

INSPECCION Y CONTROL DE CALIDAD, EN LA APLICACIÓN DE SOLDADURA DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES.

INDICE

INTRODUCCION.

TEMA I.

INSPECTORES E INSPECCION DE SOLDADURA.....	1
Requisitos para la certificación del inspector de soldadura.....	3
El inspector de soldadura y sus deberes.....	4
Esquemas europeos e internacionales para la certificación de soldadura.....	7
Sistema normalizado de certificación de inspectores de soldadura.....	9

TEMA II.

NOMENCLATURA Y PREPARACION PARA SU APLICACIÓN.....	11
Juntas y soldadura.....	11
Juntas y su nomenclatura.....	13
Posiciones de aplicación de soldadura.....	16
Simbología de la soldadura.....	23
Símbolos complementarios.....	28
Acotación de dimensiones.....	30
Símbolo de ensayos no destructivos.....	33

TEMA III.

LA SOLDADURA Y SU APLICACIÓN EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES.....	36
Estructura cristalina.....	37
Redes espaciales de Bravais.....	38
Aleaciones.....	40
Tratamientos térmicos del acero.....	42
Metalurgia de la soldadura.....	44
Cambios dimensionales.....	47
Transformaciones del acero durante la soldadura.....	49
Control de las propiedades de las uniones soldadas.....	53
Pre calentamiento.....	53

TEMA IV.

PROCESOS DE SOLDADURA EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES.....	56
Procesos de soldadura y métodos de aplicación.....	57
Fuentes de energía para soldadura de arco.....	60
Soldadura por arco eléctrico.....	63
Protección del metal fundido.....	65

Proceso de soldadura con electrodos recubiertos (SMAW).....	67
Clasificación de los electrodos.....	70
Intensidad de la corriente de soldadura.....	72
Condiciones de almacenamiento y secado de los electrodos.....	73
Proceso de soldadura por arco con alambre continuo protegido con gas (GMAW).....	77

TEMA V.

DISCONTINUIDADES Y RIESGOS PARA LAS ESTRUCTURAS METALICAS.....83

Clasificación de las discontinuidades de acuerdo a su origen.....	86
Discontinuidades del proceso de soldadura.....	87
Discontinuidades relacionadas con requisitos dimensionales.....	100

TEMA VI.

NORMAS PARA LA APLICACIÓN EN DIFERENTES TIPOS DE CONTRUCCIOES.....105

Origen de las normas.....	105
Alcance, campo de aplicación y estructura de algunas normas.....	113
Código ANSI/ASME para calderas y recipientes a presión (ASME BPVC).....	113
Código ANSI/ASME B 31 para tuberías sujetas a presión.....	115
Código ANSI/AWS D1.1 de soldadura estructural – acero.....	117
Código para soldadura de puentes ANSIASHTO/AWS D1.5.....	117
Las especificaciones ASTM.....	120
Especificaciones AWS para materiales consumibles de soldadura.....	122
Requisitos sobre inspección y prueba.....	124
Requisitos para la realización de exámenes no destructivos.....	124
Código de inspección del consejo nacional.....	125

TEMA VII.

CALIFICACION DE PROCEDIMIENTOS.....128

Requisitos de la calificación de procedimientos y personal de soldadura.....	129
Especificación de procedimiento de soldadura EPS (Welding Procedure Specification – WPS).....	129
Responsabilidades con respecto a la calificación de procedimiento y personal de soldadura.....	141

TEMA VIII.

PRUEBAS DESTRUCTIVAS.....143

Pruebas destructivas aplicables a la soldadura.....	144
Pruebas mecánicas.....	144
Pruebas de tensión.....	145
Pruebas de doblado.....	147

Pruebas de dureza.....	147
Pruebas de impacto.....	148
Pruebas químicas.....	150
Pruebas metalográficas.....	151

TEMA IX.

PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS.....	153
------------------------------	-----

Definición.....	153
Técnicas de inspección superficial.....	154
Técnicas de inspección volumétrica.....	154
Aplicación de los ensayos no destructivos.....	155
Ventajas de los ensayos no destructivos.....	155
Limitaciones de los ensayos no destructivos.....	155
Beneficios de los ensayos no destructivos.....	156
Selección del ensayo no destructivo.....	157
Inspección visual.....	158
Líquidos penetrantes.....	163
Partículas magnéticas.....	170
Radiografía industrial.....	184
Ultrasonido industria.....	192

CONCLUSIONES.....	208
-------------------	-----

BIBLIOGRAFIA.

INTRODUCCION

La soldadura, al igual que la mayoría de los procesos industriales disciplinas técnicas, posee sus propios términos especializados, mismos que resultan necesarios para lograr una comunicación efectiva entre la gente que de alguna manera esta relacionada con los procesos, operaciones, equipo, materiales, diseño y otras actividades pertenecientes a los métodos de unión involucrados.

Debido a que es indispensable el uso correcto y preciso de estos términos, los institutos y organizaciones técnicas encargadas de las aplicaciones y del desarrollo científico y tecnológico de la soldadura de diferentes países, han preparado y publicado normas que establecen los términos estandarizados a emplearse y la definición de los mismos.

La soldadura en general, como proceso de fabricación implica la fusión de un material metálico y su posterior solidificación, estos cambios de estado se desarrollan en un lapso muy breve lo que implica transformaciones metalúrgicas y cambios dimensionales que afectan las propiedades físicas, mecánicas, químicas y dimensionales de los materiales en la zona en que se ha realizado la unión soldada.

La ingeniería de soldadura, que debe ser desarrollada antes de iniciar los procesos de producción, deben contemplar el efecto de las variables y establecer límites operativos que permitan obtener una unión sana y capaz de responder a las demandas extremas del servicio al que será sometida durante su vida útil.

Los metales base y las juntas soldadas generalmente presentan imperfecciones que pueden representar un riesgo para la integridad y de la seguridad del equipo o estructura y varían en su naturaleza, tamaño, frecuencia, localización y distribución.

Cada norma establece los criterios de aceptación para las diferentes imperfecciones que pueden presentarse en las uniones soldadas, A estas imperfecciones se les llama discontinuidades. Los criterios de aceptación de las normas establecen el tipo, tamaño, número y distribución que puede ser tolerado por lo que una de las funciones principales de la inspección consiste en determinar si la unión soldada cumple con los criterios de aceptación.

Los Ensayos no Destructivos, Conocidos de forma general por las siglas END, son un campo de la ingeniería que se desarrolla rápidamente. Las técnicas como la digitalización de imágenes, la radiografía por neutrones, el electromagnetismo, la termografía o la emisión acústica, que eran relativamente desconocidas hasta hace pocos años, se han convertido en

herramientas de uso cotidiano en las industrias que desean mantenerse en la vanguardia del mercado con sus productos.

En la fabricación y/o construcción de componentes, subensambles, equipos e instalaciones, intervienen una serie de actividades cuya finalidad está bien definida o delimitada; éstas son principalmente: el diseño, la fabricación o construcción, el montaje o instalación y finalmente la inspección y las pruebas.

El desarrollo de nuevas tecnologías y la optimización de los productos o los requisitos de seguridad, como es el caso de la industria aeroespacial, la nucleoelectrónica o la petroquímica, impusieron también nuevas condiciones de inspección, en las cuales se estableció la necesidad de verificar hasta en un 100% los componentes críticos; lo que planteó una severa dificultad a los departamentos de calidad y a los de seguridad industrial hasta que iniciaron el empleo de técnicas de inspección no destructiva, con las cuales se medía la integridad de los componentes sin dañarlos o alterarlos. Esto fue posible al medir alguna otra propiedad física del material y que estuviera relacionada con las características críticas del componente sujeto a inspección. Actualmente la aplicación de las pruebas no destructivas es una actividad común en casi todos los sectores industriales.

