La ausencia de un símbolo suplementario, significa que no se necesita precisar la forma de la superficie de la soldadura.

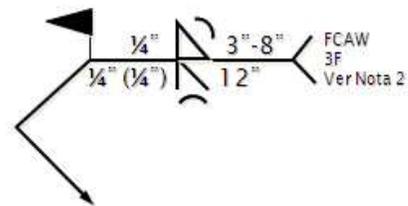


**Acabados en Soldadura:**

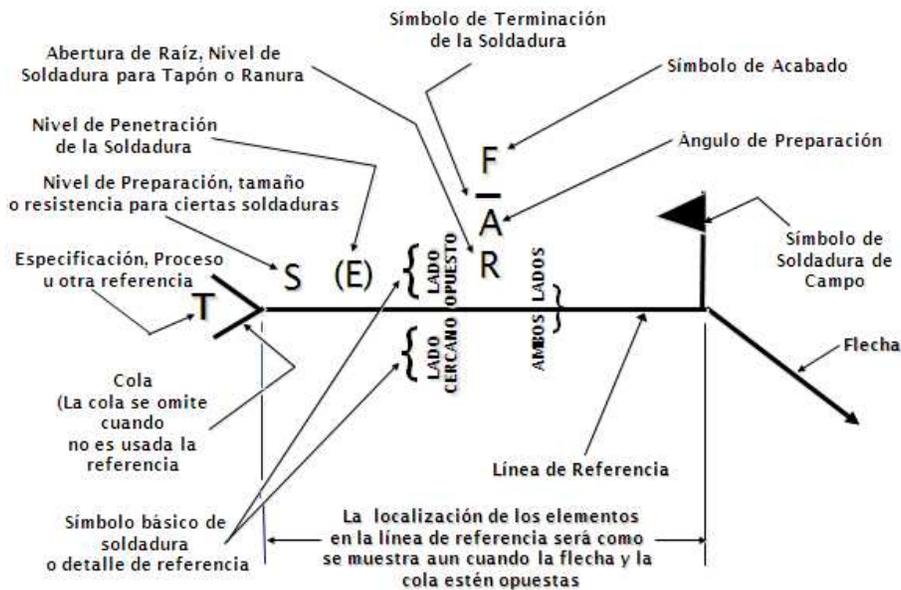


**5.5. Los Elementos de un símbolo de soldadura**

- Línea de Referencia
- Flecha
- Símbolos Básicos
- Símbolos Suplementarios
- Símbolos de Acabados
- Especificaciones, Procesos
- y otras Notas.
- Dimensiones y otros Datos

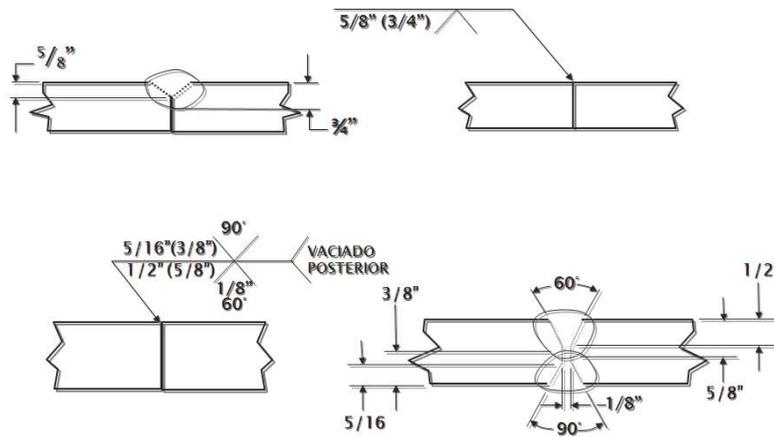


**5.6. Elementos de un símbolo en Soldaduras de Ranura**

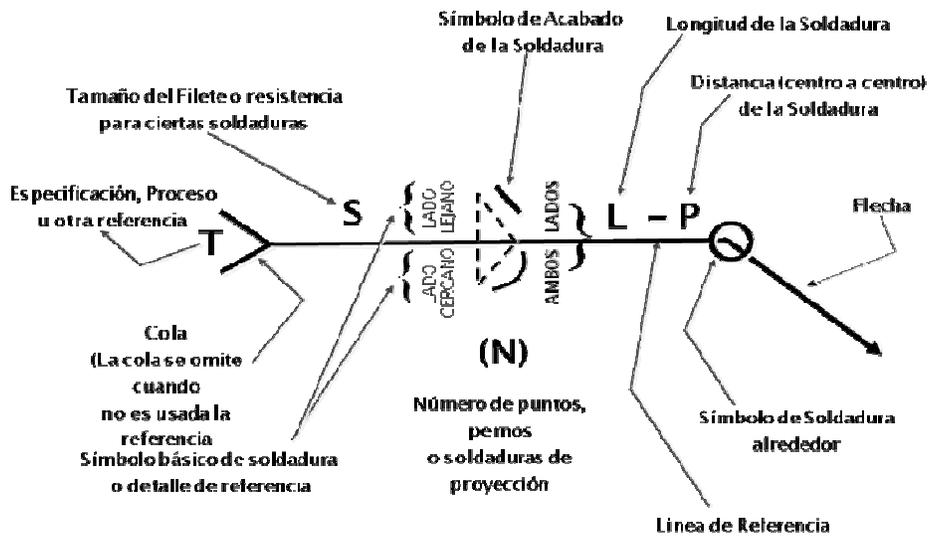


Únicamente se indicarán los elementos necesarios.

Ejemplos de soldaduras en ranura:

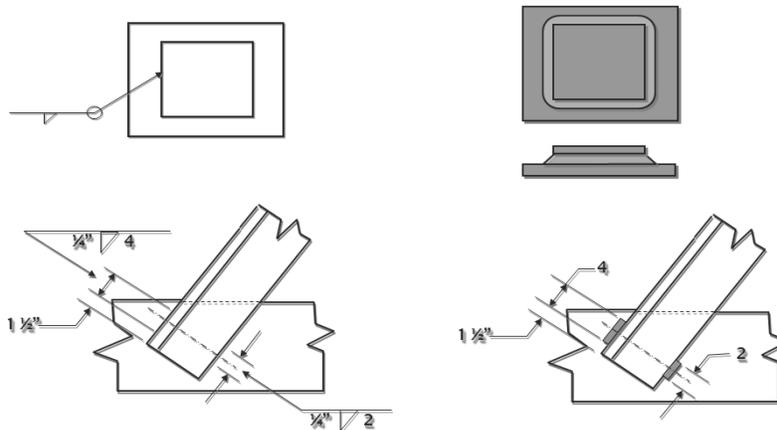


### 5.7. Elementos de un símbolo para Soldaduras de Filete



Únicamente se indicarán los elementos necesarios.

Ejemplos de Soldaduras de Filete



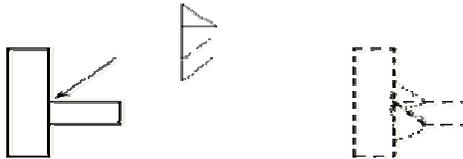
### 5.8. Flecha Quebrada

Cuando un solo elemento de la junta lleva preparación (bisel), la flecha deberá quebrarse para indicar el elemento que será preparado, cuando es obvio este elemento la flecha no necesita ser quebrada, ó si no hay preferencia por el elemento a ser preparado.



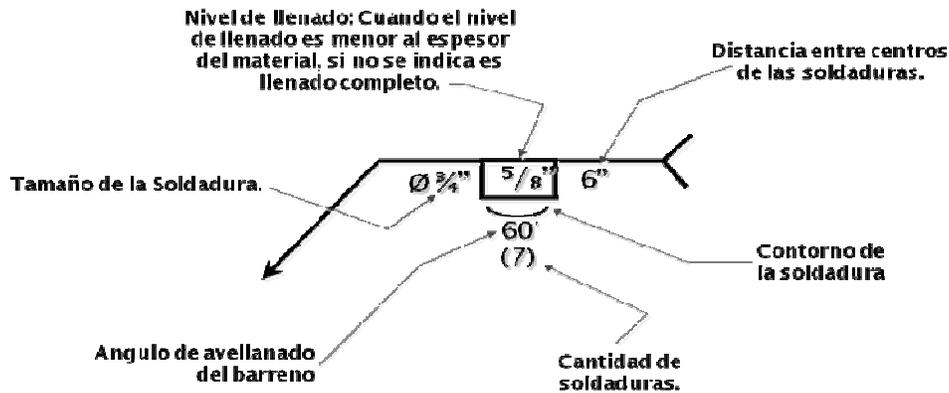
### 5.9. Símbolos Combinados

Para juntas a soldar que requieren más de un tipo de soldadura, un símbolo deberá de utilizarse específicamente para cada tipo de soldadura a ser aplicada.

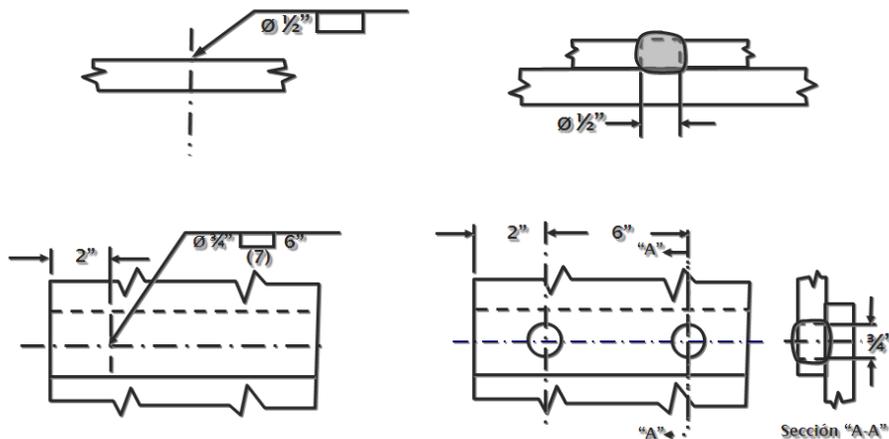


### 5.10. Elementos de un símbolo para soldaduras de tapón

El símbolo puede indicarse en el lado cercano ó en el lado lejano



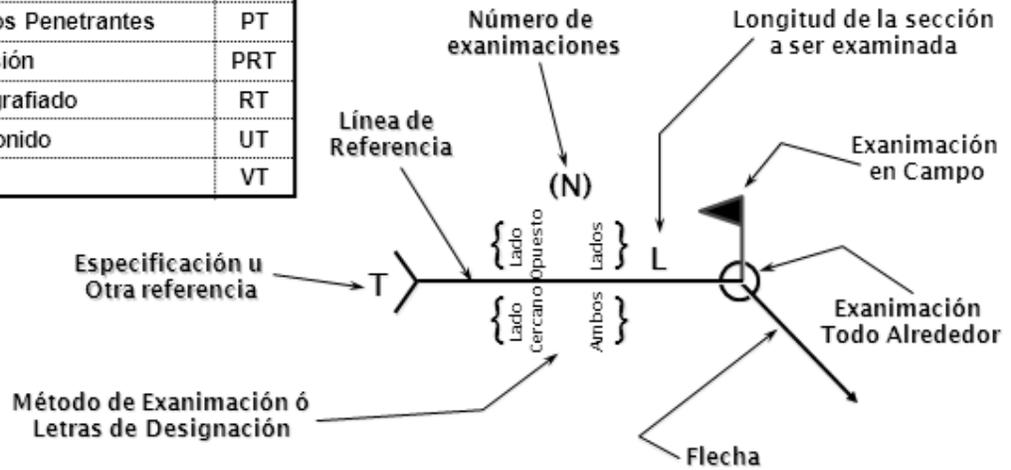
Ejemplos de soldaduras de tapón:



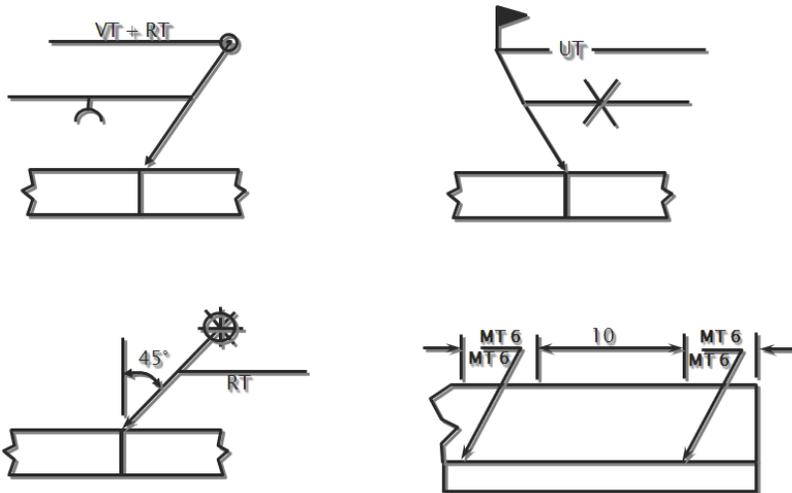
5.11. Símbolos para pruebas no destructivas

Método de Examinación	Ident.
Emisión Acústica	AET
Electromagnética	ET
Hermeticidad	LT
Partículas Magnéticas	MT
Radiografiado Neutrones	NRT
Líquidos Penetrantes	PT
Inmersión	PRT
Radiografiado	RT
Ultrasonido	UT
Visual	VT

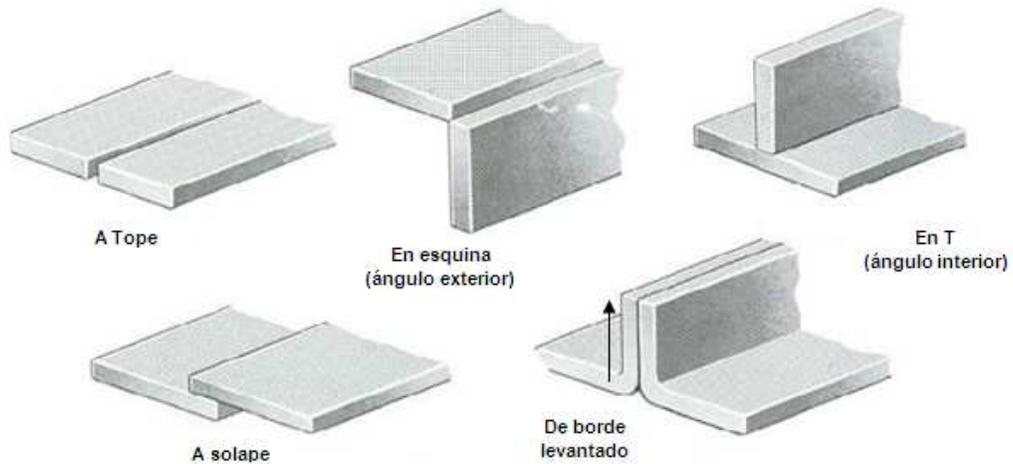
Examinación todo alrededor	Examinación de Campo	Dirección de la Radiación



Ejemplos de símbolos para pruebas no destructivas:



**5.12. Juntas Básicas en Soldadura**



**5.13. Posiciones para aplicación de soldadura.**

Hay cuatro posiciones básicas para soldar: Plana, Vertical, Sobre cabeza y Horizontal.

Soldadura plana: El metal de la soldadura se deposita sobre el metal base. El metal base actúa como soporte.

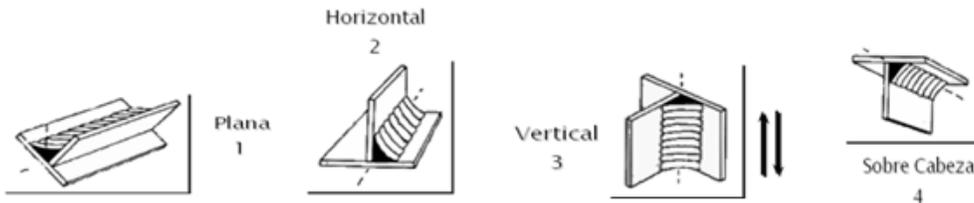
Soldadura vertical: El metal base actúa como un soporte parcial solamente, y el metal que ya a sido depositado debe usarse como ayuda.

La soldadura vertical puede ejecutarse de dos maneras diferentes: Una, desde la parte de abajo de la unión hacia la parte superior llamada Superior vertical y otra, de la parte superior de la unión hacia abajo llamada Bajada vertical.

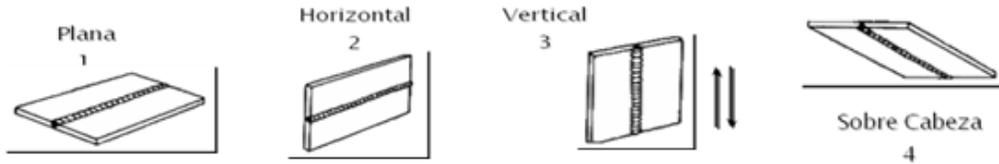
Soldadura horizontal: Como en la soldadura vertical, el metal base da sólo soporte parcial, y el metal de la soldadura que se deposita debe usarse como ayuda.

Soldadura sobre la cabeza: El metal base sostiene ligeramente al metal de la soldadura depositado. Se experimentara poca dificultad en la soldadura vertical o sobre la cabeza, si el charco se conserva plano o poco profundo y no se permite que forme una gota grande.

**En Filete:** Fillet = "F"

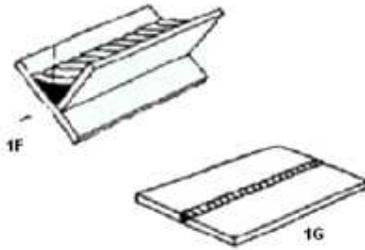


**En Ranuras:** Posiciones en Ranura " G " Groove = Ranura

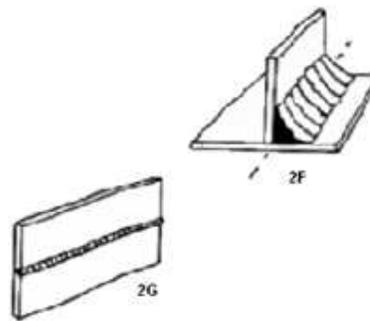


### 5.14. Calificación del personal por posición de aplicación de soldadura

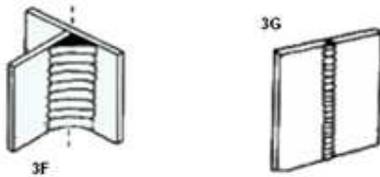
Plana



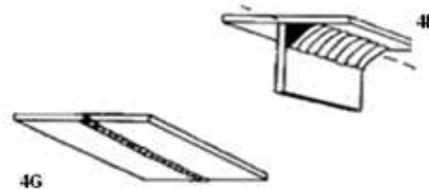
Horizontal



Vertical



Sobrecabeza



### 5.15. Discontinuidades y defectos en soldadura

Muchas características de una unión soldada pueden ser evaluadas en el proceso de inspección, algunas relacionadas con las dimensiones, y otras relativas a la presencia de discontinuidades y defectos, por lo anterior es necesario, que para evitar errores de interpretación, debemos comenzar definiendo términos tales como discontinuidad y defecto.

#### Discontinuidad:

Una interrupción de la estructura típica de un material, tal como la falta de homogeneidad en sus características mecánicas, metalúrgicas, o físicas.  
*Una discontinuidad no es necesariamente un defecto.*

#### Defecto:

Una discontinuidad o discontinuidades que por su naturaleza o efectos acumulados (por ejemplo una fractura de longitud total), proporciona una parte o producto incapaz de cumplir el criterio mínimo de aceptación de los estándares o especificaciones.  
*El término indica rechazo.*

A continuación se mencionaran los principales tipos de defectos y discontinuidades que se presentan en una unión soldada con sus respectivas causas y criterios de aceptación.

***Inclusiones de Escoria:***

Son partículas de escoria atrapada en la soldadura o a lo largo de los planos de fusión. Las partículas aparecen sombreadas y pueden ser irregulares en forma o alargadas en la dirección del cordón de soldadura depositado.

*Causas:* Mala técnica de aplicación, parámetros inadecuados, inadecuado acceso a la junta, falta de limpieza y cordones convexos entre pasos.

*Aceptación:* No se Acepta.

***(Fusión Incompleta) Falta de Fusión:*** Es un defecto causado por el charco de fusión, el cual a fallado (mala técnica de aplicación), en la liga al metal base o al cordón de la soldadura previamente depositado. Este defecto puede aparecer en cualquier lugar de la soldadura aplicada.

*Causas:* Mala técnica de aplicación, mal armado de los materiales, mal diseño de la junta, deficiencias en la cantidad de calor y deficiente acceso a las caras de fusión, así como falta de limpieza en la junta.

*Aceptación:* No se Acepta.

***(Penetración Incompleta) Falta de Penetración:*** Es un defecto que ocurre en la raíz de las soldaduras que han sido diseñadas para penetración completa, que no ha sido realizada.

*Causas:* Insuficiente cantidad de calor para soldar, inadecuado diseño de la junta, inadecuada técnica de aplicación.

*Aceptación:* No se Acepta.

***Solapamiento:*** Es la protuberancia del metal de soldadura sin fusionar más allá del talón de la soldadura ó de la raíz de la soldadura.

El solapamiento es una discontinuidad de superficie que genera cortes mecánicos y por lo regular es rechazable.

*Causas:* Mala técnica de aplicación, velocidad de avance muy lenta, exceso de alimentación del electrodo, inadecuada preparación de la junta.

*Aceptación:* No se Acepta.

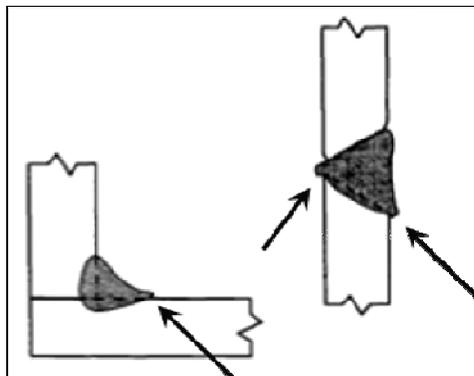


Figura 31. Soldadura solapada

**Socavación:** Es una ranura longitudinal en el metal base adyacente al pie de la junta sin relleno de soldadura. Aparece una sombra lineal e irregular en la orilla de la soldadura. La socavación puede ser observada visualmente; otro tipo de socavación puede ocurrir en el cordón de raíz, esto es causado por el fundido excesivo del metal base en la raíz al estar aplicando el primer cordón de la junta.

**Causas:** Esta asociada con una mala técnica de aplicación, exceso en la corriente para soldar ó ambas.

**Aceptación:** Si esta dentro de lo que marca la especificación, y de acuerdo a su clase, no se considera un defecto.

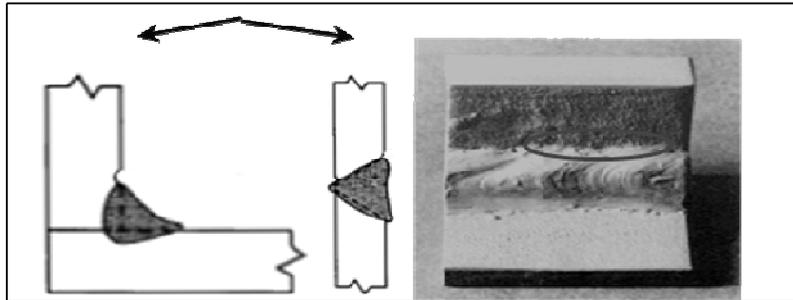


Figura 32. Socavación de soldadura

**Laminaciones:** Es un tipo de discontinuidad en el material base con separaciones o vacíos generalmente alineados paralelos a la superficie trabajada del material.

Esta discontinuidad se podrá encontrar cuando se realizan trabajos.

**Causas:** Solo en el material base, por vacíos por gas, cavidades por distorsión, ó inclusiones no metálicas durante la fundición, corte ó laminación del material.

