

0. Índice

0. Índice	1
INTRODUCCION, APLICACIONES Y ALCANCE.....	5
1. Introducción.....	5
1.2 Requerimientos para un inspector en Soldadura	5
1.3 ¿Quién es el Inspector de Soldadura?	5
1.4 Calificaciones para un inspector de soldadura	6
1.4.1. Condición física.	6
1.4.2. Vista.	6
1.4.3. Actitud.	6
1.5 Conocimiento en Soldadura	6
1.6 Diseño, especificaciones y procedimiento	6
1.6 Conocimientos de los métodos de ensayos.....	6
1.7 Información	7
1.8 Experiencia en Soldadura.....	7
1.9 Educación y entrenamiento	7
1.10 Experiencia en Inspección	7
1.11 Código de Ética	8
1.11.1 Integridad.	8
1.11.2. Responsable con el público.	9
1.11.3. Declaración pública.	9
1.11.4. Conflictos de interés.	9
1.11.5. Solicitud de servicio.	9
1.12 Comunicación	9
1.12.1 Informando al supervisor	10
1.12.2 Soldadores.....	10
1.12.3 Supervisor y encargado de soldadura.....	10
1.12.4 Superintendente de área	10
1.12.5 Gerente de planta	10
1.12.6 Ingeniero de proyecto.....	10
1.12.7 Ingeniero en soldadura.....	10
1.13. Responsabilidades del Inspector en Soldadura	11

1.13.1 Conocimientos de diseño y especificaciones.	11
1.13.2 Chequear las especificaciones de las adquisiciones.	11
1.13.3. Verificación del material de trabajo.	12
1.13.4 Identificación del metal de aporte.	12
1.13.5. Chequear el almacenamiento del metal de aporte.	12
1.13.6 Chequear equipo de soldadura.	12
1.13.7. Penetración de la junta de soldadura.	12
1.13.8 Análisis químico y ensayos para propiedades mecánicas.	12
1.13.9. Chequear la calidad del material.	12
1.13.10 Procedimiento de calificación de soldadura.	12
1.13.11. Calificación del soldador u operador de soldadura.	12
1.13.12 Selección de las muestras de ensayos en la producción.	13
1.13.13. Evaluación de los resultados de los ensayos.	13
1.13.14 Mantener registros e informes.	13
SIMBOLOGIA EN SOLDADURA	14
2.1. SIMBOLOS DE SOLDADURA	14
2.2 SIMBOLOGÍA PARA ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS	17
PROCESOS DE SOLDEO Y CORTE DE MATERIALES METALICOS	18
3.1 Introducción	18
3.2 Soldadura al Arco Manual con Electrodo Revestido	21
3.2.1 Principio de Operación	21
3.2.2 Revestimiento del electrodo	22
3.2.3 Protección del arco	22
3.2.4 Variables del proceso de soldadura SMAW	23
3.2.5 Sistema de clasificación de electrodos	25
3.2.6 Ventajas y Desventajas.	26
3.3 Soldadura al arco metálico con gas de protección	28
3.3.1 Principio de Operación	28
3.3.2 Mecanismos de Transferencias Metálicas.	28
3.3.3 Sistema de clasificación	31
3.3.4 Variables del Proceso	32
3.3.5 Ventajas y Desventajas	35
3.4 Soldadura al Arco con Núcleo Fundente	36
3.4.1 Principales características	36
3.4.2 Variables del proceso de soldadura FCAW.	37
3.4.3 Sistema de Clasificación.	40
3.4.4 Ventajas y desventajas.	41
3.5 Soldadura al Arco Sumergido	42
3.5.1 Variables del proceso	43

3.5.2 Sistema de clasificación	46
3.6 Proceso de soldadura TIG (GTAW)	47
3.6.1 Variables del proceso	48
3.6.2 Sistema de clasificación	49
3.6.3 Ventajas del proceso	49
3.7 Soldadura Oxiacetilénica (oxyacetylene welding)	51
3.7.1 Ventajas y desventajas	52
3.8 Procesos de Corte (cutting processes)	53
3.8.1 Corte por gas - oxicomcombustible	53
3.8.2 Corte al arco aire-carbono	55
3.8.3 Corte por arco plasma	56
3.8.4 Corte mecánico	56
3.9 Fuentes de Energía	57
3.9.1 Fuentes de poder de corriente constante	57
3.9.2 Fuentes de poder de voltaje constante	59
3.9.3 Factor de operación	59
DOCUMENTOS QUE GOBIERNAN LA CALIFICACION E INSPECCION EN SOLDADURA	60
4.1 Introducción	60
4.2 Planos de Ingeniería	61
4.3 Códigos, Normas y Especificaciones	62
4.3.1 Códigos (Codes)	62
4.3.2 Normas (Standards)	64
4.3.3 Especificaciones (Specifications)	66
4.4 Control de Materiales	68
4.5 Identificación de las Aleaciones	71
4.6 Especificaciones típicas de aceros	72
4.7 Especificación Típica de Metal de Aporte.	74
4.8 Calificación de Procedimientos y Soldadores	75
4.8.1 Procedimiento de Calificación	76
4.8.2 Calificación de soldador	85
metodos de inspeccion no destructiva	97
5.1 Introducción	97

5.2. Inspección Visual	97
5.2.1. Inspección visual previa a la soldadura	98
5.2.2. Inspección visual durante la soldadura	98
5.2.3. Inspección visual después de la soldadura	98
5.3. Inspección por Tintas Penetrantes.....	98
5.4. Inspección por Partículas Magnéticas	99
5.5. Inspección Radiográfica	101
5.6. Inspección por Ultrasonido	105

1

INTRODUCCION, APLICACIONES Y ALCANCE

1. Introducción

La inspección del trabajo de soldadura representa una de las más importantes labores dentro de cualquier proceso de fabricación o montaje. Existe para ello diversos códigos o especificaciones que dan la pauta a seguir antes, durante y después de efectuado el trabajo.

El inspector de soldadura está encargado de controlar toda esta secuencia de acciones que deben realizarse, para lo cual se requiere que el trabajo de inspección esté claramente definido a través de planos o especificaciones técnicas. De igual manera los criterios de aceptación de una pieza o montaje deberán ser claros y precisos permitiendo que el resultado final sea seguro y confiable.

1.2 Requerimientos para un inspector en Soldadura

- a) **Requerimientos Esenciales:** Por las características del trabajo que desarrolla un inspector de soldadura, éste debe cumplir con ciertas condiciones básicas, tales como buena visión, criterio, condición física, conocimiento en soldadura, conocimientos de planos y especificaciones, conocimientos de los métodos de ensayos, orden de registros. Cada uno de estos requisitos permitirá lograr un mejor resultado en la labor de inspección. El inspector de soldadura será responsable de juzgar la calidad de un producto en relación a alguna especificación establecida evitando atrasar el término y entrega de un trabajo sin causa justificada.
- b) **Características Deseables:** Aunque no es imprescindible, no está de más que un inspector tenga un cierto grado de experiencia y entrenamiento. Si carece de él, deberá suplirlo con mucho estudio y observación. Lo más importante al respecto es: experiencia práctica en soldadura, conocimientos de ingeniería y metalurgia, experiencia en inspección.

1.3 ¿Quién es el Inspector de Soldadura?

Un inspector de soldadura funciona como representante judicial de una organización. Es responsabilidad de un instructor juzgar la calidad del producto en relación a la misma forma de lo escrito en la especificación. Un inspector debe ser capaz de interpretar estas especificaciones como también sus limitaciones e intenciones. La meta debe ser una calidad adecuada, pero el cumplimiento y entrega de un proyecto no pueden ser retrasados sin causa justificada.

El inspector de soldadura es una persona completa: un especialista, altamente calificado en el campo de la soldadura.

1.4 Calificaciones para un inspector de soldadura

El inspector de soldadura debe cumplir las siguientes calificaciones. Ninguna de estas calificaciones puede ser tratada ligeramente por una persona que desea hacer su trabajo de inspección consciente y profesionalmente.

1.4.1. Condición física.

Las condiciones de inspección son frecuentemente difíciles y, a veces, requieren una excelente condición física. El inspector siempre debe recordar que la posición de trabajo está de acuerdo a la conveniencia de los soldadores y/o operadores de soldadura, no para la suya.

1.4.2. Vista.

Una buena vista es vital. Los inspectores deben ser capaces de visualizar agudamente una soldadura, apoyados con los resultados de la radiografía u otras pruebas no destructivas.

1.4.3. Actitud.

La importancia de una actitud profesional no debe ser demasiado acentuada; esto lo determina el grado de éxito o fracaso. Para ser exitoso, un inspector debe recibir la cooperación de asociados en todos los departamentos y debe comandarlos para obtener su ayuda. El debe ser imparcial y consistente en todas las decisiones y debe seguir un procedimiento definido de inspección.

1.5 Conocimiento en Soldadura

El inspector debe tener adecuados conocimientos de los procesos de soldadura para anticipar que imperfecciones son probables que ocurran y donde aparecen ellas. El deberá estar familiarizado con el común de los procedimientos de soldadura y deberá conocer las limitaciones de los soldadores y operadores de soldadura, teniendo esto en cuenta en los detalles del procedimiento. El deberá conocer las variables esenciales de la aplicación de los procesos de soldadura y deberá monitorear estas variables durante todas las etapas de la construcción. El deberá también estar familiarizado con de los diferentes grados de aleaciones y materiales usados en las especificaciones de fabricación.

1.6 Diseño, especificaciones y procedimiento

El inspector debe estar familiarizado con los dibujos de ingeniería y debe ser capaz de interpretar las especificaciones. El debe leer y entender los dibujos y debe conocer los símbolos de soldadura y ensayos no destructivos. En algunas ocasiones, se deberán tomar decisiones acerca de soldaduras que no aparecen en las especificaciones. El inspector deberá, entonces, preguntar por alguna regla a un ingeniero de soldadura calificado o al ingeniero de proyecto.

1.6 Conocimientos de los métodos de ensayos

Numerosos métodos de ensayos se usan para determinar una soldadura adecuada de calidad estándar. Cada método tiene sus limitaciones. El inspector deberá conocer qué le evidenciará cada método y cómo interpretar los resultados. El método de ensayo seleccionado deberá proporcionar información adecuada para comparar con estándares aceptados previamente establecidos.

1.7 Información

El inspector deberá mantener una adecuada información. El deberá escribir informes concisos que puedan ser entendidos sin dificultad. Los informes deberán ser completados de manera suficiente, tal que la razón para su decisión permanecerá clara varios meses después.

1.8 Experiencia en Soldadura

Una experiencia real como soldador u operador de soldadura es invaluable para un inspector. La experiencia en soldadura ampliará sus conocimientos, respeto para dirigir, y le da una mayor credibilidad cuando cuestiona para hacer una crítica constructiva después de rechazar un trabajo mal hecho. Una variada y amplia experiencia con un adecuado entrenamiento, se encuentran en un inspector de soldadura exitoso. Los requerimientos mínimos han sido establecidos por la American Welding Society (AWS) como un esquema aplicable ampliamente a las distintas instrucciones de inspectores. Algunos empleadores requieren que su inspector tenga experiencia en soldadura.

1.9 Educación y entrenamiento

Se valora un entrenamiento formal en los fundamentos de la ingeniería y metalurgia, pero muchos de los inspectores han adquirido conocimientos equivalentes a través de la experiencia y auto-estudio.

La American Welding Society (AWS) ha establecido un programa para inspectores de soldadura certificados los que requieren un nivel mínimo de educación y experiencia. Un inspector de soldadura certificado por la AWS, tendrá:

- Que haber completado con buen resultado un examen de seis horas en todas las fases de la inspección visual.
- Un diploma de enseñanza media o un diploma equivalente que satisfaga los requerimientos educacionales.
- Si el diploma de enseñanza media no es lo suficientemente válido, un inspector puede ofrecer unos cinco años adicionales de experiencia en un trabajo calificado, como un sustituto.
- La experiencia ofrecida debe estar estrechamente relacionada a la inspección de soldadura.
- Más allá de la educación formal de enseñanza media, esta puede ser sustituida por dos años de experiencia en inspección de soldadura.

1.10 Experiencia en Inspección

Un buen comportamiento del inspector con un claro camino de razonamiento y trabajo, además de una buena actitud profesional y un amplio punto de vista, son elementos otorgados por la experiencia en inspección. La experiencia en inspección de otros materiales, que no son conjuntos soldados, también lo ayudará en la inspección de soldadura.

La figura 1.1 resume las cualidades que debe tener un inspector de soldadura.



Figura 1.1.- Resumen de las cualidades que debe poseer un inspector de soldadura.

1.11 Código de Ética

El inspector de soldadura debe reconocer que él tiene una obligación no sólo con su empleador, sino que, en un amplio sentido, con el público cuya seguridad puede depender de la eficiencia con que el inspector realizó su trabajo.

Para mantener la integridad y los altos estándares de habilidad, práctica y manejo durante la inspección de soldadura, el inspector certificado por la AWS (u otro organismo) deberá conocer los siguientes principios y el alcance que ellas poseen.

1.11.1 Integridad.

El inspector de soldadura está obligado a actuar con completa integridad en materia profesional y será directo y justo en materias que pertenecen a su trabajo.

1.11.2. Responsable con el público.

El inspector está obligado a comportarse de acuerdo a los exigentes requerimientos de un inspector de soldadura, en una consciente e imparcial manera que esté completamente de acuerdo con su moral y su responsabilidad cívica, y su calificación. De acuerdo con lo anterior el inspector deberá:

- Empezar y desarrollar una tarea sólo cuando esté calificado por entrenamiento, experiencia y capacidad.
- Ser completamente objetivo, claro y real en el informe escrito, establecer y testimoniar toda la información del trabajo relevante o pertinente, en tal comunicado o testimonio.
- Señalar sólo el trabajo que se ha inspeccionado o el trabajo sobre el que él ha tenido personal conocimiento a través de la dirección técnica.
- Nunca asociarse, ni ser un participante con conocimiento, en un acto fraudulento o deshonesto.

1.11.3. Declaración pública.

El inspector de soldadura no hará declaraciones, críticas o argumentos en materia de la inspección de soldadura, las que no serán rendidas a una parte interesada sin primero identificar y descubrir algún posible interés monetario.

El inspector de soldadura no expresará públicamente ninguna opinión sobre la soldadura sujeta a inspección, excepto si se halla en realmente en una emergencia, en una comunicación pertinente de competencia técnica con el sujeto y en honesta convicción de la exactitud y propiedad de los establecido.

1.11.4. Conflictos de interés.

El inspector de soldadura abordará conscientemente conflictos de interés con el empleador o el cliente y encontrará alguna forma de negociación, intereses o circunstancias que puedan ser también consideradas.

El inspector de soldadura no aceptará compensaciones económicas o de otro tipo.

El inspector de soldadura no solicitará ni aceptará gratificaciones, directa o indirectamente, de alguna parte, o partes, relacionadas con el cliente o empleador en conexión con el trabajo del inspector de soldadura.

1.11.5. Solicitud de servicio.

El inspector de soldadura no recibirá, solicitará u ofrecerá, directa o indirectamente, algún soborno o comisión por un servicio profesional, con la excepción de la comisión real requerida.

1.12 Comunicación

Un inspector de soldadura no deberá solamente poseer las calificaciones físicas, técnicas y éticas mencionadas anteriormente, sino que también deberá poseer la habilidad de un buen

comunicador. El deberá ser capaz de establecer líneas de comunicación con asociados para realizar sus preguntas y respuestas eficientemente y profesionalmente.

1.12.1 Informando al supervisor

El inspector reportará cada evento. En algunos casos será el inspector jefe. En otras ocasiones podría ser el ingeniero de proyecto, un gerente de planta, un arquitecto, un oficial gubernamental o el gerente de control de calidad.

1.12.2 Soldadores

La relación entre el inspector y el soldador es de suma importancia. El soldador a menudo conoce que soldadura está dudosa y donde la junta completa fue impropia o no como se especificó. Un soldador que mira un inspector como un enemigo, no se concentra en lo que hace en cada soldadura. Con alguna razón, él no deberá estar nervioso, para así poder hacer el trabajo de inspección de manera fácil. En todo momento, habrá una buena afinidad entre el inspector y el soldador.

1.12.3 Supervisor y encargado de soldadura

El encargado de soldadura o supervisor, es altamente importante para el inspector. Debido a que en un grupo de soldadores igualmente calificados en adecuadas especificaciones, es el encargado quien decide qué soldador asignar para las soldaduras más difíciles. Recordar, que un inspector es una amplia autoridad sólo para definir el rechazo o aprobación de la soldadura. Una comunicación cordial con el encargado, suaviza el camino para una fabricación aceptable de una soldadura.

1.12.4 Superintendente de área

El superintendente responsabiliza al encargado de la producción. Su confianza en el inspector impedirá que el producto se salte algunas de las inspecciones requeridas.

1.12.5 Gerente de planta

El gerente de planta también ejerce presión sobre la producción y puede, similarmente, desear saltar algunos requerimientos de inspección. El inspector necesita conservar lo informado, para asegurarse que los requerimientos han sido recibidos como lo planificado.

1.12.6 Ingeniero de proyecto

El ingeniero de proyecto es el principal interprete de los diseños y especificaciones para el trabajo. Usualmente, estos documentos presentan el detalle de cada junta para mantener lo diseñado por los ingenieros. Una revisión del trabajo en consulta con el ingeniero de proyecto hará resaltar algunas interrogantes que necesiten una planificación extra.

1.12.7 Ingeniero en soldadura.

El ingeniero en soldadura aprovecha los conocimientos en materiales empleados por el ingeniero de diseño. Un inspector necesita tener acceso al ingeniero de soldadura para que posibles problemas en la construcción puedan ser guiados con la atención del ingeniero, antes que signifiquen un problema durante la inspección.

1.13. Responsabilidades del Inspector en Soldadura

El inspector de soldadura tendrá una posición de responsabilidad. Esta responsabilidad demanda de una persona profesional con buen carácter, habilidad y sentido común. El inspector de soldadura puede trabajar en distintas plantas de fabricación y en distintos sitios de trabajo. Es obligación un estricto cumplimiento de todas las reglas y regulaciones, especialmente aquellas pertenecientes al comportamiento personal y seguridad. En ningún momento debe considerarse, él mismo, con derecho o privilegios especiales. En cuanto al comportamiento con la organización del constructor, debe ser imparcial, dará decisiones prontamente y será tolerante de la opinión de los otros durante la comunicación.

La primera función del inspector es inspeccionar el trabajo fabricado para asegurar que tenga los requerimientos del contrato. Esto requerirá mantenerse en contacto con las actividades de la fabricación.

El deber de un inspector para muchos tipos de fabricaciones es seguir el orden general del procedimiento de fabricación. Un inspector de soldadura tendrá responsabilidad con:

- Interpretar todos los diseños y especificaciones de conjuntos soldados.
- Chequear que los materiales y los consumibles empleados para el conjunto soldado han sido apropiadamente especificados.
- Chequear e identificar que el material base y el metal de soldadura han sido recibidos de acuerdo con las especificaciones de compra.
- Chequear la composición química y propiedades mecánicas mostradas en los informes de ensayos, comparándolos con los requerimientos especificados.
- Investigar las imperfecciones y desviaciones del metal base.
- Chequear el almacenamiento del metal de aporte.
- Chequear la penetración de la junta de soldadura.
- Chequear el equipo que será usado.
- Chequear la preparación de la junta de soldadura.
- Chequear completamente la junta.
- Verificar la aplicación del procedimiento de soldadura aprobado.
- Verificar los informes de calificación para los procedimientos de soldadura, soldadores y operadores de soldadura.
- Elegir modelos de pruebas de producción si se requiere.
- Evaluar los resultados de las pruebas en contraste con las especificaciones.
- Mantener registros.
- Preparar informes.

1.13.1 Conocimientos de diseño y especificaciones.

El instructor deberá estudiar los dibujos y diseños para familiarizarse con los detalles de la construcción. El deberá anotar los materiales a ser usados en la estructura soldada y si alguno de ellos requiere un tratamiento especial para que la soldadura sea satisfactoria. Esta información deberá ser claramente establecida en las especificaciones o procedimientos de soldadura.

1.13.2 Chequear las especificaciones de las adquisiciones.

Las especificaciones para el trabajo identificarán todos los materiales que serán usados. Estas listas incluirán todos los metales bases, y todos los materiales consumibles. El inspector examinará las especificaciones de las adquisiciones para asegurar que los materiales ordenados son los materiales requeridos.

1.13.3. Verificación del material de trabajo.

El inspector examinará que los materiales suministrados son los mismos que los incluidos en la orden de adquisición y que cada pieza esté visiblemente identificada.

1.13.4 Identificación del metal de aporte.

La American Welding Society ha desarrollado un sistema de identificación de metal de aporte y fundentes que es simple, rápido de usar y de considerable ayuda para el inspector.

1.13.5. Chequear el almacenamiento del metal de aporte.

El inspector de soldadura investigará especialmente cómo son almacenados los electrodos de soldadura y el metal de aporte. Los electrodos de bajo hidrógeno fuera de sus contenedores deben ser conservados a una temperatura apropiada prescrita por el fabricante o la especificación aplicable. También recordar que los fundentes y alambres tubulares necesitan protección de la humedad.

1.13.6 Chequear equipo de soldadura.

Todo el equipo de soldadura, incluyendo aquellos que son usados para pruebas deberá ser chequeado para la capacidad operacional, calibración y seguridad.

1.13.7. Penetración de la junta de soldadura.

Se listan las tolerancias específicas para penetraciones en juntas de soldadura. Las juntas PRE-calificadas de AWS D1.1 son ejemplos típicos. La responsabilidad del inspector incluye la examinación de la junta bajo la soldadura para cada preparación, dimensiones de la cara de la raíz y ángulo bisel.

1.13.8 Análisis químico y ensayos para propiedades mecánicas.

El inspector solicitará pruebas representativas de materiales de utilización crítica, verificando la composición química y las propiedades mecánicas.

1.13.9. Chequear la calidad del material.

La calidad de los productos suministrados para un trabajo debe ser igual a la calidad especificada para la estructura o conjunto soldado final.

1.13.10 Procedimiento de calificación de soldadura.

El constructor debe prescribir los detalles del procedimiento de soldadura que será seguido en la producción del conjunto soldado. Ellos producirán juntas soldadas con propiedades mecánicas aceptables como es requerido por las especificaciones y códigos particulares.

1.13.11. Calificación del soldador u operador de soldadura.

Los códigos y especificaciones que se aplican en la fabricación de conjuntos soldados, usualmente requieren de la calificación de todos los soldadores y operadores de soldadura. Es el deber de los inspectores verificar que todos los soldadores y operadores de soldadura quienes trabajen bajo el código o especificación, hallan sido apropiadamente calificados de acuerdo al código.

1.13.12 Selección de las muestras de ensayos en la producción.

En ensambles soldados, la inspección de los productos es a menudo conformada con muestras tomadas de la línea de producción. Estas muestras pueden ser elegidas al azar o de acuerdo a la orden establecida.

1.13.13. Evaluación de los resultados de los ensayos.

En algunas ocasiones será impracticable realizar todos los ensayos. El inspector debe asegurar que los equipos de prueba han sido calibrados. Cuando las pruebas han sido realizadas, él debe evaluar y decidir si los productos poseen las especificaciones.

1.13.14 Mantener registros e informes.

El código de trabajo siempre requiere mantener registros. Los registros tendrán datos, escritos a máquina o completados a mano, teniendo tanto detalle como sea necesario, y señalado por el inspector.

2

SIMBOLOGIA EN SOLDADURA

2.1. SIMBOLOS DE SOLDADURA

La simbología en la especificación de trabajos de soldadura es una forma clara, precisa y ordenada de entregar información de operación. Existe para ello una simbología estándar que ha sido adoptada para la mayoría de los procesos de soldadura.

Una ilustración típica del uso y ventajas que representa la simbología se puede apreciar en la figura 2.1, en la cual se muestra también una comparación con la explicación detallada. La ventaja es Obvia.

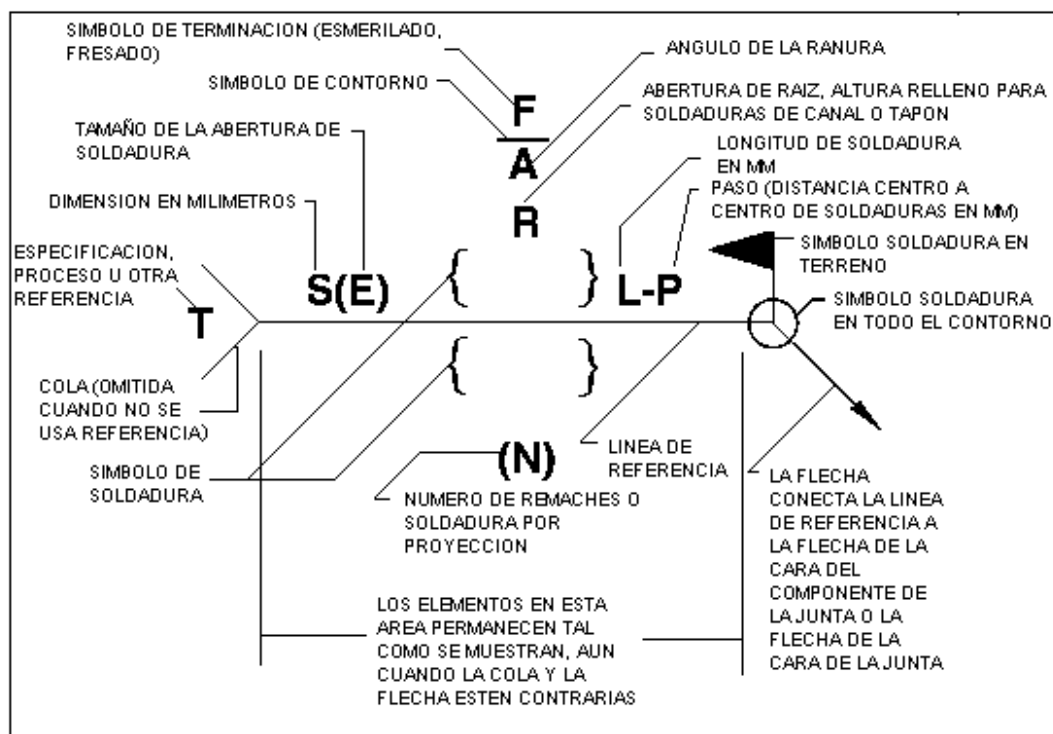


Fig. 2.1.- Ubicación estándar de los elementos de la simbología en soldadura.

En las siguientes figuras se muestran algunos ejemplos de las aplicaciones de la simbología de soldadura.

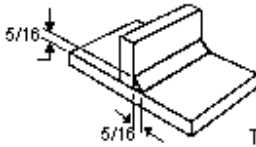
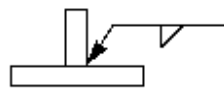
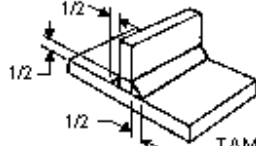
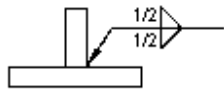
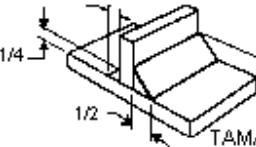
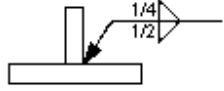
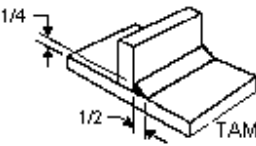
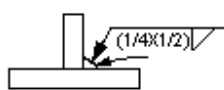
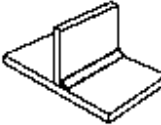
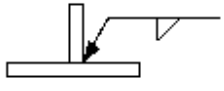
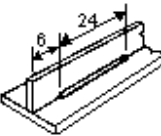
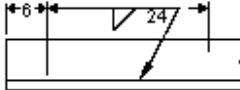
SOLDADURA	SIMBOLOGIA
 <p>TAMAÑO DE UN FILETE</p>	
 <p>TAMAÑO DE DOS FILETES IGUALES</p>	
 <p>TAMAÑO DE DOS FILETES DIFERENTES</p>	
 <p>TAMAÑO DE UN FILETE DE TAMAÑO DIFERENTE</p>	
 <p>FILETE CONTINUO</p>	
 <p>LONGITUD DE UN FILETE</p>	

Fig. 2.2.- Ejemplo de soldadura de filetes.

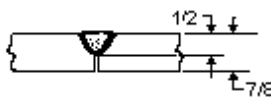


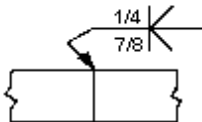
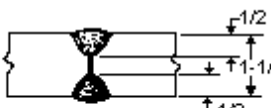
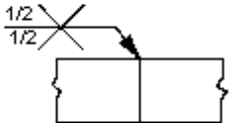

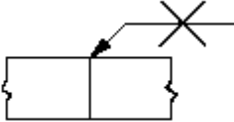



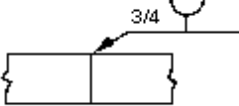
SOLDADURA	SIMBOLOGIA
	
	
	
	
	
	

Fig. 2.3.- Ejemplo de soldadura de tope con bisel.

2.2 SIMBOLOGÍA PARA ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Cuando se requiere efectuar ensayos no destructivos, es importante indicar la naturaleza y extensión de tales ensayos. Para ello existen símbolos estandarizados que consisten en los siguientes elementos mostrados en la figura 2.2.

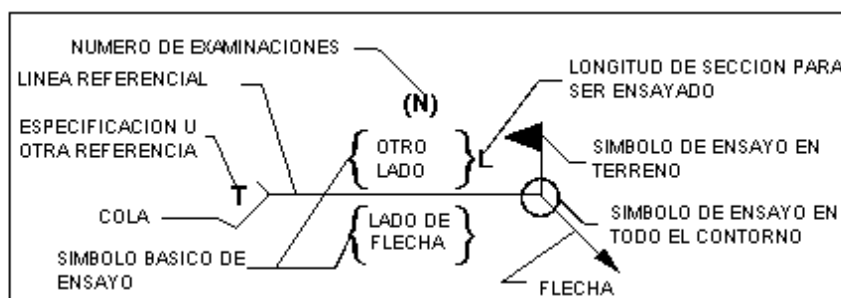


Fig. 2.4.- Ubicación estándar de los elementos.

Los símbolos usados en los ensayos no destructivos son los siguientes:

- VT : visual
- RT : radiografía
- UT : ultrasonido
- MT : partículas magnéticas
- PT : tintas penetrantes
- ET : corrientes de eddy

De acuerdo con la figura anterior se puede apreciar además que la simbología de ensayos no destructivos sigue el mismo principio que los símbolos de soldadura. En algunos casos por especificación es necesario indicar la fuente de radiación, para lo cual se utiliza el símbolo adecuado señalando distancia y orientación de ella.

Los símbolos de soldadura y de END pueden ser combinados en uno sólo, al igual que símbolos de diferentes ensayos no destructivos.

3

PROCESOS DE SOLDEO Y CORTE DE MATERIALES METÁLICOS.

3.1 Introducción

Este módulo presenta los procesos de soldeo y corte de metales que corresponde a dominio directo del inspector en soldadura, por tal motivo esta información entregada en este módulo es de suma importancia y de mucha ayuda para los aspirantes.

Bajo este esquema el inspector de soldadura tiene como prioridad el conocimiento de los procesos de soldadura, las variables de unión y procesos de cortes, aunque no es requisito que el inspector tenga conocimiento como soldador si es una ventaja haberlo sido, la experiencia muestra que los buenos inspectores han sido soldadores en sus inicios.

Existen algunos aspectos en soldadura y corte que el inspector debe entender en orden de ejecutar más efectivamente su función. Bajo este contexto, el inspector debe conocer las ventajas y limitaciones de cada proceso, como también de los posibles efectos que pueden producir estos en la generación de discontinuidades.

Los procesos que se discuten en este módulo pueden dividirse en tres grupos: soldadura, brazing (soldadura fuerte) y corte. Los dos primeros describen métodos de unión de metales mientras que el corte trata en la remoción o separación de material. Existen numerosos procesos disponibles de unión y corte para el uso en la fabricación de productos metálicos. Bajo es esquema, la Sociedad Americana de Soldadura (**American Welding Society**) posee una carta maestra de soldadura y procesos relacionados, ver figura 3.1, esta carta maestra separa en varias categorías los métodos de unión y corte.

Los procesos de soldadura son divididos en siete grupos:

Soldadura al arco (**arc welding**), soldadura en estado sólido (**solid state welding**), soldadura por resistencia (**resistance welding**), soldadura oxifuel (**oxyfuel gas welding**), soldadura blanda (**soldering**), soldadura fuerte (**brazing**) y otros procesos de soldadura (**other welding**).

Los procesos aleados o relacionados (**allied procesos**) incluyen rociado térmico (**thermal spraying**), unión adhesiva (**adhesive bonding**) y corte térmico (**thermal cutting**)

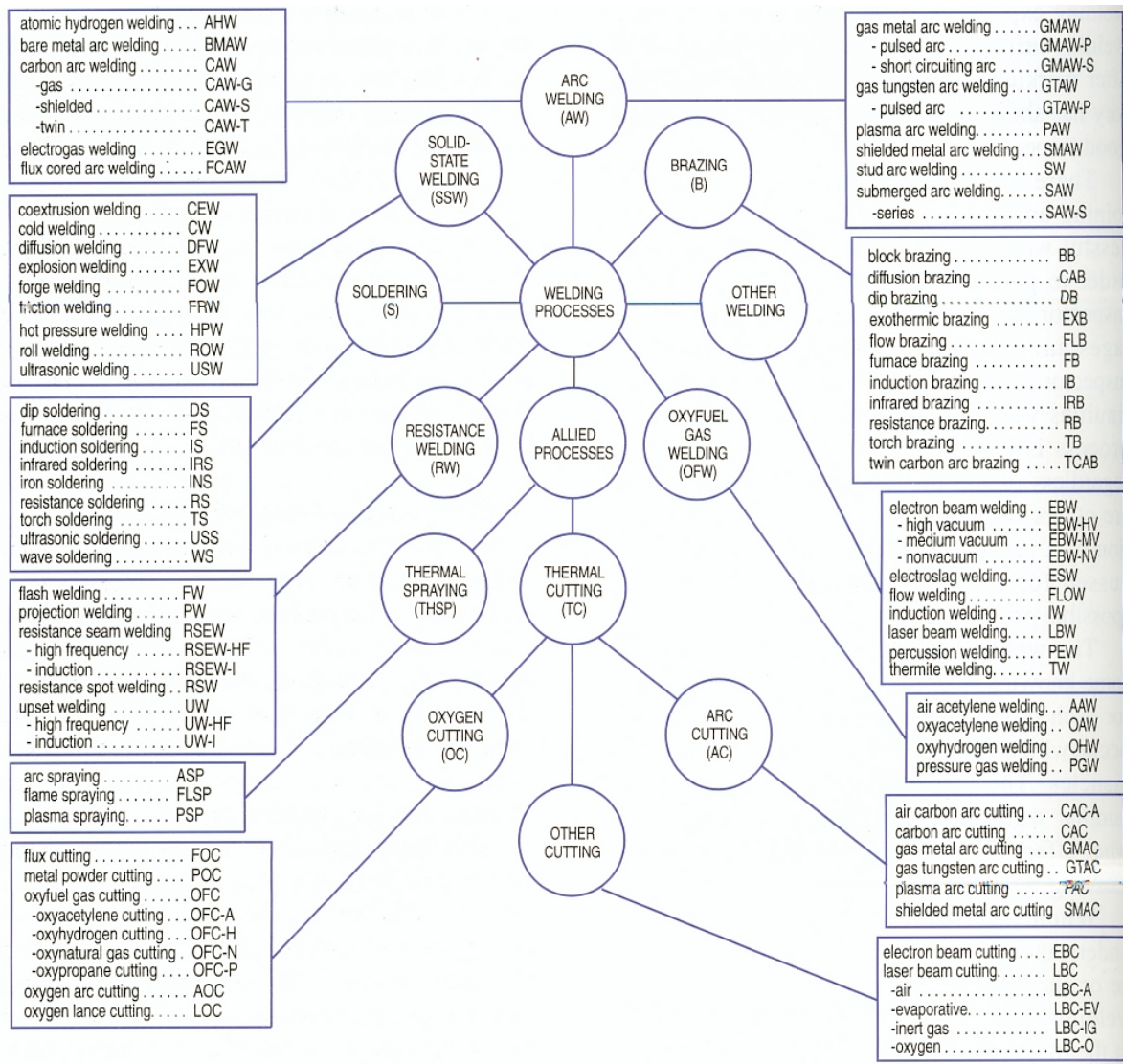


Figura 3.1 Carta maestra de procesos de soldadura según AWS.