TEMA I

INSPECTORES E INSPECCION DE SOLDADURA

Una definición general de lo que es un inspector no solo del área de soldadura es la siguiente:

“Un inspector es un representante técnico de la sociedad que tiene por finalidad cuidar la integridad, la seguridad y el bienestar de la comunidad, realizando su trabajo de forma profesional, basando sus decisiones en los requisitos de calidad establecidos por el diseño de la parte, componente o servicio que esta inspeccionando para comprobar el cumplimiento de las reglas de diseño, fabricación y prueba establecidos por un código, una norma o una especificación.”

El inspector de soldadura es un técnico especializado cuya función principal, puede consistir en: realizar, testificar, comparar, supervisar, documentar o registrar las diferentes actividades de inspección que afectan la calidad de las uniones soldadas producidas durante: los trabajos de fabricación, construcción, montaje o reparación de equipos, estructuras e instalaciones en las que intervienen operaciones de soldadura.

Al igual que las diferentes ramas de la ingeniería, los inspectores de soldadura pueden trabajar en campos tan diversos como son: la industria química y petroquímica, la industria energética como la eléctrica y la núcleo eléctrica; la de exploración, extracción y beneficio del petróleo; la industria del transporte bien sea marítimo, terrestre y aeroespacial y la industria de la construcción

El propósito fundamental de las inspección de soldadura, es el de determinar que las uniones soldadas (“weldments”) satisfacen los requisitos de calidad y de integridad mecánica establecidos en el diseño original y que puede estar basado en las condiciones de servicio definidos por un código una norma o especificación aplicable. Por tal motivo el inspector debe estar familiarizado con los diferentes procesos de soldadura y corte, con los materiales a unir y de aporte involucrados; el propósito y las limitaciones de los métodos de pruebas empleados y la calificación de procedimientos y personal de soldadura; debe ser capaz de leer e interpretar dibujos y planos, preparar y mantener registros y hacer reportes y juicios responsables. para que el trabajo de inspección resulte efectivo, se deben realizar las actividades de manera que estas sean consistentes con los requisitos y principios técnicos y éticos aplicables.

Los inspectores de soldadura trabajan como representantes de calidad de las organizaciones que los contratan o emplean. y que puede ser el fabricante, constructor o contratista que produce los bienes soldados, o bien el comprador de estos, los inspectores de soldadura también pueden ser contratados por una compañía de seguros, una entidad gubernamental, una firma de ingeniería o una agencia de inspección.

Dependiendo de la organización para la cual trabaja el inspector, pueden variar el alcance y las limitaciones de sus tareas, actividades y responsabilidades, por lo que resulta de gran importancia estos aspectos.

La finalidad de la inspección de soldadura es determinar si los ensamblajes soldados cumplen con los requisitos especificados, se pueden señalar diferentes enfoques, cometidos, alcances y limitaciones en la participación del inspector, dependiendo de la parte que contrata los servicios de inspección,.

La inspección y pruebas durante la fabricación y montaje deben de ser realizadas por parte del fabricante o contratista, antes del ensamble, durante el ensamble, durante la soldadura y después realizar la unión soldada, para asegurar que los materiales, los procesos de soldadura y la mano de obra cumplen los requisitos de los documentos contractuales”,

La inspección y pruebas de verificación deben ser realizadas, normalmente por un inspector independiente del fabricante o contratista, y los resultados de dichas inspecciones y pruebas deben ser reportadas al propietario (cliente) y al contratista.

Las funciones y responsabilidades del inspector son abordadas desde el punto de vista de la inspección y pruebas de verificación.

Los organismos de normalización, han elaborado y emitido normas y programas aplicables al entrenamiento, calificación y certificación del personal dedicado a realizar la función de inspector de soldadura.

La existencia de estos documentos y programas esta justificada por la importancia que tiene la inspección de soldadura.

Las normas referentes a la capacitación, calificación y certificación del personal que realiza la inspección de soldaduras establecen los requisitos que debe satisfacer el personal para desarrollar de manera efectiva sus deberes como inspectores de soldadura. Las normas de diferentes países establecen requisitos similares, y entre varios esquemas nacionales de certificación existen “convenios de reciprocidad”. Esto es, un inspector certificado de acuerdo con el esquema de un país puede certificarse bajo el esquema de otro país si los requisitos de ambos países son equivalentes.