**Aceptación:** Como discontinuidad asociada con el proceso de soldadura y adyacente al material base, no deberá ser aceptada, se reportará a Ingeniería para su disposición.

**Costuras y Pliegues:** Son discontinuidades del material base que serán encontradas productos, rolados, extruidos ó forjados, difiere de la laminación en que estas aparecen en la superficie del material.

Lo crítico de estas discontinuidades dependerán de su tamaño, orientación y aplicación de la soldadura, soldar sobre estas puede causar fracturas y porosidades.

**Causas:** Asociadas con el proceso de fundición de la materia prima, y por lo general aparece después de un proceso de dobléz, rolado ó sand blasting.

**Aceptación:** Como discontinuidad superficial del material base, no deberá ser aceptada, se reportará a Ingeniería para su disposición.

**Rasgado Laminar:** Una discontinuidad por debajo de la superficie del material base como una fractura con una orientación paralela a la superficie.

**Causas:** Por una tensión paralela al espesor del material, por la presencia de inclusiones no metálicas de forma plana y dispersas en el laminado del material base.

**Aceptación:** Como discontinuidad superficial del material base, no deberá ser aceptada, se reportará a Ingeniería para su disposición.

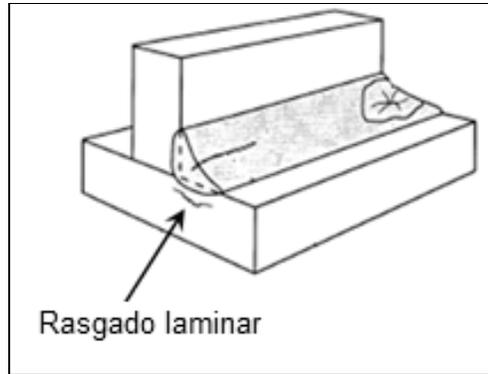


Figura 33. Rasgado laminar

**Fracturas:** Es la ruptura de metal solidificado, las fracturas asociadas con la soldadura, pueden ser longitudinales, transversales o radialmente orientadas y pueden ocurrir en la soldadura, en el metal base o en ambas partes. Las fracturas radialmente orientadas son llamadas fracturas de cráter, por que se originan generalmente en el cráter del cordón de soldadura. Cuando el plano de la fractura es diferente al plano de la radiación, la apariencia de la fractura aparece una línea ancha y pobremente definida.

**Causas:** Concentración de esfuerzos en la junta sueldada, residuales ó aplicados, mal diseño de la junta.

**Aceptación:** No se aceptan.

Si se encuentran fracturas durante el proceso de soldadura estas deberán de ser removidas completamente, soldar sobre fracturas NO las elimina.

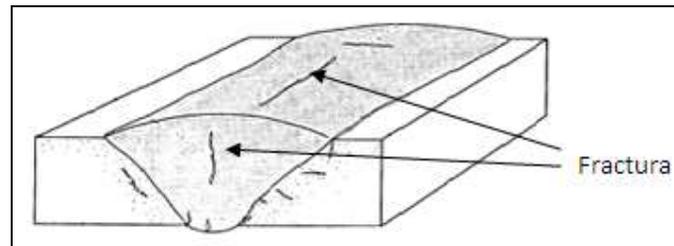


Figura 34. Fractura de soldadura

**Golpes de Arco:** Una discontinuidad resultante de un arco eléctrico, consiste en una zona localizada de metal fundido o un cambio en la superficie de cualquier objeto metálico provocado por el arco eléctrico iniciado fuera de la zona de soldadura.

**Causas:** En procesos de soldadura por arco eléctrico iniciar este fuera de la zona a ser sueldada de manera intencional ó accidental.

**Aceptación:** No son deseables por lo tanto No son aceptables.

Por la forma en que se generan pueden contener fracturas.



Figura 35. Golpes de arco

**Tamaño de Soldadura:** El tamaño de la soldadura de acuerdo a su aplicación, filetes, ranuras, de tapón, de proyección, de costura etc.

*Causas:* El tamaño de soldaduras de filete NO deberán estar por debajo del tamaño indicado en los planos por más de 1/16" (1.6 mm), para filetes mayores a 3/16" (4.8 mm), y NO por mas del 10% de la longitud de la soldadura.

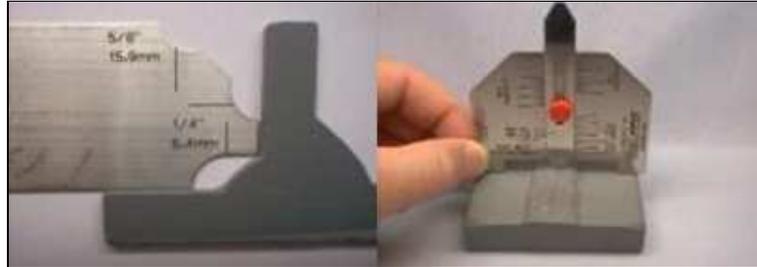


Figura 36. Tamaño de soldadura

**Refuerzo Excesivo:** En soldaduras de ranura el exceso de material aportado para llenar la junta, el refuerzo en la soldadura puede estar por cualquier lado el la cara de la soldadura ó en la cara de la soldadura de raíz, llamadas comúnmente refuerzo de cara y refuerzo de raíz respectivamente.

*Causas:* Exceso de material aportado por avance demasiado lento, velocidad de alimentación muy alta, inadecuada técnica de aplicación.

*Aceptación:* De acuerdo a especificación en soldaduras con espesores de material de hasta 1/2" pulgada no deberá exceder en 3/32" (2.4 mm.) el refuerzo, la transición deberá ser gradual al plano de la superficie del material base.

**Chisporroteo:** Consiste en partículas expelidas durante la fusión del material de aporte y no forman parte de la soldadura, quedando adheridas al material base.

*Causas:* Parámetros inadecuados.

*Aceptación:* Normalmente no es considerada un defecto serio, al menos que su presencia interfiera con operaciones subsecuentes (protección anticorrosiva), ó con la operación del elemento.

### Identificación de discontinuidades y defectos

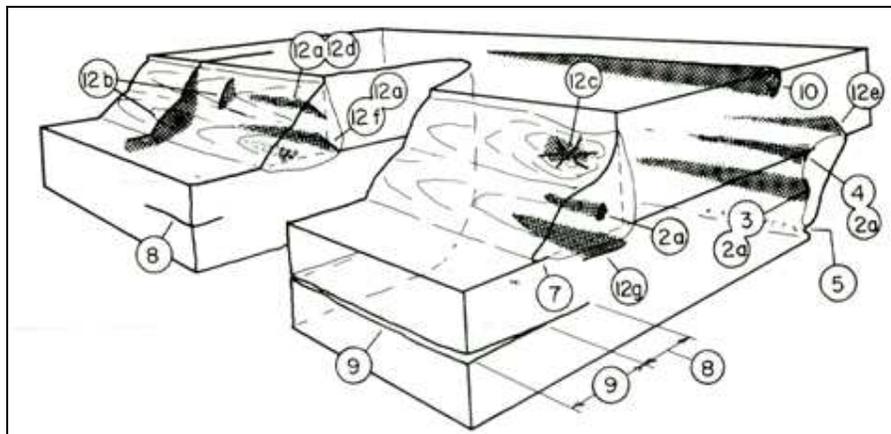


Figura 37. Identificación de discontinuidades y defectos

- Fracturas:
  - 12a Fractura Longitudinal
  - 12b Fractura Transversal
  - 12c Fractura de Cráter
  - 12d Fractura de Garganta
  - 12e Fractura de Talón
  - 12f Fractura de Raíz
  - 12g Fractura de zona afectada por el calor o bajo soldadura
  - 12h Fisuras
- Inclusiones:
  - 2a Inclusión Escoria
  - 2b Inclusión de Tungsteno
  - 3 Fusión Incompleta
  - 4 Penetración Inadecuada
  - 5 Socavación
  - 6 Garganta Insuficiente
  - 7 Solape
  - 8 Laminación
  - 9 Delaminación
  - 10 Costuras o Pliegues
  - 11 Desgarre

## Capítulo 6. Métodos de inspección

De acuerdo a ciertas especificaciones el inspector tiene el conocimiento y la autoridad para aceptar soldaduras por examinación visual únicamente, Pero algunas soldaduras en partes o estructuras no pueden certificarse fácilmente. Para lo que el inspector puede utilizar uno ó más métodos de examinación para reunir las evidencias necesarias para cumplir con las especificaciones. Estos métodos que el inspector puede utilizar son llamadas Pruebas no destructivas

Características para su selección.

- 1 Limitaciones del método de examinación.
- 2 Estándares de Aceptación.
- 3 Economía.

Pruebas no destructivas (PND)

Como su nombre lo indica, las PND son pruebas o ensayos de carácter NO destructivo, que se realizan a los materiales, ya sean éstos metales, plásticos (polímeros), cerámicos o compuestos. Este tipo de pruebas, generalmente se emplea para determinar cierta característica física o química del material en cuestión.

Las principales aplicaciones de las PND las encontramos en:

- 1 Detección de discontinuidades (internas y superficiales).
- 2 Determinación de composición química.
- 3 Detección de fugas.
- 4 Medición de espesores y monitoreo de corrosión.
- 5 Adherencia entre materiales.
- 6 Inspección de uniones soldadas.

Las PND son sumamente importantes en el continuo desarrollo industrial. Gracias a ellas es posible, por ejemplo, determinar la presencia defectos en los materiales o en las soldaduras de equipos tales como recipientes a presión, en los cuales una falla catastrófica puede representar grandes pérdidas en dinero, vida humana y daño al medio ambiente.

Las principales PND se muestran en la siguiente Tabla, en la cual, se han agregado las abreviaciones en Inglés, ya que éstas en México son comúnmente utilizadas.

Tabla 6. Principales pruebas no destructivas

Tipo de Prueba	Abreviación Española	Abreviación Inglés
Inspección Visual	IV	VI
Líquidos Penetrantes	LP	PT
Partículas Magnéticas	PM	MT
Ultrasonido	UT	UT
Pruebas Radiográficas	RX	RT

Fuente: Elaboración propia.

### 6.1. Inspección Visual

La inspección visual (IV), es sin duda una de las Pruebas No Destructivas (PND) más ampliamente utilizada, ya que gracias a esta, uno puede obtener información rápidamente, de la condición superficial de los materiales que se estén inspeccionando, con el simple uso del ojo humano.

Durante la Inspección Visual, en muchas ocasiones, el ojo humano recibe ayuda de algún dispositivo óptico, ya sea para mejorar la percepción de las imágenes recibidas por el ojo humano (anteojos, lupas, etc.) o bien para proporcionar contacto visual en áreas de difícil acceso, tal es el caso de la Inspección Visual del interior de tuberías de diámetro pequeño, en

cuyo caso se pueden utilizar baroscopios, ya sean estos rígidos o flexibles, pequeñas videocámaras, etc.

Es importante marcar que, el personal que realiza Inspección Visual debe tener conocimiento sobre los materiales que esté inspeccionando, así como también, del tipo de irregularidades o discontinuidades a detectar en los mismos. Con esto, podemos concluir que el personal que realiza IV debe tener cierto nivel de experiencia en la ejecución de la Inspección Visual en cierta aplicación (Por ejemplo, la Inspección Visual de uniones soldadas).

La inspección visual de soldaduras es una herramienta de vital importancia en la obtención de resultados satisfactorios desde el punto de vista productivo y de de calidad en los proyectos de construcción con soldadura. Enfocada y utilizada correctamente la inspección visual tiene elevadas posibilidades de detectar y corregir diversos inconvenientes de manera oportuna evitando los elevados gastos en tiempo y dinero que ellos hubieran ocasionado en el desarrollo del proyecto.

Es importante antes que nada tener un concepto claro. En el campo de la construcción obviamente se busca fabricar uniones soldadas de calidad.

Pero... ¿Qué significa "unión soldada de calidad"? ¿Qué es última instancia algo de calidad en el campo de la inspección?

CALIDAD ES LA CONFORMIDAD ENTRE ALGO, PERTENECIENTE A LA REALIDAD CON LO ESTABLECIDO RESPECTO DE ESE ALGO EN UN DOCUMENTO LLAMADO ESPECIFICACIÓN. ESTA CONFORMIDAD SÓLO PUEDE SER VERIFICADA A TRAVÉS DE MEDICION.

Sólo existe un camino para verificar si algo es de calidad: medir y comparar la dimensión obtenida con la especificada. Una discordancia entre lo medido y lo especificado implica una no conformidad y el diseñador o la ingeniería (quien establece la especificación a usar) establecerán la manera de manejar estas no conformidades.

Este concepto simplificado funciona bien si la especificación esta bien hecha. Si la especificación es mala alguien puede criticar el concepto simplificado presentado líneas arriba. Tal vez ese alguien podría proponer un concepto más universal como: "Una unión soldada de calidad es aquella que hace el trabajo para el cual fue diseñada por el tiempo de vida estimado del elemento que la contiene".

Ahora revisemos los paradigmas existentes en nuestro medio respecto al concepto de "inspección visual de soldaduras". Para muchos la inspección visual es una operación que tiene las siguientes características:

- Se realiza cuando se ha terminado de ejecutar o fabricar la unión soldada. Es una operación inmediatamente posterior a la soldadura. Se realiza cuando la soldadura, se ha enfriado.
- Tiene como objetivo verificar si la unión soldada tiene un aspecto uniforme, parejo, agradable a la vista. Se utiliza la vista pero otros sentidos, como el tacto por ejemplo, también pueden ayudar.
- Sólo pueden realizar inspección visual aquellas personas de mucha "experiencia", que a lo largo de su vida han visto muchas uniones soldadas y por lo tanto conocen la relación entre la apariencia y la capacidad de servicio de la unión soldada inspeccionada.

Afortunadamente ninguna de estas características corresponde a la inspección visual de soldaduras. Antes que nada, la inspección visual no es una operación aislada. Es en realidad una secuencia de operaciones realizadas a lo largo de todo el proceso productivo, el cual se inicia en la revisión de los requerimientos contractuales y el cual termina en la entrega de toda la documentación pertinente una vez terminada la construcción e inspección del proyecto.

La soldadura es una operación que ejerce una influencia enorme el resultado de todo el proceso productivo que la incluya. Pero en soldadura... ¿Son los resultados predecibles? ¿Puede influenciar la suerte en los resultados productivos que obtengo con soldadura? ¿Podría controlar "mi forma de soldar" de manera tal que obtenga siempre buenos resultados? ¡Con soldadura los resultados son predecibles porque la soldadura es una ciencia!

Existen reglas de juego descubiertas por el hombre a lo largo de los años (usando el método científico: observación, razonamiento y finalmente experimentación) para comprender, al menos temporalmente (hasta que aparezca otra regla más exacta) y parcialmente (hasta que aparezca otra regla que pueda explicar más cosas), el complejo fenómeno de la soldadura.

Estas reglas de juego sumadas constituyen el conocimiento científico de la soldadura.

Estas reglas de juego relacionan las variables de ingreso de un proceso constructivo con soldadura, la forma en que interaccionan y los resultados de esta interacción.

Por lo tanto, si sabemos qué variables controlar y la ciencia de la soldadura nos ha permitido comprender el fenómeno de la misma (al menos de manera parcial pero suficiente), entonces podemos predecir los resultados. Y si podemos hacer esto y queremos buenos resultados, necesitaremos básicamente conocer las variables de ingreso y las reglas de este maravilloso juego.

#### *Variables de la inspección de soldadura*

Diferentes programas de entrenamiento de AWS (American Welding Society) al respecto consideran que estas variables son las siguientes:

- Los materiales de construcción
- El diseño de la unión soldada
- El procedimiento de soldadura
- La forma de aplicar la soldadura
- El programa de inspección que se establezca

Así, la inspección visual es una operación que tiene como objetivo controlar estas variables durante todo el proceso productivo.

#### *Materiales de construcción*

Los materiales de construcción utilizados incluyen al material base, material de aporte, materiales de respaldo, fundentes, etc. La inspección visual verificará que estos cumplen con las especificaciones requeridas y que su estado de suministro, conservación o mantenimiento sea apropiado.

#### *Diseño de la unión soldada*

El diseño de la unión soldada corresponde a la forma geométrica en la que se disponen los elementos para poder soldarlos. Idealmente este diseño es propuesto por el fabricante y aprobado por el diseñador. Muchas veces pueden ser mal propuesto entonces el inspector visual puede tener un rol importante en la detección temprana del problema.

#### *Procedimiento de soldadura*

Los procedimientos de soldadura son documentos que el fabricante debe tener, específicamente son documentos donde se describen los detalles del procedimiento que deberán de seguirse en la producción de soldaduras sanas.

El procedimiento detalla los pasos que se deben de seguir en la aplicación de soldadura, los detalles de la junta, valores o rangos de valores para las variables controlables en el proceso, especificación de materiales a ser utilizados y la información deberá de ser lo suficientemente

detallada para asegurar que la soldadura cubre todos los requerimientos de la especificación aplicable.

El procedimiento de soldadura es un documento escrito que establece cómo se van a combinar las distintas variables involucradas en la fabricación de determinado tipo de unión soldada. Constituye la receta o la guía que el personal de construcción debe seguir para obtener resultados satisfactorios (o si se quiere para tener grandes posibilidades de obtenerlos). Toda unión soldada a ser fabricada debe tener un procedimiento de soldadura asignado y el personal que ejecute la construcción debe ceñirse estrictamente al procedimiento de soldadura establecido. La capacidad de un procedimiento de soldadura de obtener resultados satisfactorios (de acuerdo a las especificaciones de construcción establecidas contractualmente) se mide durante la calificación del procedimiento de soldadura, labor que se realiza antes de iniciada la construcción y que es de responsabilidad del constructor.

Una vez calificados los procedimientos de soldadura se vuelven parte de las especificaciones y parte de la labor del inspector visual de soldaduras es verificar su cumplimiento.

#### *Forma de aplicar la soldadura*

La forma de aplicar la soldadura está relacionada a la capacidad de seguir el procedimiento de soldadura y al control de diversas variables que también pueden afectar el resultado obtenido.

Un buen procedimiento no garantiza buenos resultados así como una buena receta no garantiza un buen plato. Se necesita también personal calificado con herramientas adecuadas para obtener el objetivo deseado. Los soldadores son responsables de la aplicación de soldadura. Los soldadores deben haber pasado una prueba de calificación para verificar sus habilidades en determinada configuración para determinados materiales y dentro de determinadas condiciones. Este proceso de verificación de habilidad también es responsabilidad del constructor.

#### *Programa de inspección*

Finalmente un programa estudiado y específico de inspección para controlar todos los puntos mencionados podrá prevenir a los involucrados en lo que se necesita controlar y en el tiempo correcto de hacerlo. Encontrar los inconvenientes a tiempo permitirá que ellos no devengan en no conformidades mayores. Este es uno de los principales poderes de la inspección visual: monitorear durante la ejecución y corregir en el camino.

Sabemos qué controlar...si supiéramos cuál es el momento adecuado de hacerlo, nuestra herramienta (la inspección visual) sería más poderosa aún.

Hemos mencionado que la inspección visual es en realidad una secuencia de operaciones realizadas a lo largo de todo el proceso productivo.

Ahora veamos como podemos dividir temporalmente al proceso productivo. La división propuesta en los programas de entrenamiento de AWS (American Welding Society) al respecto son:

- Fase A: Revisión inicial
- Fase B: Chequeos pre-soldadura
- Fase C: Chequeos durante la soldadura
- Fase D: Chequeos posteriores a la soldadura

Sólo durante la Fase C el arco está encendido. Así, la inspección visual abarca temporalmente todas las actividades que rodean y también aquellas que están inmersas de manera directa en la ejecución de las uniones soldadas. Por lo tanto la calidad de una unión soldada se planea desde el escritorio (Fase A) y definitivamente no es el resultado del azar.

Si pudiéramos resumir actividades de inspección en función a la información entregada por manuales y cursos al respecto, podríamos establecer la siguiente lista de actividades por fase

- Fase A:
  - Revisar orden de compra, contrato, especificaciones, códigos y dibujos
  - Desarrollar los planes de inspección en función a lo requerido por las especificaciones
  - Revisar los planes de calidad existentes
  - Revisar procedimientos de soldadura calificados; verificar si se requieren nuevas calificaciones
  - Revisar calificaciones de soldadores y su vigencia; verificar si se requieren nuevas calificaciones
  - Establecer un sistema de documentación de inspección y de reporte y manejo de no conformidades
  - Crear un programa de acción correctiva
  - Publicar un sistema de identificación de productos no conformes
  
- Fase B:
  - Verificar condición de equipos y accesorios
  - Verificar conformidad de material base y material de aporte con las especificaciones
  - Verificar posicionamiento de los miembros y de las juntas
  - Verificar preparación de la junta, alineamiento, limpieza
  - Verificar mantenimiento del alineamiento
  - Verificar temperatura de precalentamiento
  
- Fase C:
  - Verificar cumplimiento del procedimiento de soldadura
  - Verificar calidad y ubicación de los pases de soldadura
  - Verificar secuencia de aplicación
  - Verificar temperaturas y limpieza inter-pase
  - Verificar aplicación de escarbado de raíz ( backgouging)
  - Monitorear (realizarlos sólo si se tiene calificación para hacerlos) la aplicación de ensayos no destructivos (NDE).
  
- Fase D:
  - Verificar apariencia y sanidad
  - Verificar dimensiones
  - Verificar precisión dimensional
  - Monitorear la aplicación de ensayos no destructivos (NDE)
  - Monitorear la aplicación del tratamiento térmico post-soldadura
  - Finalizar, ordenar la documentación y preparar los reportes respectivos

Entre las principales ventajas de la inspección visual están:

- Bajo costo de aplicación,
- No hay necesidad de equipo costoso,
- Problemas fácilmente identificables, con una rápida y poco costosa corrección de estos.

### *Conclusión*

La inspección visual esta lejos de ser la simple "observación" de soldaduras terminadas para estimar su calidad. Ese es un concepto equivocado. La inspección visual es una secuencia de operaciones que tiene como fin asegurar la calidad de las uniones soldadas fabricadas. Su alcance es mucho mayor del que usted pensaba.

Ningún programa de Inspección puede dar la absoluta garantía que las soldaduras proporcionarán el servicio esperado durante toda la vida del producto. Pero con un apropiado plan de inspección puede mantenerse un alto grado de confiabilidad en los productos sueldados.

La inspección visual esta confinada exclusivamente a la superficie expuesta de las soldaduras, por lo que las discontinuidades por debajo de la superficie de estas no pueden ser detectadas.

Esto se compensa con un estructurado programa de inspección que examinando un mínimo de superficies pueda darnos el requerido grado de aseguramiento en las soldaduras.

Conforme el inspector obtiene experiencia, puede notar que el grado de calidad en las soldaduras puede determinarse por la apariencia de su superficie, cuando el inspector sabe que la preparación fue buena y que el soldador tiene la habilidad requerida, se puede determinar que la soldadura es sana y dentro de especificaciones.

## **6.2. Líquidos penetrantes**

El método o prueba de líquidos penetrantes (LP), se basa en el principio físico conocido como "Capilaridad" y consiste en la aplicación de un líquido, con buenas características de penetración en pequeñas aberturas, sobre la superficie limpia del material a inspeccionar. Una vez que ha transcurrido un tiempo suficiente, como para que el líquido penetrante recién aplicado, penetre considerablemente en cualquier abertura superficial, se realiza una remoción o limpieza del exceso de líquido penetrante, mediante el uso de algún material absorbente (papel, trapo, etc.) y a continuación se aplica un líquido absorbente, comúnmente llamado revelador, de color diferente al líquido penetrante, el cual absorberá el líquido que haya penetrado en las aberturas superficiales.