En este curso sólo se tratarán aquellos procesos que son evaluados durante el examen para optar al título de inspector en soldadura certificado AWS. Así sólo los siguientes procesos serán tratados:

Procesos de Soldadura (Welding Processes)

- Soldadura al arco manual con electrodo revestido – SMAW –
- Soldadura al arco metálico con gas de protección – GMAW –
- Soldadura al arco con núcleo fundente – FCAW –
- Soldadura al arco con electrodo tungsteno y gas de protección – GTAW –
- Soldadura al arco sumergido – SAW –
- Soldadura al arco con plasma – PAW –
- Soldadura electroescoria – ESW –
- Soldadura oxiacetilénica – OAW –
- Soldadura espárrago – SW –
- Soldadura con haz de láser – LBW –
- Soldadura con haz de electrones – EBW –
- Soldadura por resistencia – RW –

Procesos de Soldadura Fuerte (Brazing Processes)

- Soldadura fuerte con soplete – Torch Brazing –
- Soldadura fuerte en horno – Furnace Brazing –
- Soldadura fuerte por inducción – Induction Brazing –
- Soldadura fuerte por resistencia – Resistance Brazing –
- Soldadura fuerte por baño - Dip Brazing –
- Soldadura fuerte por infrarrojo – Infrared Brazing –

Procesos de corte (Cutting Processes)

- Corte por oxidcombustible – Oxifuel Cutting –
- Corte por arco aire-carbono – Air Carbon Arc Cutting –
- Corte por arco de plasma – Plasma Arc Cutting –
- Corte mecánico – Mechanical Cutting –

Antes de entrar a discutir los procesos de soldadura y corte, es apropiado definir el significado del término soldadura de acuerdo a la Sociedad Americana de Soldadura (AWS).

Una soldadura es “una coalescencia localizada de metales o no metales producido por calentamiento de los materiales a la temperatura de soldadura con o sin la aplicación de presión, o por la aplicación de sólo presión y con o sin el uso de metal de aporte” (***a weld is “a localized coalescence of metals or nonmetals produced either by heating the materials to the welding temperature, with or without the application of pressure, or by the application of pressure alone and with or without the use of filler metal”***).

3.2 Soldadura al Arco Manual con Electrodo Revestido

El proceso de soldadura arco manual con electrodos revestidos (**Shielded Metal Arc Welding – SMAW-**) es un proceso de soldadura en que la coalescencia de metales es producida por el intenso calor de un arco eléctrico que es mantenida entre la punta del electrodo revestido y la superficie del metal base.

El núcleo del electrodo revestido consiste de una varilla metálica que ha sido obtenido mediante la operación de trefilado, éste núcleo tiene como función de conducir la corriente eléctrica y proporcionar el metal de aporte. Por su lado, la principal función del revestimiento del electrodo es estabilizar el arco eléctrico y proteger el metal fundido de la contaminación de los gases del aire mediante la generación de gases que son producto de la descomposición del revestimiento.

En forma adicional, los diferentes componentes del revestimiento junto al núcleo definen las propiedades mecánicas, composición química y las características metalúrgicas del depósito de soldadura. De esta forma existen diferentes tipos de revestimientos que generan diferentes tipos de electrodos.

3.2.1 Principio de Operación

El proceso SMAW es lejos el sistema de soldadura más usado con respecto a los diferentes procesos de soldadura al arco que existen actualmente. Este emplea el calor del arco eléctrico para fundir el metal base y la punta del electrodo revestido. El electrodo y la pieza de trabajo son parte de un circuito eléctrico. Este circuito comienza en la fuente de poder, el cual es ilustrado en la figura 3.2, e incluye los cables de soldadura, porta electrodo, conexión a la pieza de trabajo (conjunto soldado) y el arco eléctrico. Uno de los dos cables de la fuente de poder es conectado a la pieza de trabajo y el otro es conectado al porta electrodo.



Figura 3.2 Fuente de poder típica en el proceso SMAW

La soldadura comienza cuando un arco eléctrico es encendido entre la punta del electrodo y la pieza de trabajo. El intenso calor generado funde la punta del electrodo y la superficie de la pieza de trabajo, rápidamente se forman diminutas gotas de metal fundido en la punta del electrodo, luego la transferencia se realiza a través de la corriente del arco hasta la poza de soldadura. De esta manera, el metal de aporte es depositado a medida que el electrodo es consumido progresivamente.

El arco se mueve sobre la pieza de trabajo con una apropiada longitud de arco y velocidad de avance fundiendo una porción del metal base y agregando continuamente metal de aporte. El arco es uno de los mayores generadores de calor de todas las fuentes comercializadas, han sido medidas temperaturas en el

centro del arco por sobre los 5000 °C. Si la soldadura es ejecutada en plano o posición horizontal, la transferencia del metal es inducida por la fuerza gravitacional, la expansión del gas, fuerzas eléctricas y electromagnéticas, y por la tensión superficial. Para soldaduras en otras posiciones, la gravedad trabaja en contra a las otras fuerzas.

El proceso requiere suficiente corriente eléctrica para fundir el electrodo y metal base. Los diferentes tipos y diámetros de electrodos definen los requerimientos de voltaje e intensidad de corriente. Esta última puede ser del tipo alterna o continua dependiendo del electrodo.

3.2.2 Revestimiento del electrodo

Además de estabilizar el arco y proporcionar metal de aporte para el depósito de soldadura, el electrodo aporta otros elementos en o alrededor del arco, o ambos. Dependiendo del electrodo usado, el revestimiento cumple una o más de las siguientes funciones:

1. Provee un gas para proteger el arco y prevenir la excesiva contaminación atmosférica del metal de aporte fundido.
2. Provee de agentes refinadores, desoxidantes y fundentes para limpiar la soldadura y prevenir el excesivo crecimiento de grano en el metal de soldadura.
3. Establece las características eléctricas del electrodo.
4. Provee de una capa de escoria para disminuir la velocidad de enfriamiento del cordón de soldadura y con ello mejorar las propiedades mecánicas, configuración del cordón y limpieza de la superficie del metal de soldadura.
5. Provee de un medio para la adición de elementos de aleación para modificar las propiedades mecánicas del metal de soldadura.

Las funciones 1 y 4 previenen el ingreso de oxígeno y nitrógeno por el metal de aporte fundido, flujo del arco y por el metal soldado solidificado.

El revestimiento del electrodo es aplicado por uno de los dos procesos: extrusión o por inmersión. El proceso de extrusión es el más ampliamente usado.

3.2.3 Protección del arco

La acción protectora del arco, ilustrada en la figura 3.3, es esencialmente la misma para todos los electrodos. Pero el método específico de protección y el volumen de escoria producida varían de tipo en tipo. La mayor parte del material del revestimiento en algunos electrodos es convertido en gas producto del calor del arco eléctrico, y sólo se produce una pequeña cantidad de escoria. Este tipo de electrodos depende principalmente de la protección gaseosa para prevenir la contaminación atmosférica.



Fig. 3.3.- Proceso arco manual (SMAW) con electrodo revestido.

Para otros electrodos, la mayor parte del revestimiento es convertido en escoria producto del calor del arco eléctrico, y sólo se produce un pequeño volumen de gas protector. Las diminutas gotas de metal fundido son transferidas a través del arco cubiertas con una delgada película de escoria fundida. Esta escoria fundida flota en la superficie de la soldadura debido a que es más liviana que el metal. La escoria solidifica después de que el metal de soldadura ha solidificado. Las soldaduras realizadas con estos electrodos se identifican por la gruesa capa de escoria depositada que cubre completamente al metal de soldadura.

3.2.4 Variables del proceso de soldadura SMAW

Diámetro del electrodo (electrode diameter): El diámetro correcto del electrodo es aquel que cuando se usa con el amperaje y velocidad de soldadura apropiados, produce un depósito de soldadura del tamaño requerido en la menor cantidad de tiempo.

La elección del diámetro del electrodo depende ampliamente del espesor (**thickness**) del metal a ser soldado, la posición de soldadura empleada, y el tipo de junta a ser soldada. En general, los mayores diámetros son seleccionados para aplicaciones que involucran materiales de espesores grandes o para soldaduras en posición plana (**flat**) en orden a su mayor tasa de depósito.

Para soldaduras en posición horizontal (**horizontal**), vertical (**vertical**) y sobrecabeza (**overhead**), el metal de soldadura fundido tiende a fluir fuera de la poza de soldadura debido a fuerzas gravitacionales. Esta tendencia puede ser controlada usando pequeños electrodos para reducir el tamaño de la poza de soldadura. La manipulación del electrodo y el incremento de la velocidad de soldadura a lo largo de junta (**joint**) también ayudan en el control del tamaño de la poza.

Corriente de soldadura (welding current): El proceso de soldadura SMAW puede ser acompañado con corriente alterna o corriente continua, cuando se emplea el electrodo adecuado. El tipo de corriente de soldadura, la polaridad y los constituyentes del revestimiento del electrodo influyen en la razón de fusión de todos los electrodos revestidos.

Corriente continua (direct current): La corriente continua entrega siempre, en comparación a la corriente alterna, un arco estable y una transferencia continua de metal. Esto se debe a que la polaridad de la CC (**DC**) no siempre está cambiando como sucede con la corriente alterna.

La corriente continua produce una buena acción de mojado por la fusión del metal de soldadura y tamaño uniforme del cordón con bajo amperaje. Por esta razón, la CC es especialmente adecuada para soldar secciones delgadas.

La corriente continua es preferida para soldadura vertical y sobrecabeza, y para soldadura con un arco corto.

Corriente alterna (alternating current): Para el proceso SMAW, la CA (**AC**) ofrece dos ventajas sobre la CC. Una es la ausencia de soplo del arco y la otra es el costo de la fuente de poder. Al no existir soplo magnético, pueden emplearse electrodos de mayores diámetros e intensidades de corrientes más altas. Ciertos electrodos, específicamente aquellos con polvo de hierro en su revestimiento, son diseñados para operaciones con altos amperajes con CA. La fijación de materiales, diseño y ubicación de la conexión en la pieza de trabajo puede no ser tan crítica con CA.

Amperaje (amperage): Los electrodos revestidos de un tamaño y clasificación específicos operarán satisfactoriamente con distintos amperajes en algún cierto rango. Este rango variará con el diámetro y formulación del revestimiento. La tasa de depósito (**deposition rates**) incrementa con el amperaje.

Para un diámetro dado de electrodo, los rangos de amperaje y la tasa de depósito resultante variarán desde una clasificación de electrodo a otra. Con un tipo y tamaño específico de electrodo, el amperaje óptimo depende de distintos factores tal como la posición de soldadura y el tipo de junta. El amperaje debe ser suficiente para lograr una buena fusión y penetración aun permitiendo un apropiado control de la poza de soldadura. Para soldaduras verticales y sobrecabeza, el amperaje óptimo podría ser el menor del rango permisible.

Longitud de arco (arc length): La longitud de arco es la distancia desde la punta fundida del núcleo del electrodo a la superficie de la poza de soldadura. Una correcta longitud de arco varía de acuerdo a la clasificación, diámetro y composición del electrodo; también varía con el amperaje y la posición de soldadura. El control de la longitud de arco depende principalmente de la destreza del soldador, involucrando los conocimientos, experiencia, percepción visual y destreza manual del soldador.

Velocidad de soldadura (travel speed): Es la velocidad con que el electrodo se mueve a lo largo de la línea de soldadura. La velocidad de soldadura apropiada es aquella que produce un cordón de soldadura de contorno y apariencia apropiados. La velocidad de soldadura es influenciada por los siguientes factores:

- Tipo de corriente de soldadura, amperaje y polaridad.
- Posición de soldadura.
- Razón de fusión del electrodo.
- Condiciones superficiales del metal base.
- Manipulación del electrodo.
- Patrón del cordón de soldadura.

Orientación del electrodo (electrode orientation): Esta variable es importante con respecto a la calidad de una soldadura, orientaciones inadecuadas pueden resultar en atrapamiento de escoria, porosidad y socavación. Una adecuada orientación depende en el tipo y diámetro del electrodo, posición y geometría de la unión. La orientación del electrodo queda definido por el ángulo de avance y ángulo de trabajo.

Angulo de avance (**travel angle**): es el ángulo menor de 90° entre el eje del electrodo y una línea perpendicular al eje de soldadura en un plano determinado por el eje del electrodo y el eje de la soldadura.

Angulo de trabajo (**work angle**): es el ángulo menor que 90° entre una línea perpendicular a la superficie principal de la pieza de trabajo y un plano determinado por el eje del electrodo y el eje de la soldadura.

Cuando el electrodo apunta en la dirección de soldadura, la técnica toma el nombre de empuje (**forehand**), en este caso el ángulo de avance se llama ángulo de empuje.

Cuando el electrodo apunta en sentido contrario al avance, la técnica toma el nombre de arrastre (**backhand**), en este caso el ángulo de avance se llama ángulo de arrastre.

3.2.5 Sistema de clasificación de electrodos

La Sociedad Americana de Soldadura posee un sistema de clasificación de electrodos los cuales quedan definidos en las especificaciones de electrodos, como ejemplos se pueden destacar las especificaciones A5.1 y A5.5 que corresponden a los electrodos para acero al carbono y aceros baja aleación respectivamente. Bajo este contexto, la figura 3.4 muestra el sistema de clasificación para electrodos.

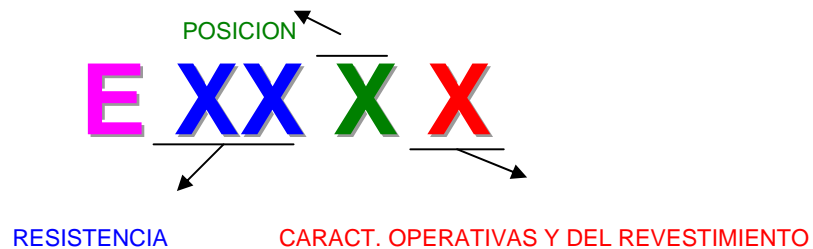


Figura 3.4 Sistema de identificación para electrodo SMAW.

Esta identificación consiste en la letra “E” que significa Electrodo seguido por cuatro o cinco dígitos. Los primeros dos, o en algunos casos los tres primeros números, se refieren a la resistencia mínima a la tracción máxima multiplicado por 1000 y expresado en psi (libras fuerza por pulgada cuadrada) que posee el depósito de soldadura. Por ejemplo, E70 significa que el metal de soldadura posee como mínimo 70,000 psi a la tracción máxima.

El siguiente número se refiere a la posición en el cual el electrodo puede ser usado, para este caso tenemos el número “1” que significa que el electrodo es toda posición, “2” que el electrodo es adecuado sólo para soldadura plano y horizontal y finalmente el número “4” significa que el electrodo es apto para vertical descendente. No existe actualmente un significado para el número “3”.

Por último tenemos que el número al final de la identificación determina las características operativas y de revestimiento que posee el electrodo. La tabla 3.1 detalla en forma completa este último significado.

Tabla 3.1 Significado del último dígito para la clasificación de electrodos SMAW

Clasificación F-No	Corriente	Arco	Penetración	Revestimiento&escoria	Hierro en polvo
F3 EXX10	CCEP	Enérgico	Profunda	Celulosa-sodio	0-10%
F3 EXXX1	CA & CCEP	Enérgico	Profunda	Celulosa-potasio	0%
F2 EXXX2	CA & CCEN	Medio	Media	Rutilo-sodio	0-10%

F2 EXXX3	CA & CC	Leve	Baja	Rutilo-potasio	0-10%
F2 EXXX4	CA & CC	Leve	Baja	Rutilo-hierro en polvo	25-40%
F4 EXXX5	CCEP	Medio	Media	Bajo hidrógeno-sodio	0%
F4 EXXX6	CA o CCEP	Medio	Media	Bajo hidrógeno-potasio	0%
F4 EXXX8	CA o CCEP	Medio	Media	Bajo hidrógeno - hierro en polvo	25-45%
F1 EXX20	CA o CC	Medio	Media	Óxido hierro-sodio	0%
F1 EXX24	CA o CC	Leve	Baja	Rutilo-hierro en polvo	50%
F1 EXX27	CA o CC	Medio	Media	Óxido hierro-hierro en polvo	50%
F1 EXX28	CA o CCEP	Medio	Media	Bajo hidrógeno - hierro en polvo	50%

Es importante hacer notar que aquellos electrodos finalizados en “5”, “6” y “8” son clasificados como tipos “bajo hidrógeno”, por este concepto son muy críticos su mantenimiento y almacenamiento para evitar la absorción de humedad. La mayoría de los códigos requieren que estos electrodos sean mantenidos a 120 °C después de haberlos retirados del envase.

Aquellos electrodos que son usados para unión de aceros baja aleación mantienen el mismo sistema de clasificación que los electrodos para acero al carbono excepto que es agregado al final de la identificación un sufijo alfanumérico que hace referencia a su composición química del depósito de soldadura. La tabla 3.2 muestra el significado de los sufijos.

Tabla 3.2 sufijos para electrodos de acero baja aleación en SMAW.

Sufijo	Elemento principal de aleación
A1	0.5% Molibdeno
B1	0.5% Molibdeno – 0.50% Cromo
B2	0.5% Molibdeno – 1.25% Cromo
B3	1.0% Molibdeno – 2.25% Cromo
B4	0.5% Molibdeno – 2.0% Cromo
C1	2.5% Níquel
C2	3.5% Níquel
C3	1.0% Níquel
D1	0.3% Molibdeno – 1.50% Manganeso
D2	0.3% Molibdeno – 1.75% Manganeso
G*	0.2% Molibdeno, 0.3% Cromo, 0.5% Níquel, 1.0% Manganeso, 0.1% Vanadio
W	Acero de intemperie (wheating steel)

* necesita cumplir al menos uno de estos elementos

3.2.6 Ventajas y Desventajas.

Hay muchas ventajas del proceso SMAW. La intensidad del calor del arco permite el recubrimiento de grandes piezas sin precalentamiento. Se pueden recubrir sin distorsiones pequeñas áreas de piezas maquinadas o fabricadas que poseen tolerancias críticas. Las áreas con acceso restringidos se pueden alcanzar en mejor forma con electrodos revestidos. El proceso total es relativamente rápido, pues no es necesario precalentamiento y ni temperaturas altas de interfase (obviamente depende del metal base). Otro atractivo rasgo de este proceso es la portabilidad de los equipos.

Hay también algunas desventajas con el proceso SMAW que deben ser consideradas. Baja eficiencia y tasa de depósito. La penetración tiende a ser alta, y la razón de dilución se encuentra alrededor de un 20% o incluso un poco más. Se requieren dos o tres capas de metal de soldadura para obtener las máximas propiedades de desgaste. Se debe remover la escoria entre pasadas lo que aumenta el tiempo de limpieza. Debido a que el electrodo revestido es normalmente depositado con una pequeña cantidad de precalentamiento, puede ocurrir rotura o agrietamiento transversal, especialmente con electrodos altamente aleados.

3.3 Soldadura al arco metálico con gas de protección

La soldadura al arco metálico con gas de protección (**Gas Metal Arc Welding –GMAW-**), más conocido como proceso mig/mag utiliza un arco entre un metal de aporte continuo y la pieza de trabajo, todo ello protegido mediante un suministro de gas externo.

3.3.1 Principio de Operación

El proceso GMAW, o mig/mag, incorpora una alimentación continua del electrodo consumible que es protegido por un gas suministrado externamente. El proceso es ilustrado en la figura 3.5. Una vez realizado los ajustes por el operador, el equipo entrega una autorregulación automática de las características eléctricas del arco. De esta forma, la única operación manual que realiza el soldador es la velocidad de avance, dirección y posición de la pistola (**gun**).

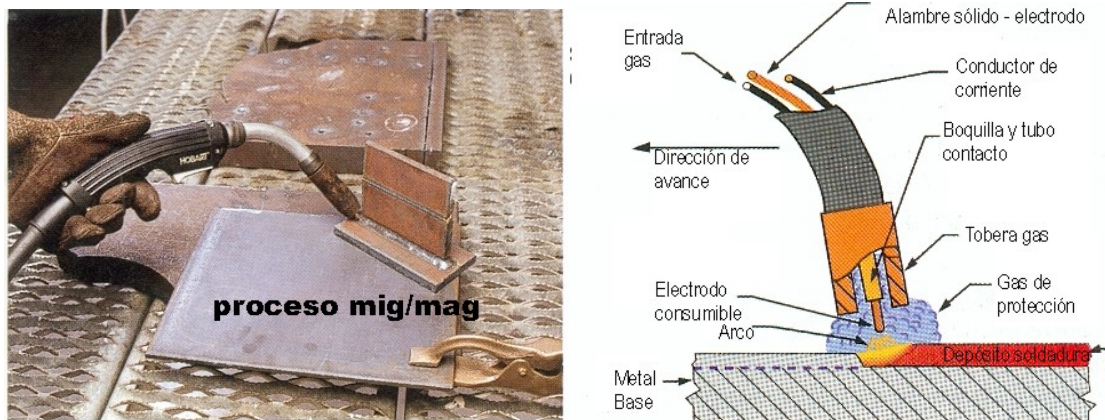


Figura 3.5 Proceso mig-mag o Gas Metal Arc Welding

Los componentes básicos del equipamiento para el proceso mig/mag son: Pistola de soldadura (**welding gun**), unidad de alimentación del electrodo (**electrode feed unit**), fuente de poder (**power supply**) y fuente del gas de protección (**shielding gas**).

La pistola de soldadura guía al electrodo consumible, conduce la corriente eléctrica y el gas de protección a la zona de trabajo, esto permite proporcionar la energía para establecer y mantener el arco, fundir el electrodo y protegerlo de la atmósfera del ambiente.

3.3.2 Mecanismos de Transferencias Metálicas

Las características del proceso GMAW es mejor descrito en términos del tipo y forma de transferencia por el cual el metal de aporte es conducido a la poza de soldadura. Existen tres tipos de transferencias:

- Transferencias Corto Circuito (**Short circuiting transfer**)
- Transferencia Globular (**Globular transfer**)
- Transferencia Spray (**Spray transfer**)

Estos tipos de transferencias queda determinado por un número de factores siendo los más influyentes los siguientes:

- Magnitud y tipo de corriente de soldadura
- Diámetro electrodo
- Composición electrodo
- Extensión del electrodo
- Gas de protección

Transferencia Corto Circuito

Este tipo de transferencia se encuentra relacionado con los valores más bajo de corriente, voltaje y diámetro de electrodo, produce una poza de soldadura de tamaño pequeño con una rápida solidificación, ello permite que este tipo de transferencia se encuentre asociado a uniones de secciones delgadas, soldadura toda posición y grandes separaciones de raíz.

Las gotas metálicas son transferidas desde el electrodo a la pieza de trabajo durante un corto periodo de tiempo; ello ocurre cuando la punta del electrodo toca a la poza de soldadura, por tanto no existe transferencia metálica a través de la longitud de arco. El electrodo hace contacto con la poza de soldadura en un rango que va de 20 a sobre 200 veces por segundo, la secuencia de eventos en la transferencia metálica y el correspondiente comportamiento del voltaje y corriente se muestra en la figura 3.6.

Cuando el alambre toca el metal de soldadura, la corriente se incrementa (A, B, C y D en la figura 3.6), por su parte el metal fundido en la punta del alambre se desprende en D y E iniciándose un nuevo arco como se muestra en E y F. La tasa de incremento de corriente debe ser lo suficientemente alta para calentar el electrodo y promover la transferencia metálicas como también lo suficientemente baja para minimizar las salpicaduras causada por la violenta separación de la gota del metal. Esta velocidad de incremento de la corriente es controlada por ajuste de la inductancia en la fuente de poder. Cuando el arco es establecido, el alambre se funde en la punta mientras es alimentado hasta formar el próximo corto circuito, en H de la figura 3.6.

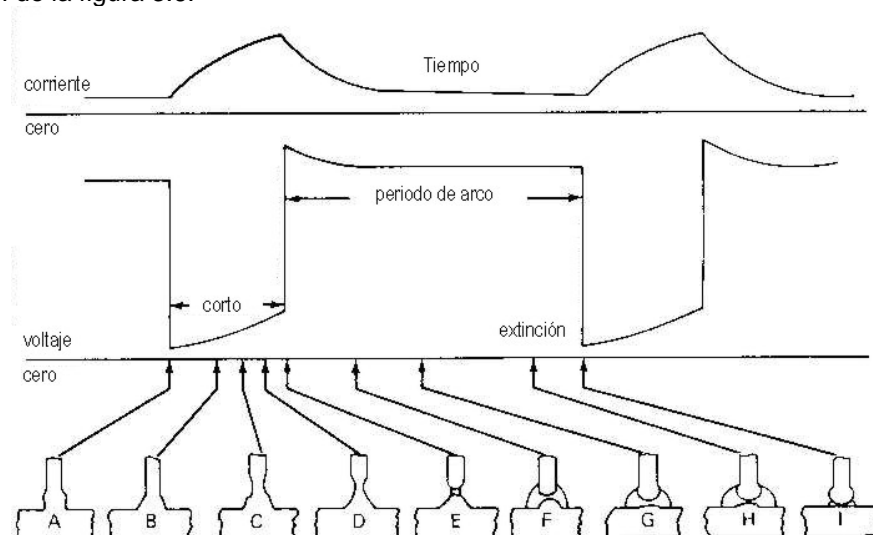


Figura 3.6 Representación esquemática de la transferencia por cortocircuito

Aunque la transferencia metálica ocurre durante el corto circuito, la composición del gas de protección tiene un efecto dramático sobre la tensión superficial del metal fundido. En general, el tipo de gas influye en las características operativas del arco y la penetración en el metal base. Por ejemplo, el dióxido de carbono, CO₂, produce altos niveles de salpicadura comparados con gases inertes, pero también el CO₂ produce mayor penetración en el metal base.

Transferencia Globular

La transferencia globular es caracterizada por un tamaño de gota que es mayor que el diámetro del alambre que está siendo usado, este tipo de transferencia posee características operativas que tienden a ser menos estable y por ende normalmente rechazada como tipo de transferencia en la práctica debido a su gran cantidad de salpicaduras (proyecciones metálicas).

Transferencia Spray

Con mezclas ricas en argón es posible producir un modo de transferencia muy estable, libre de salpicadura y de forma axial, en la figura 3.7 se ilustra una comparación de los tres tipos de transferencias, Esto requiere el uso de corriente continua electrodo positivo (**direct current electrode positive – DCEP-**) y un nivel de corriente sobre el valor crítico llamado corriente de transición. Bajo esta corriente, la transferencia ocurre bajo el modo globular, descrito previamente, sobre la corriente de transición, la transferencia ocurre en la forma de gotas muy pequeñas que son formadas y liberadas a una velocidad de varios cientos por segundo.

La transferencia spray resulta en un flujo de gotas altamente direccionado producto que son acelerados por las fuerzas del arco a velocidades que superan los efectos de gravedad, debido a esto, el proceso bajo ciertas condiciones, puede ser usado en cualquier posición.

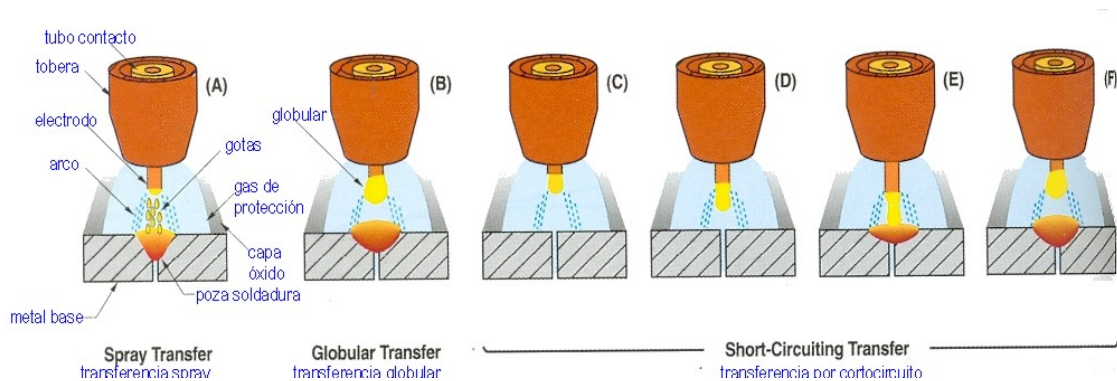


Figura 3.7 Modos de transferencia metálica: (a) spray, (b) globular y (c,d, e y f) cortocircuito

Otra característica de la transferencia spray es la penetración tipo dedo (**finger type**). Este tipo de transferencia puede ser usado para soldar la mayoría de los metales o aleaciones debido de las características inertes de la protección de argón. Sin embargo, las aplicaciones de este tipo de transferencia no son aplicables en espesores bajos debido a los altos valores de corriente que se necesitan para alcanzar esta transferencia.

Las limitaciones de espesor y posición de la transferencia spray han sido superadas gracias a la introducción de nueva tecnología en las fuentes de poder. Estas máquinas producen ondas y frecuencias cuidadosamente controladas que tienen la virtud de “pulsar” la corriente de soldadura. Como se muestra

la figura 3.8, ellos entregan dos niveles de corriente; uno de ellas se caracteriza de ser constante y baja, ello permite mantener el arco sin proporcionar suficiente energía para causar la formación de gotas en la punta del alambre; el otro tipo de corriente es del tipo pulsada con una amplitud mayor que la corriente de transición necesaria para la transferencia spray. Durante este pulso, una o más gotas son formadas y transferidas, la frecuencia y magnitud del pulso controla el nivel de energía del arco y de esta forma la velocidad a la cual el alambre funde. Existen muchas variaciones de fuentes de poder, la más simple entrega una frecuencia de pulso (60 o 120 pps) con control independiente de los niveles de corriente de fondo y pulso. Más aún existen fuentes de poder más sofisticada llamadas sinérgicas que en forma automática proporciona la combinación óptima de la corriente de fondo y pulso para cualquier ajuste de velocidad de alimentación de alambre.

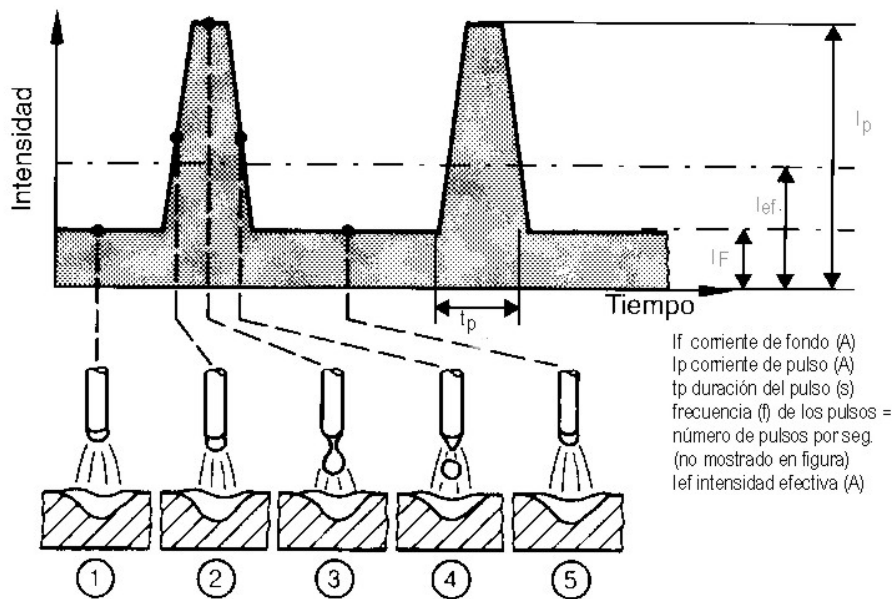


Figura 3.8 Forma de la corriente de soldeo en transferencia por pulso.

3.3.3 Sistema de clasificación

Al igual que el proceso SMAW, mig-mag posee su propio sistema de identificación aprobado por AWS, estos son denotado por las letras "ER" seguido por dos o tres números más la letra "S" un guión más un último número, tal esquema es mostrado en la figura 3.9.

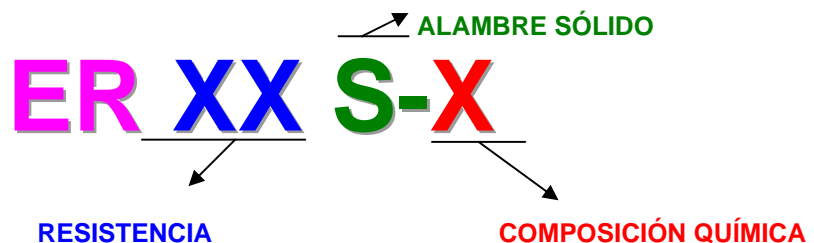


Figura 3.9 Sistema de identificación para proceso GMAW.

“ER” designa que el alambre puede ser usado como electrodo (**E**lectrode) o varilla (**R**od) de aporte, los próximos dos o tres dígitos corresponde a la resistencia mínima a la tracción máxima multiplicado por 1000 y expresado en psi del depósito de soldadura. La letra “S” designa que el alambre es sólido. Finalmente el número después del guión se refiere a la composición química particular del alambre.

3.3.4 Variables del Proceso

Las siguientes variables son algunas que afectan la penetración, configuración y calidad total de la soldadura:

- Corriente de soldadura (velocidad alimentación alambre)
- Polaridad
- Voltaje de arco (longitud de arco)
- Velocidad de avance
- Extensión del electrodo
- Orientación del electrodo
- Posición de la unión
- Diámetro del electrodo
- Composición del gas de protección y flujo

Estas variables no son totalmente independiente, lo que significa que cambiando una de ellas generalmente requiere el cambio de una u otras variables. Por tanto hay que considerar que los valores óptimos dependen del metal base, composición del electrodo, posición y requerimientos de calidad.

Corriente de Soldadura

Al mantener todas las otras variables constantes, la corriente de soldadura varía en forma no lineal con la velocidad de alimentación del alambre o velocidad de fusión. Esta relación de corriente con velocidad de alambre para aceros al carbono se muestra en la figura 3.10, a bajos niveles de corriente para cada diámetro de electrodo la curva es medianamente lineal. Sin embargo, esta aparente linealidad se ve perdida al aumentar los niveles de amperaje. Otro aspecto que se desprende de las curvas mostradas en la figura 3.10, es que a una determinada velocidad de alambre se necesita mayor valores de corriente al cambiar a mayores diámetro del electrodo.