El programa de certificación más ampliamente difundido es el implementado por la AWS que está establecido en el documento ANSI/AWS QC1, “Norma para la Certificación AWS de Inspectores de Soldadura”,

La AWS también ha desarrollado un esquema orientado a la certificación interna de inspectores. Este esquema es descrito en la Norma AWS QC2, “Practica Recomendada para el Entrenamiento, Calificación y Certificación de Inspector de Soldadura Especialista e Inspector de Soldadura Asistente”. Este documento fue desarrollado con el propósito de ayudar, a las organizaciones que emplean personal de inspección de soldadura, a identificar los factores

básicos necesarios para el entrenamiento, calificación y certificación de sus inspectores, para cumplir los requisitos y necesidades de una compañía o un proyecto específico.

Requisitos para la certificación del inspector de soldadura.

En términos generales, los requisitos que se establecen para el entrenamiento, calificación y certificación de inspectores de soldadura son los siguientes: escolaridad y experiencia en funciones directamente relacionadas con inspección de soldadura, conocimientos relevantes sobre procesos de soldadura y corte, calificación de procedimientos y personal de soldadura, metalurgia, métodos de pruebas destructivas, no destructivas, símbolos y definiciones estandarizadas de soldadura, entre otras, así como cumplir con requisitos de agudeza visual cercana y aprobar los exámenes correspondientes.

Las actividades que se realizan en la inspección de soldadura varían en dificultad y responsabilidad, y para su realización se requieren mayor o menor grado de conocimientos y pericia del personal que las realiza, por lo que existen niveles de competencia. Los requisitos, habilidades y funciones están definidos en los diferentes niveles de certificación.

Podemos definir como Certificación al procedimiento seguido por el cuerpo de certificación para confirmar que los requisitos tales como el entrenamiento, las habilidades, la experiencia y los conocimientos requeridos al personal para realizar las tareas de un trabajo específico han sido cumplidos. Y como certificado el testimonio escrito del cumplimiento de los requisitos de habilidad y desempeño para la realización de la actividad de inspección.

El documento ANSI/AWS QC1-96, “Norma para la Certificación AWS de Inspectores de Soldadura”, establece tres Niveles de Certificación AWS para personal de inspección de soldadura:

Termino en español	Termino en inglés
Inspector de Soldadura Certificado Senior ISCS	Senior Certified Welding Inspector – SCWI
Inspector de Soldadura Certificado – ISC	Certified Welding Inspector –CWI
Inspector de Soldadura Certificado Asociado –ISCA	Certified Associate Welding Inspector –CAWI

La norma AWS QC2-93, “Practica Recomendada para el Entrenamiento, Calificación y Certificación de Inspector de Soldadura Especialista e Inspector de Soldadura Asistente” por su parte, establece dos niveles de certificación:

Termino en español	Termino en Inglés
Inspector de Soldadura Especialista –ISE	Welding Inspector Specialist –WIS
Asistente de Inspector de Soldadura –ISA	Welding Inspector Assistant –WIA

Los requisitos a cumplir, las habilidades que deben dominar y las funciones que deben realizar los individuos de cada uno de los niveles de certificación antes mencionados, según la edición vigente de las normas referidas

Ambas normas también indican que los aspirantes a certificarse deben someterse a una prueba de diferenciación de colores, pero dejan bajo la responsabilidad del empleador el establecimiento y refuerzo de los requisitos de percepción de color.

El inspector de soldadura y sus deberes.