Por consiguiente, las áreas en las que se observe la presencia de líquido penetrante después de la aplicación del líquido absorbente, son áreas que contienen discontinuidades superficiales (grietas, perforaciones, etc.)

### **6.2.1. Aplicación y limitaciones.**

El examen por líquidos penetrantes es un método de ensayo no destructivo, para la detección de defectos e irregularidades siempre que estas se encuentren abiertas a la superficie.

Se puede utilizar tanto en materiales ferrosos como no ferrosos, siendo su campo de aplicación más idóneo el de materiales no magnéticos (Aluminio, Bronces, Latones, etc.) al no utilizarse otras técnicas por su difícil aplicación y elevado coste. No se puede aplicar en materiales sólidos porosos.

Es un ensayo rápido, barato y que puede realizarse sin necesidad de suministro eléctrico en lugares alejados y de difícil acceso. Dentro de los diferentes tipos de ensayos se puede disponer desde un pequeño conjunto de botes-spray de fácil manejo y transporte, hasta grandes instalaciones automatizadas para ensayar grandes series.

La definición de localización y extensión del defecto es relativamente fácil, siendo imposible determinar la profundidad de la grieta, aunque con una metodología adecuada se puede tener una orientación en este sentido.

### **6.2.2. Secuencia operacional de la prueba.**

Independientemente del tipo de líquido penetrante que se utilice y del método de inspección dependiente del procedimiento se pueden considerar cinco operaciones o etapas básicas que componen el ensayo, siendo estas las siguientes:

*Preparación de la superficie a ensayar.*

Tal y como recoge la sección V del código ASME en su artículo 6 (Liquid Penetrant Examination) y la AWS (Asociación Americana de soldadura), previamente al ensayo, debe prepararse la superficie a examinar y zonas adyacentes en una extensión de 25,4mm como mínimo.

La superficie deberá de estar libre de agua, aceite, grasas o cualquier otro contaminante que perjudique las características de extensión, mojado y penetración del penetrante, o líquido colorante.

Hay que tener presente que no todas las impurezas se encuentran siempre en superficie, se pueden tener en el interior de las discontinuidades produciéndose desviaciones durante el ensayo.

De forma genérica se pueden indicar como impurezas que pueden enmascarar el ensayo las siguientes:

Agua, Aceite, Porosidades, recubrimientos adheridos que retendrían parte del penetrante y darían indicaciones falsas (restos de soldaduras, pinturas, etc.), recubrimientos en el interior de los defectos que podrían dificultar la salida del penetrante hacia el revelador, y contaminantes en general.

Resaltamos a continuación los residuos más comunes de encontrarse en la práctica y qué dificultan altamente el ensayo:

Restos de pinturas y recubrimientos en general, que enmascaran completamente el defecto impidiendo la acción del penetrante.

Algunas se pueden eliminar mediante medios mecánicos y otras por la acción de decapantes ó productos similares. Es importantes tener presente que al utilizar determinados métodos se puede cubrir interiormente el defecto con lo que el resultado sería erróneo. Restos de soldadura, óxidos, cascarillas, etc., la forma más sencilla de eliminación es a través de medios mecánicos, para cual igual que en el caso anterior no se debe de cubrir los posibles defectos a buscar por utilizar un método no apropiado como sería el de golpear.

Restos de grasa, aceite y acoplantes utilizados durante los ensayos de ultrasonidos (cola de empapelar, vaselina, etc.) que pueden llegar a cambiar las características tensionales de los penetrantes. Se puede obstruir las entradas de las discontinuidades evitando la entrada del penetrante.

Restos de penetrante de anteriores ensayos. Por este motivo siempre se debe proceder a una limpieza final de la zona ensayada, por si hubiera que volver a inspeccionar y por los efectos de contaminación en la pieza que pueden producir.

Hay que tener presente que zonas de control fluorescentes no se pueden inspeccionar previamente con coloreados.

Restos de humedad en la zona a ensayar, ya que la presencia del agua en el interior de las discontinuidades evitaría la entrada del penetrante al ser generalmente inmiscibles en agua.

Por este motivo es muy importante el secado de la pieza al aire o medios externos antes del ensayo si esta está húmeda, o tener cuidado horas antes del ensayo del lugar donde se encuentra la pieza.

Se pueden enumerar una series de procedimientos generales y comúnmente utilizados para llevar la preparación previa de las piezas a ensayar, siendo estos los siguientes:

- Desengrase con fase vapor.
- Limpieza con vapor.
- Utilización de decapantes.
- Decapado químico.
- Utilización de detergentes.
- Utilización de ácidos y álcalis.
- Métodos Mecánicos.

Es importante la elección del método de limpieza previa más adecuado para nuestro caso, teniendo en cuenta dentro de las facilidades que se tengan, el tipo de material sobre el que se actúa, el tipo de contaminación superficial y el grado de limpieza, dependiendo del procedimiento de penetrantes que se vaya a emplear.

En algunos casos es necesaria la combinación de dos métodos de limpieza para la preparación óptima, tal es el caso de piezas con restos de cascarilla o soldadura. En este caso se utilizaría, en primer lugar, un medio mecánico adecuado que no nos dañe o marque la superficie del material, eliminando todo resto metálico adherido, en segundo lugar se podría aplicar un disolvente adecuado dejando libre de grasas, aceites o acoplantes la zona a ensayar.

No se puede utilizar un agente de limpieza químico cualquiera, sin antes comprobar que no atacará al material. Agentes básicos fuertes atacan al aluminio, si las piezas son de pequeño tamaño y peso se pueden introducir en cubas de disolventes o desengrasado a través de vapor, o bien la aplicación (para grandes piezas con grandes dificultades de movimiento) directa del disolvente pulverizado o por aplicación directa con paño a su superficie.

Tal vez, los dos métodos más comunes que se emplean sean el desengrasado en fase vapor y la utilización de disolventes.

El método de desengrase en fase vapor consiste en el calentamiento de un disolvente (normalmente, tricloroetano o tricloroestireno) en el interior de una cuba de acero abierta hasta que comienza a hervir, la pieza a limpiar se coloca en la parte superior de la cuba, con lo que los vapores que se producen se condensan en la superficie fría y van arrastrando en su caída todas las trazas y restos de grasas, aceites, y otras impurezas del material. Este método no puede utilizarse con aquellos metales que sean sensibles a la presencia de cloruros.

El método de limpieza con disolventes es muy utilizado para trabajos de campo mediante botes-spray, y la aplicación del disolvente sobre la superficie puede ser de forma directa o a través de paños humedecidos. Si la aplicación es directa, hay que tener en cuenta la dirección de aplicación para no volver a ensuciar la zona de ensayo en sucesivos intentos de limpieza.

Es muy importante prever una buena ventilación durante el ensayo ya que el respirar los vapores del disolvente en grandes cantidades y de forma continua puede afectar fisiológicamente al operador. En locales cerrados hay que prever una buena ventilación forzada, y hacer el ensayo a intervalos intermitentes de tiempo.

#### *Aplicación del penetrante.*

Consiste en la aplicación del penetrante sobre la superficie a ensayar, una vez que se encuentra limpia y seca, ya sea por inmersión de la pieza en un baño, por aplicación del penetrante con brocha, o aplicado por pulverización empleando un compresor de aire.

La película de penetrante deberá en cualquier caso, ser uniforme y mantenerse sobre la superficie el tiempo suficiente para conseguir el máximo de penetración en el interior de las discontinuidades.

Tal y como se indica en el apartado T-642 (penetrant application) del artículo 6 de la sección V del código ASME, el tiempo de penetración es una variable crítica, recomendándose algunos tiempos en la tabla N° 2 de la norma SE-165 (ASTM E -165-80 (1S83)), artículo 24 sección V ASME.

#### *Eliminación del exceso de penetrante.*

Consiste en hacer desaparecer de la superficie a examen, todo el penetrante aplicado y que no haya entrado en las discontinuidades.

La eliminación ha de ser completa ya que si no, se pueden encontrar trazas de penetrantes en la fase de observación final que lleguen a enmascarar el ensayo.

La limpieza dependerá del tipo de penetrante utilizado pudiendo utilizarse agua o bien algún disolvente adecuado al material que se esté ensayando. Siempre que se haga una eliminación con agua abra que llevar a cabo un secado posterior de la superficie, ya que si no habría problemas en la aplicación del revelador. De acuerdo con el apartado T-644 del artículo 6 del

código ASME sección V, la temperatura de secado de la superficie del material no debe ser superior a 125° F i 52 ° C). Los métodos más utilizados de eliminación son:

- Limpieza y eliminación con disolvente.
- Autoemulsificación y posterior lavado con agua.
- Postemulsificación y posterior lavado con agua.

La utilización de uno u otro método vendrá definido normalmente en el procedimiento prescrito, y sino tendrá en cuenta el volumen a inspeccionar, tamaño, forma y facilidades en el lugar de ensayo. Se van a describir los métodos mencionados anteriormente:

-En el caso de limpieza y eliminación con disolventes, nunca se debe aplicar directamente el disolvente sobre la pieza sino a través de paños impregnados teniendo cuidado en no arrastrar más penetrante hacia la zona que se está limpiando en ese momento, es el método más utilizado en trabajos de campo por su rapidez, economía y facilidad de transporte de los sprays o pequeños bidones.

-En la autoemulsificación los penetrantes contienen un emulsificador en su composición. Una vez aplicado y transcurrido el tiempo necesario para su autoemulsificación, se elimina el exceso de penetrante mediante el lavado con agua teniendo en cuenta que es muy importante no" arrastrar el penetrante de-"las-discontinuidades.

Este arrastre se puede producir como consecuencia de un exceso de la presión de agua, o bien exceso en el tiempo de lavado empleado. Así, en el apartado T-643 del artículo 6 de la sección V del código ASME, indica que la eliminación deberá hacerse con agua pulverizada, no excediéndose la presión de 50 psi (3,5 Kg/cm<sup>2</sup>) ni la temperatura del agua de 110°F (43°C). La presión más aconsejable es de 30 psi (2,1 Kg/cm<sup>2</sup>, y en el tiempo de lavado será importante comprobar el estado de rugosidad de la superficie, no siendo aconsejable en superficies rugosas utilizar penetrantes lavables con alta solubilidad en agua.

Cuando se estén utilizando penetrantes lavables fluorescentes, la observación visual de la limpieza de la superficie deberá hacerse bajo la luz negra en una zona acondicionada con muy poca luz.

-En el caso de penetrante postemulsificante y posterior eliminado con agua, no se encuentra el producto emulsificador incorporado en el penetrante por lo que será necesario la aplicación de un emulsificador.

La aplicación del mismo se realiza una vez que ya se ha aplicado en la superficie de la pieza el penetrante.

Actualmente existen dos tipos de emulsificadores, los de base de aceite y los de agua, es decir que su afinidad es hacia el aceite y el agua respectivamente, se denomina lipofílicos e hidrofílicos.

En el caso de emulsificadores lipofílicos hay un gradiente de difusión del emulsificador en el penetrante dependiendo del tiempo de contacto de ambos. Se puede indicar que si la viscosidad del emulsificador está entre 50 y 100 centistokes, la emulsificación varía de 2 a 4 minutos, mientras que, si el emulsificador es rápido con una viscosidad de 20 a 45 centiestokes, el tiempo es del orden de 2 minutos.

De acuerdo a lo que se ha indicado, el tiempo es un factor importantísimo en el proceso que nos ocupa, teniendo en cuenta que comienza la íntima unión desde el momento que se aplica sobre el penetrante, es decir, el tiempo comienza a contar desde ese momento.

En el caso de emulsificadores hidrofílicos, la aplicación se puede llevar a cabo por inmersión de la pieza en una cuba en la que previamente se ha disuelto en agua o bien por pulverizaciones sobre la superficie del penetrante en la pieza.

El procedimiento de emulsificación (la mecánica) es similar a la descrita anteriormente, en el caso de hidrofílicos hay que tener en cuenta la concentración del emulsificador para conocer el tiempo necesario de contactos.

El tiempo de emulsificación es crítico, y sobre él influye la rugosidad de la superficie y el tipo de discontinuidad que se está buscando. Se aconseja una temperatura del emulsificador no muy crítica comprendida entre 70 y 90° F (20° y 32°C).

No deberá de exceder el tiempo de 5 minutos a menos que se tengan otros tiempos aprobados basados en el procedimiento.

Una vez transcurrido el tiempo indicado de emulsificación, se elimina el penetrante con lavado de agua, aplicándose las mismas indicaciones de presión, temperatura, etc., que para el caso anterior.

#### *Revelado.*

Consiste en la aplicación del revelador sobre la superficie objeto del estudio, toda vez que ha sido limpiada de penetrante y está seca.

La función fundamental del revelador es actuar como secante, extrayendo el penetrante del interior de las discontinuidades y " marcándolo" claramente.

Normalmente es un polvo muy fino de color blanco (para un mayor contraste) ó débilmente coloreado que se aplica en finas capas de acuerdo a unos de los cuatro métodos siguientes:

- Polvos secos.
- Disueltos en medio acuoso.
- Suspensión del polvo en disolvente.
- Suspensión del polvo en agua.

#### *Observaciones.*

Una vez transcurrido el tiempo requerido para que el penetrante haya sido absorbido por el revelador, se pasa a una detenida observación de la superficie del ensayo en busca de posibles indicaciones que nos detecten defectos o discontinuidades.

Esta observación se hará bien con luz natural o con luz negra dependiendo del tipo de penetrante utilizado. La importancia de la luminosidad adecuada para penetrantes visibles o lugar oscuro para la observación con penetrantes fluorescentes es evidente, dado que no serviría de nada el cuidado en las cuatro etapas anteriores, al no evaluar correctamente los resultados finales por una mala preparación de la sala de observación.

La relación de contraste entre el revelador y el penetrante es muy importante, ya que esta diferencia de color es la que se hace perceptible al ojo humano y poder distinguir la indicación. Así en penetrantes fluorescentes, los pigmentos del penetrantes (en la mayoría de los casos) indicaciones amarillo-verdosas muy visibles por contraste en el fondo negro o semioscuro del revelador iluminado bajo luz negra.

Es importante saber que en superficies rugosas, el ensayo por penetrantes fluorescentes presenta grandes dificultades ya que los intersticios retienen el penetrante, y al ser difícil la eliminación total del mismo y dado que bajo luz negra la relación de contraste para el ojo humano es muy alta, se hace muy difícil evaluar el ensayo con lo que no se podría calificar correctamente. Asimismo la eliminación del penetrante coloreado debe ser completa para no estar abocados a numerosas indicaciones falsas, que aunque más debeles, no se puede admitir para la calificación.

### 6.2.3. Penetrantes y sus propiedades

La característica principal que debe tener un penetrante, es en tener un fácil poder de penetración. Es necesario que se introduzca lo más fácilmente en las discontinuidades y defectos, e intentar que este poder de penetración sea muy bueno aún para grietas o defectos muy finos.

Pero también intervienen una serie de factores en el ensayo que obligan a tener otras propiedades al penetrante. La siguiente característica sería que tuviera facilidad de salir del interior de la discontinuidad para señalar claramente la zona de defecto. La temperatura es importante también durante el ensayo, por lo que deberá tener el penetrante estabilidad frente a temperatura. Es importante el contraste y por lo tanto tener color llamativo. La no toxicidad es otra propiedad necesaria para asegurar al operador que ejecuta el ensayo.

En general se puede hacer un resumen de características teóricas que para un ensayo perfecto debería poseer un penetrante:

- Poder de penetración fácil en discontinuidades pequeñas y muy finas.
- No se deberá evaporar fácilmente o secarse rápidamente.
- Fácil limpieza del mismo sobre la superficie en la que se aplicó.
- Facilidad para salir de las aberturas finas cuando se aplica el revelador.
- Que en la operación de eliminación ó limpieza del primer penetrante, no se arrastre fácilmente el penetrante en el interior de aberturas.
- Un color ó fluorescencia que contraste en gran manera con el fondo.
- No debe de atacar al material sobre el que se hace el ensayo.
- No deberá de oler.
- No se deberá de inflamar.
- Deberá ser estable en condiciones de almacenamiento y manipulación.
- No debe de ser tóxico.
- No deberá de tener un precio excesivo.

Evidentemente no es posible encontrar un penetrante que cumpla con todas estas características, por eso en la práctica, se reúnen el mayor número de ellos en los penetrantes comercialmente utilizados.

Dado que el fenómeno de "capilaridad" está íntimamente ligado a el porqué entra el penetrante (líquido) en el interior de una grieta, se va a explicar el fenómeno de la penetración. Este fenómeno de capilaridad está ligado con la tensión superficial y el poder humectante.

La fuerza con la que se atraen moléculas semejantes se denomina cohesión, la consecuencia del conjunto de estas fuerzas es la tensión superficial, por este fenómeno se comporta la superficie de un líquido como una membrana tensa.

Físicamente se define como fuerza por unidad de longitud que se ejerce tangencialmente en la superficie de separación entre líquido-sólido y líquido-gas.

La definición de "adherencia" es la de fuerzas de tracción entre sí de moléculas diferentes en la superficie límite de dos sustancias diferentes, o en el seno de una mezcla.

El conjunto de fuerzas de adhesión y coherencia, son los que definen el ángulo de contacto entre el líquido y la superficie del sólido (ángulo  $\Theta$ ). Si este ángulo  $\Theta$  es menor de  $90^\circ$ , se dice que el líquido moja la superficie, y en caso contrario (ángulo  $\Theta$  mayor a  $90^\circ$ ) no mojaría la superficie, siendo su poder humectante malo.

### **6.2.3.1. Propiedades físicas de los penetrantes**

Se enumeran a continuación algunas de las propiedades más interesantes así como sus consecuencias:

#### *1. Viscosidad:*

Tiene un gran efecto sobre determinadas características que debe de poseer un penetrante. Si es demasiado viscoso tendría dificultades para poder penetrar en el interior de las grietas y se necesitaría una gran cantidad de tiempo para el ensayo, siendo el tiempo de escurrido del líquido también mayor.

Si la viscosidad es muy baja, la penetración del líquido será elevada lo cual favorece el ensayo, pero se tiene el inconveniente de que en la eliminación del penetrante se corre el riesgo de arrastrar el que se encuentra en el interior de los defectos con lo que no tendría ninguna validez el ensayo. A su vez, con baja viscosidad la cantidad de penetrante utilizada será menor al cubrir rápidamente la superficie de ensayo, lo cual económicamente es muy interesante en grandes series.

De lo indicado se deduce que habrá que llegar a una solución intermedia, que no perjudique en demasía los aspectos indicados.

#### *2. Tensión superficial*

Como se ha definido anteriormente se define como la fuerza de cohesión entre moléculas iguales de un mismo líquido, por esta cohesión opone la superficie una resistencia por unidad de longitud (fuerza de Van de Waals).

La presencia de impurezas influye grandemente en el valor de la tensión superficial, dado que hacen varias la distribución tensional de las fuerzas.

Hay sustancias que se añaden al líquido y modifican el valor de la tensión, denominándose sustancias tensoactivas. En general es conveniente que los penetrantes tengan elevada tensión superficial.

#### *3. Poder humectante*

Se ha definido anteriormente como el ángulo de contacto  $\theta$  formado por la superficie y la tangente a la superficie del líquido. Este ángulo debe de ser menor a  $90^\circ$  y cuanto menos sea su valor más mojará a la superficie de la pieza a ensayar, por lo que cuanto más moje más interesante será el líquido para el ensayo por penetrantes.

#### *4. Volatilidad*

Un buen penetrante no debe de ser volátil ya que si no al aplicarlo sobre la superficie del ensayo se nos secaría con suma rapidez y tendríamos que tener la pieza a ensayar continuamente metida en el interior de penetrante.

La volatilidad está directamente relacionada con la presión de vapor y el límite de ebullición, utilizándose para los penetrantes líquidos con baja presión de vapor y alto límite de ebullición.

Como en los productos de composición de un penetrante hay derivados de petróleo, sus vapores pueden ser explosivos por lo que cuanto más baja sea la volatilidad menos riesgo de explosión se tendrá.

El punto de inflamación se define como la temperatura a la que un líquido se incendiaría y mantendría ardiendo. En condiciones normales un penetrante con temperatura de inflamación de 50-55°C ó superior se considera aceptable.

#### *5. Inercia Química*

El penetrante puede tener efecto doble, uno sobre el material que se está ensayando y otro sobre el material del bote o recipiente que lo contiene. La presencia de emulsificadores alcalinos en los lavables con agua autoemulsificables, puede originar problemas en el aluminio o en las capas del depósito si se contamina con agua. Asimismo a altas temperaturas, materiales en base a níquel pueden sufrir corrosiones. Por este motivo hay que elegir correctamente el material del bote, y lo que es fundamental eliminar las trazas de penetrante sobre la pieza ensayada en la inspección final.

Antes de comenzar los ensayos, se debe tener la seguridad de que el penetrante elegido es completamente inerte en relación con los materiales que se van a ensayar.

#### *6. Disolución*

En el caso de penetrantes coloreados se incorpora un tinte al penetrante, y en el caso de fluorescentes se incorporan partículas fluorescentes. Es evidente que los diferentes constituyentes del mismo tienen que ser fácilmente solubles entre sí y que en condiciones anormales (mucho frío ó calor) mantengan la homogeneidad lo máximo posible.

Hay que leer y seguir las instrucciones de almacenaje que se indican por los diferentes fabricantes de penetrantes.

#### *7. Toxicidad, olor e irritación en la piel*

Por el efecto directo que se tiene sobre el operador que ejecuta el ensayo, no se pueden utilizar productos tóxicos, corrosivos o malolientes.

Evidentemente no se ha obtenido un penetrante completamente exento de peligro en su manipulación, pero sí se deben sacrificar algunas propiedades en aras a obtener una mayor seguridad en el ensayo. Siempre que se finalice un ensayo por penetrantes, y sobre todo si son fluorescentes, el operador debe realizar una completa limpieza de sus manos y antebrazo, no dejando pasar mucho tiempo (2-3 horas) para así evitar la acción prolongada de algunos restos en su piel.

#### *8. Factor económico*

Hay que tener en cuenta que los diversos componentes de un penetrante deben de ser fáciles de conseguir dentro de un coste aceptable. Este ensayo se utiliza principalmente por su comodidad, rapidez y sobre todo por su economía para grandes y pequeñas series.

### **6.2.3.2. Tipos de penetrantes**

*Se pueden diferenciar dos grandes grupos en función del tipo de pigmentos que incorporan.*

#### *-Líquidos penetrantes coloreados*

Contiene una mezcla de pigmentos coloreados en un disolvente apropiado siendo el más utilizado el color rojo por el contraste que da con el revelador, generalmente de color blanco. Se pueden observar bajo la luz natural o en interiores con luz eléctrica. La eliminación de los mismos se suele hacer sin necesidad de agua a través de trapos humedecidos en eliminadores adecuados.

#### *-Líquidos penetrantes fluorescentes*

Incorporan en su composición pigmentos fluorescentes bajo visión con luz negra. Tal y como se ha indicado suelen ser partículas de color amarillo-verdoso que dan el máximo contraste.

Poseen muy alta sensibilidad y se deben de emplear en superficies con muy baja rugosidad (gran acabado) para evitar las indicaciones falsas durante la observación, motivadas por la dificultad en la fase de eliminación del penetrante.

Ahora bien, según el procedimiento utilizado para la eliminación del exceso de penetrante se pueden relacionar los tipos siguientes de penetrantes:

- Penetrantes autoemulsificables que se eliminan con agua de lavado y que son solubles en agua.
- Penetrantes post-emulsificables que también se eliminan mediante lavado con agua, pero después de la aplicación durante el tiempo adecuado, del emulsificador al penetrante. Son solubles en agua una vez que se han emulsificado.
- Penetrantes eliminables con disolventes, y que no son solubles en agua.