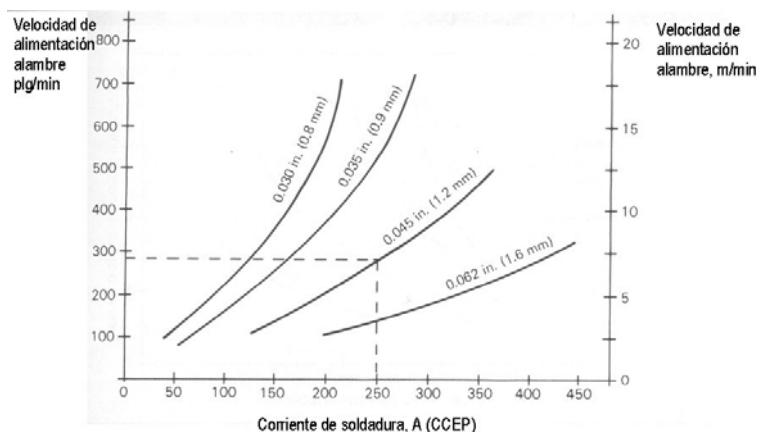


Figura 3.10 Corrientes típicas v/s velocidad alimentación de alambre para electrodos de acero al carbono.

Un incremento en la corriente de soldadura, manteniendo todas las otras variables constantes resulta en lo siguiente:

- Incremento en la profundidad y ancho de la penetración de la soldadura
- Incremento en la velocidad de depósito
- Incremento en el tamaño del cordón de soldadura

La soldadura spray pulsada es una variación del proceso mig/mag, en la cual la corriente es pulsada para obtener las ventajas de la transferencia spray a valores de corriente promedio igual o menores que la corriente de transición globular/spray.

Polaridad

El término polaridad es usado para describir la conexión eléctrica de la pistola de soldadura con relación a los terminales de una fuente de poder de corriente continua. La mayoría de las aplicaciones GMAW son realizadas mediante CCEP – corriente continua electrodo positivo –. Esta condición permite un arco estable, transferencia metálica suave con relativamente baja salpicadura y buena característica de la configuración del cordón. La CCEN – corriente continua electrodo negativo- es raramente usada.

La corriente continua electrodo positivo –CCEP-, también es conocido como corriente continua polaridad invertida – CCPI-, de la misma forma la corriente continua polaridad negativa es conocida como polaridad directa – CCPD-.

Voltaje de Arco (longitud de arco)

El voltaje de arco y longitud de arco son términos que generalmente son usados en forma intercambiada. Sin embargo, se debe hacer hincapié que existe diferencia aún cuando ellas se encuentran relacionadas. Con el proceso GMAW, la longitud de arco es una variable crítica que debe ser cuidadosamente controlada. La longitud de arco es una variable independiente, siendo el voltaje de arco la que depende del primero como también de otras variables. La figura 3.11 muestra la terminología asociada al proceso GMAW. Con todas las variables mantenida constante, el voltaje de arco se encuentra directamente relacionado a la longitud de arco, aún cuando ésta última es la variable de interés y es la que debería ser controlada. En los procedimientos de soldadura se prefiere controlar el voltaje de arco debido a su facilidad de monitoreo y control.

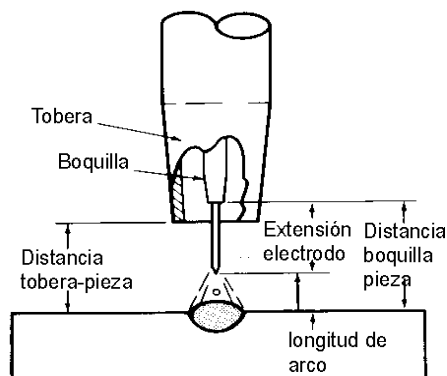


Figura 3.11 Terminología para GMAW.

Un incremento en el voltaje de arco tiende a producir un ensanchamiento de la zona de fusión dejando un cordón de soldadura más plano. Excesivos voltajes de arco podría causar porosidades, salpicaduras y socavaciones, reducción del voltaje resulta en un cordón de soldadura más delgado con una gran sobremona y penetración.

Velocidad de avance

Corresponde a la velocidad lineal en la cual el arco se mueve a través de la unión. Manteniendo las otras variables constante se encuentra que la máxima penetración es lograda a velocidades intermedias.

Cuando la velocidad de avance disminuye, el metal de aporte depositado por unidad de longitud se ve incrementado, a velocidades más bajas el arco de soldadura golpea en la poza del metal fundido en vez del metal base, esto produce la reducción efectiva de penetración como también un cordón más ancho. Un incremento en la velocidad más allá de lo óptimo produce tendencia a la socavación (**undercut**) en los bordes del cordón de soldadura debido a insuficiente cantidad de metal de aporte para llenar el patrón fundido por el arco.

Extensión del electrodo

Corresponde a la distancia entre el borde de la boquilla o tubo contacto y la punta del electrodo, ver figura 3.11, un incremento en la extensión del electrodo resulta en un incremento en su resistencia eléctrica. La resistencia al calentamiento causa que la temperatura del electrodo aumente resultando en un pequeño incremento en la velocidad de fusión. El incremento de la resistencia eléctrica produce una mayor caída de voltaje de la tobera a la pieza de trabajo, esto sensibiliza a la fuente de poder el cual compensa mediante una disminución de la corriente. Eso inmediatamente reduce la velocidad de fusión lo que permite acortar la longitud de arco.

Los valores de extensión de electrodo se encuentran generalmente entre 6.4 mm a 12.7 mm (1/4" a 1/2") para transferencia por corto circuito y desde 12.7 mm a 25.4 mm (1/2" a 1") para otros tipos de transferencias.

Orientación del electrodo

Como todos los procesos de soldadura, la orientación del electrodo afecta a la configuración y penetración. La mayor penetración se alcanza con la técnica de arrastre (backhand) y la menor con la técnica de empuje (forehand).

Posición de la Unión de Soldadura

La mayoría de la transferencia spray es realizada en posición plana y horizontal, mientras que las transferencias de baja energía son aptas para soldadura en toda posición. Por ejemplo, para superar la fuerza ejercida por la gravedad en posición vertical y sobrecabeza se utilizan electrodos de diámetros pequeños con transferencias spray pulsada, generalmente diámetros de 1.2 mm e inferiores son usados en toda posición. El bajo aporte térmico permite que la poza de soldadura solidifique en forma rápida.

Diámetro electrodo

El diámetro del electrodo influye en la configuración del cordón de soldadura, un electrodo más grande requiere una corriente mínima más alta que uno de menor tamaño para obtener similar tipo de transferencia.

Gas de Protección

Además de su función lógica de proteger el baño fundido y alambre de la contaminación producida por el aire, también tiene un efecto pronunciado en lo siguiente:

- Características del arco
- Modo de transferencia metálica
- Penetración y perfil del cordón
- Velocidad de soldadura
- Tendencia a la socavación
- Acción de limpieza, y
- Propiedades mecánicas del metal de soldadura

3.3.5 Ventajas y Desventajas

Los principales beneficios de usar este proceso son los siguientes:

- a) Mayor rendimiento, igual y superior a 90%
- b) Soldadura en toda posición
- c) Velocidad de depósito significativamente más altas
- d) Mayores velocidades de soldadura
- e) Menor tiempo de limpieza post soldadura
- f) Cuando se utiliza transferencia spray, se alcanzan mayores penetraciones.

Como cualquier proceso, éste también posee ciertas limitaciones, tales como:

- a) El equipamiento de soldadura es más complejo, costoso y menos portable que el proceso SMAW
- b) Es más dificultoso el acceso a uniones restringidas comparada con proceso SMAW
- c) Este proceso debe ser protegido contra corrientes de aire
- d) El soldador se puede resistir a este proceso debido a los altos niveles de radiación e intensidad de arco.

3.4 Soldadura al Arco con Núcleo Fundente

El proceso de soldadura FCAW o normalmente conocido como tubular (**Flux Cored Arc Welding**) es un proceso de soldadura el cual utiliza un arco eléctrico entre un electrodo continuo y la pieza de trabajo. El proceso utiliza un fundente al interior del alambre el cual produce la protección, ésta última puede o no ser asistido por un gas externo y sin la aplicación de presión.

El electrodo con núcleo fundente es un electrodo tubular que consiste en una cubierta metálica y un núcleo que contiene varios materiales pulverizados. Durante la soldadura se produce una extensa escoria sobre la superficie del cordón de soldadura.

El proceso FCAW ofrece dos tipos de mecanismos que se diferencian en su método de proteger el arco y la poza de soldadura de la contaminación atmosférica (oxígeno y nitrógeno). Un tipo, FCAW autoprotegido, protege el metal fundido a través de la descomposición y vaporización del núcleo fundente por el calor del arco. El otro tipo, FCAW protegido con gas, hace uso de un flujo de gas protector además de la acción del núcleo fundente. En ambos métodos el material del núcleo del electrodo provee de una substancial escoria para proteger la solidificación del metal de soldadura.

3.4.1 Principales características

Los principales beneficios del proceso FCAW son realizados por la combinación de tres características generales:

- La productividad del alambre de soldadura continuo.
- Los beneficios metalúrgicos que pueden ser derivados de un fundente.
- Una escoria que soporta y forma el cordón de soldadura.

En el método protegido con gas, mostrado en la figura 3.12, el gas de protección (usualmente dióxido de carbono o una mezcla de argón / dióxido de carbono) protege el metal fundido del oxígeno y nitrógeno del aire formando un ambiente alrededor del arco y sobre la pileta de soldadura.

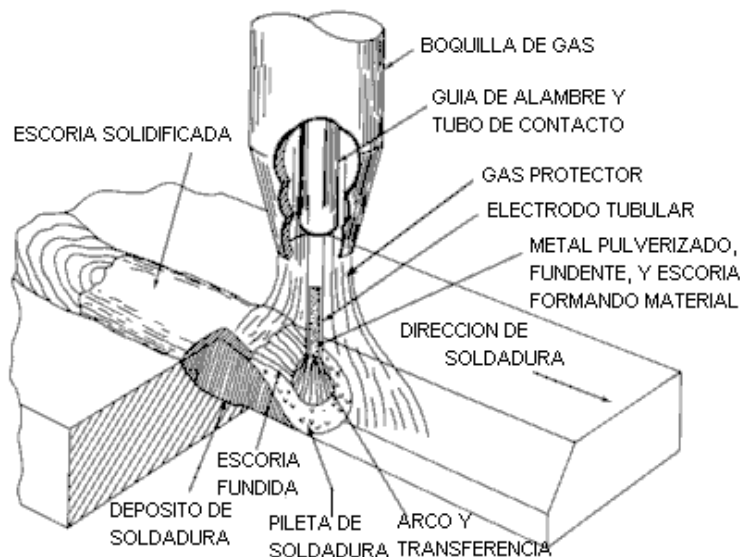


Figura 3.12 FCAW con gas externo de protección

En el método autoprotegido mostrado en la figura 3.13, la protección es obtenida de la vaporización de ingredientes del fundente que desplazan al aire, y por la composición de la escoria que cubre las gotas de metal fundido. La producción de CO_2 y la introducción directa de agentes desoxidantes y desnitrurantes en el fundente, explican por qué el electrodo autoprotegido puede tolerar mayores corrientes de aire que el electrodo con gas protector.

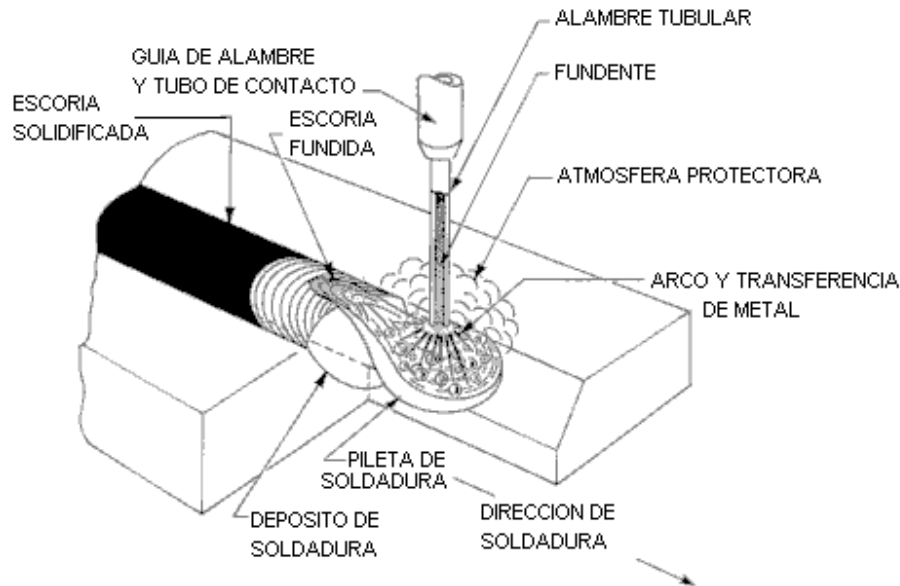


Figura 3.13 Proceso de soldadura con alambre tubular auto protegido.

3.4.2 Variables del proceso de soldadura FCAW.

Corriente de soldadura.

La corriente de soldadura es proporcional a la velocidad de alimentación del alambre-electrodo para un diámetro específico de éste, composición, y extensión del electrodo. La relación entre la razón alimentación del electrodo y la corriente de soldadura para un electrodo típico de acero al carbono protegido con gas, electrodo de acero al carbono autoprotegido, y electrodos de acero inoxidable autoprotegido se presentan en las figuras 3.14, 3.15 y 3.16 respectivamente.

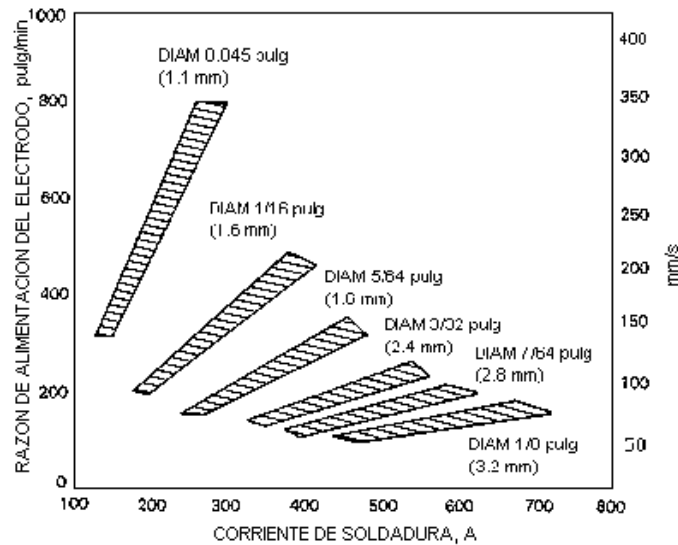


Figura 3.14 Razón de alimentación del electrodo v/s corriente soldadura para electrodos protegido con CO₂

Si todas las otras variables de soldadura son mantenidas constantes para un diámetro dado de electrodo, cambiando la corriente de soldadura se tienen los siguientes efectos:

1. Incrementando la corriente incrementa la tasa de depósito del electrodo.
2. Incrementando la corriente incrementa la penetración.
3. Una corriente excesiva produce cordones de soldadura convexos con una pobre apariencia.
4. Una corriente insuficiente produce grandes gotas de transferencia y excesiva salpicadura.
5. Una corriente insuficiente puede resultar en un atrapamiento excesivo de nitrógeno y también porosidad en el metal de soldadura cuando la soldadura se realiza con electrodo de alambre tubular autoprotegido.

○ E71T-7, EXTENSION 1 pulg (25 mm). × E70T-4, EXTENSION 2-3/4 pulg (70 mm).
 ⊙ E70T-4, EXTENSION 3-3/4 pulg (95 mm). △ E70T-6, EXTENSION, 1-1/4 pulg (32 mm).

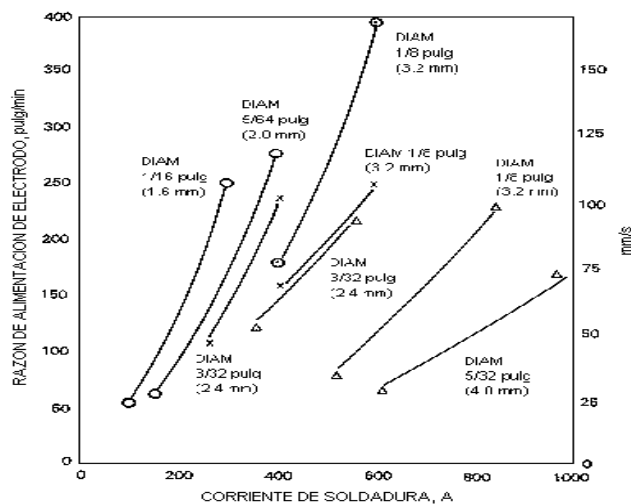


Figura 3.15 Razón de velocidad alimentación del electrodo v/s corriente de soldadura para electrodo acero al carbono autoprotegido.

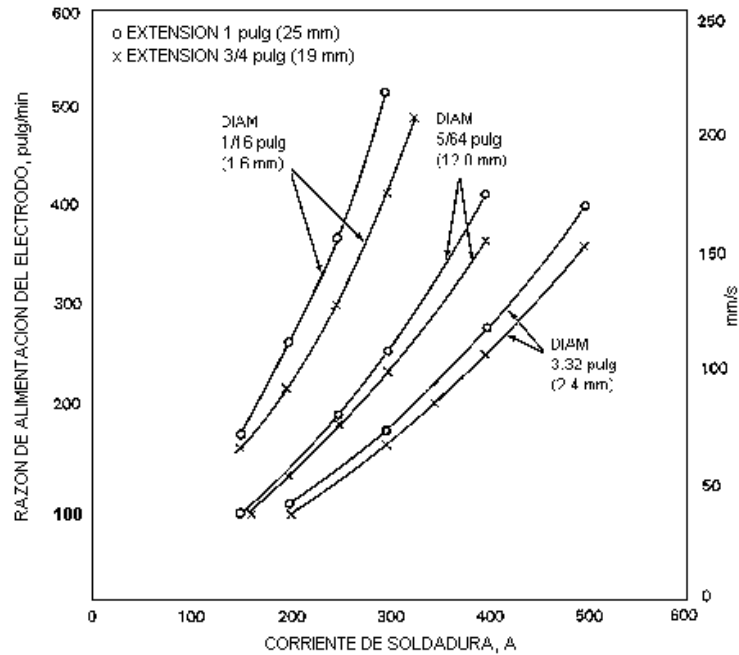


Figura 3.16 Razón de alimentación del electrodo v/s corriente de soldadura para E308T-3 autoprotegido.

Extensión del electrodo.

El electrodo sin fundir que se extiende más allá del tubo de contacto durante la soldadura (extensión del electrodo) es resistente al calor en proporción a su largo, asumiendo que otras variables permanecen constantes. La temperatura del electrodo afecta la energía del arco, la tasa de depósito del electrodo y la penetración de la soldadura. También afecta la sanidad de la soldadura y la estabilidad del arco.

Flujo del gas de protección.

Para electrodos protegidos por gas, el flujo del gas es una variable que afecta la calidad de soldadura. Un flujo inadecuado resultaría en una protección pobre de la piqueta de soldadura resultando en la soldadura porosa y oxidación. Un flujo de gas excesivo puede resultar en turbulencias y mezclas con aire. Un flujo de gas correcto dependerá del tipo y diámetro de la boquilla de la pistola, distancia de la boquilla de la pieza de trabajo, y el movimiento del aire en la región inmediata de la operación de la soldadura.

Tasa de depósito y eficiencia.

La razón de deposición en algún proceso de soldadura es el peso de material depositado por unidad de tiempo. La razón de deposición depende de las variables de soldadura como también del diámetro del electrodo, composición del electrodo, extensión del electrodo, y corriente de soldadura.

La eficiencia de depósito del electrodo FCAW variará desde 80 a 90 % para aquellos usados con gas protector, y desde 78 a 87 % para los electrodos autoprotegidos. La eficiencia de depósito es la razón de peso de metal depositado por el peso de electrodo consumido.

Velocidad de soldadura.

La velocidad de soldadura influye en la penetración y el contorno del cordón de soldadura. Mientras otros factores permanecen constantes, la penetración aumenta a medida que la velocidad disminuye. Una baja velocidad con alta corriente puede producir un recalentamiento del metal de soldadura, esto causará una soldadura con apariencia rugosa. Altas velocidades de soldadura tenderán a resultar en un cordón irregular.

3.4.3 Sistema de Clasificación

La figura 3.17 muestra el modo de identificación o mejor dicho clasificación que es usada por AWS.

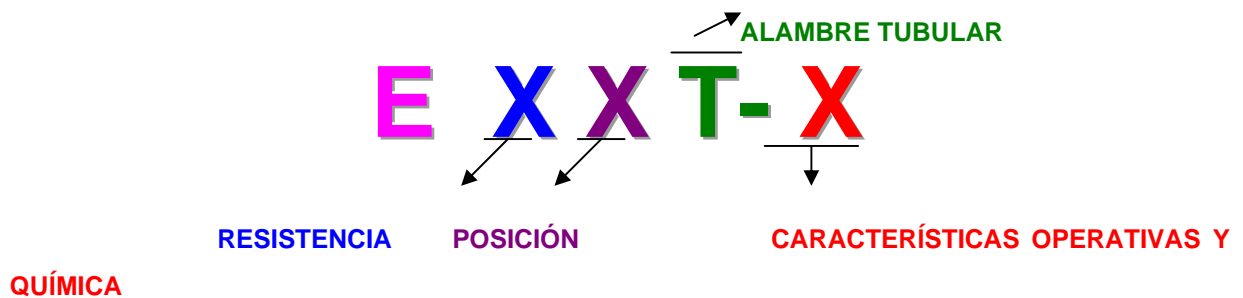


Figura 3.17 Sistema de identificación para proceso FCAW.

Al igual que los otros procesos la identificación comienza con la letra “E” que significa Electrodo, luego el primer número denota la resistencia mínima a la tracción máxima multiplicado por 10,000 y expresado en psi que debe poseer el metal depositado; el número siguiente se refiere a la posición que es usado el tubular, “1” para toda posición y “0” para posición plana y horizontal. La letra “T” tiene por significado que el alambre es del tipo tubular luego del guión viene finalmente el último número que denota a un grupo particular basado en la composición química del depósito, si requiere o no protección externa y cualquier otra especificación para la categoría. Esto es importante para el inspector de soldadura puesto que el alambre tubular puede funcionar con o sin gas externo de protección, la figura 3.18 muestra dos tipos de pistolas usadas en este proceso más un equipo de soldar con protección gaseosa externa.

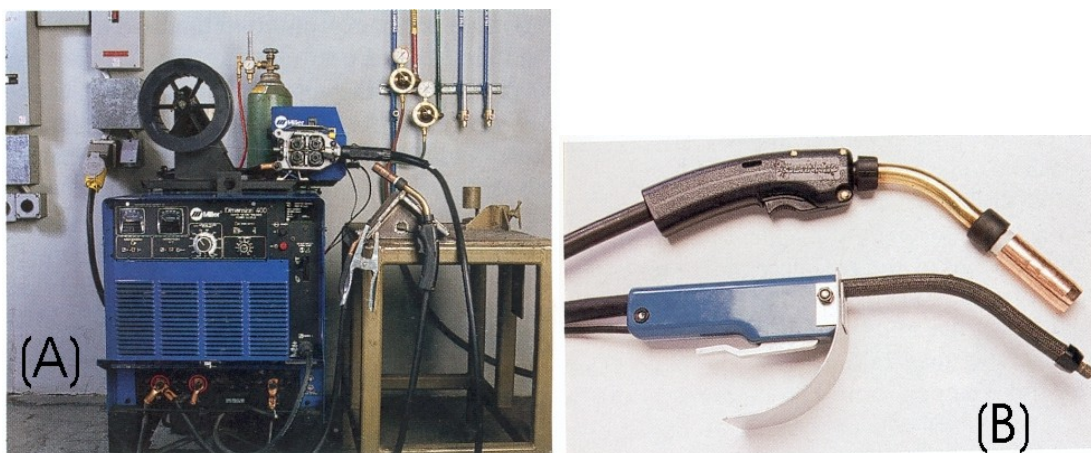


Figura 3.18 (A) equipamiento para FCAW-G y (B) pistola superior para gas e inferior para proceso autoprottegido.

3.4.4 Ventajas y desventajas.

Los bajos costos de los equipos es una de las primeras ventajas del proceso de soldadura por alambre tubular. No se requiere ningún equipo para manejo de fundente ni regulador de gas. Así el proceso de recubrimiento con alambre tubular es un simple proceso de soldadura semiautomático requiriendo sólo de una pistola y un aparato para alimentar el electrodo continuo de alambre.

El equipamiento para el proceso de soldadura por alambre tubular es generalmente diseñado para alambres de soldadura de pequeño diámetro, usualmente 1,2 mm (3/64"), 1,6 mm (1/16") o 2,8 mm (7/64"). La mayoría de los materiales ferrosos pueden ser recubiertos con tranquilidad. Hierro fundido y acero templado podrían ser tratados superficialmente pero con cautela.

El arco abierto es un proceso de alta energía capaz de producir una mayor tasa de depósito que el proceso SMAW. Una electrodo de 2,8 mm (7/64") de diámetro puede ser depositada con corrientes de soldadura tan altas como 500 A. El proceso con alambre tubular es un proceso fácil de usar, y un operador sólo necesita un corto tiempo de entrenamiento para una aplicación regular.

La estabilidad del arco y razón de fusión son excelentes. Los depósitos son comparables en pureza a los depósitos hechos con electrodo revestido, con tasas de depósito tres a cinco veces mayores que con electrodo revestido.

El recubrimiento por soldadura con alambre tubular no está libre de desventajas. Debido a que el arco no es protegido con gas inerte, pueden esperarse con este proceso una considerable salpicadura y alguna porosidad. Además, debido a la alta corriente de soldadura, no se adapta particularmente bien para el recubrimiento de pequeñas piezas. El metal de soldadura depositado desde el alambre tubular normalmente promedia entre 80 y 85% o más.

3.5 Soldadura al Arco Sumergido

El proceso de soldadura por arco sumergido (**Submerged Arc Welding, SAW**) produce una coalescencia de metales por calentamiento de un arco eléctrico producido entre un alambre metálico continuo y la pieza de trabajo. El arco y el metal fundido se encuentran “sumergidos” bajo una capa de fundente granular colocado en la pieza de trabajo. No se utiliza presión y el metal de aporte es obtenido del electrodo.

En el arco sumergido, el arco es cubierto por un fundente. Este fundente juega un rol importante:

- 1) la estabilidad del arco es dependiente del fundente,
- 2) propiedades mecánicas y químicas del depósito final del metal de soldadura pueden ser controladas por el fundente, y
- 3) la calidad de la soldadura puede ser afectada por la protección y manipulación del fundente.

El sistema de alimentación comienza a alimentar el alambre-electrodo en dirección a la junta con una rapidez controlada y el cabezal es movido en forma manual o automáticamente a lo largo de la junta de soldadura.

El fundente es continuamente alimentado en el frente y alrededor del electrodo, y distribuido sobre la junta. El calor generado por el arco eléctrico funde progresivamente algo del fundente al final del alambre, creando una pileta de metal fundido bajo una capa de escoria líquida. El baño líquido permanece en un estado altamente turbulento. Las burbujas de gas son rápidamente llevadas a la superficie de la pileta.

El fundente líquido puede conducir algo de corriente eléctrica entre el alambre y el metal base, pero el arco eléctrico sigue siendo la fuente térmica predominante. La capa de fundente en la superficie de la poza de soldadura previene la contaminación por los gases de la atmósfera, y disuelve las impurezas del metal base y del electrodo flotándolas a la superficie. El fundente puede, además, adicionar o remover ciertos elementos aleantes hacia o desde el metal de soldadura.

Como la zona de soldadura progresa a lo largo de la junta, el metal de soldadura y entonces el fundente líquido se enfría y solidifica, formando un cordón de soldadura y una escoria protectora sobre él.

Es importante que la escoria sea completamente removida antes de realizar otra pasada de soldadura. El proceso de arco sumergido se ilustra en la figura 3.19.

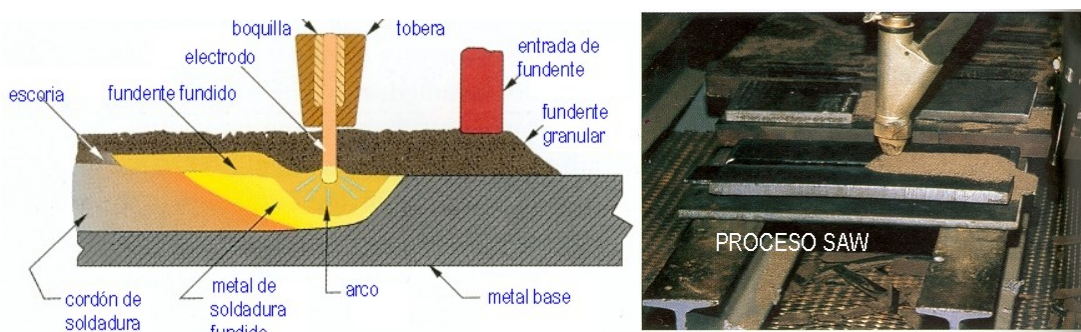


Figura 3.19 Proceso de soldadura por arco sumergido.

Los factores que determinan si usar el arco sumergido son:

1. La composición química y propiedades mecánicas requeridas en el depósito final.
2. Espesor del metal base a ser soldado.
3. Accesibilidad a la junta.
4. Posición en que la soldadura se realizará.

3.5.1 Variables del proceso

Amperaje de soldadura

La corriente de soldadura es la variable más influyente debido a que controla la razón en que el electrodo es fundido y por lo tanto, la tasa de depósito, la profundidad de penetración y la cantidad de metal fundido. A una velocidad dada con una intensidad de corriente alta, la penetración de fusión será también mayor. Por el contrario, si la corriente es baja, puede resultar una penetración inadecuada o fusión incompleta. Los efectos de la variación de la corriente se muestran en la figura 3.20:

Existen tres reglas concernientes a la corriente de soldadura:

1. El incremento de la corriente aumenta la penetración y razón de fusión.
2. Una corriente excesivamente alta produce una retención del arco y, entonces, socavación, o un cordón más angosto.
3. Una baja corriente de soldadura produce un arco inestable.

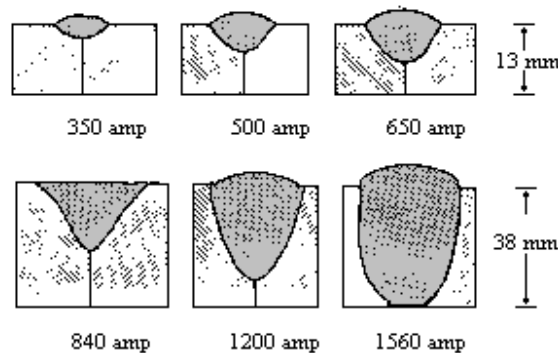


Figura 3.20 Efecto de la intensidad de corriente

Voltaje de soldadura

El ajuste del voltaje de la soldadura varía la longitud de arco entre el electrodo y el metal de soldadura fundido. Si el voltaje es incrementado, la longitud de arco aumenta; si el voltaje disminuye, la longitud de arco también.

El voltaje tiene poco efecto sobre la razón de depósito del electrodo, la cual es determinada por la corriente de soldadura. El voltaje, principalmente, determina la forma del cordón de soldadura a través de la sección y su apariencia externa. La figura 3.21 ilustra estos efectos.

El incremento del voltaje de soldadura con corriente y velocidad de soldadura constante, producirá:

1. Un cordón ancho
2. Incrementa el consumo de fundente
3. Tiende a reducir la porosidad causada por oxidación o capa de óxido en el acero
4. Ayuda a rellenar una excesiva abertura de la raíz cuando el alineamiento es pobre
5. Incrementa el atrapamiento de elementos aleantes desde una aleación fundente

Un voltaje excesivamente alto, producirá:

1. Cordón de forma ancha y que está sujeto a fractura
2. Una escoria de difícil remoción en la abertura de la soldadura.
3. Una forma cóncava de la soldadura que puede estar sujeta a fractura.
4. Incrementa la socavación a lo largo del borde(s) de la soldadura.

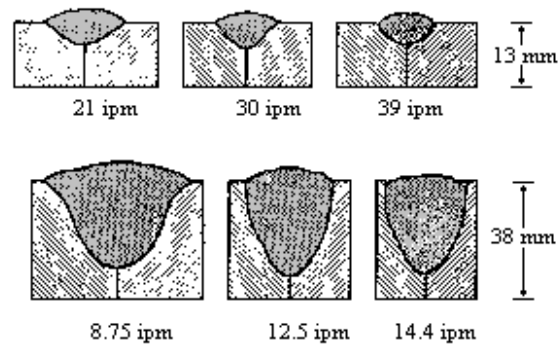


Figura 3.21 Efecto del voltaje de soldadura en la penetración y configuración del cordón, de dos tipos de uniones a tope para diferentes espesores. Soldaduras realizadas sobre acero al carbono en planchas de 13 y 38 mm de espesor, diámetro del alambre 4.0 mm. Para plancha de 13 mm la intensidad de corriente fue de 500 A y la velocidad de soldadura de 30 pulgadas por minuto. Para la plancha de 38 mm la intensidad de corriente fue de 1200 A y la velocidad de avance de 12.5 pulgadas por minuto.

Velocidad de soldadura

Con alguna combinación de corriente y voltaje de soldadura, los efectos del cambio de la velocidad de soldadura suceden conforme a un patrón general. Si la velocidad de soldadura es incrementada, el aporte térmico por unidad de longitud de soldadura disminuye como también resulta en una soldadura menos reforzada producto que se aplica menos metal de aporte por unidad de longitud de soldadura. Así el cordón de soldadura se vuelve pequeño, como muestra la figura 3.22.

La penetración es más afectada por la velocidad de soldadura que por alguna otra variación distinta a la corriente. Esto es real excepto para velocidades excesivamente lentas cuando la piletta de soldadura está por debajo del electrodo. Entonces, la fuerza de la penetración es amortiguada por la piletta de soldadura. Una excesiva velocidad de soldadura puede causar socavación.

Luego, una velocidad excesivamente alta de soldadura promueve socavación, soplido del arco, porosidad y una forma desigual el cordón. Una baja velocidad de soldadura entrega mayor tiempo para

que los gases escapen del metal fundido reduciendo así la porosidad. Una velocidad excesivamente baja produce 1) un cordón de forma convexa que está sujeta a fractura, 2) excesiva exposición del arco, que es incómodo para el operador, y 3) una pileta de soldadura de mayor tamaño que fluye alrededor del arco, resultando en un cordón rugoso e inclusiones de escoria.

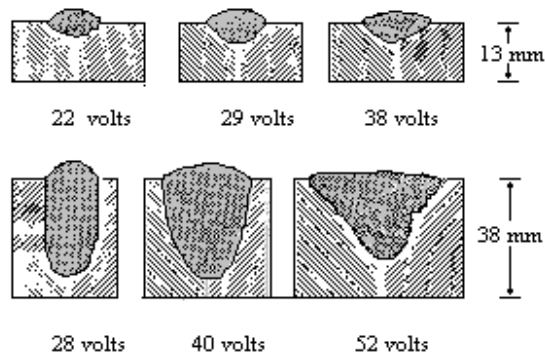


Figura 3.22 Efecto de la velocidad de avance (o soldadura) sobre el ancho y configuración del cordón, de dos tipos de uniones a tope para diferentes espesores. Soldaduras realizadas sobre acero al carbono en planchas de 13 y 38 mm de espesor, diámetro del alambre 4.0 mm. Para plancha de 13 mm la intensidad de corriente fue de 500 A y la velocidad de soldadura de 30 pulgadas por minuto. Para la plancha de 38 mm la intensidad de corriente fue de 1200 A y la velocidad de avance de 12.5 pulgadas por minuto.

Diámetro del electrodo

El diámetro del electrodo afecta la forma del cordón de soldadura y la profundidad de la penetración con una corriente permanente, como se muestra en la figura 3.23. El tamaño del electrodo también influye sobre la tasa de depósito. Con una determinada corriente, un diámetro pequeño del electrodo tendrá una mayor densidad de corriente y una mayor razón de depósito que los electrodos más grandes. Sin embargo, un electrodo de mayor diámetro puede conducir más corriente que un electrodo pequeño y puede producir una mayor razón de depósito con mayores amperajes.