Las tareas y actividades de los inspectores de soldadura deben ser definidas claramente por las organizaciones que los emplean, sin embargo, los individuos que realizan la inspección de soldadura deben de ser capaces de realizar las siguientes actividades:

- Interpretar dibujos, símbolos de soldar, códigos y otros documentos tales como contratos y ordenes de compra.
- Asegurar que los metales base y los materiales consumibles de soldadura cumplen los requisitos de las especificaciones aplicables.
- Verificar la disponibilidad de los procedimientos de soldadura a emplearse, asegurar que estos son adecuados y completos para el trabajo a realizarse, y que están debidamente calificados con respecto a las normas y requisitos especificados.
- Verificar que el equipo de soldadura a emplearse es el adecuado para los procedimientos de soldadura establecidos, que está en buenas condiciones de operación y que tiene la capacidad de cumplir con los requisitos de tales procedimientos.
- Asegurar que las operaciones de soldadura se realizan con estricto apego a los procedimientos. Los principales aspectos a verificar en este rubro son:
- Que únicamente se emplean procedimientos calificados, o, si es aplicable, precalificados y aprobados.
- Que las operaciones de soldadura se realizan dentro del intervalo de las variables establecidas por el procedimiento. Dentro de estas variables están incluidas, entre otras, las siguientes: el uso de los metales de aporte especificados para cada metal base o combinación de metales base, la preparación adecuada de los bordes a unir (de acuerdo con el diseño especificado de las juntas), las temperaturas de precalentamiento y entre pasos, el calor aportado por paso (si esto es aplicable), el tratamiento térmico posterior a la soldadura (si está especificado), gases de protección y características eléctricas.

- Testificar la ejecución de las pruebas de calificación de los procedimientos, las inspecciones y pruebas destructivas y no destructivas de los especímenes correspondientes, o supervisar esas actividades cuando son realizadas por agencias externas
- Verificar que los resultados de prueba de la calificación de los procedimientos se documentan correctamente.
- Verificar que la habilidad de los soldadores, operadores de equipo automático para soldar y “punteadores” están calificados de acuerdo con las normas y requisitos especificados, y que su calificación cubre todas las variables (posiciones y procesos de soldadura, por ejemplo) previstas durante la ejecución de los trabajos.
- Testificar la ejecución de las pruebas de calificación de habilidad de personal de soldadura, o bien, supervisar estas actividades cuando son realizadas por agencias externas.
- Verificar que los resultados de las pruebas de calificación de habilidad de personal de soldadura son documentados correctamente.
- Solicitar la recalificación del personal de soldadura cuando existe evidencia de que éste no cumple con los requisitos de las normas aplicables.
- Verificar que los metales de aporte, electrodos, fundentes y gases se controlan, mantienen y manejan de manera que se evite su daño o deterioro, de acuerdo con las recomendaciones de los fabricantes de tales materiales y cumpliendo con los requisitos de las normas y de los documentos contractuales aplicables.

Ética.

Como se mencionó anteriormente, para que los inspectores de soldadura realicen sus actividades de manera efectiva, también es necesario que se conduzcan profesionalmente y con estricto apego a principios éticos.

A continuación se reproduce el Código de Ética establecido en la Norma ANSI/AWS QC1-96.

Código de Ética

Preámbulo

Para salvaguardar la salud y bienestar del público y mantener la integridad y los altos estándares de habilidades, prácticas y conducta en la ocupación de la inspección de soldadura, los ISCS's, ISC's o ISCA's de la American Welding Society deben tener presentes los siguientes principios y el alcance en que se aplican, entender que cualquier práctica no autorizada está sujeta a la revisión del Comité (de Calificación y Certificación de Inspectores de Soldadura AWS) y puede resultar en reprimenda o en la suspensión o la revocación de la certificación.

Integridad

El ISCS, ISC e ISCA debe actuar con integridad completa en materia profesional y ser honesto y leal con sus empleadores, los organismos reguladores o el cliente del empleador, y con el comité o sus representantes, en los asuntos relacionados con esta norma.