### 6.2.3.3. Selección del penetrante

Las ventajas y limitaciones quedan recogidas en la Tabla 7, refiriéndonos a penetrantes fluorescentes lavables con agua ó autoemulsificables, son menos sensibles que los fluorescentes post-emulsionables y resultan más económicos, pero no se deben de utilizar para la detección de defectos de poca profundidad; hay que tener presente que un lavado en exceso disminuye la sensibilidad del ensayo.

Los penetrantes fluorescentes post-emulsionables son más caros al necesitar e emulsificador y además requieren más tiempo de ensayo, luego es interesante para una gran producción. Su sensibilidad es la mejor de todos los tipos de penetrantes.

En relación con los visibles coloreados, los fluorescentes, presentan e inconveniente de la necesidad de utilización de la luz negra, con el consiguiente encarecimiento de la instalación, mayor pérdida de tiempo y acondicionar la sala de ensayo (semioscuridad). Como contrapartida la sensibilidad y contraste de los penetrantes fluorescentes es mucho mayor, con lo que para la detección de pequeñas grietas en piezas con buenos acabados finales se deberán utilizar siempre los fluorescentes.

Los penetrantes fluorescentes eliminables con disolventes deben ser empleados en inspecciones por zonas, y cuando es difícil la obtención en el lugar de ensayo de agua de lavado. Su sensibilidad es óptima.

Tabla 7. Ventajas y limitaciones de líquido penetrante fluorescente

<b>Líquido penetrante fluorescente auto-emulsionable</b>	
<b>Ventajas</b>	<b>Inconvenientes</b>
El aspecto fluorescente proporciona muy buena visibilidad.	El lavado excesivo disminuye la sensibilidad.
Se puede lavar directamente con agua.	El anodizado afecta su sensibilidad.
Puede usarse en superficies rugosas.	El cromado afecta su sensibilidad.
Economización de tiempo en el proceso.	No es conveniente para discontinuidades con poca profundidad.
Bueno para una gran gama de discontinuidades.	Necesita una cámara oscura, con luz negra, para su observación

Fuente: Magnetic particle testing. The nondestructive testing handbook, Segunda edición, Volumen seis J Thomas Schmidt and Kermit Skeie, Editorial The American Society for Nondestructive Testing , 1989

Tabla 8. Ventajas y limitaciones líquido penetrante fluorescente post-emulsionable

<b>Líquido penetrante fluorescente post-emulsionable</b>	
<b>Ventajas</b>	<b>Inconvenientes</b>
La fluorescencia le proporciona muy buena visibilidad.	No es lavable directamente con agua.
Posee gran sensibilidad para discontinuidades pequeñas.	La aplicación del emulsificador alarga el tiempo del ensayo.
Detecta discontinuidades abiertas y con poca profundidad.	Necesita cámara oscura, con luz negra, para su observación.
Tiene un tiempo de penetración corto.	Es difícil de aplicar en piezas rugosas.
Puede utilizarse en piezas cromadas o anodizadas.	Es difícil el lavado en zonas poco accesibles
	Normalmente suele ser inflamable.

Tabla 9. Ventajas y limitaciones de líquido penetrante coloreado

<b>Líquido penetrante coloreado</b>	
<b>Ventajas</b>	<b>Inconvenientes</b>
Pueden emplearse en equipos portátiles.	Suele ser Inflamable.
No necesitan luz negra.	Las indicaciones son menos visibles que las obtenidas por medio de penetrantes fluorescentes.
Pueden emplearse en piezas en las que no se permita el uso de agua para su lavado.	Es difícil de aplicar en piezas rugosas.
Puede usarse sobre piezas anodizadas.	
Es muy sensible en pequeñas discontinuidades.	

Fuente: Magnetic particle testing. The nondestructive testing handbook, Segunda edición, Volumen seis J Thomas Schmidt and Kermit Skeie, Editorial The American Society for Nondestructive Testing , 1989

#### 6.2.4. Reveladores y su naturaleza

Un vez concluida la etapa de eliminación del penetrante, al inspector le sería muy difícil observar mediante simple inspección visual donde se encuentran los defectos. El revelador es el agente que pone de manifiesto las zonas donde ha tenido lugar la retención de penetrante.

Es un polvo muy fino, generalmente de color blanco, que se extiende sobre la superficie a examinar cuando finaliza la eliminación de penetrante, y por contraste determina las zonas retención. Tiene una gran capacidad de absorción y esto mismo extrae los restos de penetrante en las discontinuidades. Las funciones más importantes de un revelador son:

- Actuar como un papel secante, extrayendo los restos de líquido penetrante de las discontinuidades. Para los reveladores mediante la suspensión del polvo en disolvente, la acción del disolvente sobre el penetrante hace que la función de extracción sea más fuerte.
- Proporciona una base adecuada para aumentar el contraste del área de zona ensayada cubierta y expuesta a la inspección visual del operador. Se incrementa la sensibilidad del método y se acorta el tiempo requerido de inspección al acortarse el tiempo necesario para que la indicación se haga visible al inspector.

##### 6.2.4.1. Propiedades de los reveladores

El revelador debe de poseer una serie de propiedades para poder ejercer su función. Dado que no se encuentran todas con la misma intensidad en un producto, el revelador será una mezcla en mayor o menor grado de todas ellas, son los siguientes:

1. Debe de ser muy absorbente, para tener una mayor acción secante.
2. El grano del polvo debe de ser muy fino para conseguir una gran dispersión y definición del penetrante.
3. Deberá de poder cubrir suficiente el fondo para que sus colores no se vean durante el ensayo, para que solamente a ojos del inspector aparezca el polvo blanco.
4. La aplicación del revelador deberá de ser rápida y sencilla.
5. Deberá de poder conseguir una capa fina y uniforme sobre la pieza a ensayar.
6. Deberá de eliminarse fácilmente una vez finalizada la inspección.
7. Deberá ser inerte químicamente.
8. No debe de ser tóxico, ni oler para no perjudicar al operario.

#### **6.2.4.2. Tipos de reveladores**

Se pueden distinguir cuatro tipos, que son:

- reveladores de polvo seco.
- reveladores suspensión del polvo en el disolvente.
- reveladores suspensión del polvo en agua.
- reveladores disueltos en agua.

##### *Reveladores en forma de polvo seco*

Los primeros reveladores utilizados fueron de yeso o talco que finamente divididos se utilizaban a tal efecto con excelentes resultados.

En la actualidad los reveladores polvo seco son una combinación de polvos de especiales características cuidadosamente unidos. Deben de ser ligeros y esponjosos para adherirse a la superficie metálica seca formando una fina y continua capa de polvo. Esta adherencia tiene un límite para evitar la formación de una capa excesivamente gruesa a través de la cual no podría salir el penetrante.

El color de los polvos es normalmente blanco. En el caso de penetrantes fluorescentes, las partículas no deben de absorber la luz negra (pues reducirían la cantidad de luz presente) y el color y composición deben de ser transparentes a la misma.

Se debe de evitar que los polvos tengan facilidad para flotar en el aire, pues son inhalados por el operador del ensayo; actualmente los polvos de sílice -utilizados son artificiales y no pueden ser causa de enfermedad de pulmón, aunque sean inhalados por el operador.

La aplicación de los reveladores puede ser diversa, siendo los métodos más comunes:

- Por inmersión.
- Por pistolas de aire comprimido.
- Por brochas muy suaves.
- Espolvoreando con la mano.
- Por pistolas electroestáticas.

Hay que tener cuidado con los problemas de contaminación que puedan surgir en el revelador por presencia de partículas extrañas, tales como gotas de penetrante pequeños restos materiales que flotan en el aire, etc. A la hora de la observación, estas impurezas, pueden, equivocar al inspector.

##### *Revelador suspensión del polvo en el disolvente*

En relación con los reveladores de polvo seco, presentan la ventaja de que no pueden formar nubes de polvo siendo de fácil aplicación, cubriendo completamente la superficie de ensayo. El

método más usual de aplicación es mediante botes de spray o bien, a través de pistolas de pulverización unidas a pequeños bidones de este elemento.

La aplicación de cantidades excesivas es perjudicial al ensayo ya que enmascara completamente los defectos impidiendo la salida del penetrante por la capa gruesa del revelador seco. Tampoco se debe de aplicar una capa demasiado fina y que no cubra correctamente la superficie, ya que no se obtendría el fondo de contraste blanco ideal.

La utilización del disolvente es para favorecer la salida del penetrante, pudiendo tener el inconveniente, en fisuras muy finas, de disolver demasiado el penetrante y no aparecer claramente definidas las indicaciones.

Este se utiliza casi siempre con penetrantes coloreados y raramente para la comprobación de grandes series, para las que tiene la desventaja económica, peor aplicación, etc.

La concentración adecuada de la mezcla es un factor importante, ya que si no se suspende el polvo correctamente se puede endurecer o dar lugar a la formación de grumos en el bote. Su uso está limitado por la temperatura ya que se podría producir una evaporación excesiva y por lo tanto, un aumento de la concentración de la mezcla; la disminución de la temperatura afecta más a los que están suspendidos en agua, al llegar al punto de congelación. Los aditivos disueltos en los reveladores de polvo disuelto en disolvente hacen descender el punto de congelación, pudiendo utilizarse en la práctica en condiciones muy adversas.

Actualmente se utilizan disolventes en base a cloro ya que no presentan problemas de inflamación, característica que poseen los elaborados a base de alcohol. La presencia de azufre se considera perjudicial, ya que cuando se están ensayando aceros aleados, estos pueden absorber pequeñas cantidades del mismo y producirse fragilidad a temperaturas elevadas. Por este motivo, cuando se inspeccione un elemento de muy alta responsabilidad y sensible al azufre, se debe comprobar cuidadosamente la composición del revelador.

Una vez acabada la inspección e interpretación del ensayo hay que eliminar la capa blanca del penetrante, bien con agua o con disolvente, nunca se debe de dejar restos del penetrante en las piezas o equipos.

#### *Reveladores disueltos en agua*

La utilización de este tipo de revelador es muy restringida, ya que los principales problemas se plantean a la hora de elegir materiales con las características de un buen revelador y que se disuelvan bien en el agua.

Otros problemas que se plantean son los posibles problemas de corrosión y el tiempo que se necesita para que el agua se evapore de la capa de revelador, con lo que la duración del ensayo es un inconveniente.

En contraposición desaparecen los problemas de una buena uniformidad de la superficie y de una fácil eliminación al final del ensayo.

#### *Reveladores suspensión del polvo en agua*

La idea de suspender el polvo en agua nació cuando se comenzaron a inspeccionar grandes series de piezas con formas exteriores diversas y por lo tanto, con dificultades a la hora de aplicar el revelador. Otro problema que se originó fue el de la pérdida de tiempo que se originaba en estas series tan grandes.

Una vez resuelto el problema de homogeneizar la mezcla de polvo en agua sin que se apelmazara ni se presentaran grumos y siempre manteniéndose las características propias del revelador, se comprobó la posibilidad de coger gran cantidad de pequeñas piezas de forma

superficial irregular, y una vez pasada la etapa de limpieza del exceso de penetrante, se podían sumergir en cubas de revelador suspendido en agua con lo que todas las superficies de la pieza quedaban cubiertas inmediatamente.

Lógicamente la suspensión debía de poder cubrir correctamente la superficie enmascarando restos posibles de algún contaminante. Al finalizar la aplicación se introducen las piezas en un secador, evaporándose rápidamente el agua y dejando una fina capa de revelador. Además del método de inmersión, también se puede aplicar a chorro mediante spray. Es de gran importancia el obtener una mezcla bien agitada pues de lo contrario puede variar el espesor de la capa y no tener uniformidad, no se debe aplicar con temperaturas muy elevadas por problemas de evaporación, ni con muy bajas temperaturas por problemas de congelación; en algunos casos ensayando piezas demasiado frías se puede congelar su superficie aunque el baño de polvo disuelto en agua se mantenga a buena temperatura con calentadores.

Al igual que en todos los casos anteriores, una vez finalizado el ensayo, se debe de eliminar todos los restos de revelador.

#### **6.2.4.3. Selección del revelador**

Obviamente es conveniente hacer una elección adecuada del revelador para tener la seguridad de que la evaluación es lo más correcta posible con unos niveles mínimos de contraste y visibilidad. Se ha comprobado que la aplicación de un revelador seco en superficies muy lisas de acabado no es conveniente ya que la adherencia del polvo sobre el material no es muy buena, en este caso es mejor utilizar reveladores de tipo húmedo.

Se deben tener en cuenta las siguientes reglas generales para tener en cuenta antes de la selección:

- Utilizar reveladores húmedos acuosos o no acuosos en superficies con acabados muy finos y bien pulimentados.
- En superficies muy rugosas utilizar reveladores secos, ya que los húmedos se acumulan en irregularidades falsificando el ensayo al no tener superficies uniformes.
- Los reveladores húmedos son convenientes en procesos de grandes series de piezas en procesos automáticos.
- En piezas con entallas agudas (pernos roscados, etc.) no se deben de utilizar reveladores húmedos ya que podrían dar acumulaciones de revelador en esas zonas.
- En superficies rugosas en las que se haya ensayado con reveladores húmedos, es difícil re-inspeccionar de nuevo.

En general hay que tener presente que lo que se busca a través del revelador es la facilidad de encontrar discontinuidades, por lo que es conveniente escoger un método de aplicación que en cada caso (condiciones de ensayo) favorezca este efecto.

En relación con los tiempos requeridos de revelado, actualmente las características de la mayoría de los reveladores permiten unos tiempos relativamente cortos del orden de 1 minuto. Cuando se utilizan reveladores tipo acuoso el tiempo de revelado será más largo. Una forma práctica a utilizar en el caso de que no se puedan obtener los tiempos de revelado es dar la mitad del tiempo de penetración.

#### **6.2.5. Ventajas y limitaciones de los líquidos penetrantes.**

*Ventajas:*

- La inspección por Líquidos Penetrantes es extremadamente sensible a las discontinuidades abiertas a la superficie.
- La configuración de las piezas a inspeccionar no representa un problema para la inspección.
- Son relativamente fáciles de emplear.
- Brindan muy buena sensibilidad.

- Son económicos.
- Son razonablemente rápidos en cuanto a la aplicación, además de que el equipo puede ser portátil.
- Se requiere de pocas horas de capacitación de los Inspectores.

*Limitaciones:*

- Sólo son aplicables a defectos superficiales y a materiales no porosos.
- Se requiere de una buena limpieza previa a la inspección.
- No se proporciona un registro permanente de la prueba no destructiva.
- Los Inspectores deben tener amplia experiencia en el trabajo.
- Una selección incorrecta de la combinación de revelador y penetrante puede ocasionar falta de sensibilidad en el método.
- Es difícil quitarlo de roscas, ranuras, huecos escondidos y superficies ásperas.

En la siguiente Figura 38, se puede visualizar el procedimiento general de ejecución del método de LP.

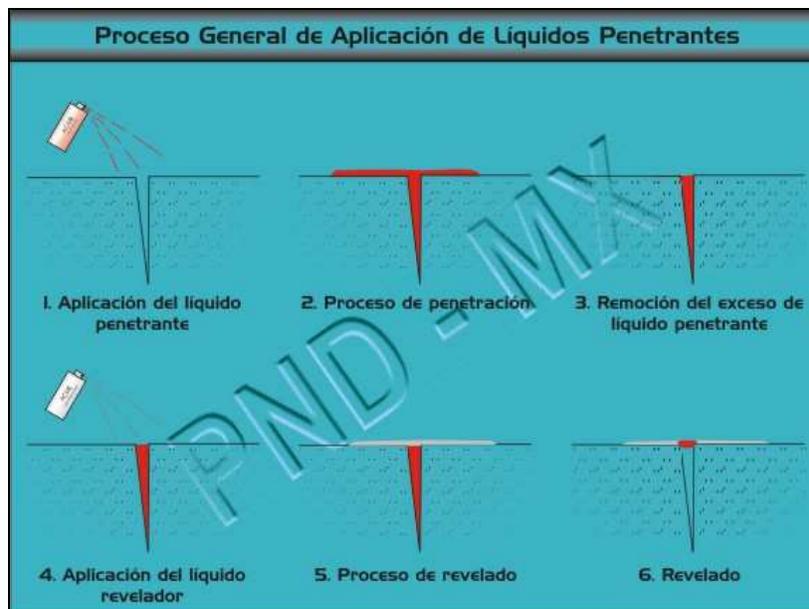


Figura 38. Proceso general de líquidos penetrantes

### 6.3. Partículas Magnéticas

Este método de Prueba No Destructiva, se basa en el principio físico conocido como Magnetismo, el cual exhiben principalmente los materiales ferrosos como el acero y, consiste en la capacidad o poder de atracción entre metales. Es decir, cuando un metal es magnético, atrae en sus extremos o polos a otros metales igualmente magnéticos o con capacidad para magnetizarse. La técnica de partículas magnéticas es una técnica no destructiva relativamente sencilla, basada en la propiedad de ciertos materiales de convertirse en un imán.

El ensayo de partículas magnéticas es una PND que consiste en someter a la pieza a inspeccionar a una magnetización adecuada y espolvorear sobre la misma finas partículas de material ferromagnético. Así es posible detectar discontinuidades superficiales y subsuperficiales en materiales ferromagnéticos.

Cuando un material ferromagnético se magnetiza, aplicando a dos partes cualesquiera del mismo los polos de un imán, se convierte en otro imán, con sus polos situados antagónicamente respecto del imán original.

La formación del imán en la pieza a ensayar implica la creación en su interior de unas líneas de fuerza que van desde el polo del imán inductor al otro, pasando por una zona inerte denominada línea neutra.

Estas líneas de fuerza forman un flujo magnético uniforme, si el material es uniforme. Sin embargo, cuando existe alguna alteración en el interior del material, las líneas de fuerza se deforman o se producen polos secundarios. Estas distorsiones o polos atraen a las partículas magnéticas que se aplican en forma de polvo o suspensión en la superficie a inspeccionar y que por acumulación producen las indicaciones que se observan visualmente de manera directa o bajo luz ultravioleta.

### **6.3.1. Descripción de las Partículas Magnéticas**

Es un método que utiliza principalmente corriente eléctrica para crear un flujo magnético en una pieza y al aplicarse un polvo ferromagnético produce la indicación donde exista distorsión en las líneas de flujo (fuga de campo).

Propiedad física en la que se basa. (Permeabilidad):

- Propiedad de algunos materiales de poder ser magnetizados.
- La característica que tienen las líneas de flujo de alterar su trayectoria cuando son interceptadas por un cambio de permeabilidad.

Tipos de discontinuidades:

- Superficiales
- Subsuperficiales (muy cercanas a la superficie)

Las partículas magnéticas se utilizan para la detección de discontinuidades superficiales y subsuperficiales (hasta 1/4" de profundidad aproximadamente, para situaciones prácticas) en materiales ferromagnéticos.

Es sensible para la detección de discontinuidades de tipo lineal, tales como;

- Grietas de fabricación o por fatiga.
- Desgarres en caliente.
- Traslapes.
- Costuras, faltas de fusión.
- Laminaciones
- Poros
- Traslapes

### **6.3.2. Clasificación de los materiales para su inspección.**

Dentro de la inspección debemos tomar en cuenta el tipo de materiales que se inspeccionan, y para ello existe una clasificación que nos permite realizar una inspección confiable y adecuada.

Los materiales se clasifican en:

- Diamagnéticos: Son levemente repelidos por un campo magnético, se magnetizan pobremente.
- Paramagnéticos: Son levemente atraídos por un campo magnético, No se magnetizan.
- Ferromagnéticos: Son fácilmente atraídos por un campo magnético, se magnetizan fácilmente. Este tipo de materiales son los más óptimos para utilizar la prueba de partículas magnéticas.

Tabla 10. Clasificación de los materiales para su inspección con partículas magnéticas.

Diamagnéticos	Paramagnéticos	Ferromagnéticos
<ul style="list-style-type: none"> <li>•No son magnetizables.</li> <li>•No son atraídos por un campo magnético.</li> <li>•Son ligeramente repelidos por un campo magnético.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Materiales que son débilmente atraídos por un campo magnético y tienen una pequeña tendencia a la magnetización; estos no son inspeccionables por partículas magnéticas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Son fácilmente magnetizables.</li> <li>•Son fuertemente atraídos por un campo magnético.</li> <li>•Son capaces de retener su magnetización después que la fuerza magnetizante ha sido removida.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Mercurio.</li> <li>•Oro.</li> <li>•Bismuto.</li> <li>•Zinc.</li> <li>•Cobre</li> <li>•Plata.</li> <li>•Plomo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Aluminio, magnesio.</li> <li>•Molibdeno, litio.</li> <li>•Cromo, platino.</li> <li>•Sulfato de cobre.</li> <li>•Estaño, potasio.</li> <li>•Aceros inoxidable auténticos y de la serie 300.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hierro, níquel, cobalto y gadolinio.</li> <li>•Mayoría de los aceros, inclusive inoxidable de la serie 400 y 500.</li> <li>•Aleaciones de cobalto y níquel.</li> <li>•Aleaciones de cobre, manganeso y aluminio.</li> </ul>

Fuente: **RAMÍREZ GÓMEZ, FRANCISCO**. Introducción a los métodos de ensayos no destructivos de control de la calidad de los materiales. 3ª Edición. Madrid. 776 páginas.

### **6.3.3. Técnicas de un ensayo de partículas magnéticas:**

#### *Dirección de la magnetización*

Las líneas de fuerza de un campo magnético inducido siguen la orientación de la regla de la "mano derecha" de forma que si se agarra con dicha mano una varilla orientando el dedo pulgar en el sentido de la corriente, los demás dedos indican la dirección de las líneas de fuerza. Esto quiere decir que cuando se aplica una corriente a una barra magnética, se generan corrientes circulares transversales muy apropiadas para detectar defectos longitudinales. Esto es debido a que el descubrimiento de las heterogeneidades del material se produce cuando dichos defectos son perpendiculares a las líneas del campo magnético. Si por el contrario, la barra tuviese grietas transversales sería necesario inducir campos magnéticos transversales. Esto indica que para hacer una buena inspección, se deben aplicar dos campos magnéticos, perpendiculares entre sí, para asegurarse de que se atraviesan todas las heterogeneidades del material.

#### *Profundidad de la detección*

La profundidad del campo magnético inducido por una corriente eléctrica es tanto mayor cuanto mayor sea la frecuencia de la corriente. Por tanto, con corriente continua se pueden llegar a detectar discontinuidades de hasta 6mm de profundidad, mientras que con corriente alterna (50Hz) sólo se lograrán detectar discontinuidades que se encuentren a una profundidad inferior a 0,5mm. Sin embargo, la corriente alterna presenta un mejor comportamiento para la detección de heterogeneidades superficiales, debido a que la alternancia de los campos magnéticos somete a las partículas magnéticas a una intensa agitación que facilita su atracción por los campos de fuga. En lo que se refiere a corrientes rectificadas, la corriente monofásica rectificada conserva la alternancia de intensidad sometiendo a las partículas a una intensa agitación mientras que la corriente trifásica rectificada se comporta prácticamente como si fuera corriente continua.

### *Valor de la corriente de magnetización*

La corriente de cada ensayo debe determinarse en el procedimiento correspondiente. La intensidad de la corriente eléctrica debe ser la adecuada para permitir la detección de todas las heterogeneidades superficiales y subsuperficiales relevantes. Debe tenerse en cuenta que una intensidad excesiva produce sobresaturación magnética, dando lugar a indicaciones erróneas; mientras que una intensidad baja genera campos de fuga débiles incapaces de atrapar las partículas.