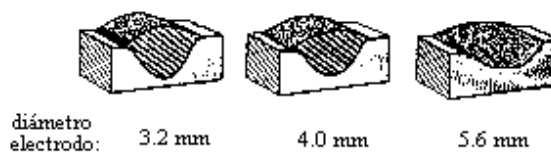


Figura 3.23 Efecto del diámetro del electrodo sobre el ancho y penetración en cordones sobre plancha. Soldadura realizadas sobre acero al carbono; 30 V, 600 A 30 ipm (pulgadas por minuto).

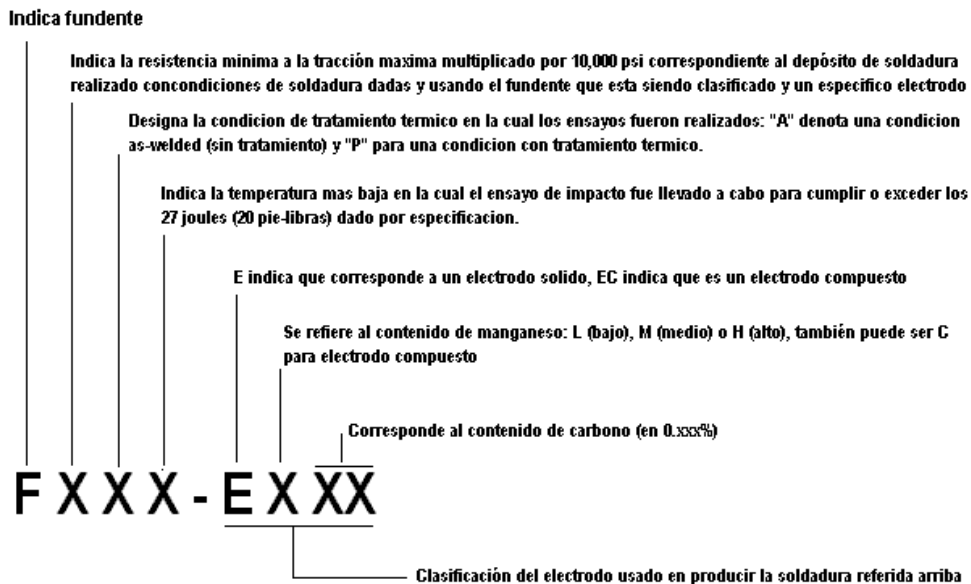
Extensión del electrodo

Con densidades de corrientes sobre 125 A/mm² (80000 A/in²), la extensión del electrodo se vuelve una variable importante. Con altas densidades de corriente, la resistencia al calor del electrodo entre el tubo de contacto y el arco incrementa la razón de fusión del electrodo.

En el desarrollo de un procedimiento, una extensión del electrodo de aproximadamente ocho veces el diámetro del electrodo es un buen punto de partida.

3.5.2 Sistema de clasificación

Puesto que el proceso SAW utiliza un electrodo separado del fundente, existen una gran variedad de combinaciones posibles para aplicaciones específicas. Para simplificar las cosas la figura 3.24 muestra el sistema de clasificación.



Ejemplos:

F7A6-EM12K; se refiere a un fundente que producirá un metal de soldadura el cual se encuentra sin tratamiento térmico y que posee 70,000 psi como mínimo a la tracción máxima y una tenacidad al impacto de al menos 27 joules a -51 grados Celsius (-60 °F) cuando es fabricado con un electrodo de clasificación EM12K.

F7A4-EC1; se refiere a una designación completa para un fundente cuando la marca registrada del electrodo usado en la clasificación también se indica. Se refiere a un fundente que producirá un metal de soldadura el cual se encuentra sin tratamiento térmico y que posee 70,000 psi como mínimo a la tracción máxima y una tenacidad al impacto de al menos 27 joules a -40 grados Celsius (-40 °F) bajo las condiciones citadas en esta especificación.

Figura 3.24 Sistema de clasificación para proceso SAW.

3.6 Proceso de soldadura TIG (GTAW)

El proceso GTAW (**Gas Tungsten Arc Welding**) es ilustrado en la figura 3.25. El proceso usa un electrodo no consumible de tungsteno (o aleación de tungsteno) sujeto en una pistola. El gas de protección es alimentado por la pistola para proteger el electrodo, la poza de metal líquido y el metal de soldadura. El arco eléctrico es producido por el paso de corriente a través de la conducción del gas de protección que se encuentra ionizado. El arco se establece entre la punta del electrodo y la pieza de trabajo. El calor generado por el arco funde el metal base. Una vez que se establece el arco, la pistola se mueve a lo largo de la junta produciendo la fusión de los bordes de la superficie. Cuatro componentes básicos son comunes en todos los procesos GTAW, como se ilustran en la figura 3.25 y 3.26:

1. Pistola.
2. Electrodo.
3. Fuente de poder de soldadura.
4. Gas protector.

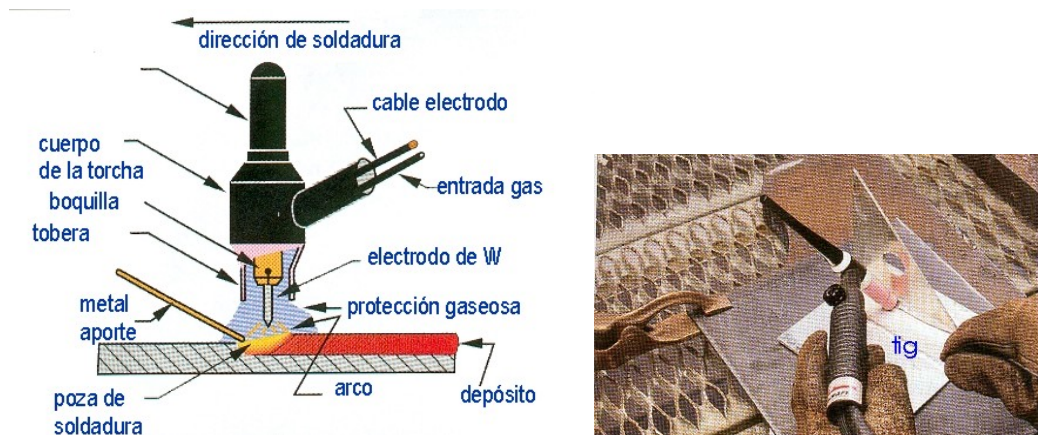


Figura 3.25 Proceso de soldadura TIG.

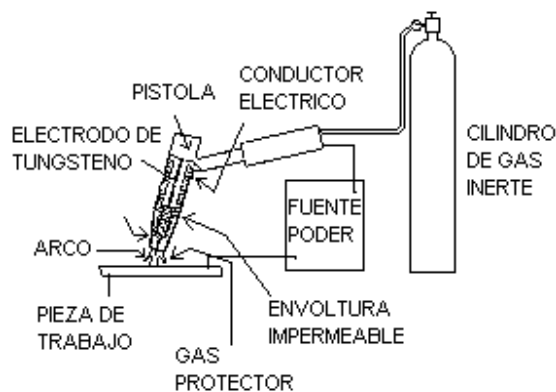


Figura 3.26 Equipo proceso de soldadura TIG.

3.6.1 Variables del proceso

Corriente del arco

La corriente del arco controla la penetración de la soldadura, siendo el efecto directamente proporcional, sino en cierto modo exponencial. El proceso frecuentemente es usado con corriente continua, la elección depende del metal a ser soldado. La corriente continua con el electrodo negativo – CCEN - ofrece las ventajas de profundidad en la penetración y una rápida velocidad de soldadura, especialmente cuando el gas helio (He) es usado como gas protector. La corriente alterna proporciona un efecto de limpiador catódico que remueve satisfactoriamente los óxidos de la superficie de la junta en aluminio y magnesio, produciendo soldadura inigualable. En este caso, se utiliza normalmente argón como gas de protección. La polaridad con electrodo positivo se usa raramente debido a que causa sobrecalentamiento del electrodo.

El efecto del tipo de corriente y polaridad es clarificado por la tabla 3.3.

Tabla 3.3 Efecto del tipo corriente en el proceso GTAW.

Tipo corriente	CC	CC	CA (balanceado)
Polaridad electrodo	negativo	positivo	-
Acción de limpieza en el óxido	no	Sí	Sí, cada ½ ciclo
Balance de calor en el arco (aproximado)	70% en metal base y 30% electrodo	70% en electrodo y 30% en metal base	50% en el metal base y 50% en el electrodo
Penetración	Profunda y estrecha	Leve y ancha	Media
Capacidad electrodo	Excelente, 400 A en 3.2 mm	Pobre, 120 A en 6.4 mm	Buena, 225 A en 3.2 mm

Voltaje del arco

El voltaje medido entre el electrodo de tungsteno y la pieza de trabajo es comúnmente conocido como *voltaje de arco*. El voltaje del arco es fuertemente dependiente de las variaciones, afectadas por lo siguiente.

1. Corriente de arco.
2. Forma de la punta del electrodo de tungsteno.
3. Distancia entre el electrodo de tungsteno y la pieza de trabajo.
4. Tipo de gas protector.

Velocidad de soldadura

La velocidad de soldadura afecta el ancho y penetración de la soldadura. Sin embargo, este efecto sobre el ancho es más pronunciado que el de la penetración. La velocidad de soldadura es importante debido a su efecto sobre el costo.

Alimentación de la varilla.

En soldadura mecánica y automática, la velocidad de alimentación de la varilla determina la cantidad de aporte depositado por unidad de longitud de soldadura. Una menor velocidad de alimentación incrementará la penetración y extiende el contorno del cordón. Un incremento en la velocidad de alimentación disminuye la penetración y produce un cordón de soldadura más convexo.

3.6.2 Sistema de clasificación

Siguiendo el esquema de los otros procesos, los electrodos usados en tig poseen un sistema de clasificación el cual se muestra en la tabla 3.4. La designación “E” significa Electrodo seguido por una letra “W” el cual designa a que el electrodo es de tungsteno, estas dos letras es seguida por otras letras y números que describen el tipo de aleación que tiene el electrodo de tungsteno. Puesto que existen sólo cinco clasificaciones diferentes de electrodos se puede optar por una identificación mediante color como indica la tabla 3.4.

Tabla 3.4 Clasificaciones de electrodo de tungsteno según AWS

Clasificación	Aleación	Color
EWP	Tungsteno puro	Verde
EWCe-2	1.8 – 2.2% cerio	Naranja
EWLa-1	1.0% lantano	Negro
EWLa-1.5	1.5% lantano	Oro
EWLa-2	2.0% lantano	Azul
EWTh-1	0.8 – 1.2% torio	Amarillo
EWTh-2	1.7 – 2.2% torio	Rojo
EWZr	0.15 – 0.4% zirconio	Café

La presencia de torio o zirconio ayuda en mejorar las características eléctricas transformando al tungsteno levemente más emisor, ello significa que es más fácil iniciar el arco con estos tipos de electrodos comparado con el W puro. Este último es más usado en soldadura de aluminio debido a la facilidad de redondear su extremo cuando se calienta por el arco eléctrico, al existir esta forma redondeada permite una concentración más baja de corriente el cual reduce la posibilidad de daño en el tungsteno. El electrodo más usado en la industria de fabricación en acero corresponde al EWTh-2.

Por su parte los metales de aporte utilizados en este proceso poseen el sufijo “ER” seguido de la designación química.

3.6.3 Ventajas del proceso

1. Produce soldaduras de calidad superior, generalmente libre de defectos
2. Libre de salpicaduras
3. Puede ser usado con o sin metal de aporte
4. Puede producir una soldadura autógena a bajo costo y alta velocidad
5. Puede emplear fuentes de poder relativamente baratas
6. Proporciona un control preciso de las variables de soldadura
7. Puede ser usado para soldar casi todos los metales

Desventajas del proceso

Las siguientes son algunas desventajas del proceso GTAW:

1. La tasa de depósito es menor que las alcanzadas con el proceso SMAW
2. Es necesaria una mayor destreza y capacidad del soldador
3. Es menos económica que el proceso al arco con electrodo consumible para secciones de espesor mayor que 10 mm (3/8")
4. Presenta dificultad en la protección de la zona soldada en ambientes con altas corrientes de aire

Algunos problemas potenciales con el proceso:

1. Pueden presentarse inclusiones de tungsteno si el electrodo mantiene contacto con la pileta de soldadura
2. Puede ocurrir contaminación del metal de soldado si no se mantiene una adecuada protección del gas
3. Hay baja tolerancia para contaminantes en el aporte o en el metal base.
4. Posible contaminación o porosidad es causada por filtración del agua empleada como enfriador en la pistola
5. Soplo del arco, como sucede en otros procesos.

3.7 Soldadura Oxiacetilénica (oxyacetylene welding)

Cuando se habla de soldadura oxigas (**oxifuel welding**) que también es un término usado, hay que tener presente que el gas acetileno es el único capaz de producir temperatura lo suficientemente altas para realizar una soldadura efectiva. Con este proceso – OAW –, la energía es producida por una llama producto de la combustión entre oxígeno y acetileno, por ello es considerado un método de soldadura químico, la protección para el proceso está acompañada por la misma llama, de esta forma no se utiliza fundente ni protección extra. La figura 3.27 ilustra este proceso con la aplicación de un metal de aporte.

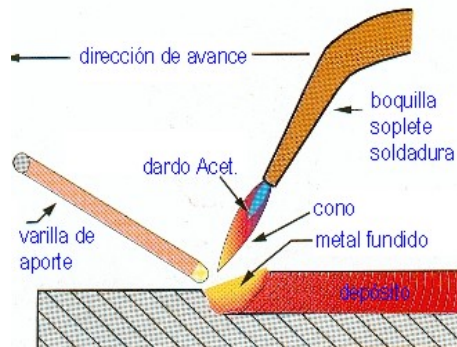


Figura 3.27 Soldadura Oxiacetilénica.

El equipo para soldadura oxiacetilénica es relativamente simple, un equipo típico es mostrado en la figura 3.28, el cual consiste en un cilindro de oxígeno, un cilindro de acetileno, reguladores de presión, soplete y mangueras de conexión. El cilindro de oxígeno corresponde a un contenedor de acero aleado que soporta presiones internas de hasta 2500 psi, por su parte el cilindro de acetileno se encuentra lleno con material poroso similar al cemento. El acetileno existe al interior del cilindro en forma disuelta en líquido de acetona, especial cuidado hay que tener con el acetileno para que no sobrepase 1 bar (15 psi) durante la operación de soldadura debido a que el gas incluso sin la presencia de oxígeno es tremendamente inestable existiendo la posibilidad de explosión. De la misma forma es importante que el cilindro de acetileno sea usado, transportado y almacenado en forma vertical nunca en forma horizontal debido a la presencia de la acetona líquida.

Cada cilindro tiene conectado un regulador de presión el cual tiene como función de reducir la presión interna a la presión de trabajo. La conexión entre reguladores de presión y soplete se realiza a través de mangueras especialmente diseñada para la operación de soldadura. El soplete incluye una sección de mezcla donde el oxígeno y el acetileno se combinan para entregar la mezcla necesaria. La razón de estos gases puede ser alterado por ajuste de dos válvulas que se encuentran separadas. Normalmente para soldadura de acero al carbono, estas son ajustadas de manera que entregue una mezcla que es conocida como llama neutra (**neutral flame**). Una cantidad mayor de oxígeno producirá una llama oxidante (**oxidizing flame**) y una mayor cantidad de acetileno producirá una llama llamada reductora o carburante (**carburizing flame**). Después que los gases son mezclados ellos fluyen hasta la boquilla de trabajo. Estas últimas son fabricadas en variados tamaños que permiten soldar diferentes espesores.

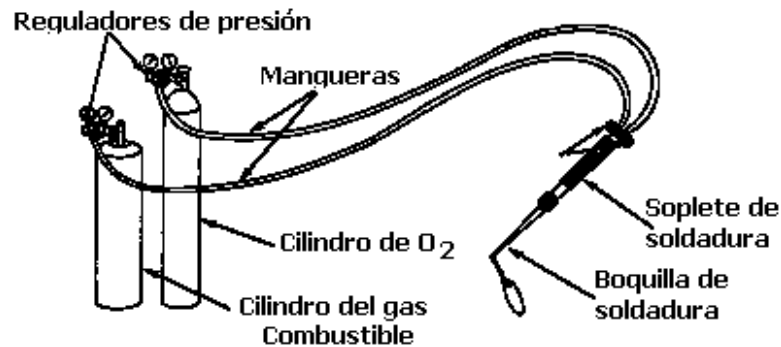


Figura 3.28 Equipo para OAW.

El metal de aporte usado para OAW en acero tiene un sistema de identificación simple. Por ejemplo la identificación de metal de aporte, RG-45 y RG-60 significan lo siguiente: "R" designa una varilla (**Rod**) y "G" al proceso **G**as, por su parte 45 y 60 se encuentra relacionado a la resistencia a la tracción mínima del depósito de soldadura en miles de libra por pulgada cuadrada (psi), de esta forma 45 significa que el depósito producido por esta varilla es de 45,000 psi mínimo a la resistencia a la tracción.

3.7.1 Ventajas y desventajas

Las ventajas del proceso OAW incluye algunas características deseables del equipo en sí mismo, primero es relativamente barato y puede ser muy portable, esta portabilidad no sólo va por el lado del tamaño sino también a la falta de necesidad de energía eléctrica, cuidado hay que tener durante el movimiento de los cilindros debido al peligro que ellos conllevan si la válvula se ve golpeada o rota, debido al comportamiento tipo cohete que puede experimentar.

El proceso también posee ciertas limitaciones, por una parte la llama no proporciona una fuente de calor tan concentrada como puede ser alcanzado por el arco eléctrico. Esto conlleva a que el proceso sea catalogado como un proceso lento, de la misma forma el proceso OAW se comporta mejor en soldadura de secciones delgadas. Además este proceso requiere una gran habilidad del operador.

Otra desventaja del proceso, es especial cuidado para asegurar una adecuada fusión debido al bajo poder de concentración de calor.

3.8 Procesos de Corte (cutting processes)

Hasta el momento hemos tratado sólo el tema de soldadura por fusión y por capilaridad, sin embargo en todo proceso de fabricación nos veremos enfrentado al proceso de corte o remoción de material en diferentes versiones. Estos procesos son utilizados normalmente antes de la etapa de soldadura para producir las formas requeridas o preparar las uniones típicas de soldadura dada por planos, de la misma forma, estos procesos pueden ser usados durante o después del soldeo para remover áreas defectuosas de soldadura cuando no cumplen los requerimientos exigidos por alguna norma u código o simplemente no cumplen el propósito por el cual fue concebido.

3.8.1 Corte por gas – oxicombustible

El primer proceso de corte que se verá corresponde al corte por gas oxicombustible (**oxyfuel gas cutting, OFC**). Para este caso de corte se utiliza una llama producida por oxígeno y algún combustible la cual calienta al metal a una temperatura tal que el metal lo transforma en fácilmente oxidable o fácil de quemar, esta temperatura para el caso de acero se encuentra alrededor de 925 °C. Una vez que el metal se encuentra a la temperatura adecuada se hace pasar un flujo de oxígeno de alta presión que es dirigido sobre la superficie caliente para producir una reacción de oxidación, este flujo de oxígeno también tiende a remover la escoria y cualquier óxido residual que son producidos por la reacción de oxidación. De esta forma el proceso OFC es considerado como un proceso de corte químico, la figura 3.29 muestra un equipamiento típico para corte por oxicombustible en acero al carbono.



Figura 3.29 Equipo OFC

El equipo usado para corte es esencialmente el mismo que aquel usado para soldadura oxiacetilénica excepto que en vez de una boquilla de soldadura ahora se utiliza un aditamento de corte el cual incluye una válvula adicional para el oxígeno de corte. La operación de corte también requiere una boquilla típica para corte la cual es conectada en el extremo de la torcha, ver figura 3.30.

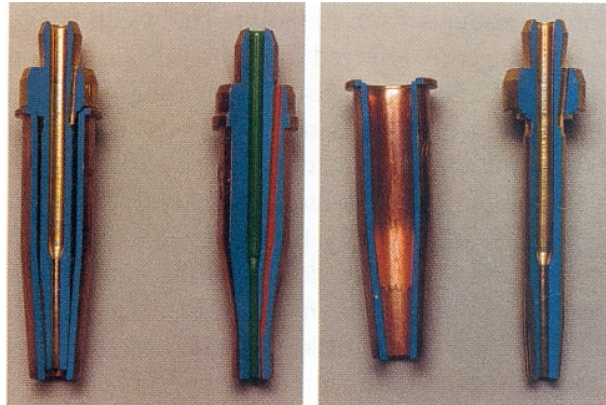


Figura 3.30 Derecha: boquilla de una pieza. Izquierda: boquilla de dos piezas

Debe quedar claro que para la operación de corte por gas, el combustible usado puede ser desde acetileno hasta gas natural, obviamente cubriendo todos los gases intermedios tal como el propano. Dependiendo del gas combustible usado variaremos el grado de eficiencia del proceso, incluso variando los tipos de boquillas de corte usado. Otro factor importante a considerar durante la selección del combustible corresponde al tiempo de precalentamiento requerido, velocidad de corte, costo, disponibilidad, cantidad de oxígeno requerido para quemar el gas eficientemente y obviamente seguridad.

Aunque el proceso OFC es usado fuertemente por las empresas, se encuentra limitado para el corte de aceros al carbono y baja aleación.

De manera que el corte por oxigas sea efectivo el metal debe cumplir los siguientes criterios:

1. debe tener la capacidad que sea quemado por un flujo de oxígeno
2. su temperatura de ignición debe ser más bajo que su temperatura de fusión
3. su conductividad del calor debería ser relativamente baja
4. el óxido de metal producido debe fundir a alguna temperatura bajo el punto fusión del metal
5. la escoria formada debe ser de baja viscosidad.

Las ventajas del proceso OFC involucra un equipo relativamente barato, portable lo cual lo hace apto para corte en terreno y en taller, así mismo se puede cortar metales de bajo y altos espesores. Sin embargo como cualquier proceso posee ciertas limitaciones dentro las más importantes sobresale que la superficie final de corte podría requerir una limpieza adicional para prepararlo para la soldadura, como también existe el riesgo que en la zona afectada térmicamente se obtenga una elevada dureza, esto es importante puesto que requeriría un mecanizado adicional de esta zona. En forma adicional la precisión de corte no será mejor que el corte mecánico como también los riesgos de quemaduras aumentan para el personal relacionado o cercano al proceso de corte.

3.8.2 Corte al arco aire-carbono

Existe otro proceso de corte que es bien efectivo, conocido técnicamente como corte al arco aire-carbono (**air carbon arc cutting, CAC-A**), también conocido normalmente como torchado con grafito. Este proceso utiliza un electrodo de carbono para crear un arco que produce el calentamiento enfrentado a un flujo de alta presión de aire comprimido para remover mecánicamente el metal fundido, la figura 3.31 detalla con claridad este proceso de corte y el electrodo de grafito.



Figura 3.31 Proceso CAC-A y porta electrodo con varilla de grafito.

El equipamiento utilizado para CAC-A consiste de un porta electrodo especial el cual es conectado a una fuente de poder de corriente constante y a un suministro de aire.

Para llevar a cabo el corte, el electrodo de grafito o carbono se lleva cercano a la pieza de trabajo para crear el arco, una vez que el arco funde el metal se hace pasar un flujo de aire comprimido que remueve el metal fundido para producir la remoción o corte de material.

El proceso CAC-A tiene múltiples aplicaciones, especialmente debido a que puede cortar cualquier material. En la tabla 3.5 detalla el tipo de corriente y polaridad usado para el este proceso para corte de varios metales y aleaciones.

Tabla 3.5 Requerimientos eléctricos para corte de varios metales por CAC-A

Metal	Tipo corriente	Polaridad electrodo
Aluminio	CC	Positivo
Cobre y aleaciones	CA	n.a.
Hierro, fundiciones, maleables	CC	Negativo
Magnesio	CC	Positivo
Níquel y aleaciones	CA	n.a.
Aceros al carbono	CC	Positivo
Acero inoxidable	CC	Positivo

Una de las ventajas básicas del proceso es que corresponde a un proceso relativamente eficiente para remover material, como también tiene la habilidad de cortar cualquier material. Otra ventaja que la inversión de la fuente de poder ya existe debido a que es usado en los procesos normales de soldadura, sólo hay que invertir en el porta electrodo y el suministro de aire.

La desventaja del proceso radica en la seguridad del mismo, debido a que es un proceso sucio y ruidoso, de esta forma el operador debe usar protecciones para el oído y filtros para la respiración. Otra desventaja el riesgo de carburización que puede ocurrir en el metal base si no existe una adecuada limpieza.

3.8.3 Corte por arco plasma

El último método de corte térmico ha discutir en este módulo corresponde al corte por plasma (**plasma arc cutting**), este proceso es similar a la soldadura por plasma excepto que el objetivo de ahora es remover metal más que la unión del mismo. Los requerimientos de equipos son similares, sin embargo la diferencia radica que la potencia de las máquinas de corte debe ser aún mayores que las empleadas para soldadura. Por su parte el tipo de arco que se utiliza es el transferido debido al mayor incremento de calentamiento del metal base, en la figura 3.32 se muestra el proceso y la torcha utilizada en el mismo.

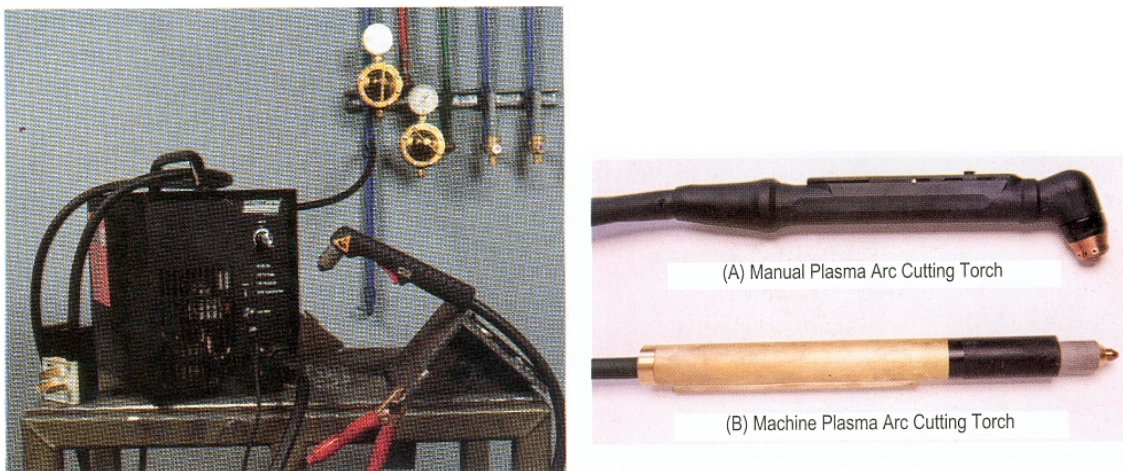


Figura 3.32 Proceso PAC.

La principal aplicación de este proceso de corte se focaliza en materiales no ferrosos, entendiéndose que también es usado en aceros. La ventaja de este proceso se encuentra en que se puede cortar materiales que no son cortados por OFC resultando con ello alta calidad de corte y un incremento en las velocidades. Una limitación inmediata de este proceso es que el kerf (ancho del corte producido durante un proceso de corte) es generalmente más grande y que los bordes no quedarían cuadrados, otra limitación adicional es su alto costo comparado con OFC.

3.8.4 Corte mecánico

Por último, se hará una breve mención al proceso de corte mecánico (**mechanical cutting**) que muchas veces es la mejor alternativa o única en su aplicación, este proceso puede incluir, corte por esmeril, sierra, cizalle, torneado, perforado, etc.

Un inspector de soldadura debería entender como estos métodos son usados en la industria, sus aplicaciones podrían tener un efecto importante en la calidad de la soldadura. Por ejemplo muchos procesos de corte mecánicos utilizan fluidos para refrigerar el corte, los cuales son perjudiciales para la soldadura si no son removidos en forma adecuada.

3.9 Fuentes de Energía

Dentro de los conocimientos que debe poseer el inspector en soldadura se encuentra el dominio básico que regula las fuentes de poder usadas en los procesos de soldadura al arco.

Bajo este contexto, sabemos que las compañías eléctricas suministran corriente alterna de baja intensidad de corriente y de alto voltaje, estas características no son las adecuadas para el proceso de soldadura eléctrica debido a que éste se caracteriza por su alta intensidad de corriente con bajo voltaje en corriente alterna o continua. Por ello, las fuentes de poder corresponden al elemento que se encarga de transformar y/o convertir la corriente eléctrica de la red en otra alterna o continua.

La clasificación de las fuentes de alimentación puede ser realizada de diferentes formas, una de ellas corresponde a la salida típica (CA y/o CC – **AC a/o CD**-) como también si corresponde a corriente constante (**constant current – CC**) o voltaje constante (**constant voltage – CV**). Esta última clasificación, CC o CV, corresponde del punto de vista práctico a la relación existente entre la fuente de alimentación y las características del arco. La característica de la fuente de poder es la representación gráfica de la relación que existe en todo momento entre el voltaje o tensión y la intensidad de corriente de la fuente. La corriente y voltaje reales obtenidos en el proceso de soleo vienen determinados por la intersección de las curvas características de la máquina y el arco. Este es el punto de trabajo definido por la corriente y el voltaje de soldadura (I_1 y V_1) en la figura 3.33.

3.9.1 Fuentes de poder de corriente constante

Son aquellas que nos sirve para ajustar la corriente del arco y que tiene una característica estática que tiende a producir una intensidad de corriente relativamente constante. Las fuentes de poder que caen dentro de esta categoría se denominan máquinas de curva descendente o de corriente constante, ver figura 3.34, en esta figura se destacan dos puntos importantes: I_{cc} – intensidad de cortocircuito y el voltaje en vacío – V_o .

La intensidad de cortocircuito corresponde a la máxima corriente que puede entregar la máquina de soldar, esta situación ocurre cuando se inicia el arco o también dicho cuando se ceba el arco, gracias a esto el electrodo se calienta.

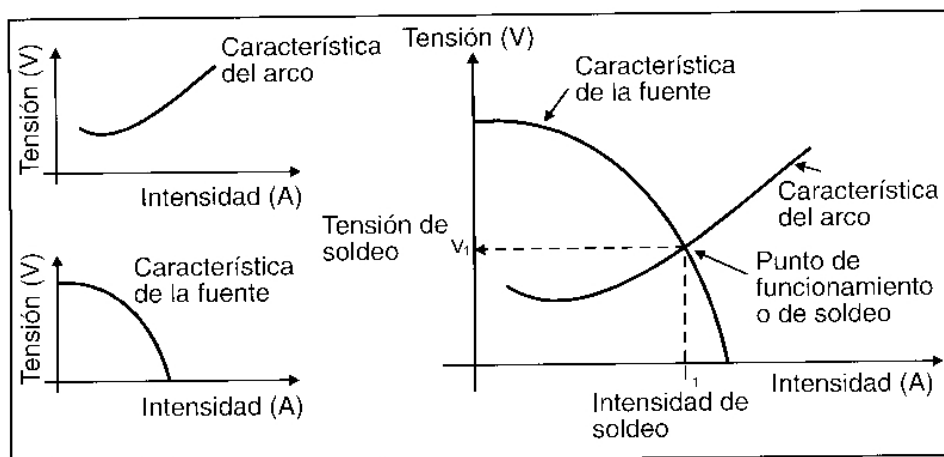


Figura 3.33 Curva característica del arco, de la fuente de poder y el punto de trabajo.

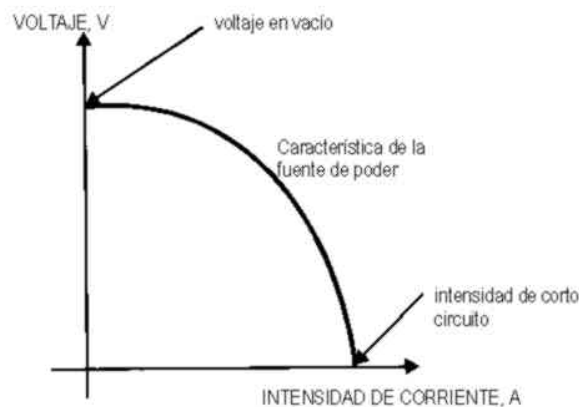


Figura 3.34 Característica de una fuente de poder de corriente constante.

Por su parte, el voltaje en vacío corresponde al máximo voltaje que puede suministrar la máquina de soldar y que se traduce en el voltaje entre los terminales cuando no se está soldando.

Las fuentes de poder de corriente constante son las más adecuadas para el proceso tig (GTAW) y electrodo revestido (SMAW), con este tipo de fuente de poder los cambios de longitud de arco producido en forma natural por el soldador no se traducen en grandes cambios de intensidad de corriente.

De manera de clarificar aún más la situación descrita podemos hacer referencia a la figura 3.35 donde se han superpuestas las características de la máquina y del arco, el punto de intersección de ambos corresponde al punto de trabajo que es la corriente y el voltaje con la que se está soldando. También se han trazado curvas que corresponden a variaciones de la longitud de arco, sobre la base de esto podemos observar que aunque la variación de la característica del arco sea elevada la variación de la corriente es pequeña.

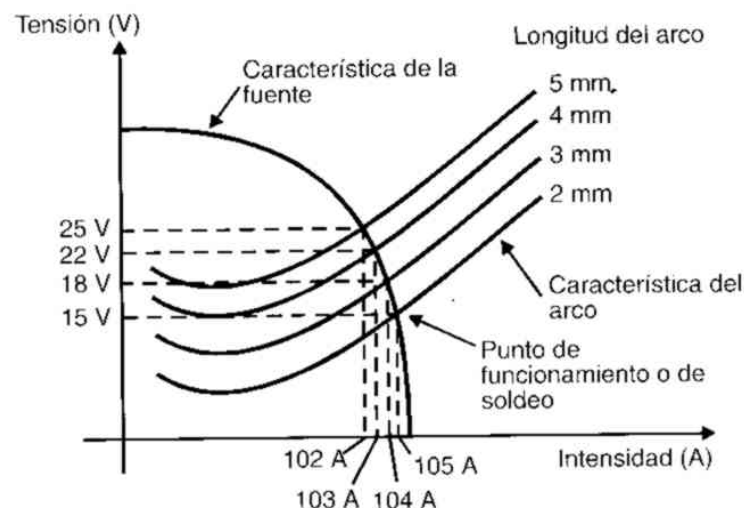


Figura 3.35 Variación de la longitud de arco en una curva con característica de corriente constante

3.9.2 Fuentes de poder de voltaje constante

Las máquinas de soldar con característica de voltaje constante corresponden aquellas máquinas que al ajustar el voltaje en el arco tienden a producir un voltaje de salida relativamente constante.

En la figura 3.36 se muestra la característica de una curva de voltaje constante, también se muestra la característica del arco (arco largo y arco corto), con ello se puede observar que aunque varíe la característica del arco el voltaje permanece prácticamente constante.

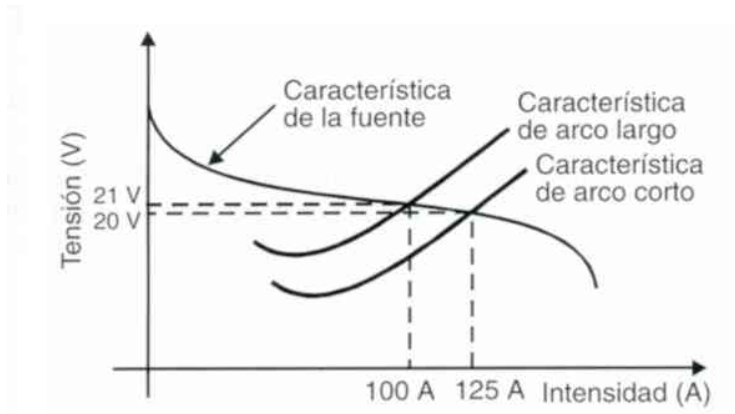


Figura 3.36 Curva con característica de voltaje constante

Los procesos que mejor trabajan con este tipo de fuente de poder son los procesos GMAW, FCAW y SAW. Con una máquina de voltaje constante la variación de la corriente es grande al variar la longitud de arco y como consecuencia se puede controlar la longitud de arco en forma automática.