Responsabilidades publicas

El ISCS, ISC e ISCA debe actuar para preservar la salud y el bienestar del público al realizar los deberes de inspección de soldadura requeridos de una manera concienzuda e imparcial en la extensión completa de la responsabilidad moral y cívica y las calificaciones del inspector. De acuerdo con esto, el ISCS, ISC e ISCA debe:

- Empezar y realizar asignaciones de trabajo solamente cuando está calificado por entrenamiento, experiencia y capacidad.
- Presentar credenciales cuando sea requerido.
- No representar falsamente status actual ni falsificar el nivel de certificación (ISCS/ISC/ISCA) por la modificación de los documentos de certificación o por testimonio falso verbal o escrito, de su nivel o status actual.
- Ser completamente concienzudo, objetivo y real en cualquier reporte, declaración o testimonio escrito sobre el trabajo, e incluir todo testimonio relevante o pertinente en tales comunicados o testimoniales.
- Firmar únicamente por trabajos que el ha inspeccionado, o por trabajos sobre el cual el tuvo conocimiento personal a través de supervisión directa.
- No asociarse ni participar intencionalmente en negocios o hechos fraudulentos o deshonestos.

Conflicto de intereses

- El ISCS, ISC o ISCA debe evitar conflictos de intereses con el empleador o el cliente y debe descubrir cualquier asociación de negocios o circunstancias que pudieran ser consideradas como tales.
- El ISCS, ISC o ISCA no debe aceptar compensación financiera o de otro tipo de mas de una parte por los servicios del mismo proyecto, o por servicios pertenecientes al mismo proyecto, a menos que las circunstancias estén completamente claras y sean acordadas por todas las partes interesadas o por sus agentes autorizados.

- El ISCS, ISC o ISCA no debe solicitar o aceptar gratificaciones directas o indirectas, de ninguna parte o partes provenientes del cliente o empleador y relacionadas con el trabajo del ISCS, ISC e ISCA.
- El ISCS, ISC o ISCA, mientras está sirviendo en calidad de oficial público, ya sea electo, contratado o empleado, no debe inspeccionar, revisar ni aprobar trabajo en calidad de ISCS, ISC o ISCA en proyectos que también estén sujetos a la jurisdicción del inspector como un oficial público, a menos que esta práctica esté expresamente dictada por una descripción de trabajo o por una especificación, y todas las partes afectadas con la acción estén de acuerdo.

Esquemas europeos e internacionales para la certificación de inspectores de soldadura

Los países europeos han desarrollado sus propias normas y esquemas para la calificación y certificación de personal de inspección de soldadura. Entre estos puede mencionarse el Esquema de Certificación para Personal de Soldadura e Inspección del Reino Unido (U.K.'s Certification Scheme for Welding and Inspection Personnel –CSWIP), operado desde 1969 por El Instituto de Soldadura (The Welding Institute –TWI).

Los trabajos para implantar un esquema internacional europeo de certificación de personal de soldadura fueron iniciados por la Comunidad Europea de Soldadura, al percibir la necesidad de intercambiar puntos de vista y experiencias entre varios países y crear, en 1974, el Consejo Europeo para la Cooperación en Soldadura (European Council for Cooperation in Welding –ECCW) con la participación de Bélgica, Dinamarca, Alemania, Francia, Irlanda, Italia, Holanda y el Reino Unido. Años más tarde, el ECCW creció al contar con la participación de todos los países de la entonces Comunidad Europea y, en 1992, se le incorporaron los países de la Asociación Europea de Libre Comercio (European Free Trade Association -EFTA), así como los de Europa Oriental. Entonces cambió su nombre por el de Federación Europea para la Soldadura, Unión y Corte (European Federation for Welding, Joining and Cutting), mejor conocida como la Federación Europea de Soldadura (European Welding Federation –EWF).

El primer paso de la EWF se orientó a armonizar el entrenamiento y calificación del personal de soldadura, ya que resultaba evidente que el futuro de la industria europea dependía de la educación y entrenamiento de su fuerza laboral, y necesitaba de personal altamente calificado en el área de la soldadura.

En 1991 la EWF, conjuntamente con los institutos y organizaciones de soldadura más relevantes de 27 países, lanzo un esquema armonizado de entrenamiento y calificación el campo de la tecnología de la soldadura, al publicar los lineamientos que definían los requisitos mínimos necesarios para entrenar a los ingenieros europeos de soldadura.