### *Partículas magnéticas*

Como partículas magnéticas se utilizan limaduras u óxidos de hierro, de tamaño comprendido entre 0,1 y 0,4mm, con colores que ayuden a mejorar el contraste como son el negro, rojo y verde. También se utilizan partículas fluorescentes, que suelen proporcionar una posibilidad de localización de hasta 100 veces más que las visibles, si se aplican por vía húmeda. Normalmente se emplean partículas de varios tamaños mezcladas en una proporción idónea teniendo en cuenta que las más pequeñas y alargadas aumentan la sensibilidad y las más gruesas y redondas ayudan a detectar grandes discontinuidades y arrastran a las más pequeñas evitando que se formen falsas indicaciones.

### *Desmagnetización*

Todos los materiales ferromagnéticos sometidos a un campo magnético conservan, después de cesar la acción del campo, un cierto magnetismo, llamado remanente o residual, que puede ser perjudicial. Existen varios procedimientos para llevar a cabo la desmagnetización, cuyo fundamento se explica mediante el concepto de histéresis y todos ellos operan, de forma general, sometiendo a la pieza a un campo magnético alterno cuya intensidad va gradualmente decreciendo hasta anularse. El método más extendido es el de la desmagnetización con bobina de corriente alterna, que consiste en colocar la pieza en el interior de una bobina por la cual circula corriente alterna alejándola lentamente hasta unos 2m. A esa distancia se considera que la influencia del campo es nula y se corta la corriente.

### **6.3.4. Método de magnetización:**

*En función del tipo de campo magnético:*

Magnetización longitudinal: se denomina así al método de magnetización que produce un campo magnético en la dirección longitudinal de la pieza (figura 1). Se obtiene por inducción del campo mediante bobinas o electroimanes. Esta técnica se recomienda para la detección de discontinuidades transversales.

Magnetización circular: en este caso, el flujo de corriente eléctrica que atraviesa la pieza produce un campo magnético cuyas líneas de flujo forman unas curvas cerradas alrededor de la pieza. Este tipo de magnetización se consigue tanto por inducción como por paso de corriente eléctrica a través de la pieza. Se usa para la detección de discontinuidades longitudinales.

Magnetización multidireccional: este método consiste en aplicar dos o más campos magnéticos, uno longitudinal y otro circular, en direcciones distintas y en sucesiones rápidas de forma secuencial.

*En función de cómo se realiza la magnetización:*

Magnetización por conducción de corriente eléctrica: en esta técnica la magnetización se obtiene mediante el paso de corriente a través de la longitud de la pieza a examinar. Se puede realizar mediante:

- *Puntas de contacto (electrodos):* Este técnica induce un campo magnético circular que depende de la distancia entre los electrodos y de la corriente eléctrica que circula por

ellos. Se emplea para la inspección de piezas fundidas, soldaduras y en la industria siderúrgica entre otros.

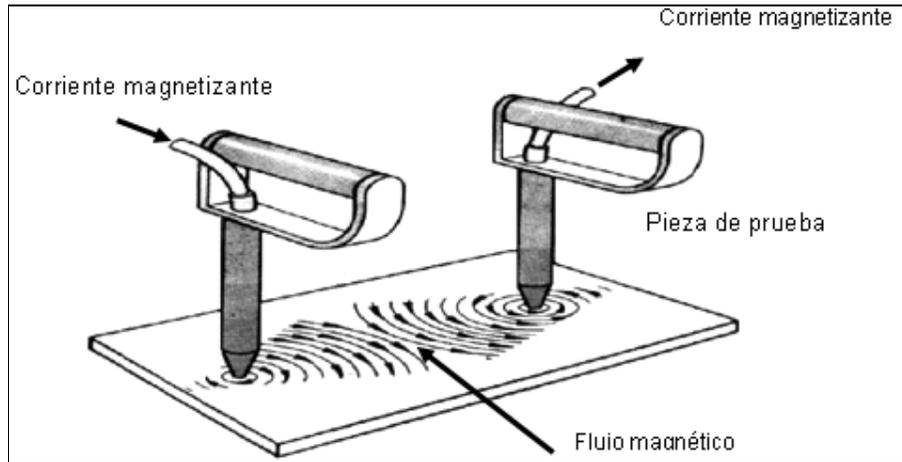


Figura 39 Magnetización con puntas de contacto.

- *Técnica de contacto directo:* La magnetización se efectúa por el paso de corriente de un extremo a otro de la pieza. Tiene su mayor aplicación en máquinas estacionarias.
- *Entre Cabezales:* La pieza es colocada entre dos cabezales y se aplica la corriente directamente a través de ella, esto produce un campo magnético circular aproximadamente perpendicular a la dirección del flujo de la corriente.

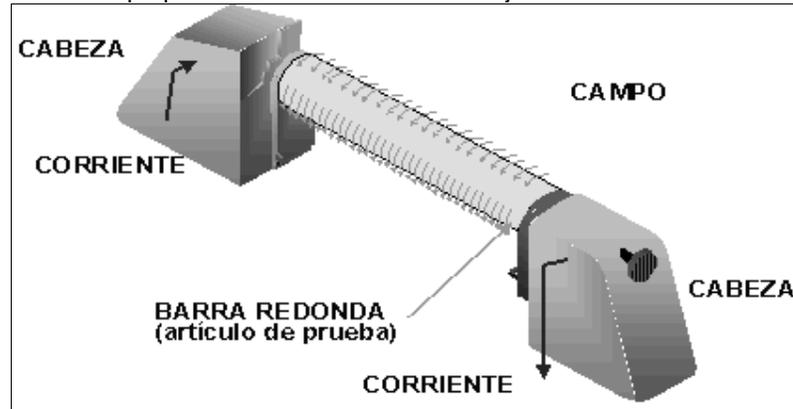


Figura 40. Magnetización entre causales

### 6.3.5. Técnicas de magnetización por inducción de campo magnético:

- *Magnetización con solenoide (técnica de la bobina):* En esta técnica la pieza se coloca en el interior de una bobina formada por un arrollamiento de hilos conductores de corriente eléctrica alterna o continua de forma que se crea un campo magnético cuyas líneas de fuerza son paralelas al eje de la pieza.
- *Magnetización por yugo:* la magnetización se produce por la inducción de un campo magnético generado por un electroimán en forma de "U" invertida que se apoya sobre la pieza a inspeccionar, generando un campo magnético longitudinal entre las patas del yugo.
- *Técnica del conductor central:* se caracteriza por el paso de un hilo conductor por el centro de la pieza a inspeccionar. La circulación de corriente eléctrica a través del conductor permite inducir un campo magnético circular en la superficie interna y/o externa de la pieza. Es un método muy adecuado para la inspección de piezas con geometría circular.

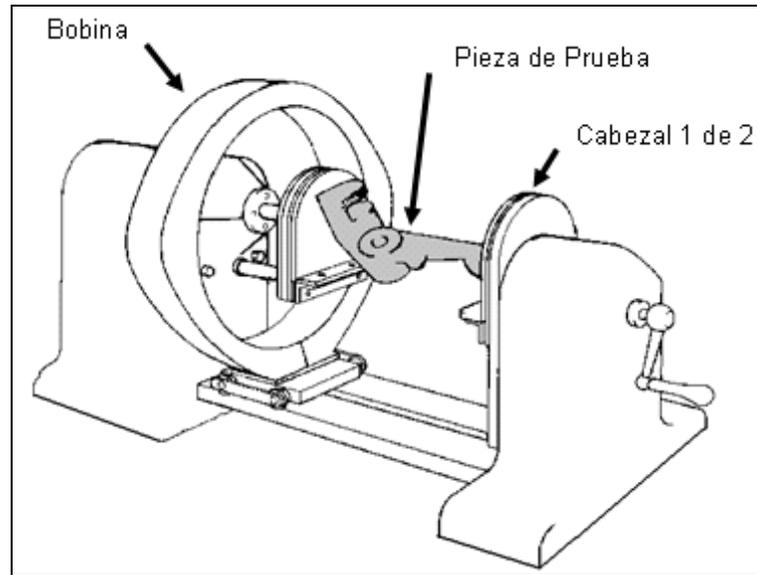


Figura 41. Magnetización con solenoide (bobina)

### **6.3.6. Método de aplicación de las partículas magnéticas:**

El éxito de la prueba depende de la selección del medio y del método utilizado para el desarrollo.

#### *Medio:*

Material a través del cual las dispersiones en el campo magnético se hacen visibles y que pueden aplicarse sobre la pieza en forma seca o húmeda.

#### *Vía seca:*

Las partículas son aplicadas directamente sobre la superficie magnetizada de la pieza con la ayuda de aplicadores manuales de polvo (por ejemplo, pinceles) o bombas de pulverización. Esta técnica permite la recuperación de las partículas libres de contaminación una vez inspeccionada la pieza. Comparado con el método por vía húmeda, es un método mucho más cómodo y limpio, es más fácil de utilizar en piezas grandes y con equipos portátiles a pie de obra y permite localizar con facilidad discontinuidades subsuperficiales.

#### *Vía húmeda:*

Las partículas se encuentran en suspensión en un medio líquido, que puede ser agua, queroseno o derivados del petróleo. Las partículas tienen una granulometría mucho más fina que permite detectar discontinuidades mucho más pequeñas. En este método las partículas, al encontrarse en dispersión, tienen una mayor movilidad que por vía seca, cubriendo con facilidad piezas grandes o irregulares. Es el método más rápido para el control de grandes series de piezas pequeñas.

#### *Campo continuo:*

Las partículas magnéticas se aplican mientras fluye la corriente de magnetización.

*Campo residual:*

Las partículas son aplicadas después de que la pieza haya sido magnetizada.

**6.3.7. Procedimiento a seguir en la prueba de partículas magnéticas.**

Según diferentes normas de Pruebas no destructivas, un procedimiento es "una descripción escrita de todos los parámetros esenciales y las precauciones a tener en cuenta cuando se aplica una técnica de END a un control específico, realizada conforme a un código, una norma o una especificación dada".

Como se ha mencionado, el procedimiento debe recoger la secuencia de operaciones básicas para la realización de una prueba, que en el caso de la prueba por partículas magnéticas es la siguiente:

1.- Adecuación de la superficie de la pieza a ensayar: Consiste en la limpieza de la superficie a inspeccionar de forma que se eliminen las impurezas perjudiciales para el ensayo, permitiendo la interacción de las partículas con los campos de fuga, proporcionando un buen contraste entre partículas y superficie. Los métodos más empleados son:

- Granalla de acero.
- Cepillo de acero.
- Disolvente.
- Limpieza química.

2.- Magnetización de la pieza usando las técnicas y equipos descritos en el apartado de técnicas de ensayo.

3.- Aplicación de las partículas magnéticas por vía seca o por vía húmeda de manera uniforme a lo largo de la superficie y en la cantidad correcta.

4.- Observación, interpretación y evaluación de las indicaciones, con la consiguiente obtención de registros.

5.- Limpieza final.

6.- Desmagnetización de la pieza, si procede.

Para el caso concreto de la prueba de partículas magnéticas el procedimiento escrito debe contener, por lo menos, la siguiente información:

- Identificación del procedimiento: número de procedimiento y fecha en la que fue escrito.
- Identificación de las piezas en las que el procedimiento es aplicable, incluido el tipo de material.
- Secuencia de ensayo.
- Identificación de los patrones utilizados para la verificación del funcionamiento del equipo.
- Áreas de la pieza que serán inspeccionadas, incluyendo un croquis o fotografía.
- Preparación de la pieza antes del ensayo.
- Direcciones de posicionamiento del equipo.
- Tipo de corriente y tipo de equipo a ser utilizado.
- Método utilizado para magnetizar (contactos, yugo, bobina, etc.).
- Direcciones de magnetización.
- El nivel de corriente o el número de amperios/espira.
- Tipo de partículas magnéticas (secas o húmedas, visibles o fluorescentes).
- Tipo de registro y método de marcado de las piezas después del ensayo (inspección).

- Criterios de aceptación a ser utilizados en la evaluación de las indicaciones.
- Las técnicas de desmagnetización y limpieza final.

### **6.3.8. Ventajas y limitaciones de Partículas Magnéticas**

*Ventajas de la inspección mediante partículas magnéticas (con respecto a la inspección por líquidos penetrantes):*

- Puede revelar discontinuidades que no afloran a la superficie.
- Requiere de un menor grado de limpieza.
- Generalmente es un método más rápido y económico al no precisar equipos electrónicos.
- Tiene una mayor cantidad de alternativas.
- No requiere condiciones de limpieza excesivamente rigurosas.
- Puede aplicarse a piezas de tamaño y forma variables.

*Limitaciones de la inspección mediante partículas magnéticas:*

- Sólo detectan discontinuidades perpendiculares al campo.
- Son aplicables sólo en materiales ferromagnéticos.
- No tienen gran capacidad de penetración.
- El manejo del equipo en campo puede ser caro y lento.
- Generalmente requieren de un proceso de desmagnetización y de eliminación de las partículas aplicadas.

## **6.4. Ultrasonido**

El método de Ultrasonido se basa en la generación o propagación de ondas sonoras a través del material. Un sensor, que contiene un elemento piezo-eléctrico, convierte los pulsos eléctricos en pequeños movimientos o vibraciones, con una frecuencia imperceptible al oído humano. Estas vibraciones se propagan a través del material, y cuando su camino es interrumpido por una interface, sufren reflexión, refracción ó distorsión. Dicha interrupción se traduce en un cambio de intensidad, dirección y ángulo de propagación, cambio que es detectado y registrado a través de una pantalla o monitor especialmente diseñado para tal finalidad.

Este método es uno de los principales métodos de ensayos no-destructivos, para el control de la calidad y evaluación de materiales en la industria de hoy en día.

Su aplicación permite conocer la integridad del material en su espesor y detectar discontinuidades internas que no son visibles en la superficie de la soldadura. Además de la determinación de diferencias en la estructura del material y sus propiedades físicas.

### **6.4.1. Antecedentes Históricos**

La posibilidad de utilizar el ultrasonido para realizar pruebas no destructivas fue reconocida en 1930 en Alemania por Mulhauser, Trost y Pohlman, y en Rusia por Sergei Sokoloff, quienes investigaron varias técnicas empleando ondas continuas.

Los equipos detectores de fallas fueron originalmente desarrollados, basándose en el principio de la interceptación de la energía ultrasónica por discontinuidades grandes durante el paso del haz ultrasónico.

Posteriormente, esta técnica recibió el nombre de inspección a través. Este sistema de inspección presentaba ciertas limitaciones, principalmente, la necesidad del acceso en ambas superficies de la pieza inspeccionada para colocar un transductor en cada superficie.

No se encontró un método práctico de inspección hasta que el Dr. Floyd Firestone (EUA) inventó un aparato empleando haces de ondas ultrasónicas pulsadas para obtener reflexiones de defectos pequeños, conocido como "Reflectoscopio Supersónico". En el mismo periodo en Inglaterra, Sproule desarrolló equipos de inspección ultrasónica en forma independiente.

Como sucedió en la inspección radiográfica, al principio, los equipos fueron desarrollados para ser usados como herramientas de laboratorio y no como equipos de inspección.

En la universidad de Michigan, Firestone y su grupo de trabajo investigaron los mecanismos de operación de los transductores, el uso de ondas transversales, la aplicación de las ondas superficiales o de Rayleigh, el dispositivo Raybender para la inspección por haz angular con variación del ángulo, el empleo de la columna de retardo para la inspección en zonas cercanas a la superficie de entrada, un método de resonancia por pulsos para la medición de espesores, y varias técnicas empleando ondas de placa o de Lamb.

El desarrollo reciente del método de inspección por ultrasonido esta relacionado, en primera instancia, con lo siguiente:

1. Alta velocidad en la aplicación de sistemas automatizados de inspección.
2. Instrumentos mejorados para obtener gran resolución en la detección de fallas.
3. Una mejor presentación de los datos.
4. Interpretación simple de los resultados.
5. Estudio avanzado de los cambios finos de las condiciones metalúrgicas.
6. Análisis detallado de los fenómenos acústicos involucrados.

El primer instrumento ultrasónico medidor de espesores comercial, que usaba los principios derivados del sonar, fue introducido al final de los años 40. En los años 70 fueron comunes los instrumentos portátiles pequeños utilizados para una amplia variedad de aplicaciones. Recientemente, los avances en la tecnología de microprocesadores ha dejado nuevos niveles de funcionalidad en instrumentos miniatura sofisticados y fáciles de usar.

#### **6.4.2. Métodos básicos de inspección**

Los dos métodos más importantes para la inspección por ultrasonido son el método de transmisión y el método eco-pulsado. La principal diferencia entre estos dos métodos es que el método de transmisión involucra solo la medición de la atenuación de la señal, mientras que el método eco-pulsado puede ser utilizado para medir el tiempo de tránsito y la atenuación o disminución de la señal.

##### *Método eco-pulsado*

Es el más utilizado en inspecciones ultrasónicas, involucra la detección de ecos producidos cuando un pulso ultrasónico es reflejado por una discontinuidad o una interface en una pieza de trabajo. Este método es utilizado para detectar la localización de la falla y para medir espesores.

La profundidad de la falla está determinado por el "tiempo de vuelo" entre el pulso inicial y el eco producido por la falla. La profundidad de la falla también se puede determinar por el tiempo relativo de tránsito entre el eco producido por una falla y el eco de la superficie de respaldo.

Las dimensiones de las fallas se estiman comparando la amplitud de la señal del sonido reflejado por una interface con la amplitud del sonido reflejado desde un reflector de referencia de tamaño conocido o por una pieza de respaldo que no contenga fallas.

En el método eco-pulsado pequeñas ráfagas de energía ultrasónica (pulsos) son introducidas dentro de la pieza de trabajo a intervalos regulares de tiempo. Si los encuentra una superficie reflectiva, toda o alguna parte de la energía es retornada. La proporción de energía que es

reflexiva es altamente dependiente del tamaño de la superficie reflectiva en relación con el tamaño del haz incidente.

La dirección del haz reflejado (eco) depende de la orientación de la superficie reflectiva respecto a la dirección de incidencia del haz. La energía reflejada es monitoreada, ambas, la cantidad de energía reflejada en una dirección específica y el tiempo de demora entre la transmisión del pulso inicial.

Principio de los métodos eco-pulsados:

La mayoría de los equipos de eco-pulsado consisten en:

- En reloj electrónico.
- Un generador electrónico de señal o pulsador.
- Un transductor de envío.
- Un transductor de recepción.
- Un amplificador de eco-señal.
- Un dispositivo de salida.

#### *Método de transmisión*

EL método de transmisión el cual incluye tanto reflexión como transmisión, involucra solo la medición de la atenuación o disminución de señal. Este método también se utiliza para la detección de fallas. En el método eco-pulsado, es necesario que una falla interna refleje al menos una parte de la energía sonora sobre un transductor de recepción.

Los ecos de las fallas no son necesarios para su detección. El hecho de que la amplitud de la reflexión de una pieza de trabajo es menor que la de una pieza idéntica libre de fallas implica que la pieza tiene una o más fallas. La técnica para detectar la presencia de fallas por la atenuación de sonido es utilizada en los métodos de transmisión así como en los métodos eco-pulsados.

La principal desventaja de los métodos de atenuación es que la profundidad de la falla no puede ser medida. En este tipo de método la transmisión se realiza por haz directo o reflectivo, las fallas son detectadas comparando la intensidad del ultrasonido transmitido a través de la pieza contra la intensidad transmitida a través de una referencia estándar fabricada del mismo material.

Las pruebas de transmisión requieren de dos unidades de búsqueda, una para transmitir las ondas ultrasónicas y otra para recibirlas. Un buen acoplamiento es crítico para los métodos de transmisión debido a las variaciones de sonido durante la transmisión.

### **6.4.3. Características generales de las ondas ultrasónicas**

Las ondas ultrasónicas son ondas mecánicas (en contraste por ejemplo con los rayos x que son ondas electromagnéticas) que consisten en vibraciones oscilatorias de partículas atómicas o moleculares de una substancia. Las ondas de ultrasonido se comportan igual que las ondas de sonido audible. Se pueden propagar a través de un medio elástico, ya sea sólido, líquido o gaseoso, pero no al vacío.

En varios aspectos, un haz de ultrasonido es similar a un haz de luz, ambos son ondas y obedecen a la ecuación general de ondas. Cada onda viaja con características diferentes las cuales dependen del medio en el que se propaguen no de las características de la onda. Como un haz de luz, un haz de ultrasonido es reflejado de las superficies, refractado cuando cruza las fronteras entre dos substancias que tienen diferentes características de velocidades y difractados en los bordes o alrededor de los obstáculos.

#### *Propagación de las ondas:*

Las ondas ultrasónicas (y otras ondas de sonido) se propagan en cierta medida en cualquier material elástico. Cuando las partículas atómicas o moleculares de un material elástico son desplazadas de sus posiciones de equilibrio por cualquier fuerza aplicada, esfuerzos internos actúan para restaurar o reacomodar a sus posiciones originales.

#### *Propiedades de las ondas ultrasónicas:*

Las ondas ultrasónicas pueden desplazarse por el medio en forma de ondas longitudinales (las partículas vibran en la dirección de propagación de la onda), transversales (las partículas vibran perpendicularmente) o de superficie (los movimientos de las partículas forman elipses en un plano paralelo a la dirección de propagación y perpendicular a la superficie).

Los ultrasonidos van a tener una característica muy importante que los diferencia de los sonidos de menor frecuencia, la direccionalidad, es decir, la onda ultrasónica no se propaga en todas direcciones sino que forma un haz de pequeño tamaño que puede ser "enfocado".

### **6.4.4. Elementos de un Equipo de Ultrasonido**

Un sistema de inspección por ultrasonido, principalmente esta compuesto por los siguientes elementos: sistema de inspección ultrasónica esta compuesto por los siguientes elementos:

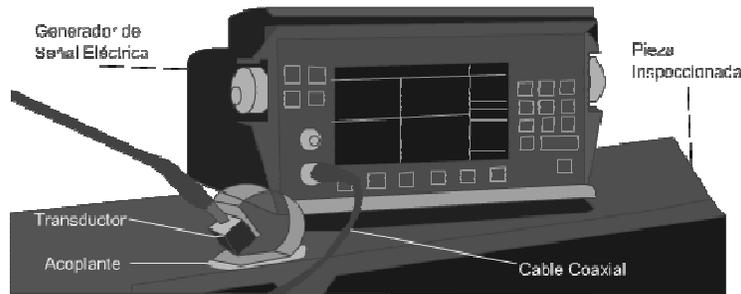


Figura 42. Elementos de un Equipo de Ultrasonido

### **6.4.5. Procedimiento a seguir.**

Se recomienda que todo personal para pruebas ultrasónicas deberá estar calificado de acuerdo con lo previsto en las prácticas dadas a conocer por la Sociedad Americana de Pruebas No-Destructivas.

También se recomienda aplicar una limpieza manual en toda el área de la soldadura y sus alrededores, con el propósito de eliminar todo rastro de suciedad presente en la misma. La superficie debe estar libre de suciedad y completamente seca. Se calibrará el equipo a una frecuencia nominal de 4 MHz.

A continuación se muestra una breve descripción del procedimiento a seguir al realizar una prueba por ultrasonido:

- 1) Una vez limpia la superficie se procederá a la aplicación del acoplante, (ej.: aceite).
- 2) Si el haz ultrasónico es suficientemente divergente, se cubre la altura o espesor de la unión sin necesidad de desplazar el palpador con movimiento de vaivén entre las distancias.
- 3) Si la muestra es gruesa y el haz estrecho, una vez orientado el palpador con un ángulo recto con la unión soldada, habrá que desplazarlo.

- 4) Seguir un movimiento de vaivén, entre una ubicación de distancias, a fin de explorar la sección entera de la unión, y un poco mas para tener en cuenta el ancho del cordón.
- 5) Para mayor seguridad, se recomienda repetir el ensayo desde el otro lado de la unión, ya que algunas heterogeneidades se detectan mejor en una dirección que en la otra.