3.9.3 Factor de operación

El factor de operación corresponde al porcentaje de tiempo, típicamente medido en diez minutos, en el que una fuente de poder o sus accesorios pueden funcionar en las condiciones previstas sin sobrecalentarse. Este factor de operación dependerá de los parámetros de soldeo, como ejemplo tenemos que a mayor corriente menor es el factor de operación. La razón se realiza entre el tiempo de soldeo y la suma del tiempo de soldeo más el tiempo de descanso, todo ello multiplicado por 100.

4

DOCUMENTOS QUE GOBIERNAN LA CALIFICACION E INSPECCION EN SOLDADURA

4.1 Introducción

El trabajo de inspección de soldadura requiere que el inspector posea, o tenga acceso, a una gran cantidad de información y guías. Aunque los trabajos de inspección de soldadura para diferentes industrias pueden ser similares en muchos aspectos, cada trabajo puede tener requerimientos que los hacen únicos. La frase “*La soldadura debe ser buena*”, no es suficiente información para juzgar la calidad de la soldadura. Muchas veces los inspectores son consultados para evaluar otros aspectos de fabricación más allá de la calidad de la soldadura. La condición de los diferentes materiales empleados en las construcciones soldadas puede afectar su calidad total. Los inspectores de soldadura no pueden evaluar una estructura soldada sin la información del diseñador o del ingeniero en soldadura respecto a la calidad de soldadura. El Inspector también necesita conocer cuándo y cómo evaluar la soldadura.

Para satisfacer esta necesidad, existen numerosos documentos útiles para el diseñador, el ingeniero en soldadura y el inspector de soldadura que establecen *qué, cuándo, dónde y cómo* la inspección debe ser realizada. Muchos de estos documentos también incluyen criterios de aceptación. Ellos existen en varias formas dependiendo de la aplicación específica, algunos de los documentos que el inspector de soldadura puede usar son: *los planos de ingeniería, los códigos, las normas y las especificaciones*. Documentos contractuales u órdenes de compra también pueden contener información como los documentos anteriormente mencionados y pueden ser utilizados para ese trabajo. En el caso donde más de uno de los documentos mencionados este especificado, deben ser utilizados unos en conjunción con los otros. Las especificaciones de trabajo pueden incluir requerimientos suplementarios, alterando partes del código o norma que gobierna.

Es esencial para el inspector de soldadura tener la oportunidad de estudiar toda la documentación aplicable antes de comenzar el trabajo. Este esfuerzo pre-soldadura brinda al inspector la información de cómo llevar a cabo la inspección. La información que puede ser obtenida de la revisión de estos documentos incluye la siguiente:

- Geometría y tamaño de la parte,
- Materiales base y de aporte a ser utilizados,
- Requerimientos para los “hold points”,
- Detalles de proceso,
- Procesos a ser empleados,
- Especificaciones para los Ensayos no Destructivos,
- Extensión de la inspección,
- Criterios de aceptación y rechazo,
- Requerimientos de calificación para el personal
- Calificación de procedimiento y soldador
- Requerimientos de control de material.

4.2 Planos de Ingeniería

Los planos (**Drawings**) describen la parte o estructura en detalle gráfico. Las dimensiones, tolerancias, notas, soldaduras, detalles de soldadura en los planos deben ser revisadas por el inspector. Esto le da alguna idea de la dimensión y configuración de la parte. Los planos también ayudan al inspector a entender como será ensamblado el componente, pudiendo asistir en la identificación de problemas que podrían presentarse durante la fabricación.

Las dimensiones que aparecen en los planos tienen dos funciones básicas:

- Proveer las dimensiones necesarias para fabricar las partes,
- Indicar los lugares donde serán colocados los componentes individuales de cada parte.

Las dimensiones en los planos en la mayoría de los casos aparecen en la actualidad en el SI de unidades (**International System of Units**), aunque en ocasiones nos encontramos con unidades en el sistema US, siendo necesario manejar ambos sistemas o conocer la conversión entre ellos.

Otro elemento importante de información que encontramos en los planos son las tolerancias (**tolerances**). Estas son la cantidad total de variación permitida de la dimensión de diseño de una parte. Generalmente las tolerancias siempre deben ser tan grandes como sea práctico, considerando todos los otros factores, para reducir los costos de manufactura. Las tolerancias pueden ser bien específicas y dadas en el valor de una dimensión particular o más generales mostradas como una nota, las tolerancias generales pueden ser aplicadas a todas las dimensiones en el plano a menos que otra cosa se indique. Las tolerancias dan al inspector de soldadura alguna latitud en términos de aceptación o rechazo durante la inspección dimensional de soldaduras y conjuntos soldados.

Las notas en los planos (**drawing notes**) dan instrucciones e informaciones adicionales a las ilustraciones gráficas, y a la lista de materiales. Las notas eliminan la necesidad de repetición en el dibujo. Cuando las notas se vuelven muy extensas, es conveniente escribirlas en forma separada y adjuntarlas al set de planos o al documento contractual. Esta es una razón por la cual el inspector debe revisar este tipo de documentos.

Las notas pueden ser clasificadas como Generales, Locales o Especificaciones dependiendo de su aplicación en el plano. Las generales aplican a todo el plano y usualmente son colocadas en la parte superior o en el lado izquierdo del cajetín en posición horizontal.

Las notas locales o específicas aplican a solo a ciertas áreas y son localizadas cerca o directamente sobre éstas por una flecha. También pueden indicarse por un número encerrado en un triángulo equilátero.

Especificaciones presentadas como notas locales indican materiales requeridos, procesos de soldadura a ser usados, tipo y diámetro de electrodos y varillas. El término especificación debe ser incluido delante de la información para clarificar que es una especificación para un dibujo en particular.

Los detalles de soldadura (**welding details**) mostrados en los planos u otros documentos incluyen la localización, longitud y dimensión de la soldadura, configuración de la unión, especificaciones de examen no destructivo y requerimientos de procesamiento especiales.

4.3 Códigos, Normas y Especificaciones

La discusión de este punto estará limitada a un tratamiento general de la información contenida en varios **documentos que gobiernan la calidad en soldadura**. El inspector de soldadura probablemente va a tenerse que referir a ellos durante el transcurso de su trabajo. Tres tipos básicos de documentos serán revisados: *códigos (codes)*, *normas (standards)* y *especificaciones (specifications)*. Esto no implica que estos son los únicos documentos con los cuales el inspector debe estar familiarizado. Cada inspector es responsable por la revisión de todos los documentos que están involucrados en el proyecto inspeccionado.

Un importante atributo del inspector es el conocimiento de códigos, normas y especificaciones, esto no significa que el inspector de soldadura deba memorizar los contenidos de estos documentos. El inspector solamente debe estar suficientemente familiarizado con un documento para localizar rápidamente la información apropiada. Un inspector debe estar familiarizado con todos los documentos específicos de un trabajo en particular.

Algunas de las organizaciones que son responsables por la producción y revisión de estos documentos son las siguientes:

- American Welding Society (AWS)
- American Society of Mechanical Engineers (ASME)
- American National Standards Institute (ANSI)
- American Petroleum Institute (API)
- American Bureau of Shipping (ABS)
- Department of Transportation (DOT)
- Military Branches (Army, Navy, etc)

4.3.1 Códigos (Codes)

La primera categoría de documento a ser discutida será el “*código*”. Por definición un código es un cuerpo de reglas, de una nación, de una ciudad, etc., ordenado sistemáticamente para una fácil referencia. Cuando una estructura es construida dentro de una jurisdicción de una ciudad o estado, esta a menudo obedece a ciertos códigos de construcción. Un código consiste en leyes que tienen un status legal y éstas siempre deben ser consideradas mandatorias. Un código específico incluye ciertas condiciones y requerimientos para el elemento en cuestión.

El inspector de soldadura frecuentemente debe inspeccionar trabajos de acuerdo a algún código. Diferentes organizaciones incluyendo la AWS y el ASME han desarrollado códigos para varias áreas. La AWS tiene publicados seis códigos, cada uno de los cuales cubre diferentes tipos de aplicaciones industriales de soldadura:

- AWS D1.1 Structural Welding Code- Steel
- AWS D1.2 Structural Welding Code- Aluminum
- AWS D1.3 Structural Welding Code- Sheet Steel
- AWS D1.4 Structural Welding Code- Reinforcing Steel
- AWS D1.5 Bridge Welding Code- Steel
- AWS D9.1 Sheet Metal Welding Code

Dependiendo del tipo de soldadura a ser realizada, uno o más de los códigos señalados arriba podría ser seleccionado para detallar los requerimientos de calidad de soldadura.

El AWS D1.1 Structural Welding Code- Steel se publica cada dos años con nuevas ediciones. Este describe los requerimientos de soldadura para estructuras de acero incluyendo las estáticamente cargadas, las dinámicamente cargadas y las no tubulares. Abajo se listan las diferentes Secciones de este código:

General Requirements

Design of Welded Connections

Part A- Common Requirements of Nontubular and Tubular Connections

Part B- Specific Requirements for Nontubular Connections (Statically or Cyclically Loaded)

Part C- Specific Requirements for Cyclically Loaded Nontubular Connections

Part D- Specific Requirements for Tubular Connections

Prequalification of WPSs

Qualification

Part A- General Requirements

Part B- Welding Procedure Specification (WPS)

Part C- Performance Qualification

Fabrication

Inspection

Part A- General Requirements

Part B- Contractor Responsibilities

Part C- Acceptance Criteria

Part D- Nondestructive Testing Procedures

Part E- Radiographic Testing

Part F- Ultrasonic Testing of Groove Welds

Part G- Other Examination Methods

Stud Welding

Strengthening and Repairing Existing Structures

Annexes- Mandatory Information

Annexes- Nonmandatory Information

Commentary

El AWS D1.1 es responsable por el desarrollo de los otros cuatro códigos, estos tienen su mismo formato general, y los requerimientos de soldadura difieren ligeramente.

El ASME también ha desarrollado diferentes códigos que aplican a recipientes y tuberías a presión. Dos de ellos, el ASME B31.1, *Power Piping*, y el B31.3, *Process Piping*, detallan los requerimientos para dos tipos de tuberías a presión. Ellos llevan una designación ANSI, pero fueron desarrollados por el ASME.

Además de estas aplicaciones se han desarrollado una serie de códigos aplicables al diseño y construcción de recipientes a presión, como es el caso del ASME *Boiler and Pressure Vessel Code*, debido a la gran variedad de aplicaciones de estos recipientes, este código existe como un set de once secciones separadas. Estas secciones son:

Section I	Rules for Construction of Power Boilers
Section II	Materials
	Part A- Ferrous Materials Specifications
	Part B- Nonferrous Materials Specifications
	Part C- Specifications for Welding Rods, Electrodes and Filler Metals
	Part D- Properties
Section III	Subsection NCA- General Requirements for Division 1 and Division 2.
Section IV	Rules for Construction of Heating Boilers
Section V	Nondestructive Examination
Section VI	Recommended Rules for Care and Operation of Heating Boilers
Section VII	Recommended Guidelines for the Care of Power Boilers
Section VIII	Rules for Construction of Pressure Vessels, Divisions 1, 2 y 3.
Section IX	Welding and Brazing Qualifications
Section X	Fiber-Reinforced Plastic Pressure Vessels
Section XI	Rules for Inservice Inspection of Nuclear Power Plant Components

Los inspectores de soldadura que realizan las inspecciones de acuerdo a los criterios del ASME quizás deban referirse a diferentes secciones del código. Por ejemplo, en la secuencia de fabricación de un recipiente a presión de acero al carbono, las secciones usadas son: la II (en todas sus partes), V, VIII y IX. Cuando varias secciones del código están involucradas es imperativo que el inspector de soldadura conozca donde puede ser encontrada cada información específica.

4.3.2 Normas (Standards)

El diccionario describe una norma como algo establecido para ser usado como una regla o base de comparación para medir o juzgar capacidad, cantidad, contenido, extensión, valor, calidad, etc. El término "standard" es tratada como una clasificación separada de documento, pero este término también aplica a numerosos tipos de documentos, incluyendo códigos y especificaciones. Otros tipos de documentos considerados como standards son los procedimientos, prácticas recomendadas, grupos de símbolos gráficos, clasificaciones, y términos y definiciones.

Algunos Standards son considerados mandatorios, esto significa que la información es requerimiento absoluto, además debe ser preciso, claramente definido y adecuado para la adopción como parte de una regla o regulación. Los códigos son ejemplos de standards mandatorios por que ellos tienen un status legal.

Hay numerosos standards que brindan información importante pero son considerados no mandatorios, un ejemplo podría ser una práctica recomendada, es no mandatoria por que solo provee otra forma en que los objetivos se pueden cumplir. La implicación aquí es que la información sirve como una guía para la realización de una tarea en particular. Esto no significa que algo está rechazado por que falla su concordancia con esa guía.

Aunque un standard pueda ser considerado no-mandatorio, éste brinda información importante que no debe ser ignorada por el inspector. Standards no mandatorios pueden dar una base para el desarrollo de documentos mandatorios. Así es el caso de la ASNT " *Practice Recommended SNT-TC-1A*", la ASNT preparó este documento, para establecer guías para la calificación y certificación del personal de

Ensayos no Destructivos (END). Ver figura 4.1.

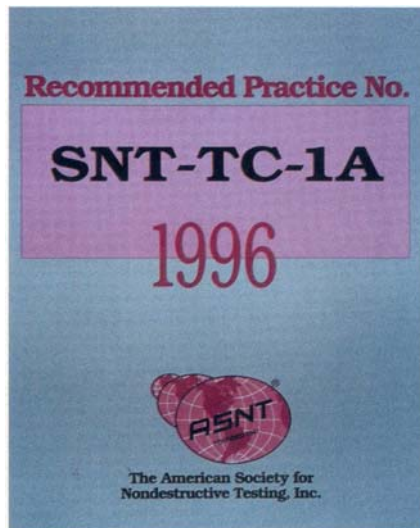


Figura 4.1. ASNT SNT-TC-1A

Los Standards son el resultado de procedimientos revisados y votados. Son desarrollados de acuerdo a reglas establecidas por el American National Standards Institute (ANSI) y producidos por diferentes organizaciones tales como la AWS y la ASME, y revisados por el ANSI. Cuando estos documentos son adoptados llevan la identificación de ambas organizaciones. Ejemplos son el ANSI/ASME *Boiler and Pressure Vessel Code, Section IX*, y ANSI/AWS D1.1 *Structural Welding Code- Steel*. Ver figura 4.2.

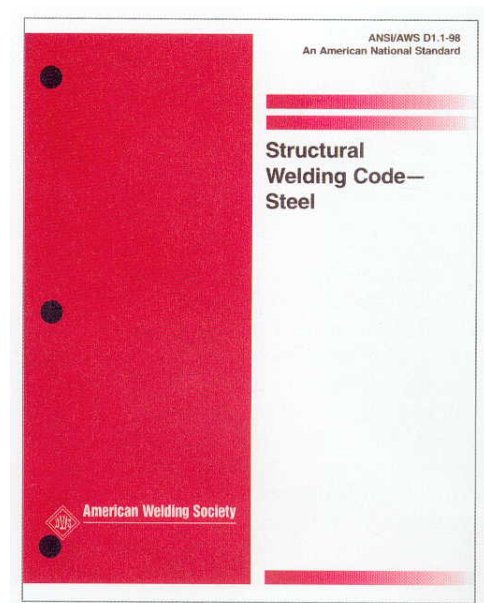
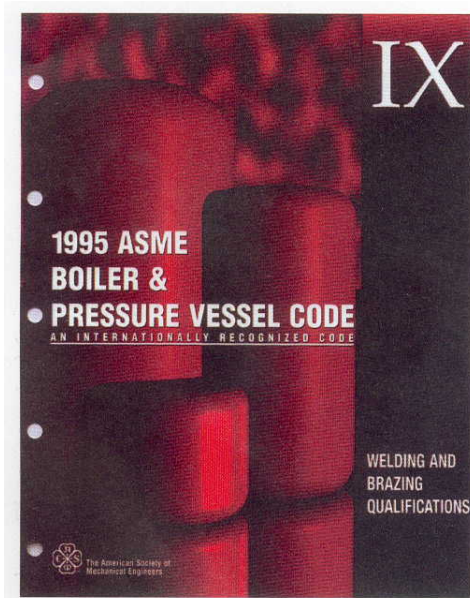


Figura 4.2. ANSI/ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section IX, y ANSI/AWS D1.1 Structural Welding Code- Steel.

Otro Standard común usado por algunos inspectores de soldaduras es el API 1104, *Standard for Welding of Pipelines and Related Facilities*, del American Petroleum Institute. Como su nombre lo indica este standard aplica a la soldadura de tuberías campo travesía y otros equipamientos usados en el transporte y almacenamiento de productos del petróleo. Cubre además los requerimientos para la calificación de procedimientos de soldadura, soldadores y operadores de soldadura, empleando soldadura al arco o a gas para la unión de juntas a tope y en "T" de cañerías usadas en la compresión, bombeo y transporte de petróleo crudo, productos del petróleo y gases combustibles. API 1104 también incluye los requerimientos para la inspección visual y radiográfica de estas soldaduras. Ver Figura 4.3.

La American Society for Testing and Materials (ASTM) produce muchas especificaciones de materiales que cubren numerosos materiales y métodos de ensayo. Estos standards incluyen productos metálicos y no metálicos para muchas industrias. Como su nombre lo indica en ellas también están incorporados en detalle los métodos para la evaluación de estos materiales. Estas especificaciones son ampliamente reconocidas tanto por los compradores como por los proveedores. Ver figura 4.4

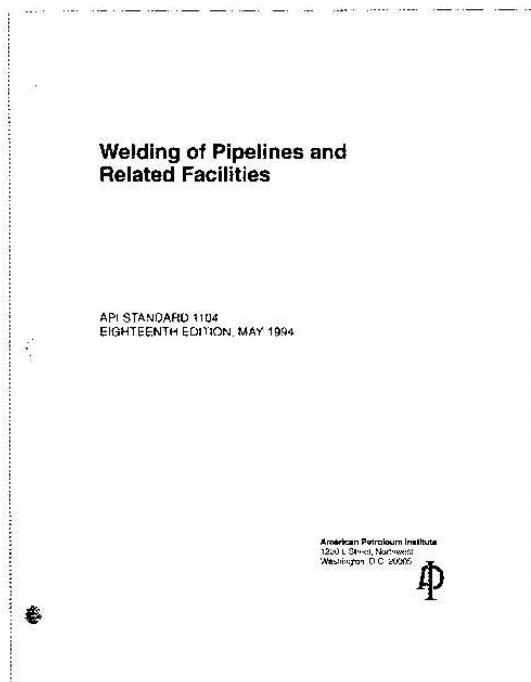


Figura 4.3. API Standard 1104

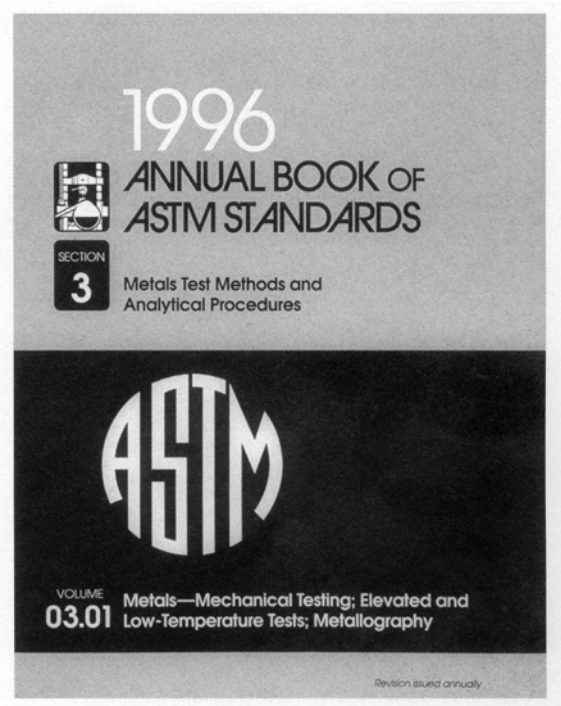


Figura 4.4. ASTM Standard

4.3.3 Especificaciones (Specifications)

La última clasificación de documento a ser discutida es la Especificación, esta es una descripción detallada de las partes de un conjunto; estableciendo o enumerando aspectos particulares tales como tamaño requerido o real, calidad, términos, etc. Una especificación es una descripción detallada o un listado de atributos requeridos de algún ítem u operación. No solo estos requerimientos son listados, sino

que también puede ser descripto como pueden ser medidos.

Dependiendo de la necesidad específica, las especificaciones pueden existir de diferentes formas. Las compañías desarrollan especificaciones propias describiendo los atributos necesarios de un material o un proceso usado en su operación de fabricación, esta puede ser usada enteramente dentro de los confines de la compañía, o puede ser enviada a los proveedores para detallar exactamente que quiere comprar la compañía. Cuando estos requerimientos son escritos, hay más seguridad que el ítem o servicio que es suministrado cumplirá con las necesidades del cliente. Tanto el departamento de compra como el de ingeniería tienen un peso importante sobre las especificaciones para describir sus requerimientos.

Varias organizaciones publican especificaciones y standards que son aplicables a diferentes industrias. El interés de estos grupos es establecer algunos acuerdos para reducir la duplicidad de esfuerzos. Especificaciones que aplican a un producto en particular son usualmente preparadas por el grupo que tiene la responsabilidad general. Cada organización que prepara standards o especificaciones de consenso, tiene comités de voluntarios para realizar esta función, los miembros de estos comités son especialistas en sus campos. Ellos preparan bosquejos de especificaciones o standards que son revisados y aprobados por un grupo más grande. Cada comité principal es seleccionado de forma tal que incluya personas con intereses diversos incluyendo productores, usuarios y representantes de organizaciones gubernamentales. Para eliminar el control o la influencia indebida por el interés de un grupo, debe haber consenso en la mayoría de todos los miembros.

Otras organizaciones que han desarrollado especificaciones para sus industrias en particular son el API y la AWS. Las especificaciones API gobiernan los requerimientos para materiales y equipamientos usados por la industria del petróleo. La AWS ha desarrollado un número de especificaciones que describen los requerimientos para los metales de aporte. La serie A5.XX de las especificaciones (de la AWS A5.1 a la A5.33) cubre los requerimientos para diferentes tipos de consumibles de soldadura y electrodos.

Por ejemplo, la A5.1 detalla los requerimientos de los electrodos para acero al carbono para la soldadura al arco con electrodos revestidos. Proveyendo la clasificación de los electrodos, propiedades mecánicas y químicas del deposito de soldadura, ensayos requeridos, detalles de los ensayos, requerimientos dimensionales e información de almacenaje.

Otras series de especificaciones han sido desarrolladas por lo AWS para describir varios requerimientos de fabricación tipos individuales de aparatos. Estas están denotadas por los números D14.1 hasta la D14.6, los documentos que se incluyen en este grupo son:

- D14.1 Specification for Welding Industrial and Mill Cranes
- D14.2 Specification for Metal Cutting Machine Toll Weldments
- D14.3 Specification for Welding Earthmoving and Construction Equipment
- D14.4 Specification for Welded Joints in Machinery and Equipment
- D14.5 Specification for Welding Presses and Press Components
- D14.6 Specification for Rotating Elements of Equipment

Mientras que en cada uno de los documentos de arriba se hacen referencias a requerimientos generales de la AWS D1.1, ellos brindan detalles para necesidades específicas de una estructura o componente en particular.

El American National Standards Institute (ANSI) es una organización privada responsable por la coordinación de los standards nacionales para el uso dentro de los Estados Unidos. ANSI actualmente no prepara Standards.

Otros países industrializados también han desarrollado y emplean standards en materia de soldadura.

Existe la International Organization for Standardization (ISO) y su logro es el establecimiento de standards uniformes usados en el comercio internacional y el intercambio de servicios. La ISO ha creado cuerpos escritos de standards en más de 80 países y ha adoptado o desarrollado más de 4000 standards.

La AWS publica numerosos documentos que cubren el uso y el control de calidad de la soldadura. Estos documentos incluyen, códigos, especificaciones, métodos y guías. Las publicaciones de la AWS cubren las siguientes áreas: Definiciones y Símbolos; Metales de aporte; Ensayos y calificaciones; Procesos de soldadura; Aplicaciones de soldadura y Seguridad. Ver figura 4.5.

4.4 Control de Materiales

En muchas industrias un aspecto importante de la fabricación es la identificación y trazabilidad de los materiales: Algunos inspectores pueden ser requeridos para asistir en el programa de control de materiales como una actividad regular de su responsabilidad, si este es el caso, el individuo debe ser capaz de identificar apropiadamente el material y comparar esta información con la documentación relacionada.

Los materiales para la fabricación por soldadura son frecuentemente ordenados con la estipulación que ellos deben cumplir con una especificación o standard en particular. Para demostrar esta complacencia, el proveedor debe proveer la documentación que describe las características importantes del material. Esta documentación para los metales esta referida a un *“Certificado de Material” (Material Test Report)*. En estos documentos normalmente se tabula la composición química y propiedades mecánicas del material. Los atributos son usualmente listados como típicos o reales, o ambos. Las propiedades típicas son los límites descriptos por una especificación particular. Los atributos reales son las propiedades del material que han sido físicamente medidas y especificadas en el Certificado de Material. Los límites reales describen las propiedades químicas y mecánicas medidas del ensayo de una plancha, tubo, barra o metal de aporte en particular. Ver figura 4.6.

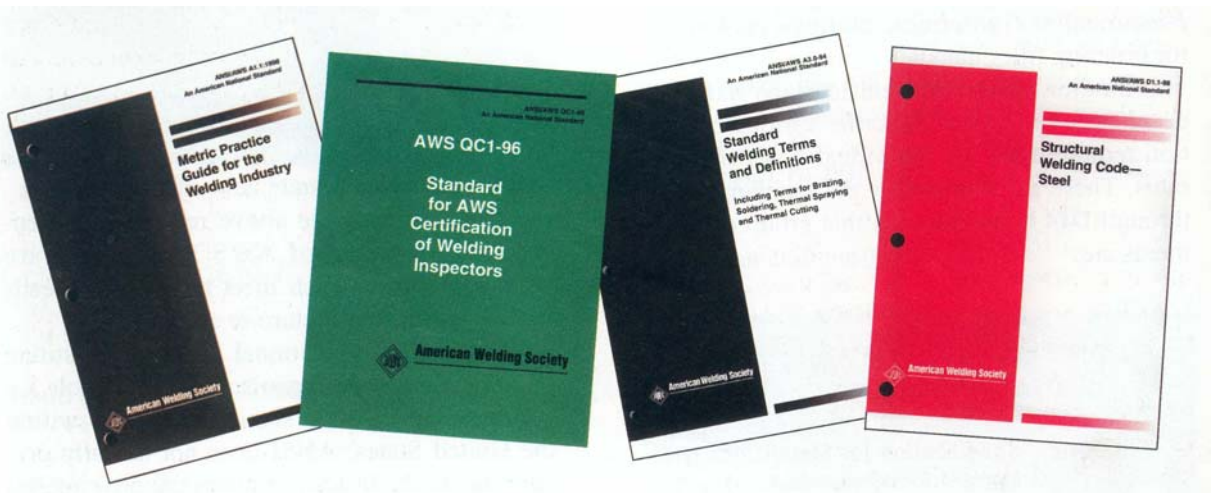


Figura 4.5. AWS Standards

Cuando un material es ordenado por alguna especificación y llega al sitio de la fabricación el inspector es el responsable de la revisión del Certificado de Material que lo acompaña. Esta revisión establece si el material cumple o no con los requerimientos de la especificación. Normalmente el material debe estar

físicamente identificado con el *tipo, grado, "heat number"*, etc. El inspector debe comparar la identificación del material con la información contenida en el certificado, para asegurar que la documentación proveída es la adecuada y que el material es el que realmente fue ordenado

Para que un programa de control de materiales sea exitoso, debe haber algún sistema donde el material recibido pueda ser trazado a través de los diferentes procesos de fabricación. El éxito está en ser capaces de trazar cada parte de material usado en algún componente fabricado. Esto no es un requerimiento absoluto para muchos tipos de fabricación, la compañía es quien debe establecer la política de trabajo, de dictar que parte o si son todas las que deben ser trazadas. El inspector puede estar envuelto en todo el sistema de control de materiales o en solo una parte del mismo.

Un sistema exitoso para el control de materiales tiene que reunir distintos atributos importantes. Primero, debe ser lo más simple posible, si el sistema es demasiado complejo, este puede no ser seguido, resultando en la pérdida de control. Segundo, debe contener chequeos y balances adecuados para que el sistema no falle y se pierda la trazabilidad.

Existen diferentes formas efectivas para mantener la trazabilidad necesaria de los materiales. Dependiendo del grado de control requerido y de la cantidad de materiales, una compañía puede desarrollar un sistema que satisfaga sus necesidades particulares. Si solo dos o tres tipos de materiales son manejados, un sistema simple de segregación o separación puede ser suficiente.

Otra forma efectiva para mantener el control es un sistema de códigos de colores. Grados o tipos individuales de material son asignados a una marca de color particular. Otro método es el uso de un código alfanumérico, el que normalmente debe ser corto y puede ser asignado a un grupo específico de materiales para simplificar la operación.

El método final a ser discutido es el código de barras, el cuál puede ser automatizado, es muy efectivo tanto para el control de material como para el control de inventario

Trent Tube
A Division of Crucible Materials Corp.

TRENT TUBE DIVISION
2015 ENERGY DRIVE
P.O. BOX 77
EAST TROY, WI 53120-0077

TEST REPORT

CUSTOMER ORDER NO. T/CSM 331903	DATE ORDERED 11/01/96	SHIP TO A	BILL ORDER NO. 877-48144-6
------------------------------------	--------------------------	--------------	-------------------------------

TRICORP TRICORP TRICORP TRICORP

TRI-CLOVER INC. 9201 WILMOT RD KENOSHA, WI 53142-762	TEK SUPPLY 365 S PIERCE AVE COLORADO TECH CENTER LOUISVILLE CO 80027-381
--	---

SPECIAL INSTRUCTIONS: Area P

2.000 X .065 20FT FULL FINISHED BRIGHT ANNEALED TRENTWELD STAINLESS SANITARY TUBING A270 90 EX OD TOL A269 94&R249ID/OD POL TP304 INV: 030081-19 CUST PO 2000628 Source: P7014706	300 FT QUANTITY ORDERED 11/01/96 11/04/96 SHIPPED PROCESSED
--	---

SHIPMENTS: FEET 300.000
NET 487
PCS 15
GROSS 442
Boxes 1
Complete Shipment
B/L #E74678
DATE 04-NOV-96
CF PPP

HEAT # 871248

REPORT OF TESTS

HEAT #	C	MN	P	S	SI	NI	CR	MO	CU	N	CO
871248	.025	1.94	.0260	.0120	.38	0.24	18.59	.27		.098	.30

Mechanical and NDE Tests

HEAT #	FLG	FLY	FLR	RFLT	RBND	ROTB	FBD	BND	ECT	UT	RT	LPT	HYDRD	AIR
871248	OK	OK		OK	OK				OK					

HEAT #	LOT #	TENSILE	YIELD	ELON	HARDNS.	ID	RMS	CORR	D'S	ID	VALUE
871248		95,282	51,335	49	X B	88/89					

REMARKS

DUAL CERTIFY TYPE 304/304L
E9 RA MAX. ID
Strip/Plate Supplier - 871248 ALLEGHENY

Mercury or mercury compounds are not used in the manufacture of tubing/pipe.

We Hereby Certify This Report To Be True and Correct
According To The Records in Possession of this Corporation.
TRENT TUBE DIVISION - CRUCIBLE MATERIALS CORPORATION.

Signed: Ronald Peach Dated: 11/4/96

TEST REPORT

Figura 4.6. Certificado de Material

Con cualquiera de estos sistemas de marcado la identificación puede ser clara, es una buena práctica asegurar que la marca sea colocada en diferentes partes. Como mínimo las marcas deben ser colocadas en las esquinas diagonalmente opuestas de la plancha y en ambos extremos de los tubos, perfiles y barras, por si son cortadas en dos piezas, ambas continuarían marcadas. Si las piezas siguen siendo cortadas las marcas deben ser transferidas a cada parte, incluyendo la que es devuelta a la

bodega.

4.5 Identificación de las Aleaciones

La identificación de las aleaciones es usualmente desarrollada por asociaciones industriales tales como la Society of Automotive Engineers (SAE), American Iron and Steel Institute (AISI) y la Copper Development Association (CDA). Los sistemas de identificación de aleaciones son creados para asistir a aquellos trabajos dentro de una industria en particular y frecuentemente se refieren poco a industrias fuera de su esfera de influencia. Así, las especificaciones de aleaciones desarrolladas por diferentes asociaciones a menudo se traslapan o usan designaciones idénticas para aleaciones completamente diferentes, tendiendo a confundir o a que los usuarios cometan errores.

El Unified Number System (UNS) fue desarrollado en 1974 para ayudar a interconectar muchos sistemas de numeración usados que están actualmente soportados por sociedades, asociaciones y productores de metales y aleaciones. Ver figura 4.7.

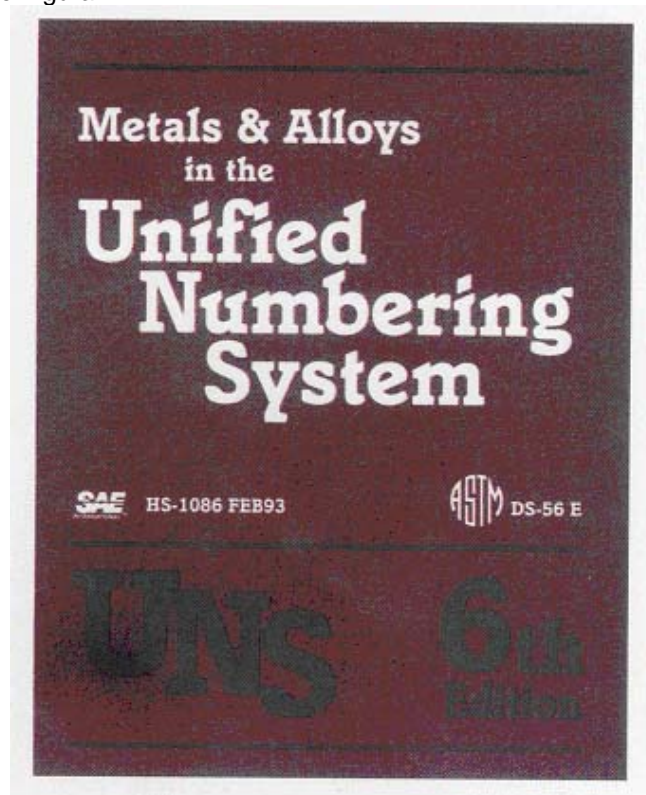


Figura 4.7. UNS Metals and Alloys

El UNS ideó asignar una designación alfanumérica para cada familia de metales y aleaciones, considerando las que tienen una reputación comercial o son comúnmente producidos. Esto significa, metales y aleaciones que tienen un activo uso industrial o son producidos regularmente. El UNS estableció 18 series de números primarios para metales y aleaciones. Cada número consiste de una sola letra como prefijo, seguida de cinco dígitos. En la mayoría de los casos la letra indica la familia de los metales identificados, (así A para el Aluminio o S para los Stainlees Steel). En la figura 4.8 se identifican las series primarias de números y la clasificación de aleaciones o metales para cada uno.