#### 6.4.6. Interpretaciones de las indicaciones o resultados

La presentación de los resultados es del tipo AScan en la cual la altura de los ecos de indicación o "picos", representan la intensidad del haz ultrasónico reflejado. La línea base horizontal indica el tiempo o la distancia de recorrido, mientras que verticalmente se observa la amplitud de la señal.

La forma de la indicación del eco, puede proporcionar alguna información acerca de la morfología de la heterogeneidad.

Si la indicación del eco alcanza una altura total con pocos escalones (nodos de alta frecuencia), normalmente suele proceder de un reflector plano irradiado en dirección próxima a la perpendicularidad en dicho plano, figura 43 (a).

Por el contrario si la heterogeneidad no es plana o es irregular o, siendo plana o rugosa no se irradia perpendicularmente, la elevación de la indicación del eco suele ser más gradual resultando, pues, más ancha, Figura 43 (b).

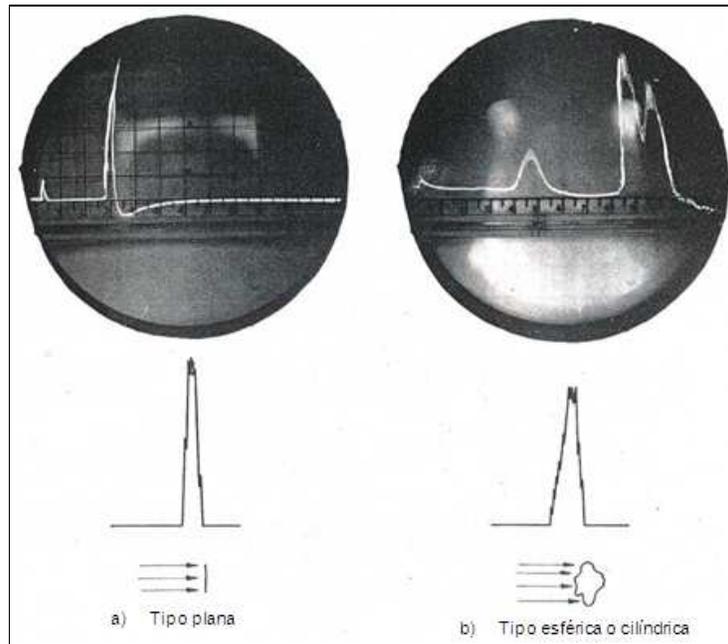


Figura 43. Interpretación de ultrasonido

#### 6.4.7. Ventajas y desventajas

Algunas de las principales ventajas de la inspección por ultrasonido son las siguientes:

- Poder superior de penetración, el cual permite la detección de defectos bajo la superficie del material. La inspección por ultrasonido es realizada en alrededores de espesores de unos pocos metros en muchos tipos de partes y espesores cerca de 6m en inspección axial de partes como en la longitud de un eje de acero o rotores forjados.
- Alta sensibilidad, permitiendo la detección de defectos extremadamente pequeños.

- Mayor exactitud que otros métodos no destructivos en la determinación de la posición de defectos internos, el cálculo de su tamaño, y caracterizar su orientación, forma, y naturaleza.
- Solamente necesita una superficie para acceder.
- La operación es electrónica, que proporciona indicaciones casi instantáneas de defectos. Esto hace el método conveniente para la interpretación inmediata, la automatización, la exploración rápida, la supervisión en línea de la producción, y el control de proceso. Con la mayoría de los sistemas, permanente los resultados de la inspección se puede anotar para la referencia futura.
- Capacidad volumétrica de la exploración, permitiendo la inspección de un volumen de metal que extiende de superficie delantera a la superficie trasera de una pieza
- Portabilidad.
- Proporciona una salida que se pueda procesar digital por una computadora para caracterizar defectos y para determinar características materiales.

Las desventajas por la prueba de ultrasonido son las siguientes:

- La operación manual requiere la atención cuidadosa de técnicos experimentados
- El conocimiento técnico extenso se requiere para el desarrollo de los procedimientos de la inspección.
- Las piezas que son ásperas, irregulares en forma, muy pequeña o fina, o no homogéneos son difíciles de examinar.
- Las discontinuidades que están presentes en una capa baja inmediatamente debajo de la superficie pueden no ser perceptibles.
- Los estándares de referencia son necesarios, para calibrar el equipo y para caracterizar defectos.

## **6.5. Pruebas de radiografía**

### **6.5.1. Introducción**

La inspección de soldaduras con radiografías es un tipo de ensayo no destructivo (END) que proporciona información sobre la calidad de la soldadura y los defectos que presenta. Así pues, es una técnica esencial para certificar la validez de las soldaduras.

Los objetivos de la práctica son:

Conocer□:

El fundamento por el cual las radiografías aportan información sobre el estado de una soldadura

Distinguir□:

Los distintos defectos detectables mediante radiografías de soldaduras, aprendiendo a identificarlos en las mismas

Tener□:

Los criterios fundamentales para valorar la calidad de la soldadura a partir de la radiografía y calificarla.

Para ello se mostrarán radiografías patrón con los diferentes defectos detectables. Una vez identificados, se pasará a estudiar cinco radiografías problema en las que habrá que indicar los posibles defectos presentes.

### **6.5.2. Procedimientos de la inspección**

La radiografía de las soldaduras estudia la forma de obtener e interpretar la imagen fotográfica producida al incidir rayos X sobre una placa sensible, después de haber atravesado una unión soldada. En esta práctica se utiliza un equipo de rayos X, radiaciones electromagnéticas al igual que la luz visible, pero de longitudes de onda diferentes (de mayor energía).

Esta técnica permite obtener información de los defectos superficiales o internos presentes en las uniones soldadas; mediante una normativa y en función de la magnitud de cada tipo de imperfección se asigna un nivel de calidad a cada soldadura o producto soldado.

Después de radiografiar obtenemos la imagen latente, revelado, fijado de la Imagen, lavado final, Secado, negatoscopio, interpretación (inspección).

La película radiográfica a utilizar es de grano medio, contraste medio y alta velocidad, de densidad  $D = 1.5$  (ASTM-Tipo III).

Para calcular la exposición se utilizan los ábacos construidos para cada equipo de rayos X, donde se parte de un tipo de película, densidad de película y distancia foco-película, y se calculan el resto de parámetros (calidad de la radiación, intensidad de la radiación y tiempo de exposición)

### **6.5.3. Evaluación del nivel de calidad**

Ésta se realiza después de la clasificación de las imperfecciones, y consiste en cuantificarla en términos de dimensión real, con las normas que nos rigen.

Hay 3 factores principales que determinan la calidad de la inspección radiográfica en la soldadura:

- *intensidad de la radiación (intensidad de la corriente del tubo, en mA).*
- *separación (foco emisor-chapa y chapa-película, en mm.).*
- *velocidad (tiempo de exposición, en min.).*

Siendo el primero el que influye en mayor medida. Hay otro factor, el kilovoltaje, que normalmente se suele dejar como una constante a partir del tiempo de exposición y del espesor de la pieza a partir de ábacos para cada equipo de rayos X (" 100 kV, en nuestro caso).

#### *Clasificación de las imperfecciones*

Una vez revelada la película procedemos a observar la imagen por transparencia en un negatoscopio.

Observamos las imperfecciones, las comparamos con las normas que nos rigen y finalmente le asignamos el número y designación de referencia de la norma; en nuestro caso sólo procederemos para la soldadura que nos corresponde (acero al carbono soldado con electrodo manual revestido), y los resultados se muestran en la tabla posterior.

Los defectos más fácilmente detectables son aquellos cuya máxima dimensión está orientada en la dirección de propagación de los rayos X. Son difícilmente detectables los defectos de poco espesor, aunque sean muy extensos, dispuestos perpendicularmente a la dirección de las radiaciones. Por este motivo el objeto debe ser examinado en distintas direcciones.

Los defectos detectables en las soldaduras son los siguientes:

- Cavidades y porosidades (sopladuras)
- Inclusiones sólidas (escorias)
- Fisuras o microgrietas
- Falta de penetración
- Falta de fusión (despego)
- Mordeduras
- Exceso de penetración (descuelgue)

A continuación se describe cada uno y se muestra un ejemplo de cómo se observan en las radiografías.

**Las porosidades**, por tener menor densidad que el metal, se dejan atravesar más fácilmente por la radiación, formando unas impresiones oscuras redondeadas. A veces se unen varios poros formando rosarios.

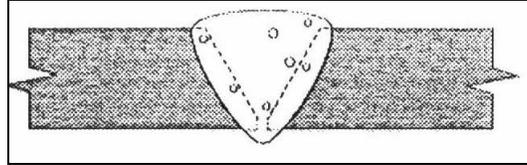


Figura 44. Poros

**Causas:**

- Metal base: Elevado contenido en Carbono (C), Azufre (S), o presencia de óxidos por falta de limpieza en la junta.
- Electrodo: Excesiva intensidad de corriente que provoca un calentamiento excesivo del electrodo y el despegue del revestimiento.
- Operación de la soldadura: Excesiva longitud el arco.

**Ejemplo.**

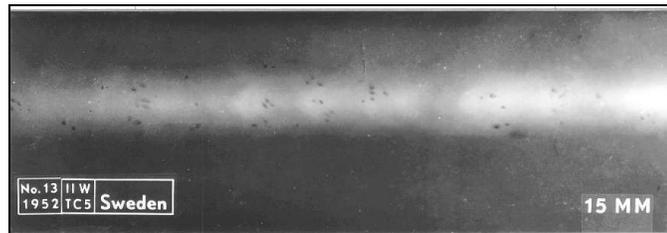


Figura 45. Detección de poros por radiografía

**Las inclusiones de escorias**, debido a su baja permeabilidad, debilitan enérgicamente los rayos X, dando unas impresiones inciertas, irregulares y desdibujadas. En algunos casos aparecen alineadas. La importancia del defecto depende del tamaño de la inclusión y la distancia que existe entre ellas, ya que si están próximas, la resistencia del material se reduce mucho. Dado que las escorias provienen del revestimiento, no tienen las propiedades mecánicas del metal base.

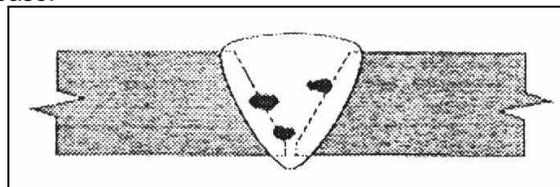


Figura 46. Inclusiones de escoria

**Causas:**

- Falta de limpieza de los cordones en soldaduras en varias pasadas.
- Cordones mal distribuidos.
- Inclinación incorrecta del electrodo.
- Baja intensidad de corriente en el electrodo.

Ejemplo.

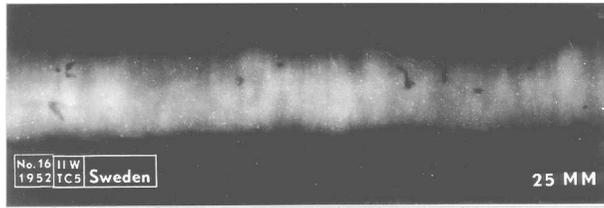


Figura 47. Detección de inclusiones de escoria por radiografía

**Las fracturas o microgrietas (longitudinales y transversales)**, aparecen en la placa como líneas oscuras, onduladas, de grueso variable y ramificadas. Las grietas mas peligrosas son las superficiales y orientadas en la dirección perpendicular a la de máxima sollicitación del material. Este defecto inhabilita la soldadura.

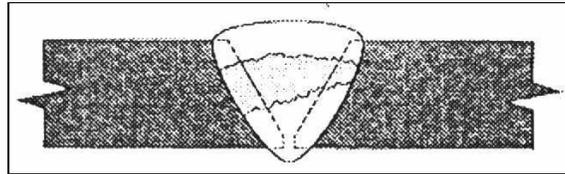


Figura 48. Fracturas

Causas:

- Metal base: Excesiva rigidez de la pieza. Se da en aceros con excesivo contenido en C, Mn, S, P.
- Electrodo: Material de aportación inapropiado para el metal base que se está soldando.
- Operación de soldadura: Por enfriamiento demasiado rápido del metal depositado, por insuficiente precalentamiento de la pieza, o por causas externas al proceso de soldadura.

Ejemplo:

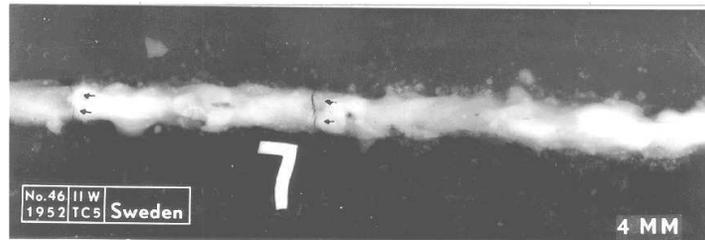


Figura 49. Detección de fracturas por radiografía

**Las socavaciones**, forman sobre la placa sombras oscuras a los lados de la costura de trazo rectilíneo y ancho uniforme. Este defecto produce una entalla física que puede dar origen a roturas.

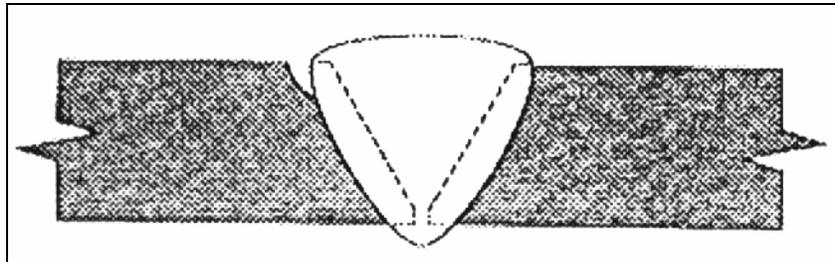


Figura 50. Socavaciones

Causas:

- Electrodo demasiado grueso.
- Inclinación inadecuada del electrodo.
- Excesiva intensidad de corriente al soldar.

Ejemplo:

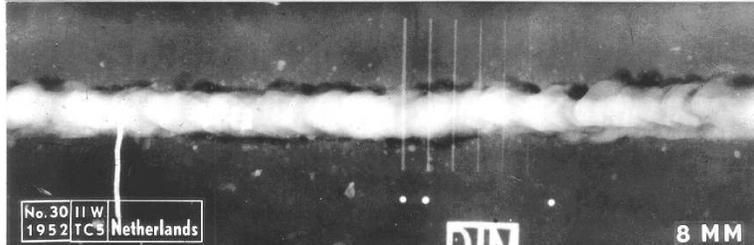


Figura 51. Detección de socavaciones por radiografía

#### 6.5.4. Técnicas de radiografía

En función de la disposición de los equipos que intervienen en la obtención de una radiografía podemos hablar de dos técnicas de ensayo diferentes, con variantes específicas:

*Técnica de pared simple:*

Recibe este nombre debido a que solamente realiza la interpretación de aquella pared que se encuentra más próxima a la película fotográfica. Es la técnica más empleada en la inspección radiográfica además de ser la de más fácil interpretación.

*Exposición panorámica:*

Esta técnica constituye una variante de la técnica de pared simple en la cual la fuente de radiación se debe colocar en un punto equidistante de la superficie y de la película radiográfica.

*Técnica de pared doble vista simple:*

En esta técnica el haz de radiación atraviesa dos paredes de la pieza pero solo proyecta sobre la película radiográfica aquella que esté más próxima a dicha película.

*Técnica de pared doble vista doble:*

En este caso, la radiación atraviesa dos paredes de la pieza proyectando ambas paredes sobre la película radiográfica.

Para realizar el ensayo radiográfico se pueden utilizar fundamentalmente dos tipos de fuentes:

- *Generadores de rayos X:* constan de un cilindro de alimentación donde se ha hecho el vacío previamente y que presentan un cátodo que al calentarse emite electrones. Estos electrones se aceleran por medio de un campo eléctrico hacia el ánodo sobre el que inciden con una alta energía. Solamente el 1% de esta energía se transforma en rayos X, transformación que tiene lugar en el foco térmico.
- *Fuentes isotópicas:* las fuentes isotópicas están constituidas fundamentalmente por una fuente radiactiva, un dispositivo para exponer dicha fuente y un blindaje. La fuente radiactiva consta de una determinada cantidad de isótopo radiactivo que se descompone de forma natural dando lugar a la radiación gamma.

### 6.5.5. Ventajas y desventajas

A continuación se presentan algunas de las principales ventajas y desventajas de la prueba no destructiva por radiografía:

*Ventajas:*

- Su uso se extiende a diversos materiales pudiendo usarse tanto con materiales metálicos como no metálicos.
- Proporciona un registro permanente del interior del material.
- Es fácil identificar los distintos tipos de discontinuidades.
- Revela discontinuidades estructurales y errores de ensamblaje.

*Limitaciones:*

- Es de difícil aplicación en piezas de geometría complicada o zonas poco accesibles.
- La pieza o zona a inspeccionar debe tener acceso en dos lados opuestos.
- No detecta discontinuidades de tipo laminar.
- Requiere instalaciones especiales, como área de exposición, equipo de seguridad y un cuarto oscuro para el proceso de revelado.
- Requiere personal altamente cualificado y con experiencia.
- Requiere el cumplimiento de estrictas normas de seguridad.

### 6.5.6. Conclusiones

La finalidad de este ensayo es conseguir una imagen nítida y estable de los posibles defectos en la soldadura, cosa que en nuestro caso no ha funcionado ya que la calidad de nuestra radiografía es mala, pues apenas se distinguían las imperfecciones del cordón, de hecho se trata de una película ASTM-Tipo III de alta velocidad y contraste medio, y con una densidad límite mínima ( $D = 1.5$ ) para poder observar los detalles. Ésta se podría mejorar utilizando una película mejor (por ejemplo, una Tipo-II), con un mejor grado de definición de los bordes de las imágenes (tanto mayor cuanto menor sea el grano) y un mejor contraste (depende de los medios utilizados, naturaleza y forma del objeto, película utilizada, revelado, fuente empleada y técnica operatoria).

Interpretar una radiografía es identificar la naturaleza de los defectos cuyas indicaciones aparecen en la imagen radiográfica, como en nuestro caso hemos hallado claramente visibles las 6 imperfecciones anteriormente citadas, esta radiografía nos muestra que la calidad de nuestra soldadura es pésima, pues las hallamos con una película de grano medio (mala calidad).

Se podrían mejorar los resultados (siempre teniendo en cuenta márgenes de seguridad) procediendo de alguna de estas maneras: aumentando el tiempo de exposición (pues así sería mayor la cantidad de radiación emitida y por ello mejor la radiografía), aumentando el kilovoltaje de forma razonable (pues así los rayos X serían de longitud de onda menor y por ello con mayor poder de penetración, y así permitiría observar un mayor número de defectos, sobre todo con una chapa tan fina), minimizando la dimensión de la penumbra (esto es, aumentando la distancia foco-chapa, disminuyendo la distancia chapa-película o disminuyendo el tamaño del foco), minimizando la ampliación de la imagen (alejando al máximo el foco de la chapa y juntando la chapa con la película),

En cuanto a la soldadura pensamos que los resultados hubieran sido mejores con un mayor espesor del cordón o con las chapas más juntas (y un mayor espesor de las chapas); la presencia de mordeduras indica que la intensidad con que se realizó la soldadura fue demasiado elevada, por ello habría que rebajarla.

## **Capítulo 7. Salud y seguridad en soldadura**

Los temas relacionados con la Salud y la Seguridad son muy importantes en un proceso de Soldadura.

Los peligros relacionados con la soldadura suponen una combinación poco habitual de riesgos contra la salud y la seguridad. Por su propia naturaleza, la soldadura produce humos y ruido, emite radiación, hace uso de electricidad o gases y puede provocar quemaduras, descargas eléctricas, incendios y explosiones. Algunos peligros son comunes tanto a la soldadura por arco eléctrico como a la realizada con gas y oxígeno.

El empresario es, en la mayoría de los casos, el responsable de identificar los riesgos que existen en el entorno de trabajo y proporcionar a los trabajadores la protección adecuada. Los soldadores son miembros de un grupo ocupacional, que están expuestos a un número de diferentes problemas medio-ambientales al soldar. La siguiente información trata sobre los diferentes factores de riesgo, así como de las precauciones que se pueden implementar para mejorar el medio ambiente y reducir los riesgos a la salud.

Hay que tener presente que no solo el soldador es el que está expuesto a los peligros de las radiaciones, los ayudantes también deben utilizar las pantallas protectoras.

### **7.1. Tipo de riesgos a la salud**

Durante un proceso de soldadura el operario está expuesto a una diversidad de riesgos a la salud, por ello a continuación se mencionan algunos de estos riesgos.

#### **7.1.1. Radiaciones (UV, IR) y deslumbramientos**

El arco eléctrico y hasta cierto punto la pileta líquida o baño de fusión tienen el poder de emitir radiación UV, IR y radiación en la longitud de onda visible. Esta radiación además puede ser reflejada por ciertas superficies. Por otra parte, el sistema de soldadura por oxígeno u oxiacetilénico, solo emite radiación de luz visible e infrarroja.

La radiación se reduce en función del cuadrado de la distancia de la fuente (arco) al objeto. La radiación depende de la intensidad de la corriente, del largo del arco, así como de la distribución y el valor de temperatura alcanzada en la atmósfera del arco.

#### **Riesgo de daño en los Ojos**

La radiación UV es altamente peligrosa para los ojos. Produce una lesión temporal en la córnea.

La radiación de luz visible produce un efecto de deslumbramiento que afecta temporalmente la visión. La radiación IR puede causar daño a la retina y a la visión (cataratas).

#### **Riesgo de daño en la Piel**

La radiación UV, puede dañar la piel cuando no está protegida, produciendo una picazón similar a la producida por quemadura de sol.

#### **Acciones Preventivas**

- Utilizar pantalla o casco de soldador con vidrio graduable de cristal líquido o vidrio normalizado.
- El casco de soldador debe poseer ventana transparente protegida y protección lateral para ser utilizado durante la remoción de escoria.
- Delantal de soldador o cualquier otra ropa de protección con pechera de cuero.
- Guantes de cuero en ambas manos, sin ribetes o cualquier otra parte de metal.

### **Radiación Térmica**

La radiación térmica es uno de los mayores problemas en los talleres de soldadura, en particular cuando la soldadura se desarrolla a altas temperaturas, es decir cuando se sueldan piezas precalentadas que pueden producir quemaduras en los operarios.

### **Acciones preventivas**

Cuando se suelda a temperaturas de trabajo elevadas, debe tenerse en consideración lo siguiente:

1. El lugar de trabajo debe estar bien ventilado
2. El objeto debe poseer una efectiva aislación térmica
3. El soldador no debe estar obligado a adoptar posiciones forzadas o cargar equipo pesado
4. Equipo de protección personal apropiado, como ser guantes con aislación térmica, debe utilizarse en todo momento

Durante el trabajo es necesario planificar pausas en la tarea, ya que la soldadura a altas temperaturas exige un esfuerzo corporal extra,

### **7.1.2. Vapores y gases**

Existen diferentes tipos de contaminación del aire producidos por la soldadura. El consumible y el proceso utilizado determinan en general la cantidad y el tipo de impurezas generadas (partículas & gases).

Si el metal base fue tratado superficialmente con sustancias volátiles, estas pueden contribuir a la contaminación.

#### **7.1.2.1. Vapores de soldadura.**

Los vapores de soldadura son el resultado de la vaporización y oxidación de diferentes sustancias a raíz de las altas temperaturas del arco. Las partículas de estos humos son generalmente tan pequeñas que pueden llegar a alcanzar las ramas más estrechas del sistema respiratorio del cuerpo humano.

Los vapores encontrados dentro de un proceso de soldadura son:

- aluminio
- berilio
- óxidos de cadmio
- cromo
- cobre
- molibdeno
- níquel
- vanadio
- óxidos de zinc
- fluoruro
- óxido de hierro
- plomo
- manganeso

La exposición a diferentes tipos de vapores de soldadura producen diferentes efectos a la salud.

Si con el tiempo Ud. ha respirado gases y vapores en grandes cantidades, su salud va a sufrir. Algunos efectos a corto plazo son:

- irritación de los ojos, nariz y pecho
- tos
- dificultad al respirar
- bronquitis
- líquido en los pulmones (edema)
- inflamación de los pulmones (neumonitis)
- pérdida de apetito
- calambres
- náusea / vómitos

Algunos efectos a largo plazo son:

- problemas crónicos con los pulmones
- bronquitis, neumonía, asma, enfisema, silicosis, siderosis)
- cáncer al pulmón
- cáncer a la laringe
- cáncer a las vías urinarias

### ***Intoxicación por inhalación de vapores.***

#### ***Manganeso.***

Si ha estado expuesto a gases de varilla de soldadura, es posible que haya estado expuesto al manganeso. Este metal pesado puede dañar la parte del cerebro que controla los movimientos corporales voluntarios, como caminar, hablar o tragar. El daño provocado por eso se denomina manganismo, y es un tipo de "parkinsonismo secundario", lo que significa que se asemeja a la enfermedad de Parkinson en lo que respecta tanto a los síntomas como a los efectos que dicha enfermedad causa en el cerebro. Es posible que incluso le hayan diagnosticado Parkinson, cuando en realidad lo que lo afecta es la intoxicación provocada por manganeso. A pesar de que las lesiones cerebrales son casi siempre permanentes, los síntomas pueden ser tratados.

*Los síntomas o efectos secundarios:*

- Falta de expresión facial, fijación de la vista en un punto
- Pronunciación lenta o incomprensible, dificultad en el habla
- Dificultad para escribir
- Dificultad para tragar o comer
- Rigidez muscular, dolores, contracturas o calambres
- Temblores o convulsiones
- Arrastrar los pies o dificultad para caminar
- Falta de equilibrio
- Falta de memoria

#### ***Cromo.***

El Cromo hexa-valente, que es principalmente producido en el proceso SMAW de aceros inoxidables, puede causar cáncer y enfermedades del tipo asmáticas.

#### ***Níquel.***

El Níquel, puede causar cáncer y asma; el óxido de Hierro puede causar irritación en las vías respiratorias y los fluoruros pueden afectar el esqueleto óseo.

#### ***Zinc.***

El Zinc proveniente de los materiales galvanizados, puede ser causante de temblores

### **7.1.2.2. Gases de soldadura**

Los gases más comunes que se generan durante la soldadura son:

- monóxido de carbono
- fluoruro de hidrógeno
- óxido de nitrógeno
- ozono

#### ***Ozono.***

El ozono se forma a partir de la reacción entre el oxígeno y la radiación UV del arco. Es un gas incoloro, es un irritante fuerte que ataca las mucosas.

### **Oxido de nitrógeno.**

Los gases nitrosos se forman cuando el nitrógeno y el oxígeno del aire reaccionan con el metal caliente. Estos gases nitrosos afectan los pulmones.

### **Monóxido de carbono.**

El monóxido de carbono se forma durante la soldadura MAG como resultado de la atomización del dióxido de carbono en el gas de protección. El monóxido de carbono afecta la capacidad de absorción de oxígeno de la sangre.

#### **7.1.2.3. Acciones Preventivas de vapores y gases**

Pueden adoptarse distintas acciones preventivas para disminuir el riesgo de exposición a las sustancias Peligrosas inhaladas en vapores y gases:

- Usar extractores de humo, cuando se trabaje en lugares cerrados o mal ventilados. Utilizar toberas de aspiración o succión que se muevan sobre la soldadura a medida que se va avanzando o toberas especiales conectadas directamente a la antorcha MIG.
- Incluso teniendo una extracción localizada efectiva, algunos humos de soldadura van a ser emitidos al ambiente. Los humos generados por detrás de la pieza y aquellos generados en el acabado son difíciles de captar con extracción localizada. Por esta razón, los requisitos de ventilación general deben ser rigurosos.
- En lugares confinados, donde existe riesgo que la concentración de gases contaminantes sea elevada, el soldador debe utilizar protección respiratoria con suministro de aire fresco, de forma tal de independizarse del ambiente.
- Las pinturas u otras sustancias usadas en tratamientos superficiales deben ser removidos al menos 10 cm alrededor del punto de soldadura, para evitar la generación de gases y humos.
- La espuma de poliuretano, utilizada habitualmente como aislante térmico, debe ser removida al menos 25 cm alrededor del punto de soldadura, para evitar la ignición por calentamiento.

#### **7.1.3. Riesgo de incendio y proyecciones**

##### **7.1.3.1. Riesgo asociado con proyecciones**

En ciertos casos, las proyecciones producidas por la soldadura puede causar incomodidad e incluso hasta quemaduras. Existe el riesgo, por ejemplo, de que se proyecten partículas grandes y las mismas entren en contacto con material de madera. El riesgo aumenta cuando se suelda sobre cabeza o cuando se suelda en espacios confinados donde el soldador necesita incluso recostarse para acceder mejor a la pieza.

##### **Acciones Preventivas**

- Utilizando un buen ajuste de los parámetros de soldadura, el gas de protección apropiado con alto contenido de Argón y la técnica de trabajo adecuada, se evita la formación de gotas gruesas. Las gotas finas son menos dañinas.
- Use la ropa apropiada, la misma debe estar fabricada con materiales resistentes al calor.

##### **7.1.3.2. Riesgo de Incendio**

Los incendios generados en procesos de soldadura y corte son principalmente causados por falta de conocimiento, por descuido y/o por el uso de protección insuficiente. Los programas de protección y el entrenamiento son vitales en este contexto.

La experiencia revela que el riesgo es mayor en trabajos esporádicos en áreas no designadas para trabajos de soldadura.

Los trabajos de soldadura y corte son realizados con frecuencia en ambientes variados, lo cual genera un riesgo debido al calor que debe ser extraído del área y a la generación de partículas calientes y chispas que pueden causar un incendio.

Los ambientes de trabajo que pueden resultar particularmente riesgosos a la hora de realizar trabajos de soldadura son:

Cuando se trabaje en sitios de este tipo, deben realizarse inspecciones en los sectores.

En algunos casos, es necesaria la aprobación del municipio o la compañía de seguro para el desarrollo de los trabajos.

#### **Acciones preventivas**

Si deben realizarse trabajos de soldadura o corte en lugares donde existan riesgos de incendio, el personal de seguridad debe determinar las medidas preventivas a adoptar.

- Limpieza y remoción de material inflamable en la zona de riesgo
- Todo agujero de pasaje o grieta en depósitos de inflamables debe ser cerrado o cubierto para evitar la dispersión de chispas
- Use agua para humedecer el sector antes y quizás después de la tarea
- Asegure la existencia de equipos de ataque al fuego suficientes en el sector
- Lleve adelante una inspección por un miembro de la brigada de incendios una hora luego de culminada la tarea
- Asegure que el personal este familiarizado con las regulaciones que aplican y como los riesgos pueden ser evitados.

#### **7.1.4. Riesgo por exposición a Ruidos**

La soldadura semiautomática MIG/MAG genera un nivel de ruido considerable, alcanzando los 80dB. Por otro lado, en conjunto con la soldadura, se realizan frecuentemente trabajos de amolado y remoción de escoria. Se considera que existe riesgo de daño permanente al sistema auditivo cuando el personal está expuesto a niveles de ruido de 85 dB(A) o mayores, para jornadas de trabajo de 8 horas. Se puede aplicar como regla general que el nivel de ruido es inaceptable cuando se hace difícil mantener una conversación.

#### **Medidas preventivas**

Inicialmente, se debe llevar a cabo un análisis para evitar las fuentes de ruido mediante modificaciones al proceso.

Reducir y en ciertos casos hasta eliminar los procesos de amolado y remoción de escoria, mediante la utilización de un proceso de soldadura adecuado, utilizando gases de protección apropiados y aplicando una técnica de soldadura que corresponda.

Utilizar herramientas de amolado y remoción de escoria mas silenciosas. Reducir el nivel de ruido (hasta en 30-40 dB) mediante el uso de mesas de corte bajo agua en procesos de corte por plasma. Medir el nivel de ruido e instalar paneles absorbentes para evitar la reverberancia. Utilizar la protección auditiva si existe riesgo de daño al sistema auditivo. Deben llevarse a cabo audiometrías periódicas a intervalos regulares.

#### **7.1.5. Ergonomía**

##### **Riesgos ergonómicos**

Cuando se llevan a cabo procesos de soldadura manual con materiales pesados o durante soldadura de montaje, las cargas son muy estáticas, los tiempos de soldadura son largos y el equipo es pesado. Adicionalmente, la posición del soldador depende de la ubicación de la junta de soldadura. La soldadura sobre cabeza es inapropiada desde el punto de vista ergonómico.

Cuando se llevan a cabo arreglos de piezas pequeñas con proceso de soldadura MIG, existe el riesgo de lesiones a raíz de movimientos repetitivos. La mano que toma la antorcha permanece contra la pieza de trabajo, sin variar esta condición a lo largo de la tarea.

##### **Medidas de control – dispositivos técnicos y equipos**

Cuando se planifica un área de trabajo, la altura de trabajo determina que la postura a adoptar por el operador sea la correcta. En este contexto, plataformas elevadoras y posicionadoras pueden resultar muy útiles.

La posición del soldador está parcialmente determinada por la necesidad de mantener la vista en la pileta líquida mientras suelda. Si la altura de trabajo es muy baja, el soldador debe agacharse para ver apropiadamente, entonces una silla o banquillo puede resultar muy útil.

Debe evitarse el trabajo con las manos en alto a la altura o por encima de los hombros, siempre que sea posible.

Se recomienda el uso de posicionadores para colocar la pieza a soldar y asegurar su accesibilidad y altura. De esta manera se logra una posición adecuada y se facilita el proceso ya que la junta se halla en la posición óptima.

Cuando se sueldan tubos u otros objetos cilíndricos, se recomienda el uso de camas de rodillos.

Cuando se hace una pausa en la tarea, es importante utilizar el soporte para dejar la antorcha en posición.

### **7.1.6. Equipo de protección personal para inspeccionar y soldar**

El inspector frecuentemente trabaja en el mismo ambiente de los soldadores, esto los expone a diferentes riesgos potenciales: caídas, quemaduras, radiaciones, caída de objetos, choques eléctricos, proyección de partículas, etc.

El equipo de seguridad de un inspector consta de: casco, lentes, guantes, respirador, tapones auditivos, ropa protectora, zapatos de seguridad.

Siempre se debe utilizar todo el equipo de protección necesario para el tipo de soldadura a realizar. El equipo consiste en:

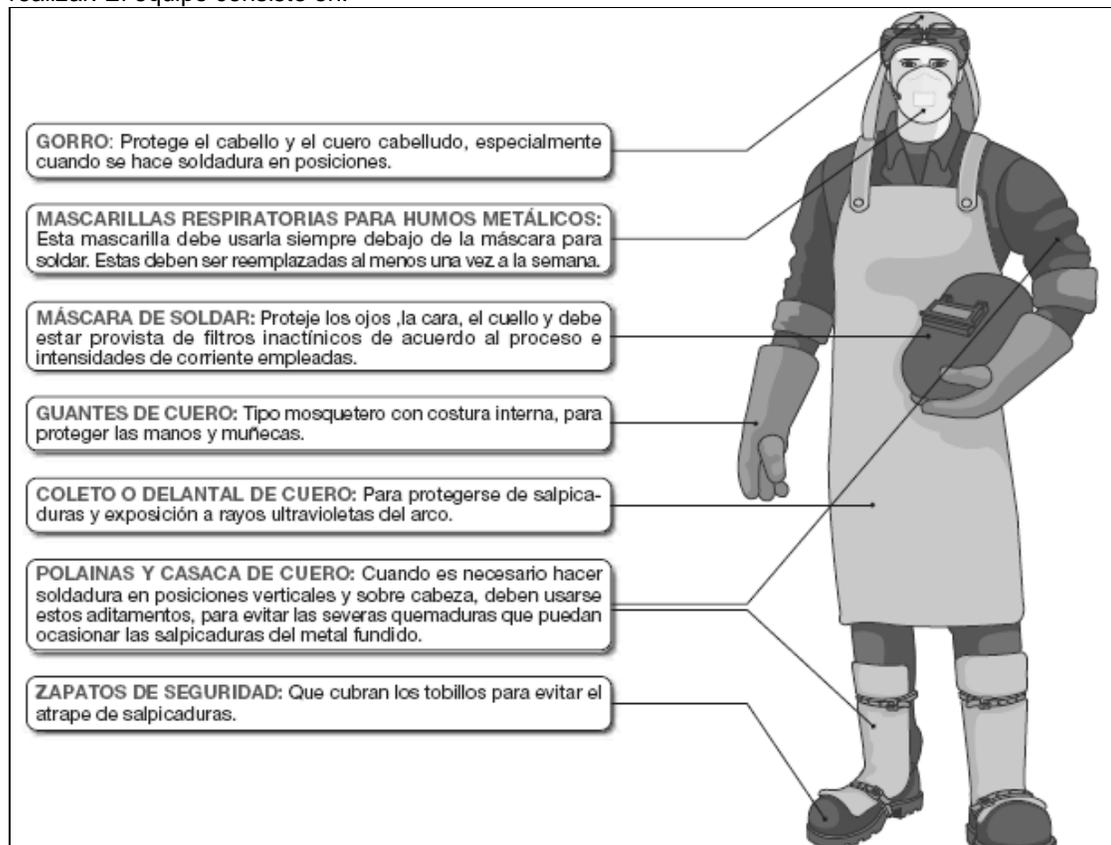


Figura 52. Equipo de protección personal para soldar

El Inspector y soldador no deben de tomar a la ligera la seguridad, aunque consideren que están expuestos a estos riesgos de manera momentánea e interrumpida.

La recomendación es la utilización de todo el equipo de seguridad necesario de acuerdo a los riesgos a los que se expongan.

## CONCLUSIONES

Con la información antes mencionada las personas que estén involucradas y tengan conocimientos en el ramo de soldadura deben tener una idea general de como inspeccionar las juntas soldadas e interpretar pruebas no destructivas aplicadas a estas juntas y podrán establecer un proceso de inspección sólo con la evaluación completa de los requisitos de calidad de la soldadura, los criterios de aceptación, los métodos de prueba que deben ser utilizados, y experiencia de los inspectores.

Cabe mencionar que soldar es una tarea peligrosa, por lo que las personas que realizan estas tareas deben recordar la potencialidad a la que exponen su salud y seguridad personal, por lo tanto los lectores de esta información conocerán el equipo básico de protección personal y sabrán que cumpliendo las reglas de seguridad y permaneciendo atentos al área de trabajo lograran prevenir accidentes.

Las personas involucradas en la industria metal mecánica que lean este trabajo podrán reforzar y ampliar sus conocimientos sobre aplicación e inspección de soldadura.

Las personas involucradas dentro de la industria de manufactura que conozcan esta información contarán con un apoyo para poder realizar productos con un grado de calidad aceptable teniendo en cuenta que la soldadura se encuentra presente en la totalidad de nuestras actividades: las máquinas, equipos, elementos o bienes que utilizamos o que han formado parte del proceso productivo de los mismos, han sido realizados utilizando distintos tipos de materiales, y estos materiales en algún momento del proceso productivo han tenido que ser unidos, bien mediante soldadura, o mediante cualquier otra tecnología de unión.

## ANEXO

### Gas Tungsten Arc Welding GTAW (TIG)

- G.T.A.W. = Gas Tungsten Arc Welding ,“TIG” = Tungsten Inert Gas
- Requiere una Fuente de Poder de Corriente Constante
- Usa un electrodo no-consumible de Tungsteno
- Requiere de un Gas Inerte
- Se puede o no usar material de aporte
- Se usa AC para Aluminio y Magnesio
- La corriente DC- se usa para el resto de los Materiales
- Casi nunca se usa DC+

#### Componentes de un Equipo GTAW

- Fuente de Poder de Corriente Constante (CC)
- Antorcha y Cables
- Electrodo No-Consumible
- Material de Aporte Opcional
- Cilindro, Mangueras y Flujómetro de Gas



#### Fuentes de poder para TIG

Square Ware TIG 175



Square Ware TIG 275



Square Ware TIG 355



#### DC GTAW Starter



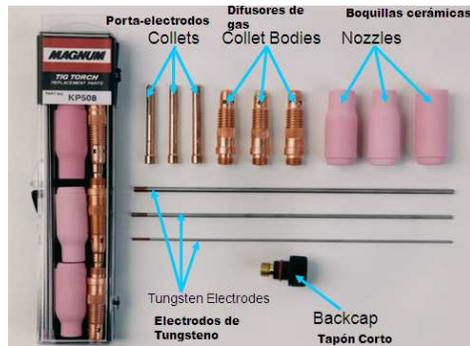
**Antorchas GTAW**

- 125, 175, and 200 Amp Air-Cooled Torches (Antorchas enfriadas aire)
- 250 and 350 Amp Water-Cooled Torches (Antorchas enfriadas por agua)

**Antorchas Magnum PTA enfriadas por aire**



**Partes de la Antorcha para GTAW**



**Enfriadores (Coolers) para GTAW**

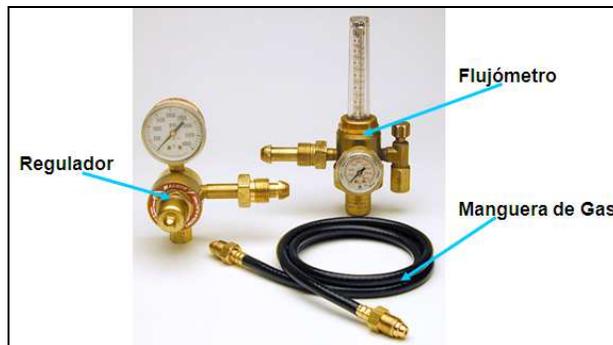


**Controles Remotos para graduar Amperaje**



Max. amperaje del equipo	Ciclo de trabajo (%)	Medida de cables recomendada de acuerdo al amperaje				
		Medida de cables recomendada de acuerdo al amperaje				
		Hasta 50 pies	De 50 a 100 pies	De 100 a 150 pies	De 150 a 200 pies	De 200 a 250 pies
100	20	#8	#4	#8	#2	#1
180	20	#5	#4	#8	#2	#1
180	30	#4	#4	#8	#2	#1
200	50	#3	#8	#2	#1	#1/0
200	60	#2	#2	#2	#1	#1/0
225	20	#4	#8	#2	#1	#1/0
250	30	#3	#8	#2	#1	#1/0
300	60	#1/0	#1/0	#1/0	#2/0	#3/0
400	60	#2/0	#2/0	#2/0	#3/0	#4/0
500	60	#2/0	#2/0	#3/0	#3/0	#4/0

**Reguladores, Fluómetros y Mangueras**



**Conexiones de Cables y Mangueras**

*Terminales con tuercas*



Conexiones Tradicionales

*Conexiones Rápidas*



Tipo Twist-Mate

**Partes Típicas del equipo de Gas**



## Equipo Típico para TIG Square Wave TIG 275



### Varillas de Aporte

- Acero al Carbono
- Acero inoxidable
- Aluminio
- Bronce al Silicio



### Características de las Varillas

#### *Acero al Carbono para TIG*

- ER70S-2
  - > Varilla desoxidada triple (Si, Mn, Al, Zr, Ti)
  - > Produce soldaduras de calidad radiográfica sobre la mayoría de superficies
  - > Permite la soldadura sobre algo de óxidos, cascarilla y suciedad
  - > El "charco" de soldadura es menos líquido para poder soldar mejor fuera de posición
- ER70S-3
  - > Varilla de alta calidad con contenidos medios de Mn y Si
  - > Para fabricación general en aceros limpios
- ER70S-6
  - > Varilla de alta calidad con contenidos mayores de Mn y Si
  - > Mejora las propiedades mecánicas y apariencia del cordón
  - > Aumenta la dureza

#### *Acero inoxidable para TIG*

- ER308/308L
  - > Para la unión de aceros austeníticos comunes
  - > Referidos como aceros de grados "18-8"
  - > Aleaciones: ASTM 303, 304 o A743
- ER309/309L
  - > Para la unión de aceros austeníticos inoxidables de alta aleación
  - > Iguala la resistencia a la corrosión de los aceros "18-8"
  - > Aleaciones típicas: ASTM A240, 309S o A774
- ER316/316L
  - > Para alta resistencia a la agrietadura y revestimientos
  - > Material de soldadura no diluido puede ser usado en aceros "18-8"
  - > Aceros típicos: ASTM A240, 316L o A773

*Aluminio para TIG*

- ER4043
  - > Aluminio Aleado con Silicio
  - > Diseñado para soldar aleaciones de aluminio tratables térmicamente de las series “6000”
  - > No es recomendado para soldar aleaciones de Aluminio-Magnesio
  - > No se puede anodizar el depósito
- ER5356
  - > Aluminio Aleado con Magnesio
  - > Es el material de aporte aleado más común
  - > Buena resistencia a la tracción y compatible con la mayoría de las aleaciones
  - > No es recomendado para aplicaciones donde la temperatura de servicio excede los 150°F
  - > Es anodizable

*Bronce al Silicio para TIG*

- ERCuSi-A
  - > Es una aleación de Cobre/Silicio para soldar:
    - Cobre,
    - Latón
    - Bronce

**Aplicaciones GTAW en diferentes Metales Base**

TIPO DE METAL	ESPESOR	TIPO DE CORRIENTE	ELECTRODO	GAS DE PROTECCION
Aluminio	Todos Gruesos Finos	AC DCEN DCEP	Puro, Zirconio onado Tonado, Zirconio	Argon Argón-Helio Argón Argón-Helio Argón
Cobre y sus Aleaciones	Todos Finos	DCEN AC	onado Puro, Zirconio	Argon Argón-Helio Argón
Aleaciones de Magnesio	Todos Finos	AC DCEP	Puro, Zirconio Zirconio, Tonado	Argon Argón
Nickel y sus aleaciones	Todos	DCEN	Tonado	Argón
Aceros al Carbono y de baja aleación	Todos	DCEN	Tonado	Argón Argón-Helio
Aceros Inoxidables	Todos	DCEN	Tonado	Argón Argón-Helio
Titanio	Todos	DCEN	Tonado	Argón

**Gases usados en GTAW**

- Argón
- Helio
- Mezclas de Argón/Helio
- Mezclas de Argón/Hidrógeno
- Mezclas de Argón/Nitrógeno

Los gases inertes Argón y Helio son los más populares, pero cualquier gas inerte puede ser usado

## FCAW (Flux Cored Arc Welding)

FCAW - SS = Flux Cored Arc Welding - Self Shielded

Es un alambre Tubular con fundente interno para proteger la soldadura

FCAW - GS = Flux Cored Arc Welding - Gas Shielded

Es un alambre tubular con desoxidantes internos se usa con un gas para protección adicional

### Equipo para Innershield o FCAW-SS

- Fuente de poder de voltaje Constante (CV)
- Alimentador de alambre de velocidad constante
- Pistola y cables
- Electrodo de alambre tubular consumible



### Equipo para Outershield o FCAW-GS

- Fuente de poder de voltaje constante (CV)
- Alimentador de alambre de velocidad constante
- Pistola y cables
- Juego de mangueras, conexiones, flujómetro y cilindro de gas
- Electrodo de alambre tubular consumible