Para ilustrar como existen números metales y aleaciones que pueden ser referenciados se presenta el siguiente ejemplo:

AISI-1020	Acero al carbono
UNS-G10200	Acero al carbono
CDA-C36000	Free Cutting Brass
UNS-C36000	Free Cutting Brass

“UNS”-PRIMARY SERIES OF NUMBERS”

A00001-A99999	Aluminum and aluminum alloys
C00001-C99999	Copper and copper alloys
E00001-E99999	Rare earth and similar metals and alloys
F00001-F99999	Cast Irons
G00001-G99999	AISI and SAE carbon and alloy steels
H00001-H99999	AISI and SAE H-Steels
J00001-J99999	Cast Steel (except tool steels)
K00001-K99999	Miscellaneous steels and ferrous alloys
L00001-L99999	Low melting metals and alloys
M00001-M99999	Miscellaneous nonferrous metals and alloys
N00001-N99999	Nickel and nickel alloys
P00001-P99999	Precious metals and alloys
R00001-R99999	Reactive and refractory metals and alloys
S00001-S99999	Heat and corrosion resistant steels (including stainless), valves steels, and iron-base superalloys
T00001-T99999	Tool steels, wrought and cast
W00001-W99999	Welding filler metals
Z00001-Z99999	Zinc and zinc alloys

Figura 4.8 Números Primarios UNS

Dentro de cada serie de números primarios esta creada una división secundaria para clasificar los metales y aleaciones cubiertos en la designación primaria. Como se muestra en la figura 4.9, los metales de aporte para soldadura han sido divididos en una serie de números secundarios dentro de la clasificación primaria de la UNS, se puede notar que esta lista esta definida por composición química de los metales de aporte y no debe ser confundida con la designación “E” AWS para electrodos.

La información que se provee dentro de esta sección es con un propósito ilustrativo, para poder entender el sistema de numeración de especificaciones de materiales.

4.6 Especificaciones típicas de aceros

El inspector de soldadura a veces debe comparar las propiedades reales del material con los requerimientos de la especificación de material especificada. ASTM ha desarrollado numerosas especificaciones de materiales, estas están referidas a metales y que contienen en su mayoría el mismo tipo de información. Para familiarizarse con el tipo de información que se provee en las especificaciones típicas de aceros, estas serán presentadas tal como aparecen en dicho documento.

“UNS”-SECONDARY SERIES OF NUMBERS”

W00000-W09999	Weld, filler- carbon steel
W10000-W19999	Weld, filler- manganese- molybdenum alloys
W20000-W29999	Weld, filler- Ni steels
W30000-W39999	Weld, filler- austenitic stainless steels
W40000-W49999	Weld, filler- ferritic stainless steels
W50000-W59999	Weld, filler- chromium low alloy steels
W60000-W69999	Weld, filler- copper alloys
W70000-W79999	Weld, filler- surfacing alloys
W80000-W89999	Weld, filler- Ni alloys

Figura 4.9 Números Secundarios UNS

Para este ejemplo, la especificación ASTM 514, *Standard Specification for High Yield Strength, Quenched and Tempered Alloy Steel Plate, Suitable for Welding*, será usada para ilustrar algunos de los detalles que deben ser incluidos en una especificación de acero.

Algunas de las secciones más importantes y notables de esta especificación serán descritas para informar al inspector de soldadura del formato básico de estas especificaciones.

Scope. Este punto explica exactamente que va a ser descrito por la especificación. O sea, este define los límites de alcance de la especificación.

Applicable Documents. Esta es una lista de otros documentos a los cuáles se hará referencia dentro del texto de la especificación.

General Requirements for Delivery. Aquí, están las condiciones requeridas del material si es ordenado para cumplir con esta especificación. Normalmente se hace referencia en las especificaciones de aceros al ASTM A6.

Process. Se listan los métodos de producción aprobados de este producto.

Heat Treatment. Se establece el tratamiento térmico requerido para las aleaciones que lo necesiten.

Chemical Requirements. Esta sección se refiere a una tabla en la cual se listan los requerimientos de composición química real. Es importante hacer notar que diferentes grados son usualmente listados y cada grado tiene una composición química distinta.

Tensile Requirements. Este párrafo se refiere a una tabla en la cual se definen los valores de resistencia requeridos para la aleación. Los valores de resistencia requeridos son normalmente diferentes para los distintos rangos de espesor.

Brinell Hardness Requirements. Para materiales que requieran este ensayo de dureza, la extensión y requerimientos serán establecidos.

Test Specimens. Cualquier información relacionada con la localización, preparación y tratamiento de los especímenes de ensayo, se establecerán en este punto.

Number of Test. El número de especímenes de ensayo requeridos para mostrar su adecuabilidad será mostrado.

Retest. Este párrafo describe que procedimiento será seguido si cualquiera de los especímenes ensayados falla

Marking. En este punto se indicará como el material será identificado.

Supplemental Requirements. Cualquier detalle adicional requerido por el comprador se establece aquí. Este no será considerado un requerimiento a menos que se establezca en la orden de compra del comprador.

4.7 Especificación Típica de Metal de Aporte.

El inspector de soldaduras también puede ser requerido para revisar las propiedades del metal de aporte de soldadura para chequear su cumplimiento con la especificación aplicable. Una de estas especificaciones, la AWS A5.1, *Specification for Covered Carbon Steel Arc Welding Electrodes*, sirve como un ejemplo del tipo de información que se provee en la especificación así como del significado de esta información. Algunos de los puntos más importantes de esta especificación son descritos abajo.

Scope. Este describe el alcance de la especificación.

Section A- General Requirements

Classification. Se establece la base de la clasificación. Se hace referencia a diferentes tablas las cuáles listan estas clasificaciones basadas en el tipo de corriente, tipo de revestimiento, posición de soldadura, composición química y propiedades mecánicas.

Acceptance. Establece que los electrodos serán aceptados si ellos cumplen con los requerimientos de la AWS A5.01.

Certification. El fabricante debe certificar que su producto satisface todos los requerimientos de esta especificación.

Retest. Si cualquiera de los ensayos falla, dos reensayos deben ser realizados y cada uno debe pasar la prueba.

Method of Manufacture. Cualquier método de manufactura que produzca un producto de acuerdo con esta especificación será satisfactorio.

Marking. Establece que identificación mínima debe estar visible en la parte exterior de cada paquete.

Packaging. Describe el embalaje adecuado incluyendo configuraciones y tamaños estándares.

Rounding-off Procedures. Explica como los datos de resistencia pueden ser redondeados a las 1000 psi más cercanas.

Section B- Required Tests and Test Methods.

Describe los diferentes ensayos mecánicos y químicos que pueden ser requeridos para juzgar la aceptabilidad de un metal de aporte con una especificación. Los ensayos incluyen composición química,

resistencia del metal de soldadura, impacto, sanidad, resistencia transversal, doblado guiado longitudinal y ensayos a soldadura de filete,

Section C- Manufacture, Packaging, and Identification. Detalla los requerimientos específicos de estas actividades.

Section D- Details of Tests. Describe los detalles reales para la realización de diferentes ensayos para medir la conformidad de un metal de aporte para cumplir con esta especificación. Esta también describe cuál de estos ensayos es requerido para esta clasificación.

Appendix- Contiene información descriptiva adicional acerca de ciertos requerimientos encontrados en el cuerpo principal de la especificación Incluye información relacionada con el cuidado y uso real de los electrodos para que cumplan con esta especificación.

4.8 Calificación de Procedimientos y Soldadores

Parte de cada proyecto de soldadura, ya sea en taller o en terreno, es la calificación de procedimientos y soldadores, u operadores de soldadura. Este es uno de los pasos preliminares más importantes en la secuencia de fabricación. A menudo los proyectos comienzan sin probar los procedimientos de soldadura y el personal, esto puede resultar en excesivos índices de rechazos en la producción debido a insuficiencias insospechadas en la técnica, materiales o habilidad del operador.

Durante la realización del acto de calificación el inspector debe estar involucrado, la estructura individual de la compañía establece el grado en que el inspector se involucrará en este proceso. Algunos códigos exigen que el inspector sea testigo de la calificación y ensayo. Consecuentemente, el inspector de soldadura debe estar al tanto de los diferentes pasos en la calificación del proceso de soldadura y el personal de soldadura.

En la mayoría de los códigos la responsabilidad de la calificación recae en el fabricante o en el contratista. Así, las calificaciones de soldaduras son establecidas por la compañía, verificando que los procedimientos de soldadura y el personal a sido evaluado de acuerdo a los códigos y especificaciones que corresponden, y los resultados son aceptables.

Los contratistas y fabricantes en soldadura saben que calificar los procedimientos y el personal resulta en una mejora de la relación costo- beneficio. Cuando el personal y los métodos han sido evaluados y son aceptables es menos probable un excesivo costo causado por las soldaduras rechazadas y retrasos en el trabajo. Es mucho más económico encontrar alguna deficiencia durante el ensayo que durante la producción real.

El inspector de soldadura también esta involucrado con las calificaciones en la revisión de documentos, siendo una de sus responsabilidades revisar los formularios de las calificaciones de procedimiento y soldadores para ver si estas están de acuerdo con el código y las especificaciones de trabajo. Inspectores de soldadura experimentados se dan cuenta que numerosos problemas puede ser detectados y corregidos antes de la soldadura, si se realiza una revisión cuidadosa. Además, la mayoría de los códigos dan al inspector de soldadura la autoridad para pedir que los soldadores sean recalificados en el evento que ellos produzcan continuamente trabajos defectuosos.

Durante esta discusión de ensayos de calificación, referidos a la soldadura no implican que solo esta requiere de calificación. El *Brazing*, por ejemplo también requiere de procedimientos y personal calificado. La calificación específica de técnicas de brazing puede ser encontrada en *ASME Section IX*,

donde se describen los diferentes pasos envueltos en la calificación de procedimientos de soldadura y personal.

En la mayoría de los códigos (ejemplos: *AWS D1.1*, *ASME Section IX* y *API 1104*) el manejo de calificación de procedimientos es ligeramente diferente, algunas de estas diferencias serán expuestas en este capítulo.

4.8.1 Procedimiento de Calificación

El primer paso en la calificación de un proceso de calificación es el desarrollo del procedimiento de soldadura (**welding procedure**) y su ejecución dentro del procedimiento de calificación. Esto debe preceder a la calificación de soldador y a la soldadura de producción porque este determinará si la técnica real y los materiales son compatibles. En general, la calificación del procedimiento de soldadura se realiza para mostrar la compatibilidad de:

1. El metal base,
2. El metal de aporte,
3. Los procesos, y
4. Las técnicas.

Se puede notar que no se hace mención del nivel de habilidad del soldador que realiza el ensayo de calificación. Aunque la mayoría de los códigos consideran que el soldador que realiza la soldadura queda automáticamente calificado, la calificación del procedimiento no esta destinada a juzgar la habilidad del soldador. Aunque cada código maneja ligeramente diferente el procedimiento de calificación, la intención común es la misma.

Existen tres formas generales de calificación de procedimientos: los procedimientos precalificados (**prequalified procedures**), los ensayos de calificación de procedimientos (**actual procedure qualification testing**) y prototipos (**mock-up test**) para aplicaciones especiales. Los prototipos pueden ser usados para complementar otro de los métodos más estandarizados de calificación de procedimientos.

Discutamos primero el sistema usado por la American Welding Society en la *AWS D1.1, Structural Welding Code-Steel*. Este sistema, es único en la industria de la soldadura, porque hay numerosos procedimientos que son considerados precalificados, o sea, que no se necesita realizar un ensayo de calificación real sino que los parámetros de soldadura están dentro de ciertos límites prescritos. El Código D1.1 lista diferentes procesos de soldadura, metales base, espesores, configuraciones de uniones, y técnicas de soldadura las cuáles cuando son usadas en combinaciones específicas, son consideradas precalificadas.

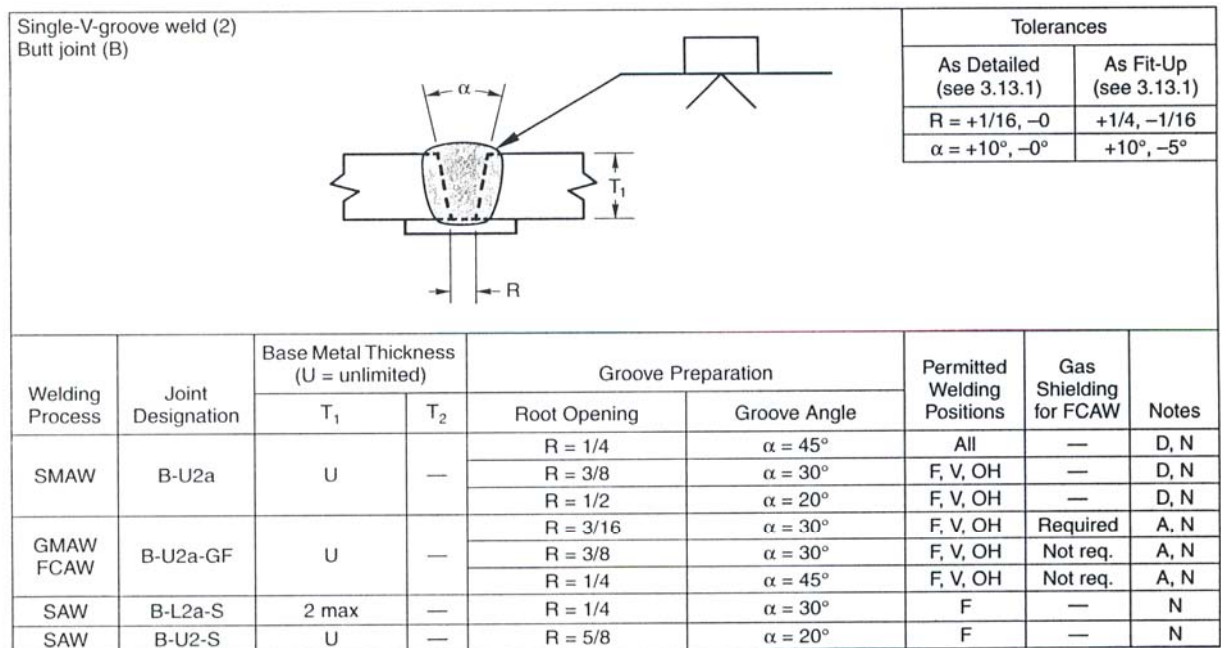
La *AWS D1.1* reconoce cuatro procesos de soldadura como precalificados, donde se incluyen el SMAW, SAW, FCAW y GMAW, exceptuando la transferencia metálica por corto circuito. Esto no significa que estos son los únicos procesos que pueden utilizados, sino simplemente implica que se requiere un ensayo de calificación real si otros procesos de soldadura son empleados en la soldadura de producción. Existen también numerosos metales base que son considerados aceptables y no requieren calificación cuando son empleados.

El espesor del metal base también ejerce un efecto sobre la efectividad del procedimiento de soldadura, de esta manera las diferentes uniones soldadas precalificadas tienen limitaciones en los rangos de

espesor cubiertos. La AWS D1.1 esta limitada a la soldadura de aceros de 1/8" (3.2 mm) de espesor y mayores. Los rangos de espesores específicos para diferentes procesos, posiciones y configuraciones de junta están tabulados para cada unión soldada precalificada.

Si ciertas condiciones colocan a un procedimiento fuera de estas limitaciones, esto no implica que el procedimiento no pueda ser utilizado, solamente significa que ensayos de calificación deben ser realizados para juzgar su aceptabilidad.

La figura 4.10 es un ejemplo de cómo la AWS D1.1 lista las limitaciones de los diferentes aspectos de una unión soldada precalificada.



Notes:

A: Not prequalified for gas metal arc welding using short circuiting transfer nor GTAW. Refer to Annex A.

D: SMAW detailed joints may be used for prequalified GMAW (except GMAW-S) and FCAW.

N: The orientation of the two members in the joints may vary from 135° to 180° for butt joints, or 45° to 135° for corner joints, or 45° to 90° for T-joints.

Source: ANSI/AWS D1.1-98

Figura 4.10. Ejemplo de limitaciones de una unión soldada precalificada AWS.

Observando la figura podemos ver que esta unión soldada precalificada en particular es una unión a tope con ranura en V simple, soldada de un solo lado y con respaldo metálico en la raíz. Los datos tabulares muestran diferentes requerimientos para la configuración exacta de una unión soldada, dependiendo del proceso, espesor y posición de soldadura. Para un determinado proceso, la abertura de raíz puede variar con relación al ángulo de la ranura.

Considerando el proceso SMAW, existen tres opciones distintas de combinaciones de aberturas de raíz y de ángulos de ranura: 1/4" (6.5 mm) de abertura con 45° de ángulo; 3/8" (9.5 mm) de abertura con 30° de ángulo y 1/2" (12.7 mm) de abertura con 20° de ángulo. Es importante hacer notar que las tolerancias para ambas dimensiones aparecen en la tabla insertada en el lado superior derecho, siendo estas: de diseño ("As detailed") y de ensamble ("As fit up"). El primer tipo relacionado con la libertad dimensional del diseñador cuando especifica este aspecto, el segundo está relacionado con las variaciones

permisibles de estas dimensiones detalladas durante el ensamblaje de las partes a ser unidas. Entonces, el inspector de soldadura puede aplicar las tolerancias “As fit up” cuando está inspeccionando en producción el ensamble de esta junta.

En la columna siguiente se encuentran las posiciones para las cuales está junta es considerada precalificada. La otra columna es donde se establece si será empleado o no, gas de protección para el proceso FCAW. Cuando se hace referencia a estas figuras de juntas soldadas precalificadas, es importante prestar atención a las notas que están refenciadas en la última columna de la tabla. Estas notas pueden colocar restricciones adicionales sobre el uso de estas juntas precalificadas.

El último juicio de si un procedimiento se considera precalificado se hace después de haber revisado los contenidos de las Secciones 3 (Prequalification of WPSs) y 4 (Qualification) del Código, las cuales se refieren a la precalificación y calificación, respectivamente. La Sección 5 (Fabrication) define muchos de los requerimientos de calidad aceptables para la preparación y término de las soldaduras, aquí también hay información acerca de los métodos aceptables para lograr los niveles de calidad. Esta sección también detalla los requerimientos específicos para los diferentes procesos de soldadura, incluyendo sus “variables esenciales”.

Las variables esenciales (**essential variables**), son aquellos aspectos del proceso de soldadura que si son cambiados más allá de ciertos límites, requieren que se establezca un nuevo procedimiento de soldadura. Las variables esenciales se indican para cada proceso de soldadura diferente.

Como previamente fue mencionado, si cualquier aspecto hace un procedimiento no precalificado, este puede ser calificado realizando una soldadura de muestra y someterla a ensayos destructivos reales. Esto es efectuado de la misma manera que el ensayo de calificación realizado en ASME Section IX, el cuál será tratado más adelante. Una de las mayores diferencias entre ambos es que para el AWS, el procedimiento deberá ser calificado para cada posición en que la producción soldada será realizada. Los requerimientos para este ensayo aparecen en la Sección 4 del AWS D1.1, donde se detallan las condiciones de ensayo, los resultados de los ensayos requeridos y las limitaciones de diferentes procedimientos calificados.

El próximo método usado para la calificación de procedimientos es la realización de ensayos de calificación reales. Este método es usado, en versiones un poco modificadas, por el ASME y el API para la calificación de procedimientos de soldaduras.

El ASME Section IX, *Welding and Brazing Qualifications*, cubre la calificación tanto de soldadura con el brazing para la fabricación de tuberías y recipientes a presión. El API1104, *Standard for Welding of Pipelines and Related Facilities*, es empleado para la calificación de soldadores y procedimientos así como en su inspección en la construcción de tuberías a campo traviesa.

En ambos sistemas, se definen ciertas variables esenciales, como el AWS estas variables dictan la extensión de un procedimiento de soldadura dado, o sea que una vez que estas limitaciones prescritas se exceden otro procedimiento debe ser desarrollado. En las variables esenciales se incluyen los procesos de soldadura, los parámetros de soldadura, tipos de metales base, espesores de metales base, tipo y dimensiones de los metales de aporte y técnicas de soldadura específicas.

En el sistema ASME, las variables esenciales deben ser establecidas en la *Welding Procedure Specification* (WPS), en esta se lista el rango de cada variable esencial. Estos rangos pueden exceder los límites para diferentes variables esenciales, por lo que varios ensayos de calificación pueden requerirse para dar una cobertura total a estos límites. Las condiciones reales de ensayo son registradas en un segundo documento, el Procedure Qualification Record (PQR). Como consecuencia puede haber

varios PQRs referidos a una sola WPS.

Una vez que las variables han sido definidas para un cierto procedimiento que incluya todas las condiciones que serán encontradas durante la soldadura de producción, se soldará un cupón para el ensayo de calificación. En ASME este puede ser una plancha o una cañería, resultando en la calificación de un procedimiento para ambas formas. En API, la configuración es siempre tubular. Seguido a la soldadura, se removerán los especímenes requeridos para ensayo y ensayados destructivamente para ser juzgados como aceptables o rechazados basados en los requerimientos correspondientes. En las figuras 4.11 y 4.12 se muestran algunos de los cupones típicos para el ensayo de calificación de procedimientos de acuerdo con ASME Section IX y API 1104, respectivamente.

QW-463 Order of Removal

Discard	this piece
Reduced section	tensile specimen
Root bend	specimen
Face bend	specimen
Root bend	specimen
Face bend	specimen
Reduced section	tensile specimen
Discard	this piece

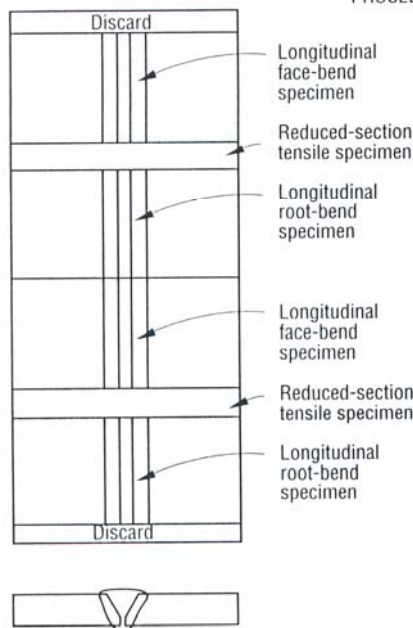
Discard	this piece
Side bend	specimen
Reduced section	tensile specimen
Side bend	specimen
Side bend	specimen
Reduced section	tensile specimen
Side bend	specimen
Discard	this piece



QW-463.1(a) PLATES - LESS THAN 3/4 IN. THICKNESS PROCEDURE QUALIFICATION



QW-463.1(b) PLATES - 3/4 IN. AND OVER THICKNESS AND ALTERNATE FROM 3/8 IN. BUT LESS THAN 3/4 IN. THICKNESS PROCEDURE QUALIFICATION

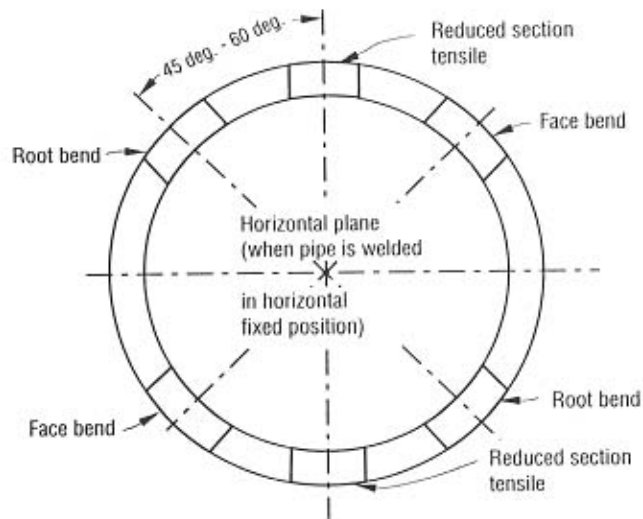


QW-463.1(c) PLATES - LONGITUDINAL PROCEDURE QUALIFICATION

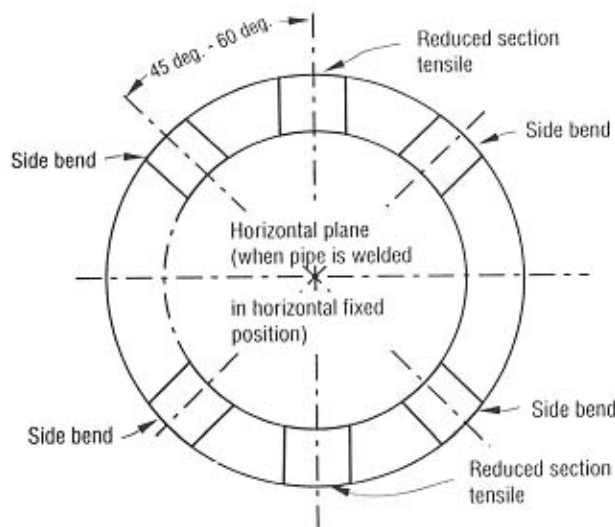
Source: ASME Boiler & Pressure Vessel Code, Section IX

Figura 4.11. Cupones típicos para la Calificación de Procedimiento ASME

QW-463 Order of Removal (Cont'd)



QW-463.1(d) PROCEDURE QUALIFICATION



QW-463.1(e) PROCEDURE QUALIFICATION

Source: ASME Boiler & Pressure Vessel Code, Section IX

Figura 4.11. Cupones típicos para la Calificación de Procedimiento ASME (continuación)

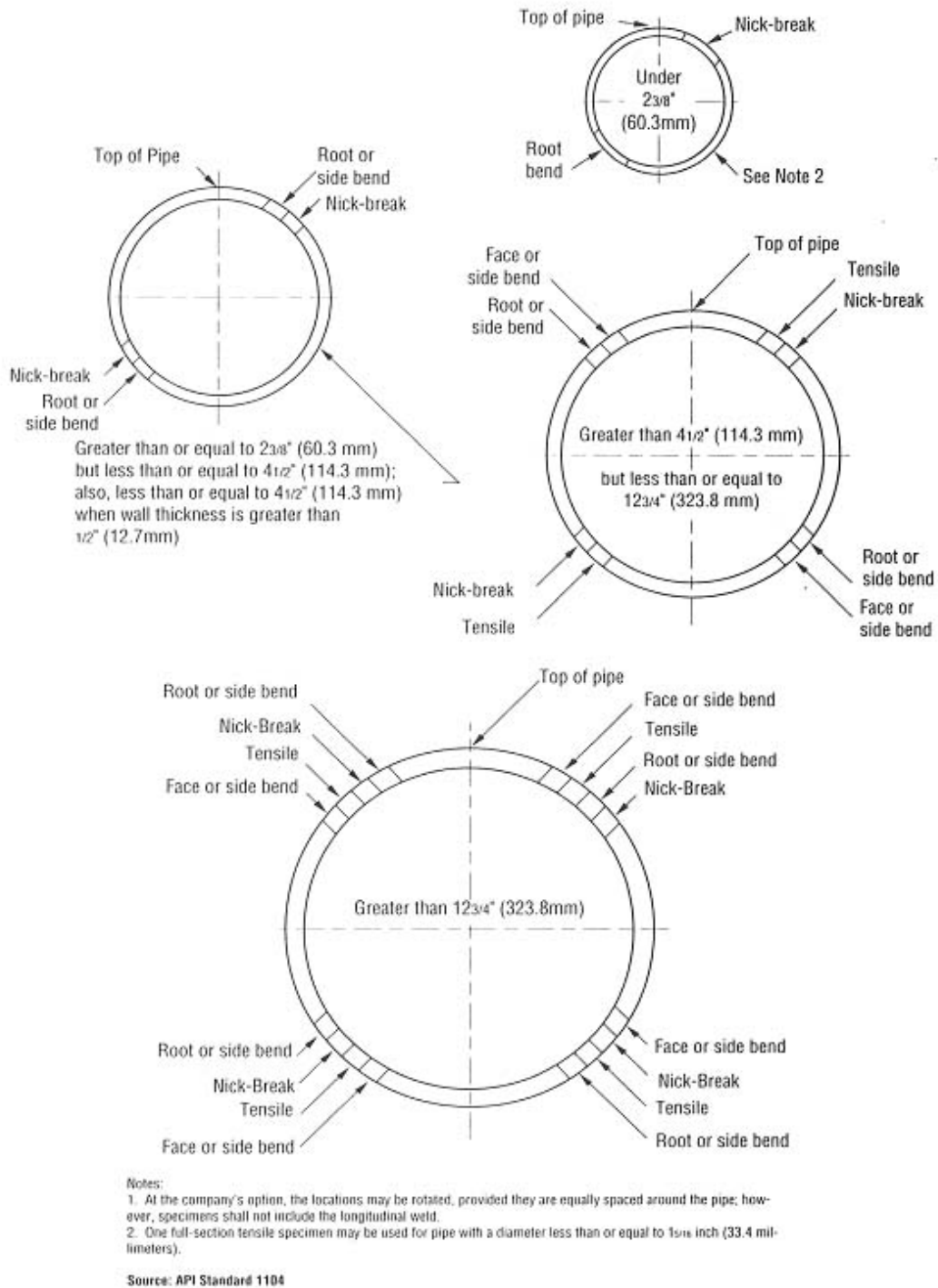


Figura 4.12. Cupones típicos para la Calificación de Procedimiento API

Por ASME, la calificación de procedimiento en posición plana califica este procedimiento para toda posición. API requiere que el procedimiento sea calificado en posición fija (**fixed**) o con giro (**rolled**), o ambas, dependiendo de los requerimientos del trabajo, la calificación en una u otra posición no califica el procedimiento en la otra posición.

Los ensayos están diseñados para evaluar los efectos de las técnicas de soldadura y la compatibilidad de los metales base y de aporte. Los ensayos más comunes usados en la calificación de procedimiento son de tracción, de doblado, de quiebre (**nick-break**), de macrografía, de ruptura (**fillet rupture**) y los ensayos no destructivos.

La figura 4.13 muestra los especímenes de ensayos y los rangos de espesores calificados para diferentes calificaciones de procedimientos en soldadura de ranura de acuerdo al ASME Section IX. En la figura 4.14 se muestran los especímenes de ensayo para la calificación de procedimientos de soldadura a tope por API 1104.

QW-451.1 GROOVE-WELD TENSION TESTS AND TRANSVERSE-BEND TESTS							
Thickness <i>T</i> of Test Coupon Welded, in.	Range of Thickness <i>T</i> of Base Metal Qualified, in. [Note (1)]		Thickness <i>t</i> of Deposited Weld Metal Qualified, in. [Note (1)]	Type and Number of Tests Required (Tension and Guided-Bend Tests) [Note (4)]			
	Min.	Max.	Max.	Tension QW-150	Side Bend QW-160	Face Bend QW-160	Root Bend QW-160
Less than 1/16	<i>T</i>	2 <i>T</i>	2 <i>t</i>	2	...	2	2
1/16 to 3/8, incl.	1/16	2 <i>T</i>	2 <i>t</i>	2	Note (3)	2	2
Over 3/8, but less than 3/4	3/16	2 <i>T</i>	2 <i>t</i>	2	Note (3)	2	2
3/4 to less than 1 1/2	3/16	2 <i>T</i>	2 <i>t</i> when <i>t</i> < 3/4	2 (5)	4
3/4 to less than 1 1/2	3/16	2 <i>T</i>	2 <i>T</i> when <i>t</i> ≥ 3/4	2 (5)	4
1 1/2 and over	3/16	8 (2)	2 <i>t</i> when <i>t</i> < 3/4	2 (5)	4
1 1/2 and over	3/16	8 (2)	8 (2) when <i>t</i> ≥ 3/4	2 (5)	4

NOTES:

- (1) See QW-403 (.2, .3, .6, .9, .10), QW-404.32, and QW-407.4 for further limits on range of thickness qualified. Also see QW-202 (.2, .3, .4) for allowable exceptions
- (2) For the welding process of QW-403.7 only; otherwise per Note (1) or 2*T*, or 2*t*, whichever is applicable.
- (3) Four side-bend tests may be substituted for the required face- and root-bend tests, when thickness *T* is 3/8 in. and over.
- (4) For combination of welding procedures, see QW-200.4.
- (5) See QW-151 (.1, .2, .3) for details on multiple specimens when coupon thicknesses are over 1 in.

Source: ASME Boiler & Pressure Vessel, Section IX

Figura 4.13. Especímenes de ensayo requeridos y espesores calificados para la calificación de Procedimiento ASME.

Condiciones de servicio especial pueden requerir ensayos adicionales para evaluar otras propiedades de la soldadura. Estos ensayos pueden ser impacto, dureza, composición química y condiciones especiales (ej.: resistencia a la corrosión y a la abrasión). El código específico dicta los criterios de aceptación apropiados de los ensayos.

Quizás la labor más importante que un inspector de soldadura puede realizar durante el proceso de calificación, es monitorear cuidadosamente la soldadura para que el procedimiento sea seguido. Si se encuentran problemas durante la soldadura que son el resultado de insuficiencias del procedimiento mismo, estos son posibles de identificar y corregir en una etapa anterior a la soldadura de producción.

Outside Diameter of Pipe		Number of Specimens					Total
Inches	Millimeters	Tensile Strength	Nick-Break	Root Bend	Face Bend	Side Bend	
Wall Thickness ≤ 1/2 Inch (12.7 Millimeters)							
< 2 3/8	< 60.3	0*	2	2	0	0	4*
2 3/8 – 4 1/2	60.3 – 114.3	0*	2	2	0	0	4
> 4 1/2 – 12 3/4	> 114.3 – 323.8	2	2	2	2	0	8
> 12 3/4	> 323.8	4	4	4	4	0	16
Wall Thickness > 1/2 Inch (12.7 Millimeters)							
≤ 4 1/2	≤ 114.3	0*	2	2	0	2	4
> 4 1/2 – 12 3/4	> 114.3 – 323.8	2	2	2	0	2	4
> 12 3/4	> 323.8	4	4	4	0	8	16

*One nick-break and one root-bend specimen shall be taken from each of two test welds, or for pipe less than or equal to 1-5/16 inches (33.4 millimeters) in diameter, one full-section tensile-strength specimen shall be taken.

*For materials with specified minimum yield strengths more than 42 kips per square inch (ksi), a minimum of one tensile test shall be required.

Source: API 1104

Figura 4.14. Tipo y número de especímenes de ensayo requeridos para la calificación de Procedimientos API, de uniones a tope.

El método final de calificación de un procedimiento de soldadura es a través de ensayos especiales de prototipos soldados. Esta técnica es usada a veces en configuraciones soldadas complejas donde hay una preocupación acerca de cómo la forma o la condición del componente puede ser afectado por la operación de soldadura. Cosas como, altos niveles de restricción e inaccesibilidad a la unión soldada son posibles causas de problemas de soldadura, pero estos son más difíciles de evaluar usando un ensayo de calificación standard. Solo a través soldaduras reales en los prototipos es que estas cuestiones pueden ser resueltas.

Estos ensayos de prototipos pueden ser el ensayo exclusivo, o podrían ser usados en conjunto con otras técnicas de calificación más comunes. Estos ensayos son de gran ayuda para el fabricante por que de esta manera tiene una percepción de cómo puede ser hecha y que método puede ser aplicado satisfactoriamente.

Para resumir esta discusión de la calificación de procedimientos de soldadura veamos una secuencia general para la calificación de estos a través de ensayos. Ver figura 4.15

El inspector de soldadura puede estar involucrado en los nueve pasos o en menos, dependiendo de la estructura particular de su compañía.

Una de las partes más importantes en los procesos de calificación de procedimientos es el uso de estos procedimientos durante la soldadura de producción. Muy a menudo las compañías realizan la calificación para satisfacer los requerimientos del cliente, y estas calificaciones permanecen archivadas o guardadas. Esto no ayuda al soldador en terreno que necesita conocer la información establecida en el procedimiento de soldadura.

Los procedimientos son instrucciones de soldadura, entonces los soldadores deben tener acceso a ellas durante la producción, por tanto deben estar cercanos a donde se realiza la operación de soldadura. Esto también ayuda al inspector de soldadura a la hora de chequear los requerimientos del procedimiento, comparándolos con los parámetros reales usados por el soldador en la producción. Otro propósito del monitoreo de la soldadura en proceso, es detener cualquier deficiencia en el procedimiento que pueda mostrarse solo durante la soldadura de producción, reportándola al supervisor o al ingeniero en soldadura para que sea tomada una acción correctiva.

Para cada uno de los códigos, formatos standards han sido desarrollados para ayudara resumir la información del procedimiento de soldadura y estas normalmente se usan por comodidad. Ejemplos de formatos aparecen en cada uno de los códigos.

PASOS EN LA CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO

- 1.- Seleccionar las variables de soldadura
- 2.- Chequear la conformidad de los materiales y el equipamiento
- 3.- Monitorear el ensamble de la junta soldada, así como la soldadura, registrar todas las variables y observaciones importantes
- 4.- Seleccionar, identificar y remover los especímenes de ensayo requeridos.
- 5.- Ensayar y evaluar los especímenes
- 6.- Revisar los resultados de los ensayos para ver su conformidad con los requerimientos del código aplicable
- 7.- Liberar el procedimiento aprobado para la producción
- 8.- Calificar los soldadores de acuerdo con esta especificación
- 9.- Monitorear el uso del procedimiento durante la producción para asegurar que este es adecuado para producir resultados satisfactorios.

Figura 4.15 Secuencia de pasos en la calificación de un procedimiento de soldaduras.

4.8.2 Calificación de soldador

Una vez que el procedimiento de soldadura ha sido calificado, este no puede ser utilizado mientras los soldadores no hayan sido calificados para realizar soldaduras de acuerdo con él.

Sí asumimos que se establece un procedimiento de soldadura apropiado y se aprueba a través de uno u otro método, es necesario realizar el ensayo de calificación de soldador para determinar si el soldador posee suficiente habilidad para producir soldaduras usando este procedimiento.

Aunque son diferentes en algunos aspectos, la calificación de soldador tiene ciertas similitudes cuando se compara con un procedimiento de calificación. Entre ellas esta la existencia de variables esenciales. En el caso de la calificación de soldador, se incluyen la posición de soldadura, la configuración de la unión, procesos, tipo y espesor de metal base y técnica de soldadura. Todas estas características conciernen a los aspectos de la operación de soldadura que están directamente afectados por las habilidades físicas del soldador.

Los códigos generalmente son específicos en la limitación de las variables esenciales. En la figura 4.16 se listan las limitaciones de posición de ciertos tipos de soldadura para calificación de soldadores de acuerdo a la AWS D1.1.

Se puede apreciar que el rango de calificación para las diferentes configuraciones de soldadura: plancha con ranuras, filetes en plancha y ranuras en cañerías. Se ve que la calificación en plancha sólo tiene limite de cobertura para las cañerías. Sí el soldador califica en cañería automáticamente queda calificado en plancha. Puede notarse además que una calificación en plancha con ranura en posiciones 3G y 4G

calificará al soldador para toda posición en plancha. La calificación en 6G ó 2G y 5G para posiciones de cañerías califican al soldador para todas las posiciones de cañería excepto en las conexiones T, K e Y. La posición de prueba 6GR, da una cobertura total a todas las posiciones y configuraciones en cañería.

Qualification Test	Production Pipe Welding Qualified				Production Box Tube Welding Qualified				
	Groove		Butt-Groove		Butt-Groove		T-, Y-, K-Groove		
	CJP	PJP	CJP	PJP	CJP	PJP	CJP	PJP	
Weld Type	Position ²	Fillet	T-, Y-, K-Groove	Fillet	T-, Y-, K-Groove	Fillet	T-, Y-, K-Groove	Fillet	
Pipe	Groove ³	1G	F, H	F	F, H	F, H	F	F, H	
		2G	F, H	F, H	F, H	F, H	F, H	F, H	
		3G	F, H, V	F, H, V	F, H, V	F, H, V	F, H, V	F, H, V	
		4G	F, H, OH	F, OH	F, OH	F, OH	F, OH	F, OH	
3G+4G	All	All	Note 4	Note 4, 6	Note 9	Note 6	Note 9		
Tub	Pipe Fillet	1F	F, H	F, H	F, H	F, H	F, H	F, H	
		2F	F, H	F, H, V	F, H, V	F, H, V	F, H, V	F, H, V	
		3F	F, H, V	F, H, OH	F, H, OH	F, H, OH	F, H, OH	F, H, OH	
		4F	F, H, OH	All	All	All	All	All	All
3F+4F	All	Note 9	Note 9	Note 9	Note 9	Note 9	Note 9		
Tub	Plug	Qualifies Plug and Slot Welding for Only the Positions Tested							
		1G Rotated	F, H	F, H	F, H	F, H	F, H	F, H	F, H
		2G	F, H	F, H	F, H	F, H	F, H	F, H	F, H
		5G	F, V, OH	F, V, OH	F, V, OH	F, V, OH	F, V, OH	F, V, OH	F, V, OH
		6G	All	All	All	All	All	All	All
		2G+5G	All	All	Note 7	Note 6, 7	Note 9	Note 6	Note 9
		Note 10	All	All	All	All	All	All	All
		6GR (Fig. 4.27)	All	All	Notes 5, 7	Notes 6, 7	Note 9	All	Note 9
		6GR (Fig. 4.27&4.28)	All	All	Notes 5, 7	Notes 6, 7	Note 9	All	Note 9
		1F Rotated	F, H	F, H	F, H	F, H	F, H	F, H	F, H
2F Rotated	F, H	F, H	F, H	F, H	F, H	F, H	F, H		
4F	F, H, OH	F, H, OH	F, H, OH	F, H, OH	F, H, OH	F, H, OH	F, H, OH		
5F	All	All	All	All	All	All	All		

CJP — Complete Joint Penetration; PJP — Partial Joint Penetration

Notes: (Notes shown at the bottom of a column box apply to all entries.)
 1. Not applicable for welding operator qualification (see Table 4.10).
 2. See Figures 4.3, 4.4, 4.5 and 4.6.
 3. Groove weld qualification also qualifies plug and slot welds for the test positions indicated.
 4. Only qualified for pipe over 24 in. (610 mm) in diameter with backing, backgouging or both.
 5. Not qualified for joints welded from one side without backing, or welded from two sides without backgouging.
 6. Not qualified for welds having groove angles less than 30° (see 4.12.4.2).
 7. Qualification using box tubing (Figure 4.27) also qualifies welding pipe over 24 in. (610 mm) in diameter.
 8. Pipe or box tubing is required for the 6GR qualification (Figure 4.27). If box tubing is used per Figure 4.27, the macroetch test may be performed on the corners of the test specimen (similar to Figure 4.28).
 9. See 4.25 and 4.28 for dihedral angle restrictions for pipe joints and tubular T, Y, K connections.
 10. Qualification for welding production joints without backing or backgouging requires using the Figure 4.24 joint detail. For welding production joints with backing or backgouging, either the Figure 4.24 or Figure 4.25 joint detail may be used for qualification.

Source: AWS D1.1-98

Figura 4.16. Limitaciones de Posición para la calificación de soldador AWS.

La designación numérica de las posiciones de pruebas de soldaduras son simplemente abreviaturas y deben ser recordadas por el inspector de soldadura, de la figura 4.17 a la 4.20 las diferentes posiciones de soldadura para planchas con ranuras, filetes en planchas, cañerías con ranuras y filetes en cañerías, respectivamente.

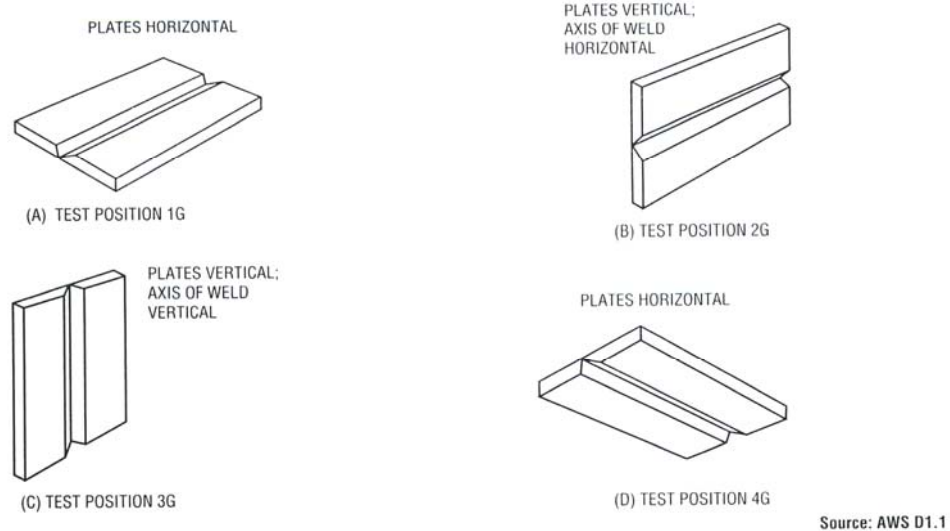


Figura 4.17. Posiciones de las planchas de prueba para soldadura de ranura.

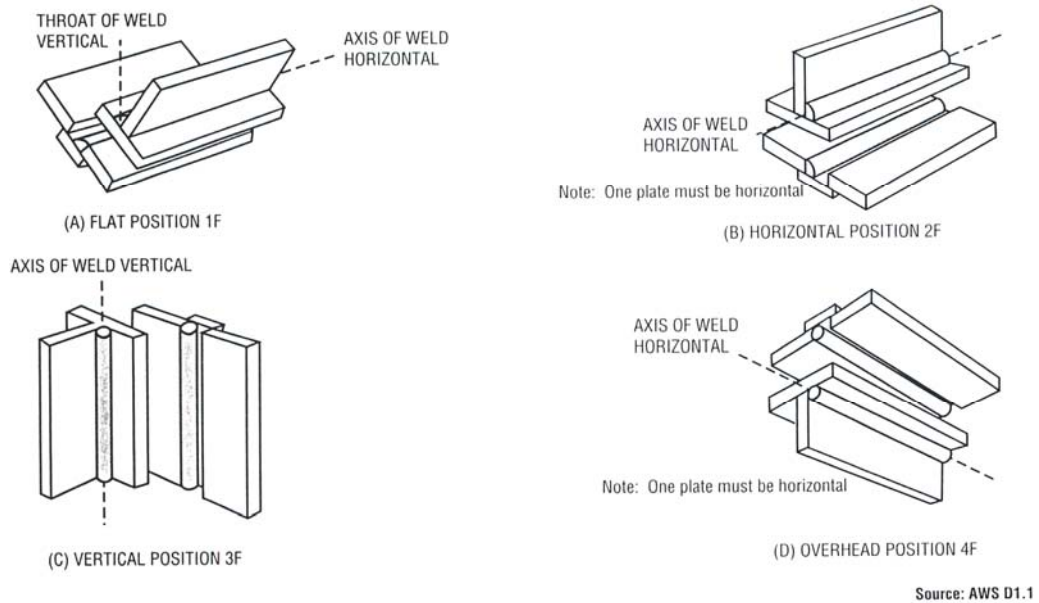
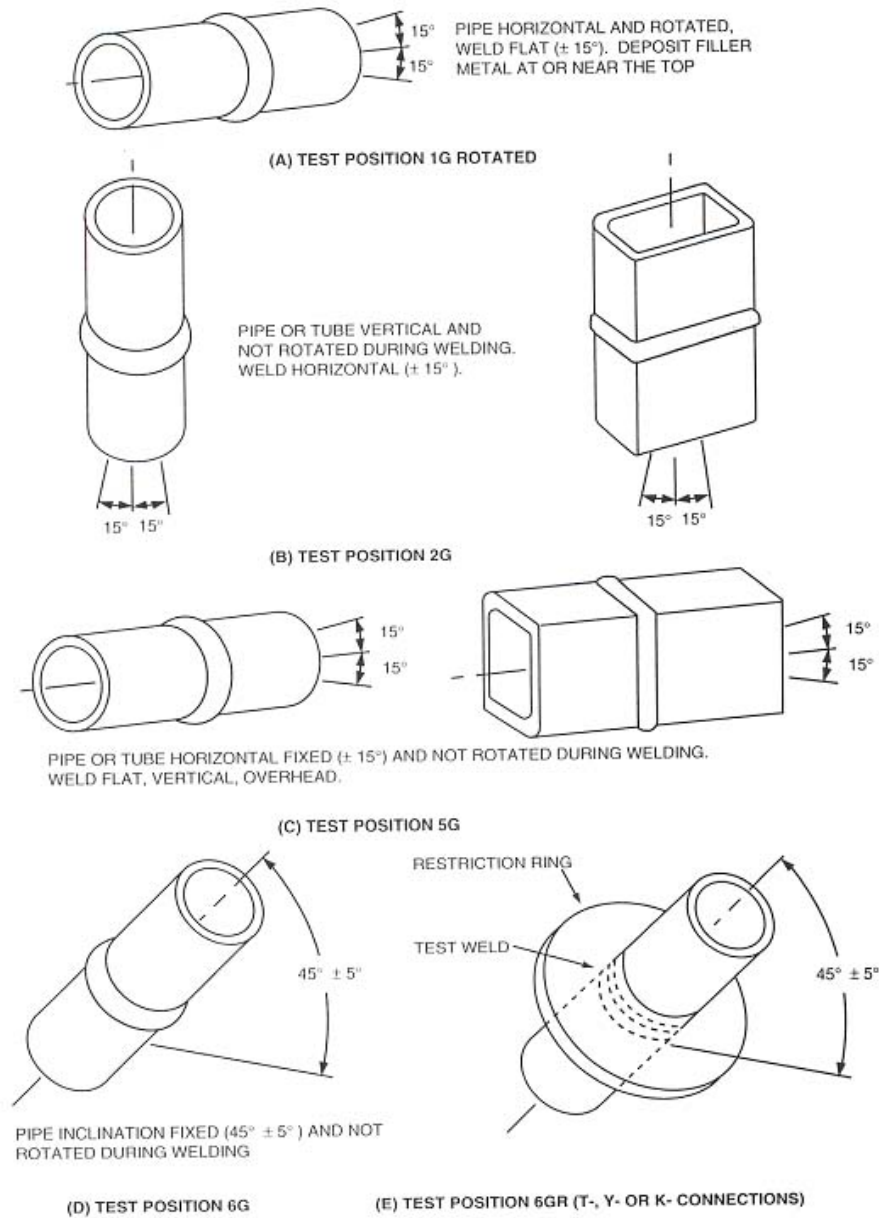


Figura 4.18. Posiciones de las planchas de prueba para soldadura de filete.



Source: AWS D1.1

Figura 4.19. Posiciones de las cañerías de prueba para soldadura de ranura.

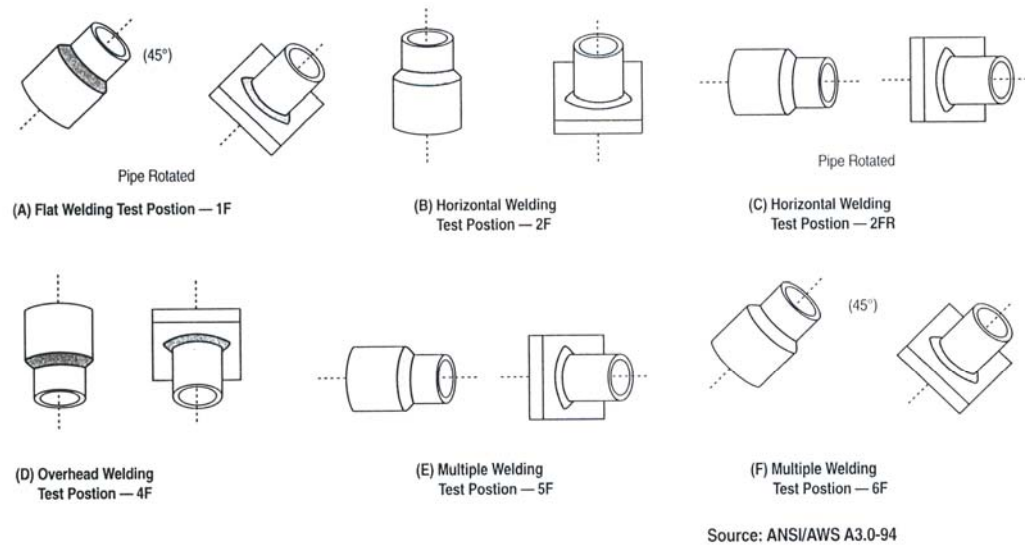


Figura 4.20. Posiciones de las cañerías de prueba para soldadura de filete.

Otra variable esencial importante es el espesor de la plancha o cañería de prueba, el cuál determina que cobertura se obtiene al término de un ensayo de calificación específico. La figura 4.21 lista los rangos de espesores calificados para diferentes planchas o cañerías de ensayo, de acuerdo a la AWS D1.1. Esta tabla nos indica que una plancha de ensayo de 3/8" de espesor califica a un soldador para materiales en la producción soldada hasta 3/4" de espesor. Adicionalmente una calificación sobre 1" de espesor calificará al soldador para un espesor de 1/8" y mayores, esto se define como una calificación de espesor ilimitado.

(1) Test on Plate								
Type of Weld	Thickness of Test Plate (T) as Welded, in.	Visual Inspection	Number of Specimens					
			Bend Tests*			T-Joint Break	Macro-etch Test	Plate Thickness Qualified, in.
			Face	Root	Side			
Groove	3/8	Yes	1	1	—	—	—	1/8 to 3/4 max ³
Groove	3/8 < T < 1	Yes	—	—	2	—	—	1/8 to 2T max ³
Groove	1 or over	Yes	—	—	2	—	—	1/8 to Unlimited ³
Filet Option No. 1 ¹	1/2	Yes	—	—	—	1	1	1/8 to Unlimited
Filet Option No. 2 ²	3/8	Yes	—	2	—	—	—	1/8 to Unlimited
Plug	3/8	Yes	—	—	—	—	2	1/8 to Unlimited

Notes:

1. See Figure 4.36 as applicable.

2. See Figure 4.32 as applicable.

3. Also qualifies for welding fillet welds on material of unlimited thickness.

*Radiographic examination of the welder or welding operator test plate may be made in lieu of the bend test. (See 4.19.1.1)

Source: AWS D1.1-98

Figura 4.21. Tipo y número de especímenes y rango de espesores calificados para la calificación de

Soldador AWS en plancha.

Otra variable esencial es la configuración misma de la junta. Para determinar este efecto, planchas y cañerías standards son usadas para aproximarse a la configuración necesaria. Uno de los aspectos más importantes de la configuración de la junta es la presencia o ausencia de respaldo (**backing**). La ductilidad del metal puede variar dependiendo de la dirección del laminado, sí los ensayos de doblado son realizados en especímenes que tienen una dirección transversal a la dirección del laminado de la plancha, el metal base puede fallar. Entonces, es importante asegurar que las planchas están orientadas apropiadamente antes del ensayo de calificación. La figura 4.22 muestra las configuraciones requeridas de juntas a tope tubulares para la soldadura con o sin respaldo.

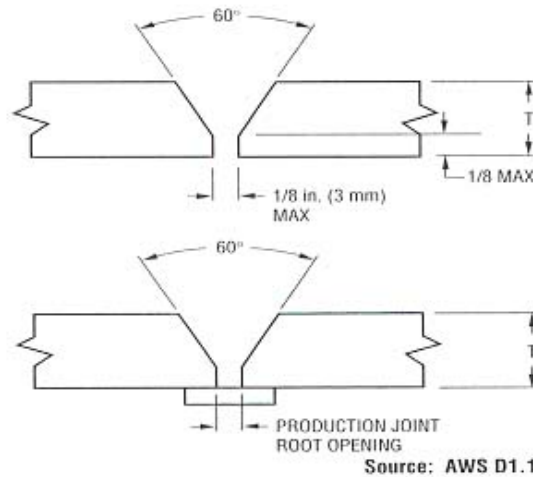


Figura 4.22. Configuraciones de juntas a tope tubulares AWS para la calificación de soldador (con y sin Respaldo).

Las planchas de ensayo para calificaciones de soldadura en filete están mostradas en las figuras 4.23 y 4.24. La AWS D1.1 ofrece dos métodos para este tipo de calificación: el de ruptura (**fillet weld-break**) y macrografías (**macroetch test**), figura 4.23 y el ensayo de doblado de raíz de la soldadura de filete (**fillet weld root-bend test**), figura 4.24.

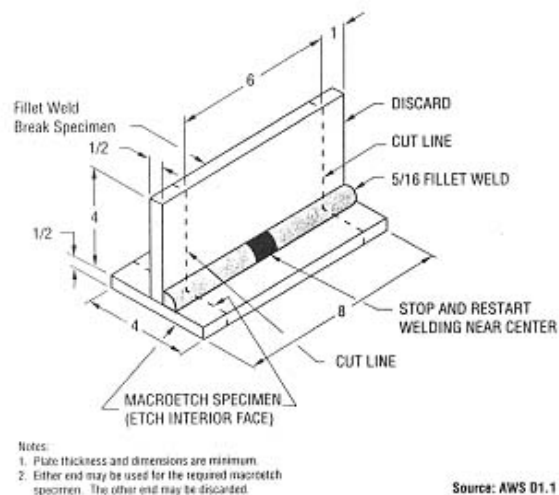


Figura 4.23. Plancha de ensayo para calificación de soldador AWS para soldaduras de filetes (Opción 1).

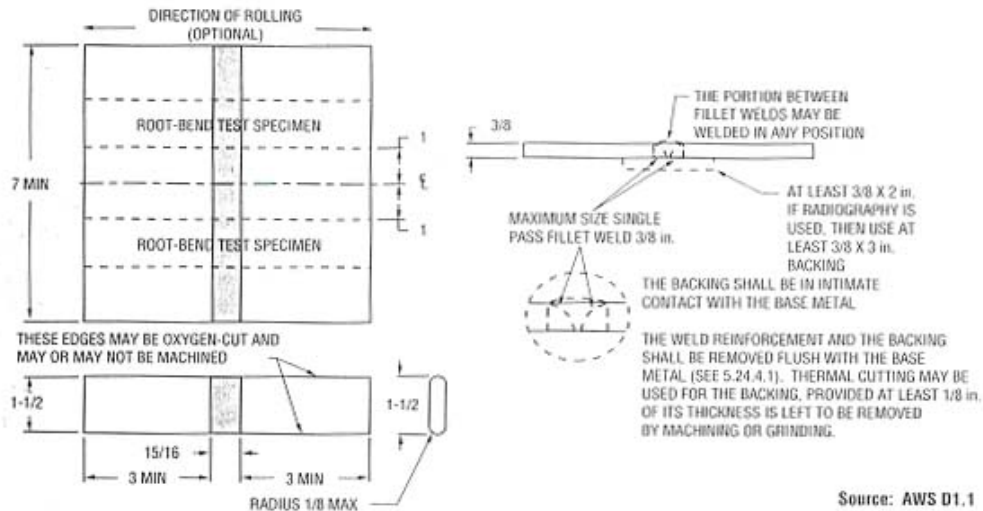


Figura 4.24. Plancha de ensayo para calificación de soldador AWS para soldaduras de filetes (Opción 2).

La última configuración de unión usada en AWS D1.1, se refiere a la 6GR, o juntas de ensayos para conexiones T, K e Y en tubos rectangulares, cuadrados y redondos, esta se muestra en la figura 4.25. La iniciales T, K e Y son simplemente una referencia aproximada de las juntas. Para simular en la configuración de la junta de ensayo los problemas de acceso asociados a estas configuraciones en las estructuras tubulares, se coloca un anillo de restricción no más allá de 1/2" del borde de la ranura.

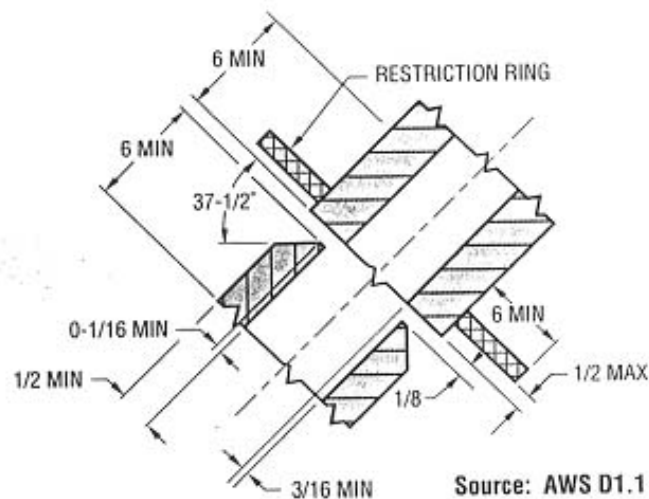


Figura 4.25. Junta de calificación de soldador AWS D1.1 para conexiones T, K e Y en cañerías o perfiles tubulares.

En algunos procesos, se puede requerir una recalificación si hay un cambio en el tipo de electrodo especificado. Por ejemplo en la figura 4.26 muestra los diferentes tipos de electrodos para SMAW los cuales son agrupados de acuerdo al nivel de habilidad requerido para su operación.

Designación Grupal (<i>group Designation</i>)	Clasificación del electrodo AWS (<i>Electrode Classification</i>)
F4	EXX15, EXX16, EXX18, EXX15-X, EXX16-X, EXX18-X
F3	EXX10, EXX11, EXX10-x, EXX11-x
F2	EXX12, EXX13, EXX14, Exx13-x
F1	EXX20, EXX24, EXX27, EXX28, Exx20-x, Exx27-x

Figura 4.26. Grupos de clasificaciones de electrodos para SMAW.

Los electrodos en el grupo F4 se consideran el tipo más difícil para el uso, similarmente el grupo F1 incluye los tipos de electrodos que se consideran que requieren la menor habilidad manual. Normalmente, la calificación con un electrodo de un número de grupo más alto automáticamente califica al soldador para la soldadura con cualquier electrodo de número de grupo similar o menor. Entonces, un ensayo de calificación realizado con un electrodo E7018, que es del grupo F4, da al soldador la cobertura para soldar con todos los tipos de electrodos para acero al carbono para el proceso SMAW.

La técnica de soldadura específica usada es también considerada una variable esencial para la calificación de soldador, cambios en la dirección de soldadura para la posición vertical (ej.: ascendente o descendente) requiere un ensayo de calificación adicional. Otras variables esenciales típicas pueden incluir cambios en el proceso, posición, tipo de metal base, espesor del metal base y diámetro del tubo.

Cuando la técnica, la posición y el cupón de ensayo apropiado han sido seleccionados para asegurar la cobertura adecuada, el inspector de soldadura puede ser llamado a verificar el cumplimiento del procedimiento de soldadura, así como la habilidad del soldador. Prestar especial atención a la técnica y habilidades del soldador pueden revelar hábitos que puedan producir soldaduras insatisfactorias.

El cupón de ensayo terminado debe ser marcado, identificando el nombre del soldador, posición de ensayo y la parte superior del cupón en el caso de una cañería soldada en posición 5G, 6G o 6GR. El código describirá si es necesario o no, examen no destructivo, así como el tipo y número de especímenes de ensayo requeridos. En general se requieren menos especímenes de ensayo para la calificación de soldador que de procedimiento. De hecho, algunos códigos permiten el uso de ensayos no destructivos como es la radiografía, en sustitución de los ensayos mecánicos standard para la calificación de soldador. La figura 4.21 identifica el tipo y número de especímenes requeridos para la calificación de soldador de acuerdo con AWS D1.1, se puede apreciar que solo dos ensayos de doblado son requeridos para cada calificación de soldador en plancha. Se usan doblados de raíz y cara para planchas de espesores delgados, mientras que sobre 3/8" de espesor se requiere el uso de doblados laterales, esto se debe a la dificultad asociada con el doblado de espesores extremadamente gruesos.

Virtualmente todos los especímenes de ensayo de calificación de soldador, son categorizados como ensayos de sanidad (**soundness**), incluyéndose los ensayos de doblado, quiebre y ruptura. Sus configuraciones y métodos de ensayos son idénticos a los usados en la calificación de procedimiento. Para la calificación de soldador en plancha y cañería los especímenes son removidos de acuerdo a la sección del código aplicable. Para cupones en cañería en las posiciones 5G y 6G, los especímenes son removidos con relación a la parte superior de la cañería durante la soldadura.

Una vez que los especímenes son adecuadamente identificados, removidos y ensayados entonces son evaluados de acuerdo con los requerimientos del código apropiado. Si todos los resultados de los ensayos son satisfactorios, el soldador es declarado calificado para realizar soldaduras dentro de los límites de esta calificación. Los resultados de los ensayos, así como la descripción del procedimiento usado, son plasmados en el formulario de reporte para certificar que el soldador ha cumplido con los requerimientos de calificación. Formularios de calificación de soldador usados por AWS y ASME se muestran en las figuras 4.27 y 4.28.

Welder's name _____ Clock number _____ Stamp no. _____		
Welding process(es) used _____ Type _____		
Identification of WPS followed by welder during welding of test coupon _____		
Base material(s) welded _____ Thickness _____		
Manual or Semiautomatic Variables for Each Process (QW-350)		
Backing (metal, weld metal, welded from both sides, flux etc.) (QW-402)	Actual Values	Range Qualified
ASME P-No. _____ to ASME p-No. (QW-403)	_____	_____
(<input type="checkbox"/>) Plate (<input type="checkbox"/>) Pipe (enter diameter, if pipe)	_____	_____
Filler metal specification (SFA): _____ Classification (QW-404)	_____	_____
Filler Metal F-No. _____	_____	_____
Consumable insert for GTAW or PAW _____	_____	_____
Weld deposit thickness for each welding process _____	_____	_____
Welding position (1G, 5G, etc.) (QW-405)	_____	_____
Progression (uphill/downhill) _____	_____	_____
Backing gas for GTAW, PAW, GMAW; fuel gas for OFW (QW-408)	_____	_____
GMAW transfer mode (QW-409)	_____	_____
GTAW welding current type/polarity _____	_____	_____
Machine Welding Variables for the Process Used (QW-360)		
Direct/remote visual control _____	Actual Values	Range Qualified
Automatic voltage control (GTAW) _____	_____	_____
Automatic joint tracking _____	_____	_____
Welding position (1G, 5G, etc.) _____	_____	_____
Consumable insert _____	_____	_____
Backing (metal, weld metal, welded from both sides, flux, etc.) _____	_____	_____
Guided Bend Test Results		
Guided Bend Test Type (<input type="checkbox"/>) QW-462.2 (Side) Results (<input type="checkbox"/>) QW-462.3(a) (Trans. R & F) Type (<input type="checkbox"/>) QW-462.3(b) (Long. R & F) Results		
Visual examination results (QW-302.4) _____		
Radiographic test results (QW-304 and Qw-305) _____		
(For alternative qualification of groove welds by radiography)		
Fillet Weld - Fracture test _____	Length and percent of defects _____	in.
Macro test fusion _____	Fillet leg size _____	in. x _____ in. Concavity/convexity _____ in.
Welding test conducted by _____		
Mechanical tests conducted by _____		
We certify that the statements in this record are correct and that the test coupons were prepared, welded, and tested in accordance with the requirements of Section IX of the ASME Code.		
Date _____	Organization _____	By _____
<small>This form (E00006) may be obtained from the Order Dept., ASME, 22 Law Drive, Box 2300, Fairfield NJ 07007-2300 Source ASME Boiler & Pressure Vessel Code, Section IX</small>		

Figura 4.27. Registro de ensayo de calificación de Operador de Soldadura y Soldador AWS.

**QW-484 SUGGESTED FORMAT FOR MANUFACTURER'S RECORD OF WELDER OR
WELDING OPERATOR QUALIFICATION TESTS (WPQ)**
See QW-301, Section IX, ASME Boiler and Pressure Vessel Code

Welder's name _____ Clock number _____ Stamp no. _____		
Welding process(es) used _____ Type _____		
Identification of WPS followed by welder during welding of test coupon _____		
Base material(s) welded _____ Thickness _____		
Manual or Semiautomatic Variables for Each Process (QW-350)		
Backing (metal, weld metal, welded from both sides, flux etc.) (QW-402)	Actual Values	Range Qualified
ASME P-No. _____ to ASME p-No. (QW-403)	_____	_____
(<input type="checkbox"/>) Plate (<input type="checkbox"/>) Pipe (enter diameter, if pipe)	_____	_____
Filler metal specification (SFA): _____ Classification (QW-404)	_____	_____
Filler Metal F-No. _____	_____	_____
Consumable insert for GTAW or PAW _____	_____	_____
Weld deposit thickness for each welding process _____	_____	_____
Welding position (1G, 5G, etc.) (QW-405)	_____	_____
Progression (uphill/downhill) _____	_____	_____
Backing gas for GTAW, PAW, GMAW; fuel gas for OFW (QW-408)	_____	_____
GMAW transfer mode (QW-409)	_____	_____
GTAW welding current type/polarity _____	_____	_____
Machine Welding Variables for the Process Used (QW-360)		
Direct/remote visual control _____	Actual Values	Range Qualified
Automatic voltage control (GTAW) _____	_____	_____
Automatic joint tracking _____	_____	_____
Welding position (1G, 5G, etc.) _____	_____	_____
Consumable insert _____	_____	_____
Backing (metal, weld metal, welded from both sides, flux, etc.) _____	_____	_____
Guided Bend Test Results		
Guided Bend Test Type (<input type="checkbox"/>) QW-462.2 (Side) Results (<input type="checkbox"/>) QW-462.3(a) (Trans. R & F) Type (<input type="checkbox"/>) QW-462.3(b) (Long. R & F) Results		
Visual examination results (QW-302.4) _____		
Radiographic test results (QW-304 and Qw-305) _____		
(For alternative qualification of groove welds by radiography)		
Fillet Weld - Fracture test _____	Length and percent of defects _____	in.
Macro test fusion _____	Fillet leg size _____	in. x _____ in. Concavity/convexity _____ in.
Welding test conducted by _____		
Mechanical tests conducted by _____		
We certify that the statements in this record are correct and that the test coupons were prepared, welded, and tested in accordance with the requirements of Section IX of the ASME Code.		
	Organization _____	
Date _____	By _____	
This form (E00008) may be obtained from the Order Dept., ASME, 22 Law Drive, Box 2300, Fairfield NJ 07007-2300 Source ASME Boiler & Pressure Vessel Code, Section IX		

Figura 4.28. Registro de ensayo de calificación de Operador de Soldadura y Soldador ASME.

Es importante diferenciar entre los términos calificado y certificado, si decimos que un soldador es calificado, significa que ha demostrado suficiente habilidad para realizar determinadas soldaduras. Certificación aplica a los documentos que soportan esta calificación. Un soldador que paso correctamente un ensayo de calificación puede ser señalado como un soldador calificado en vez de soldador certificado.

Una vez calificado, el soldador esta autorizado para soldar en producción mientras que la soldadura no involucre posiciones, espesores, electrodos, etc., que estén fuera de los límites de la calificación. La mayoría de los códigos señalan la calificación con una duración indefinida siempre que el soldador este usando satisfactoriamente ese proceso en la producción. Si trabajos insatisfactorios son notados por el inspector de soldadura u otro supervisor, el soldador puede ser enviado a realizar otro ensayo de calificación y/o entrenamiento adicional. La certificación (documento de la calificación) debe acabar cuando el soldador deja un empleador y es contratado por otro. Cada fabricante o contratista es responsable por la calificación de su propio procedimiento y soldadores, los códigos generalmente requieren que el soldador sea calificado por cada empleador.