### Equipos Fuente de Poder-Alimentadores

- SP-175T



- SP-175+



**Equipos Fuente de Poder- Alimentadores  
PowerMIG 255**



**Fuentes de Poder CC/CV**

• **DC-400**



• **DC-655**



• **DC-600**



**Fuentes de Poder Moto-Alternadoras Tipo - CC/CV**

• **Ranger 250**



• **Ranger 305G**



**Alimentadores de alambre**

• **LN-7**



• **LN-8**



• **LN-9**



• **PowerFeed 10**



• **PowerFeed 11**



• **PowerFeed 10 - Dual**



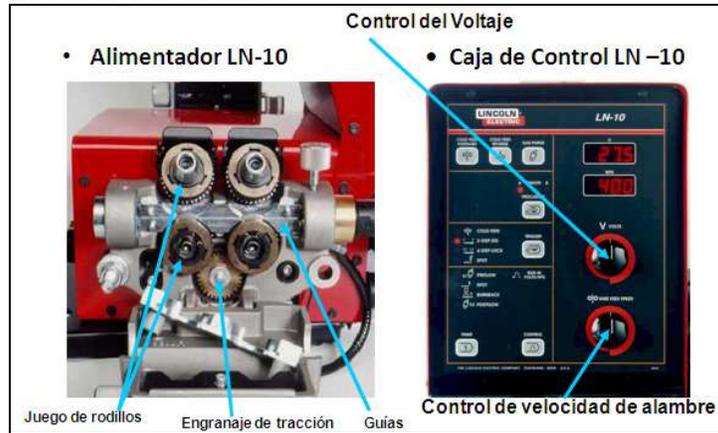
**Pistolas para Innershield (FCAW-SS)**  
Pistolas de 250 a 600 Amps



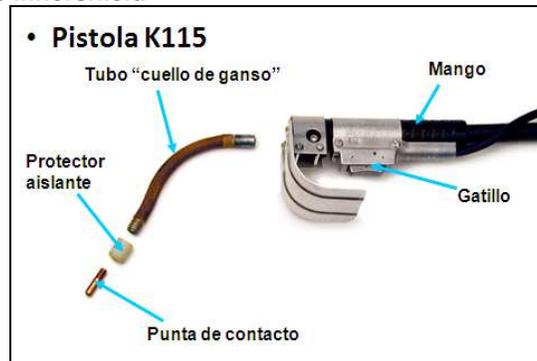
**Pistolas para Outershield (FCAW-GS)**  
Pistolas de 200 a 550 Amps



**Partes de un Alimentador de Alambre**

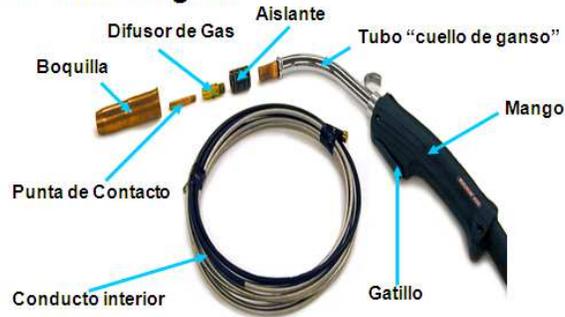


**Partes de las Pistolas Innershield**



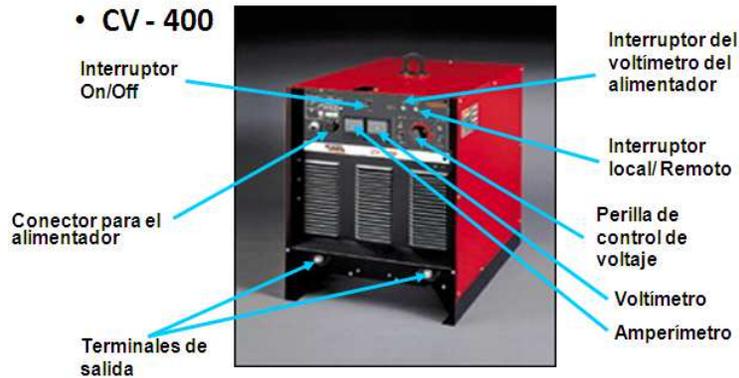
### Partes de las Pistolas Outershield

#### • Pistola Magnum 400



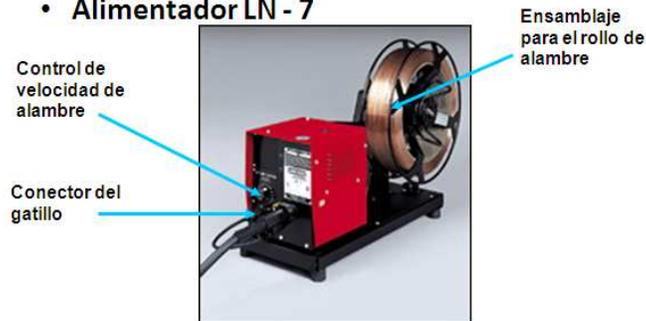
### Fuente de poder Típica

#### • CV - 400

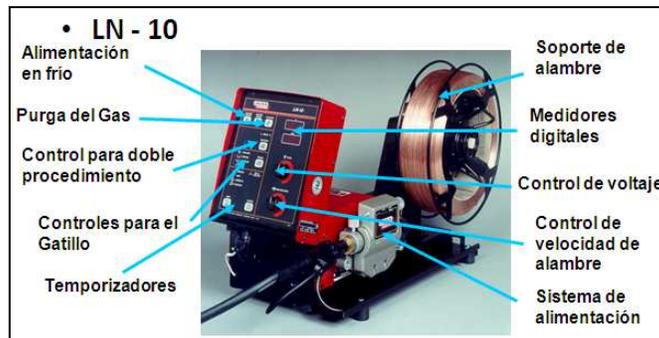


### Partes del Alimentador de Alambre

#### • Alimentador LN - 7



### Controles del alimentador de Alambre



**Medidas de Cable para Soldadura**

**RECOMMENDED CABLE SIZES FOR MANUAL WELDING**

Machine Size In Amperes	Duty Cycle (%)	Copper Cable Sizes for Combined Lengths of Electrodes Plus Ground Cable				
		Up to 50 Feet	50 - 100 Feet	150 - 150 Feet	150 - 200 Feet	200 - 250 Feet
100	20	#8	#4	#3	#2	#1
180	20	#5	#4	#3	#2	#1
180	30	#4	#4	#3	#2	#1
200	50	#3	#3	#2	#1	#1/0
200	60	#2	#2	#2	#1	#1/0
225	20	#4	#3	#2	#1	#1/0
250	30	#3	#3	#2	#1	#1/0
300	60	#1/0	#1/0	#1/0	#2/0	#3/0
400	60	#2/0	#2/0	#2/0	#3/0	#4/0
500	60	#2/0	#2/0	#3/0	#3/0	#4/0
600	60	#3/0	#3/0	#3/0	#4/0	***
650	60	#3/0	#3/0	#4/0	**	***

\*\* Use Double Strand of #2/0

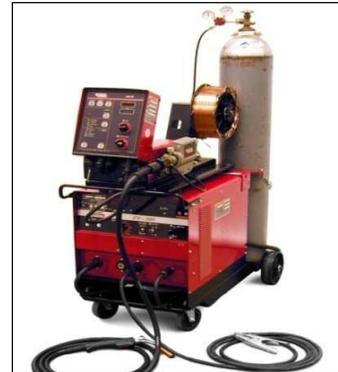
\*\*\* Use Double Strand of #3/0

**GMAW = Gas Metal Arc Welding**

- Soldadura MIG/MAG
  - > MIG = Metal Inert Gas
  - > MAG= Metal Active Gas

**Componentes del Equipo de GMAW**

- Fuente de Poder de Voltaje Constante (CV)
- Alimentador de Alambre de Velocidad Constante
- Pistola y Cables
- Flujómetro, Mangueras, Cilindro y Conexiones para el gas
- Electrodo-Alambre



**Fuentes de Poder Alimentadores**

**SP-100T**



**SP-125+**



Fuentes de Poder tipo Inversoras



Alimentadores de Alambre

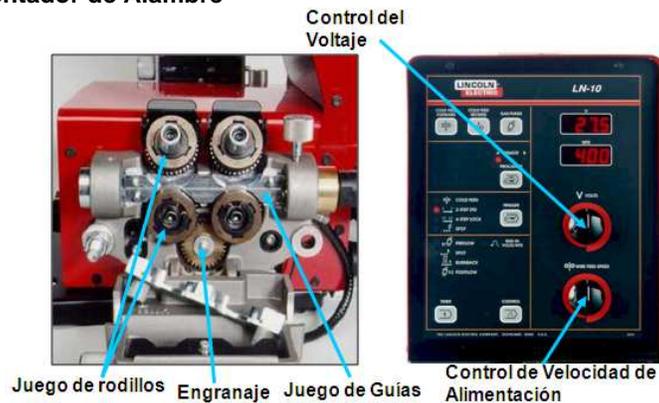


Pistolas para GMAW

Pistolas GMAW desde 100 a 550 amperios

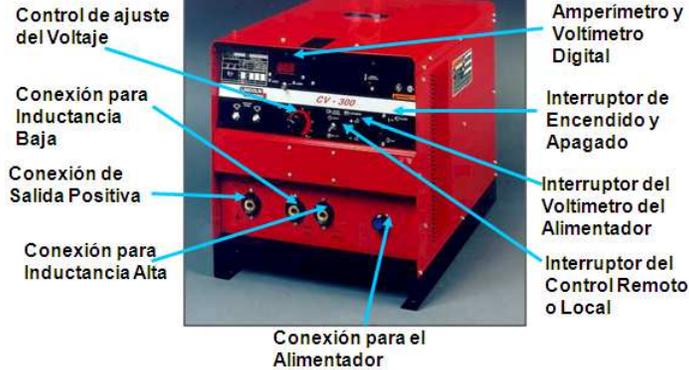


Partes del Alimentador de Alambre



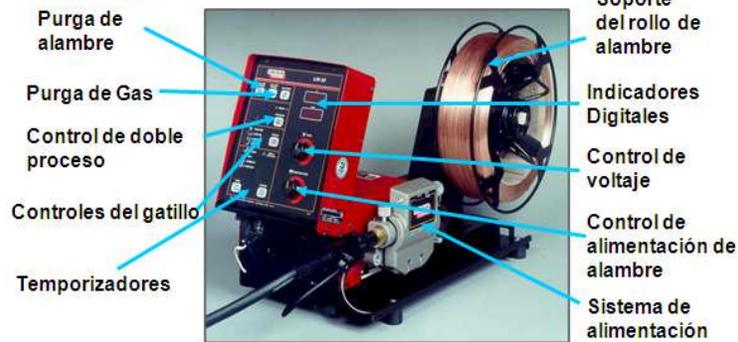
**Típico Equipo para GMAW**

**CV - 300**



**Alimentador de Alambre**

**LN - 10**



**Alambres GMAW**

**Aceros de Bajo Carbono**

L-50	L-54	S3
L-52	L-56	S6

**Gases a usarse:**  $\text{CO}_2$  , Ar/ $\text{CO}_2$  , Ar/ $\text{O}_2$

**Aceros de Baja Aleación:** LA-75, LA-90, LA-100

**Gases a usarse :** Ar/ $\text{O}_2$  , Ar/ $\text{CO}_2$

**Alambres MIG/MAG**

**Alambres de acero Inoxidable**

Blue Max 308LSi  
Blue Max 309LSi  
Blue Max 316LSi

**Gases recomendados**

He/Ar/ $\text{CO}_2$   
Ar/ $\text{O}_2$

**Alambres de Aluminio**

Super Glaze 4043  
Super Glaze 5356

**Gases recomendados**

Ar  
He/Ar

**Gases usados en GMAW**

- Dióxido de Carbono
- Mezcla de Argón/Dióxido de Carbono
- Mezcla de Helio/Argón/Dióxido de Carbono
- Argón
- Mezcla de Helio/Argón

### Soldadura por Arco Sumergido

SAW = Submerged Arc Welding

- Es un alambre que usa un fundente en polvo como protección externa

#### Equipo Semiautomático para SAW

- Fuente de poder de voltaje constante (CV)
- Alimentador de alambre de velocidad constante con tanque para el fundente
- Pistola semiautomática y juego de cables
- Kit para fundente de protección
- Alambre consumible y fundente

#### Equipo Automático para SAW

- Fuente de poder de voltaje constante (CV)
- Alimentador de alambre de velocidad constante y caja de control
- Carro de transporte, tractor o manipulador
- Cabezal de contacto
- Alambre consumible y fundente

#### CV-SAW versus CV-Innershield versus CC-V V

Voltaje Constante SAW	Voltaje Constante Innershield	Voltaje Variable o Corriente Constante
Se usa para la mayoría de las aplicaciones de Arco Sumergido	Modo preferido cuando se quiere soldar a altas velocidades	Modo preferido cuando se solda a altas intensidades de corriente. Produce un charco grande de soldadura
La fuente de poder se auto-regula, lo cual nos permite usar un alimentador de alambre de velocidad constante	Este modo nos da la más rápida regulación de voltaje	Este modo nos da unas capacidades de velocidad variable de alimentación de alambre
La velocidad de alimentación de alambre y voltaje pueden pre-seleccionarse y/o controlarse independientemente	La velocidad de alimentación de alambre y voltaje pueden pre-seleccionarse y/o controlarse independientemente	No se puede pre-seleccionar el voltaje ni velocidad de alimentación de alambre

#### Fuentes de Poder CV

CV-655



• DC-600



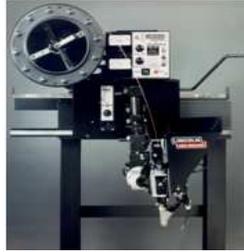
• DC-655



**Equipos Alimentadores de Alambre y Cajas de Control Automáticos**

• NA - 3

• NA - 3 Controller



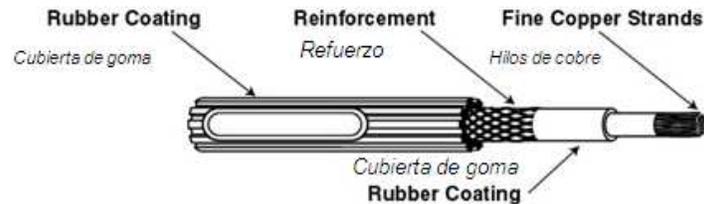
**Pistolas Semiautomáticas para SAW**

Pistolas de 500 y 600 amps

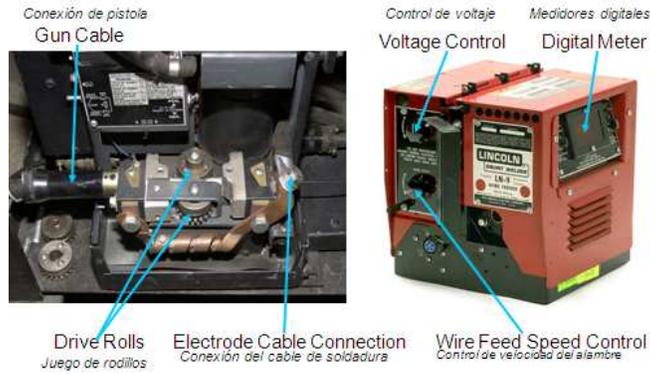


**Cables Lincoln Electric para SAW**

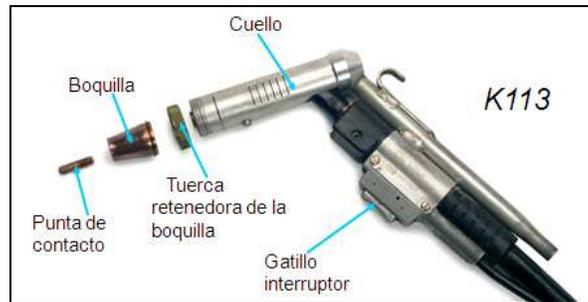
Cables recomendados para Soldadura SAW						
Tamaño de máquina en amperios	Ciclo de trabajo (%)	Tamaño recomendado de cable de cobre para diferentes largos				
		Hasta 50 pies	50 - 100 pies	100 - 150 pies	150 - 200 pies	200 - 250 pies
500	60	#2/0	#2/0	#3/0	#3/0	#4/0
600	60	#3/0	#3/0	#3/0	#4/0	#2-3/0
700	60	#3/0	#3/0	#4/0	#4/0	#2-3/0
800	80	#3-1/0	#3-1/0	#3-1/0	#2-3/0	#2-4/0
900	80	#3-1/0	#3-1/0	#3-1/0	#2-3/0	#2-4/0
1000	80	#2-3/0	#2-3/0	#2-3/0	#2-4/0	#3-3/0
1100	80	#2-3/0	#2-3/0	#2-4/0	#2-4/0	#3-3/0
1200	100	#3-3/0	#3-3/0	#4-4/0	#4-4/0	#4-4/0
1500	100	#4-4/0	#4-4/0	#5-4/0	#5-4/0	#5-4/0



**Equipo Alimentador de Alambre LN-9**



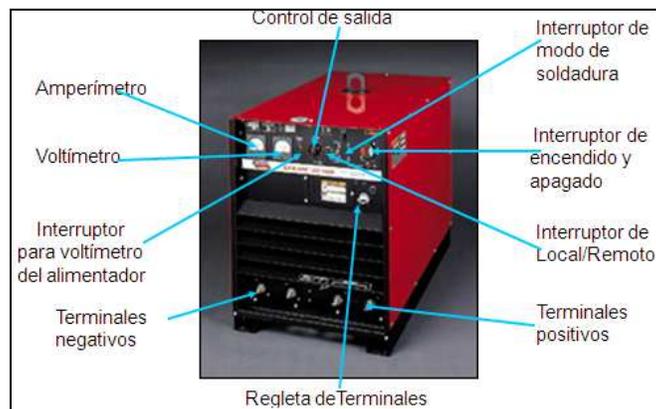
**Partes de Pistola Semiautomática**



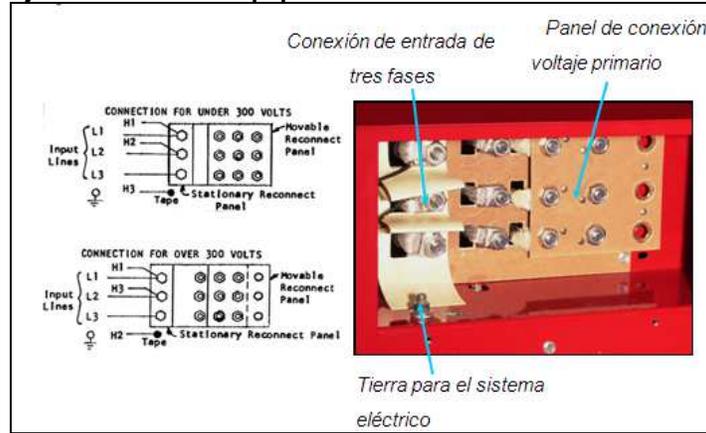
**Partes de Cabezal de Contacto para soldadura Automática por SAW**



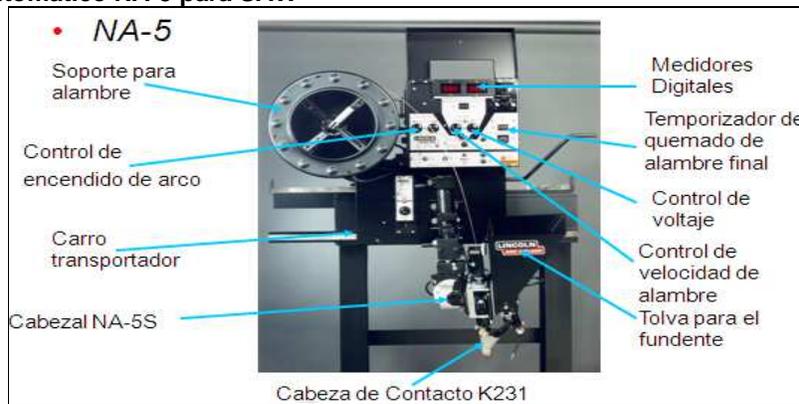
**Controles de fuente de poder DC-1000**



**Cambio de Voltaje de entrada del equipo DC-1000**



**Equipo Automático NA-5 para SAW**



**Tipos de Alambres para SAW**

- Alambres sólidos y tubulares para aceros al carbono
- Alambres sólidos y tubulares para aceros aleados
- Alambres sólidos para aceros inoxidables

**Alambres Sólidos de Acero al Carbono para SAW**

Lincolnweld L-50	Lincolnweld L-61	Lincolnweld L-S3
Lincolnweld L-56	Lincolnweld LA-71	
Lincolnweld L-60	Lincolnweld LC-72	

**Alambres Sólidos de Baja Aleación para SAW**

Lincolnweld L-70	Lincolnweld LA-100	Lincolnweld LAC-M2
Lincolnweld LA-75	Lincolnweld LA-82	Lincolnweld LAC-Ni2
Lincolnweld LA-81	Lincolnweld LA-92	
Lincolnweld LA-85	Lincolnweld LA-93	
Lincolnweld LA-90	Lincolnweld LAC-B2	

**Alambres de Acero Inoxidable para SAW**

- Blue Max S308/308L

**Tipos de Fundentes**

- Fundentes activos Lincoln de la serie 700
- Fundentes neutros Lincoln de la serie 800
- Fundentes neutros Lincoln de la serie 900
- Fundentes aleados Lincoln
- Fundentes para aceros inoxidables

**Bibliografía y referencias:**

1. Accredited Standards Committee. *Safety in Welding, Cutting, and Allied Processes*. ANSI Z49.1:2005.
2. American Welding Society Education Services. *Visual Inspection Workshop*. 3th Edicion. VIW-M:2006.
3. American Welding Society Education Services. *Certification Manual for Welding Inspectors*. 4th Edicion. AWS CMWS-2005. 297 paginas.
4. American Welding Society Education Department. *Welding Inspection Technology*. 4th Edicion. AWS WIT.
5. Committee on definitions and symbols. *Standard Symbols for Welding, Brazing, and Nondestructive Examination*. 6th Edicion. AWS A2.4:2007.
6. Committee on structural welding. *Structural Welding Code Steel*. 21st Edicion. AWS D1.1/D1M:2008.
7. Committee on structural welding. *Railroad Welding Specification for Cars and Locomotives*. 4th Edicion. AWS D15.1/D15.1M:2007.
8. Jack R. Barchhoff, Don L. Lynn, Kennet M. Kerluke. *Certified Welding Supervisor Manual for Quality & Productivity Improvement*. 1th Edicion. AWS CM-2000. 434 paginas.
9. Norma ASME, "Non destructive Examination". Código V. 1974.
10. Norma ISO/DIS 13953, "Polyethylene (PE) Pipes and Fittings-Determination of the tensile Strength of test Specimens form a But-fused Joint"
11. Ramírez Gómez, Francisco. *Introducción a los métodos de ensayos no destructivos de control de la calidad de los materiales*. 3ª Edición. Madrid. 776 paginas.

**Documentos electrónicos:**

1. Ensayos de materiales. Recuperado el 19 de Julio del 2008.  
<http://www.escuelaraggio.edu.ar/MECA/archivos/ENSAYOS%20DE%20MATERIALES/UNIDAD9-NO%20DESTRUCTIVOS/1.doc>
2. Soldadura. Recuperado el 09 de agosto del 2008.  
<http://es.wikipedia.org/wiki/Soldadura>
3. Protección personal. Recuperado el 25 de agosto del 2008.  
[ww.indura.net/pdf/Af\\_seg\\_re.pdf](http://ww.indura.net/pdf/Af_seg_re.pdf)
4. [www.scif.com/safety/safetymeeting/Article.asp?](http://www.scif.com/safety/safetymeeting/Article.asp?)
5. Proceso de soldadura. Recuperado el 23 de septiembre del 2008  
<http://www.drweld.com/smaw.html>
6. Proceso de soldadura. Recuperado el 15 de octubre del 2008  
<http://www.lincolnelectric.com.mx/Noticias/Contenido/2.asp>
7. Proceso de soldadura. Recuperado el 13 de Noviembre del 2008  
<http://www.uco.es/organiza/departamentos/mecanica/ing-mecanica/aula/soldadura.htm>