Para resumir lo anteriormente señalado podemos indicar la siguiente secuencia general para la calificación de un soldador:

1. Identificar las variables esenciales,
2. Chequear la correspondencia de los materiales y equipamiento,
3. Chequear la configuración y posición del cupón de ensayo,
4. Monitorear la soldadura para asegurar que esta cumple con el procedimiento de soldadura aplicable,
5. Seleccionar, identificar y remover las muestras de ensayos requeridos,
6. Ensayo y evaluación del especimen,
7. Completar la documentación necesaria,
8. Monitorear la soldadura de producción.

Una vez que la producción de soldadura ha comenzado, el inspector de soldadura debe monitorear la soldadura para asegurar que la soldadura ha sido realizada en concordancia con los requerimientos del procedimiento y que las soldaduras terminadas son aceptables. Cualquier deficiencia debe ser anotada y corregida. Si problemas repetitivos son encontrados, medidas correctivas deben ser incluidas en el procedimiento y en el personal.

Mientras que la existencia de personal y procedimientos no es una garantía de que toda la soldadura de producción será satisfactoria, al menos da seguridad de que el personal y el procedimiento son capaces de producir soldaduras de adecuada calidad. Es importante recordar que las soldaduras de calificación son producidas en condiciones más deseables que las presentes en producción. Consecuentemente variaciones en el ensamble, configuración de la unión, accesibilidad, etc., pueden introducir condiciones las cuales pueden incrementar la posibilidad de error. El inspector de soldadura debe estar atento para localizar e identificar estas inconsistencias antes que ellas resulten en soldaduras no conformes.

5

MÉTODOS DE INSPECCION NO DESTRUCTIVA

5.1 Introducción

Los ensayos no destructivos (END) en la inspección de materiales, es un método que permite la evaluación de soldaduras y áreas adyacentes sin destruirlas.

Para propósitos de este seminario, los métodos básicos de END que serán revisados son los siguientes:

- Visual
- Penetrante
- Partículas magnéticas
- Radiografía
- Ultrasonido

5.2. Inspección Visual

Muchos tipos de soldaduras son verificados principalmente por inspección visual. La inspección visual posee el primer orden de importancia. De los métodos más extensamente usados en la inspección no destructiva, la inspección visual es la de más fácil aplicación, rápida, y, a menudo, no requiere de otros equipos especiales más que una vista y algún equipo relativamente simple y barato.

A pesar de las muchas ventajas de la inspección visual, la mayor desventaja es la necesidad de un inspector que posea una considerable experiencia y conocimientos en muchas de las diferentes áreas que implica la inspección visual en soldaduras. El inspector debe estar familiarizado con los diseños, códigos, especificaciones, procedimientos de soldadura y requerimientos de calificación, estándares de trabajadores calificados, y todos los aspectos de una buena práctica. Algunos códigos requieren que el inspector de soldadura esté calificado y, a veces, sea certificado.

Ciertas herramientas son, en algunas ocasiones, necesarias para distintos aspectos de la inspección visual de la soldadura. Varias escalas de medida y tamaños de filete son usadas para chequear las dimensiones del cordón de soldadura. Aparatos de medida son usados para chequear la abertura de la raíz, evidenciar las dimensiones de los materiales, materiales de apoyo, y alineamiento de la pieza de trabajo. Indicadores de temperatura verifican la correcta temperatura de precalentamiento también como, la temperatura de interpase. Boroscopio, linterna y espejos, son usados en áreas de accesibilidad limitada. El desarrollo del sistema de inspección flexible de fibra óptica capacita al inspector para inspeccionar áreas previamente inaccesibles con otros equipos de inspección.

5.2.1. Inspección visual previa a la soldadura.

La examinación previa de los materiales que serán usados en la fabricación puede eliminar condiciones que tienden a causar los defectos en la soldadura. Por ejemplo, la capa de óxido y grietas pueden ser detectadas a tiempo, y la laminación de planchas puede ser observada sobre un corte del borde. Otras áreas que requieren una inspección previa a la soldadura son:

- (1) Preparación adecuada del borde, dimensiones y terminaciones.
- (2) Corroboración de las dimensiones de respaldos y consumibles insertos.
- (3) Alineamiento y ajuste de la pieza de trabajo.
- (4) Verificación de los materiales correctos por chequeo de registros.
- (5) Verificación de la limpieza requerida.
- (6) Verificación del procedimiento de soldadura y ejecución de la calificación.

5.2.2. Inspección visual durante la soldadura.

La inspección visual continua durante los procesos de fabricación. Los distintos ítems que pueden ser chequeados son los siguientes :

- (1) Procesos y condiciones de soldadura
- (2) Variables de soldadura
- (3) Metal de aporte
- (4) Fundente y gases protectores
- (5) Pre calentamiento y temperatura de interpase
- (6) Control de la distorsión
- (7) Cincelado o esmerilado de interpase
- (8) Intervalos de inspección (cada vez o secuencia)

5.2.3. Inspección visual después de la soldadura.

La inspección visual post soldadura es una práctica beneficiosa y probada, en que se incluye la verificación de algunos ítems como :

- (1) Exactitud dimensional
- (2) Terminación de la soldadura.
- (3) Tamaño del cateto y garganta del metal depositado
- (4) Contorno, reforzamiento y terminación superficial de la soldadura
- (5) Grado de socavación y traslape
- (6) Salpicadura, cráteres, impresión de marca, ralladuras y golpe del arco.
- (7) Deterioro por manipulación
- (8) Terminación del tratamiento térmico post soldadura

5.3. Inspección por Tintas Penetrantes

La inspección por tintas penetrantes es un método sensible de detección y localización de discontinuidades, que se encuentran abiertas a la superficie. El método emplea una tinta líquida penetrante que es aplicada a la superficie a ser inspeccionada y que entra en la discontinuidad. Después de un tiempo apropiado, el exceso de penetrante es removido desde la superficie y la parte es secada.

La penetración (dibujo de la abertura en la superficie), indica la presencia y ubicación de una discontinuidad.

Hay dos variaciones del método penetrante, ambos usando un principio similar. Una emplea una tinta visible y la otra usa una tinta visible fluorescente con luz ultravioleta. La penetración visible es usualmente roja para proveer un contraste con el fondo blanco del revelador. La luz blanca normal es usualmente suficiente para ver las discontinuidades.

El penetrante fluorescente provee una indicación verdosa amarilla en contraste con un fondo oscuro cuando se ve en un cuarto oscuro con una fuente de luz blanca (ultravioleta). El método de fluorescencia es inherentemente más sensible debido a que el factor del ojo humano puede más fácilmente discernir una indicación fluorescente.

Hay solventes removibles, lavables con agua y post emulsificables.

Los solventes removibles están diseñados para ser removidos con un solvente limpiador. Estos son muy portátiles y, a menudo, usados para inspección en terreno.

Los penetrantes lavables con agua son diseñados para ser removidos con agua. Este procedimiento es usualmente usado en una estación de inspección y es muy eficiente para pequeños objetos.

Los penetrantes post emulsificantes no son soluble en agua. Ellos están diseñados para ser removidos con separador emulsificador. Este método es empleado cuando se desea una detección de una discontinuidad mínima.

La inspección por tintas penetrantes es aplicable a materiales magnéticos y no magnéticos, pero es particularmente usada en estos últimos, debido a que la inspección de partículas magnéticas no puede ser usado.

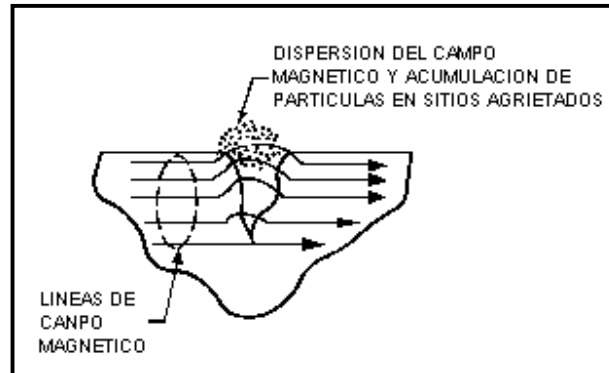
La inspección por tintas penetrantes es relativamente barata y razonablemente rápida. El proceso es rápido y la operación encuentra poca dificultad en el aprendizaje para una apropiada aplicación. Hay pocas, si algunas, indicaciones falsas o no relevantes en superficies razonablemente planas, así la interpretación es un poco más fácil que con inspección de partículas magnéticas, donde las anomalías pueden con más frecuencia dar indicaciones falsas.

Se podría hacer notar que algunas sustancias que componen los penetrantes pueden tener efectos dañinos en algunas soldaduras o metales base, sobre los que son usados y pueden afectar la vida en servicio de la soldadura o aplicación del producto. Los penetrantes son difíciles de remover completamente desde las discontinuidades y si ellos son corrosivos para el material, o de otro modo no compatibles con la aplicación del producto, ellos deberán ser evitados.

5.4. Inspección por Partículas Magnéticas

Se usa ubicándolo en la o en discontinuidades cercanas a la superficie en materiales ferromagnéticos. La inspección por partículas magnéticas está basada en el principio de las líneas magnéticas de fuerza que serán distorsionadas por alteraciones en la discontinuidad del material, entonces una discontinuidad crea una distorsión del campo magnético (ver fig. 5.1).

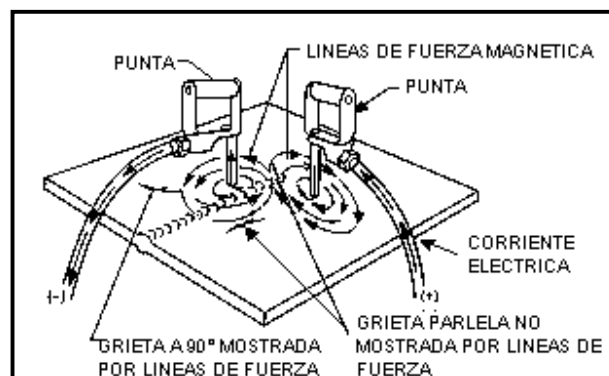
Fig. 5.1.- Dispersión del campo magnético.



Una soldadura puede ser magnetizada por el paso de una corriente eléctrica a través de la soldadura (magnetización directa) o por la ubicación en un campo magnético (magnetización indirecta).

El método de magnetización directa (figura 5.2) es normalmente usado con corriente continua (CC). Este tipo de corriente tiene fácil penetración, permitiéndole ser capaz de detectar delicadamente discontinuidades bajo la superficie. La magnetización directa puede también ser generada usando corriente alterna (CA), que es limitada para la detección de discontinuidades superficiales solamente.

Fig. 5.2.- Magnetización directa usando puntas de CC.



La detección de las delicadas discontinuidades subsuperficiales, depende de distintas variables : el método de magnetización, el tipo de corriente, las direcciones y densidad del flujo magnético, y las propiedades del material de la soldadura a ser inspeccionada. Cuando sólo se evalúan las discontinuidades de la superficie, se prefiere la corriente alterna (CA) para el método de magnetización directa (Fig. 5.3). La corriente alterna tiene una muy baja habilidad de penetración la que permite al campo magnético ser concentrado en la superficie de la soldadura. La alternación natural de la corriente provee de continuos reversos del campo magnético. Esto provee una mayor cantidad de partículas en movimiento y, además, adheridas a la superficie de la discontinuidad detectada.

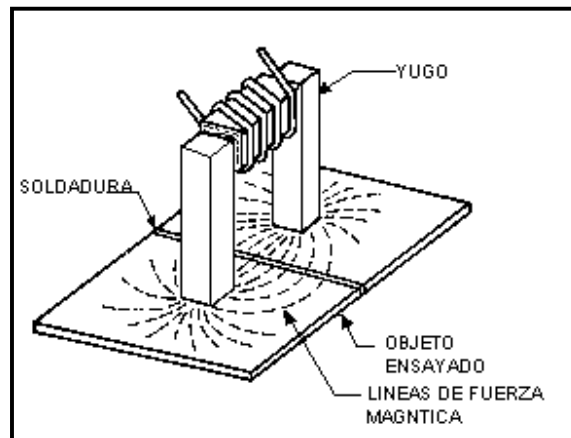


Fig. 5.3.- Magnetización indirecta empleando un yugo.

Cuando el campo magnético ha sido establecido en la soldadura, las partículas magnéticas son aplicadas a la superficie de inspección. Después de remover los excesos de partículas, las partículas residuales atrapadas en la dispersión del campo magnético de una discontinuidad revelan la ubicación, forma y tamaño de la discontinuidad. Estas indicaciones usualmente son distinguidas por su apariencia, forma y líneas bien definidas de medio contraste con el fondo de la soldadura.

El costo de la inspección por partículas magnéticas es considerablemente menos costosa que la radiografía o ultrasonido. El equipo de inspección con partículas magnéticas tiene un valor relativamente menor que el equipo usado en los otros métodos de inspección no destructiva. Generalmente se requiere un menor entrenamiento para que la persona sea competente en el manejo de la inspección por partículas magnéticas. Comparado con la inspección penetrante, el método tiene la ventaja de revelar discontinuidades que no están abiertas a la superficie y, por lo tanto, no son detectables por inspección de tintas penetrantes.

El método se limita sólo a materiales ferromagnéticos. Este método no puede ser usado en materiales no ferromagnéticos, tales como aluminio, magnesio y aceros austeníticos. Se pueden hallar dificultades cuando en una inspección de soldadura las características magnéticas del metal de soldadura difiere apreciablemente de las metal base: soldadura superficial de aceros austeníticos sobre soldadura de acero bajo carbono. La soldadura de junta entre metales de disímiles características magnéticas, puede crear indicaciones de partículas magnéticas aunque las soldaduras estén sanas. Muchas de las soldaduras son aceptables para la inspección por partículas magnéticas después de remover la escoria, salpicaduras y otras materias extrañas que pueden ser mecánicamente eliminadas.

5.5. Inspección Radiográfica

La radiografía es un método de inspección no destructiva que utiliza la radiación para penetrar la soldadura y revelar la información acerca de las condiciones internas. Cuando la soldadura se ha expuesto a la radiación, algo de la radiación es absorbida, otra es dispersada y alguna otra es transmitida sobre un dispositivo registrador (ver fig. 5.4). Muchas de las técnicas convencionales de inspección radiográfica empleadas hoy involucran una exposición que graba una imagen permanente sobre una película fotográfica, aunque también son usados otros métodos de registrar la imagen.

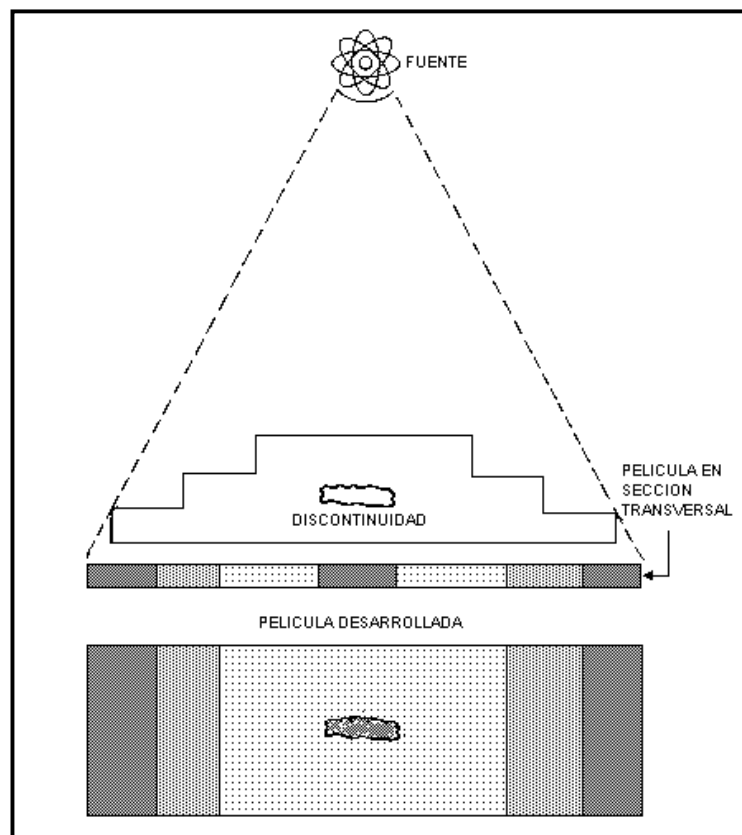
Los procesos básicos de inspección radiográfica involucran dos pasos generales; obtener la radiografía y su interpretación.

Los elementos esenciales necesarios para realizar estas operaciones consisten de :

- (1) Una fuente de radiación
- (2) La soldadura a ser radiografiada
- (3) Una película de rayos X circundante a la prueba de luz mantenida.
- (4) Una persona hábil y capaz de producir una película expuesta.
- (5) Un medio de procesar químicamente la película expuesta.
- (6) Una persona hábil y capaz de interpretar las imágenes radiográficas.

Dos tipos de fuentes de radiación se emplean comúnmente en la inspección de soldadura, estas son : máquinas de rayos x e isótopos radioactivos. La radiación x es producida por máquinas que varían desde portátiles, unidades de baja energía capaces de realizar radiografías en objetos delgados, hasta enormes aceleradores lineales capaces de radiografiar soldaduras gruesas (por ejemplo, aceros de 20 pulg (508 mm)). La emisión Gamma es emitida por radioisótopos, los dos más comunes son el cobalto 60 y el iridio 192. El cobalto 60 penetrará efectivamente aceros sobre aproximadamente las 5 pulg (127 mm) ; el iridio 192 está efectivamente limitado a aceros de espesores de alrededor de 3 pulg (76.2 mm).

Fig. 5.4.- Radiografía.



El objeto del ensayo de soldadura es esencial por razones obvias ; sin embargo, nosotros conoceremos cosas básicas acerca de la interacción de la radiación con la soldadura para completar los resultados de la imagen en la película. El proceso de inspección radiográfica depende de las diferentes cantidades de radiación absorbida por diferentes áreas de la soldadura. Dos factores determinan la razón del diferencial de absorción, la cantidad de masa se relaciona a la densidad o composición de la soldadura también como al espesor. El poder de penetración de la fuente de radiación depende de los instrumentos de la máquina de rayos x o, en particular, del isótopo seleccionado para la radiografía gamma.

La película, otro elemento obviamente esencial en el proceso radiográfico, es una base plástica transparente cubierta con finos cristales de bromuro de plata (emulsión). La emulsión es sensible a la radiación sólo cuando la película fotográfica es iluminada. En el desarrollo (procesos químicos) la película convierte la imagen producida sobre la emulsión de la película por exposición a la radiación en una imagen visible y permanente.

La interpretación de la radiografía involucra la evaluación de la imagen resultante de distintas regiones iluminadas y oscuras sobre la película. La región oscura representa la parte más fácilmente penetrada de la soldadura (por ejemplo, secciones delgadas y muchos tipos de discontinuidades). Las zonas claras representan las zonas de más difícil penetración (por ejemplo, espesores gruesos). Usualmente la interpretación es desarrollada en un lugar de fondo iluminado para ubicar la radiografía en frente de la fuente de luz relativamente brillante. La figura 5.5 muestra los distintos tipos de discontinuidades de la soldadura que pueden ser encontradas en la interpretación de la película durante la evaluación del depósito radiografiado.

Una limitación de la radiografía es que las discontinuidades puedan estar favorablemente orientadas con el haz de radiación como para ser detectadas con seguridad. Esto, usualmente, no es un problema para las discontinuidades tal como la porosidad o escoria, ya que ellas son, usualmente, redondas en sección transversal y alineadas con el haz en una dirección. Este no es el caso de las discontinuidades planas tal como grietas, fusión incompleta y laminaciones. Estas discontinuidades, o una porción substancial de ellas, pueden estar alineadas favorablemente con el haz de la radiación y ser detectadas con seguridad por el interprete. La figura 5.6 muestra esta limitación :

La radiografía tiene también otras limitaciones :

- (1) Presenta una radiación potencialmente peligrosa para la persona.
- (2) Los costos del equipamiento radiográfico, entrenamiento, programas de seguridad y licencias relacionadas son muy altos.
- (3) Hay usualmente un largo tiempo entre el proceso de exposición y la obtención de los resultados.
- (4) La disposición del equipo requiere accesibilidad a ambas caras de la soldadura.

Comparado a otros métodos de inspección no destructiva, la radiografía tiene las siguientes ventajas :

- (1) Generalmente, no está restringido por el tipo de material o estructura de grano.
- (2) Posee capacidad de inspección superficial y subsuperficial.
- (3) Las imágenes radiográficas ayudan en la caracterización de las discontinuidades (identificación de tipo).
- (4) Provee de un registro permanente para futuras revisiones.



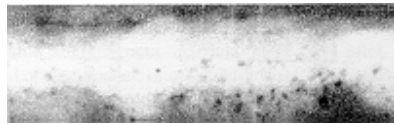
a. Inclusiones de escoria: usualmente es indicada por un sombra alargada de forma irregular, hallándose solamente, en una distribución lineal o dispersiones al azar.

b. Socavación: aparece como una sombra lineal oscura de contorno ondulado adyacente al borde de

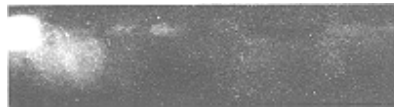


la soldadura.

c. Porosidad: se muestran sombras redondeadas de distintos tamaños y densidad.



d. Penetración incompleta: usualmente se indica como una línea recta y oscura, continua o



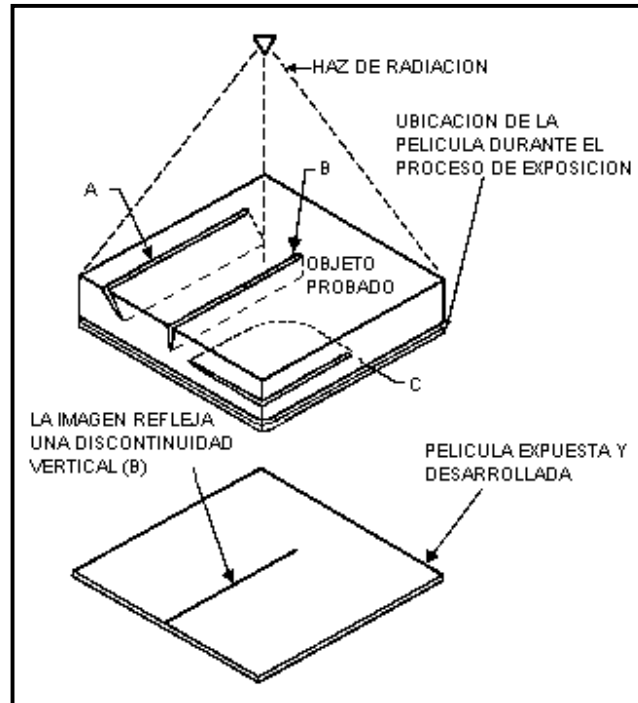
intermitente, cercana al centro de la soldadura.

e. Grietas: aparecen como líneas finas y oscuras, que pueden ser rectas o irregulares.



Fig. 5.5.- Radiografías típicas de discontinuidades en soldaduras.

Fig. 5.6.- Detección por radiografía de defectos planares en distintas orientaciones.

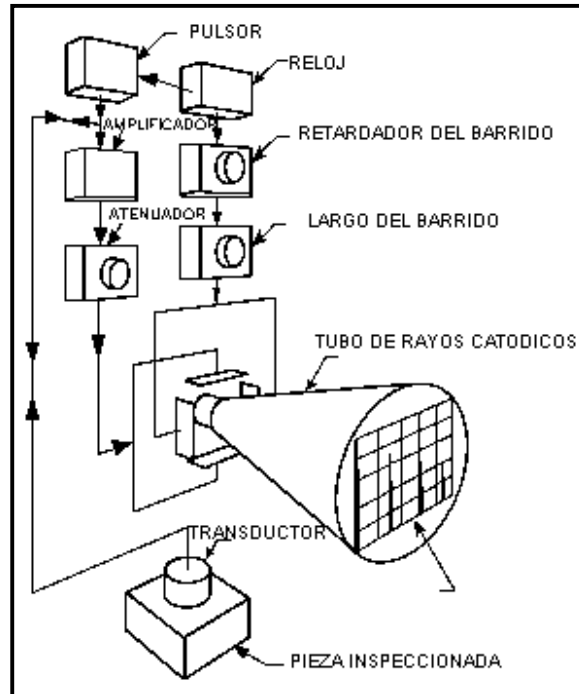


5.6. Inspección por Ultrasonido

La inspección ultrasónica es uno de los métodos de inspección no destructiva más ampliamente usados. Su principal aplicación es la detección y caracterización de discontinuidades internas. También es usada para detectar discontinuidades superficiales y para medir el espesor. El método por pulso de eco con presentación de datos de barrido-A es comúnmente usado para la inspección de soldaduras. Este sistema usa una pantalla de tubo de rayos catódicos para exponer la información de la prueba. Los componentes básicos del método de pulso de eco se muestran en el diagrama de la figura 5.7.

Las ondas de sonido de alta frecuencia se introducen en el material que está siendo inspeccionado para detectar discontinuidades superficiales y subsuperficiales. Las ondas de sonido viajan a través del material con algo menos de energía (atenuación) y son reflejadas en la interface. El haz de sonido reflejado es detectado y analizado para definir la presencia y ubicación de las discontinuidades.

Fig. 5.7.- Diagrama del detector de defecto pulso – eco.



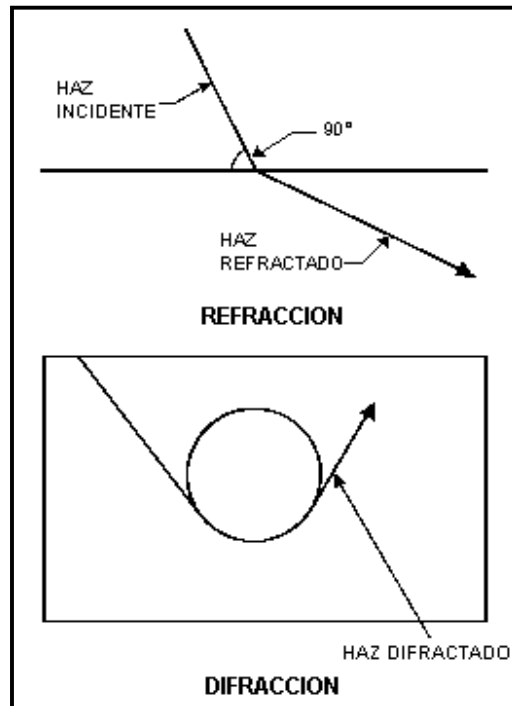
En muchos aspectos, un haz de ultrasonido es similar a un haz de luz ; ambos son ondas y obedecen a una ecuación de onda general. Cada una viaja con una velocidad característica en un medio homogéneo dado, una velocidad que depende de las propiedades del medio y del movimiento vibracional de la onda. Similar al haz de luz, el haz ultrasónico es reflejado desde la superficie (fig. 5.8). Cuando son refractados ellos atraviesan un límite entre dos sustancias que tienen diferentes velocidades de sonido características (fig. 5.9) ; y son difractados en el borde o en los alrededores del obstáculo (fig. 5.9). La dispersión provocada por una superficie rugosa, partículas o granos gruesos reducen la energía de la onda ultrasónica, de similar manera en que la dispersión reduce la intensidad de un haz de luz.

La inspección ultrasónica es ejecutada normalmente con cualquiera de los dos tipos de onda, onda longitudinal (haz recto) u ondas de corte (haz en ángulo). Las frecuencias comúnmente usadas están entre 1 y 5 MHz, con haces de sonido en ángulos de 0°, 45°, 60° y 70°.

Fig. 5.8.- Similitudes entre reflexión de luz y sonido.

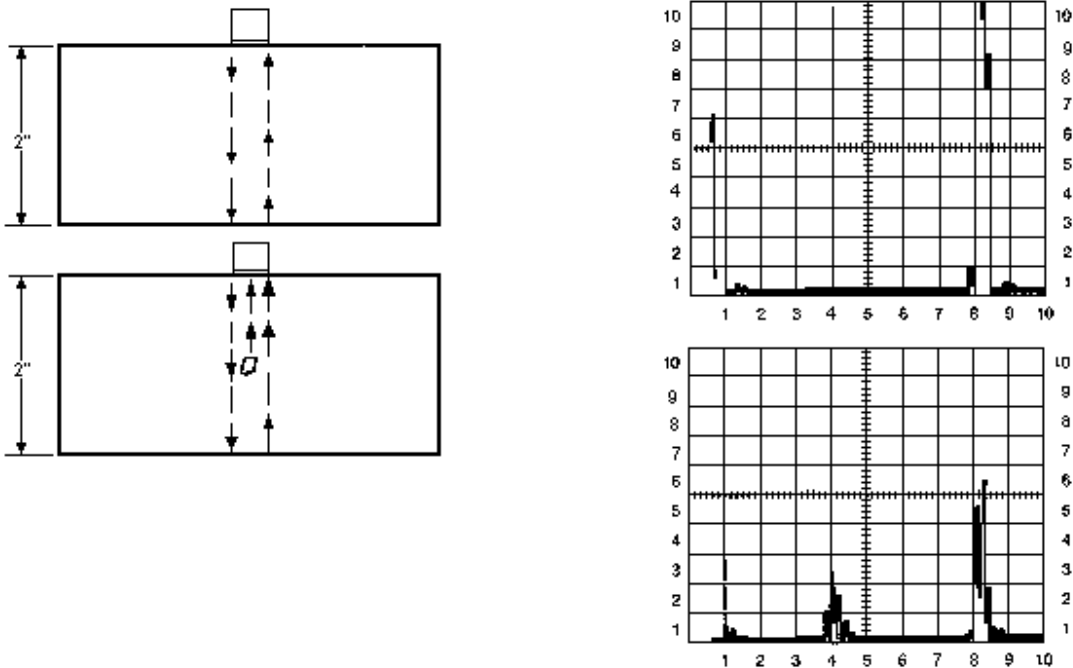


Fig. 5.9.- Refracción y difracción.



En las pruebas con haz longitudinal (comúnmente usada para inspección de planchas de metal base), el sonido en la forma de vibraciones ultrasónicas es proyectado en la pieza perpendicular a la superficie por medio de una unidad examinadora con haz recto (ver fig. 5.10). Cuando la entrada a la superficie y el regreso a la superficie son paralelas, una reflexión de regreso aparecerá en la pantalla de tubo de rayos catódicos. Una discontinuidad hallada entre el avance y el regreso a la superficie también será mostrada en la pantalla. Por medio del uso de los altos (pick) en la pantalla, de una discontinuidad real o artificial de un tamaño conocido, se puede establecer un nivel de referencia tal que la reflexión de una discontinuidad de un tamaño desconocido pueda ser evaluada con un tamaño, longitud y profundidad aproximadas.

Fig. 5.10.- Ejemplo de análisis longitudinal.



Muchas de las soldaduras pueden ser inspeccionadas empleando la técnica de un haz en ángulo (fig. 5.11). Idealmente sólo las discontinuidades aparecerán en la pantalla durante la inspección (fig. 5.12). Sin embargo, este no es el caso, pues desde los bordes geométricos de la pieza que está siendo inspeccionada, a menudo reflejan sonido de regreso como una discontinuidad.

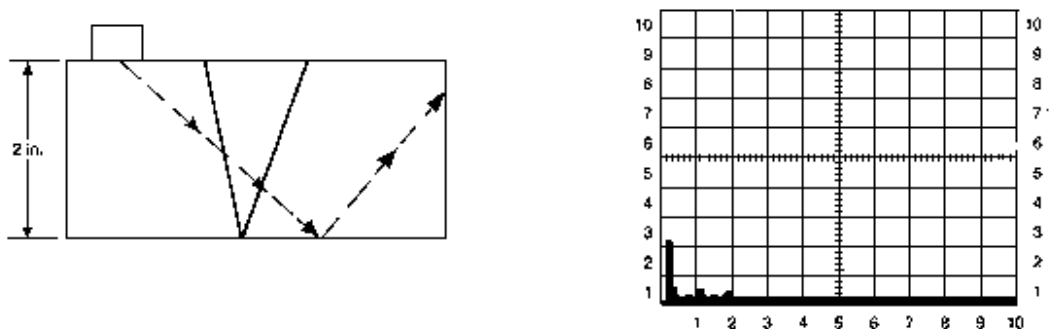
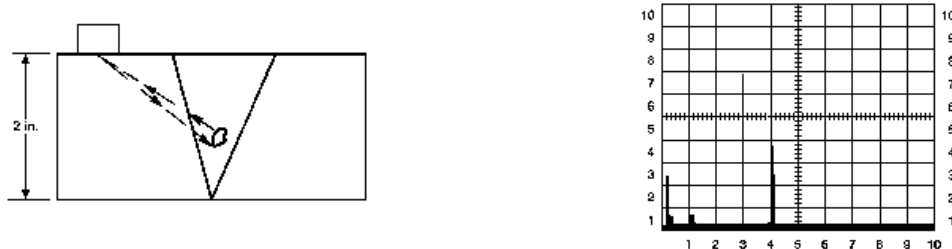


Fig. 5.11.- Sin discontinuidades.

Fig. 5.12.- Discontinuidad.



Es de deseo general, que el haz de sonido intercepte el plano de la discontinuidad con un ángulo cercano a los 90 grados, ya que así retorna una señal reflejada máxima al transductor. Sin embargo, las fisuras que no están orientadas perpendicularmente al haz de ultrasonido pueden ser detectadas debido a que su superficie no es lisa y el sonido será reflejado desde las caras que están aproximadamente perpendiculares al haz. La prueba superficial usada para barrido con una unidad examinadora, es seleccionado principalmente sobre la base de la forma de la soldadura y estructura, y, a menudo, por la accesibilidad para la prueba. El patrón de barrido puede ser suficiente para pasar el haz de sonido proyectado a través del volumen entero de la soldadura y la zona afectada térmicamente para permitir la detección de posibles discontinuidades.

A partir de su importancia para interceptar la discontinuidad en (o cercano) 90 grados, es común que más de una unidad examinadora de ángulo sea usada para inspeccionar una soldadura particular. La norma AWS D1.1 designa los ángulos específicos que son corrientemente usados para espesores y configuraciones de juntas particulares.

Las principales ventajas de la inspección ultrasónica, comparándola con los otros métodos de inspección no destructiva de piezas metálicas, son :

- (1) El mayor poder de penetración permite la detección de discontinuidades profundas en la pieza.
- (2) La alta sensibilidad permite la detección de muy pequeñas discontinuidades.
- (3) Mayor exactitud en la determinación de la posición de discontinuidades internas, estimando su tamaño y caracterización de su orientación, forma y naturaleza.
- (4) Sólo necesita acceder a una superficie.
- (5) La operación es electrónica, lo que provee de indicaciones instantáneas de las discontinuidades.
- (6) La habilidad del barrido permite la inspección de un volumen de metal extendiéndose desde el frente de la superficie hasta el final de la superficie del metal.

Algunas ventajas de inspección ultrasónica incluyen:

- (1) La operación manual requiere una cuidadosa atención para las técnicas experimentales.
- (2) Se requiere un amplio conocimiento de la técnica para el desarrollo de la procedimiento experimental.
- (3) Piezas que están rugosas, de forma irregular, muy pequeñas o delgadas o no homogéneas son difíciles de inspeccionar.
- (4) Las discontinuidades que están presentes en una capa muy profunda debajo de la superficie puede no ser detectable.
- (5) Son necesarias cuplas para proveer una transferencia efectiva de la energía de la onda ultrasónica entre la unidad examinadora y la pieza inspeccionada.
- (6) Se necesitan referencias estándar para calibrar el equipo.