Después de esa primera experiencia la EWF desarrolló otros lineamientos para cubrir diversos niveles profesionales en tecnología de soldadura y otras áreas relacionadas, tales como la unión de adhesivos. Actualmente, el esquema de entrenamiento y calificación de

la EWF esta compuesto por 14 lineamientos de calificación mutuamente reconocidos en 20 países europeos.

En materias relacionadas con la inspección de soldadura, el esquema armonizado de certificación cubre los niveles de competencia de Ingeniero Europeo de Soldadura (EWE), Tecnólogo Europeo de Soldadura (EWS), Especialista Europeo de Soldadura (EWS) y Practicante Europeo de Soldadura (EWP).

En un contexto internacional más amplio, el esquema de la (EWE) esta en proceso de reconocimiento global arder adoptado por países no europeos. En este sentido, la EWF y el Instituto Internacional de Soldadura (Internacional Institute of Welding –IIW), firmaron, en agosto de 1997, un acuerdo en el cual se estableció el desarrollo de un esquema internacional basado en los Lineamientos de Educación y Procedimientos de Calificación de la EWF. Después, en enero de 1999 firmaron otro acuerdo en el que se estableció el reconocimiento mutuo de Organismos Nacionales Autorizados (Authorised National Bodies – ANB´s).

Actualmente, los ANB´s de la EWF también son reconocidos por los ANB´s del IIW, y los dos organismos pueden emitir los diplomas IIW equivalentes de Ingeniero Internacional de Soldadura (IWE), Tecnólogo Internacional de Soldadura (IWT), Especialista Internacional de Soldadura (IWS) y Practicante Internacional de Soldadura (IWP).

Puede considerarse que los niveles de calificación de la AWS, con respecto a los europeos e internacionales, tienen la siguiente equivalencia:

EWF	IIW	Nivel Europeo de Inspección de Soldadura	AWS
EWE	IWE	1	No aplicable
EWT	IWT	2	No aplicable
EWS	IWS	3	SCWI
EWP	IPW	4	CWI

El programa de inspectores de soldadura certificados de la AWS tiene mucho en común con los esquemas internacional y europeo, aunque también difiere en algunos aspectos clave. Actualmente, los consejos de la AWS y CSWIP están estableciendo un acuerdo para el reconocimiento mutuo de sus calificaciones respectivas.

Sistema Mexicano Normalizado de Certificación de Inspectores de Soldadura

En México, las actividades relacionadas con la certificación de personal de inspección de soldadura son realizadas o coordinadas en el marco del Proyecto de Modernización de la Educación Técnica y la Capacitación (PMETYC), por medio de los Sistemas Normalizado y de Certificación de Competencia Laboral y a través de las siguientes instancias:

-Sistemas Normalizado y de Certificación de Competencia Laboral, cuyo objetivo es promover la definición y propuesta de *Normas Técnicas de Competencia Laboral* (NTCL), las cuales tienen un carácter de aplicación nacional.

-Sistema de Evaluación y Certificación de Competencia Laboral, que tiene el propósito de establecer los mecanismos de evaluación y certificación de conocimientos, habilidades, destrezas y actitudes de los individuos, en base a las NTCL establecidas.

El organismo encargado de promover y administrar las actividades antes descritas es el Consejo de Normalización y Certificación de Competencia Laboral (CONOCER), mismo que fue instaurado el 2 de agosto de 1995.

Las NTCL son generadas a través del apoyo y organización de comités de normalización, y la certificación de la competencia laboral de los individuos es realizada por Organismos Certificadores de Competencia Laboral, los cuales son promovidos y acreditados por el CONOCER, de conformidad con los lineamientos establecidos.

En materia de certificación del personal de inspección de soldadura, actualmente se cuenta con las dos siguientes normas técnicas de competencia laboral aprobadas por el CONOCER:

- Inspección de Soldadura Categoría 1.
- Inspección de Soldadura Categoría 2.

Adicionalmente, está en proceso de elaboración la norma “inspección de Soldadura Categoría 3”.

Debe tenerse en cuenta que a la fecha, el sistema mexicano para certificar inspectores de soldadura aun esta en proceso de desarrollo, y en materia de certificación, aún no se acreditan los organismos certificadores correspondientes.



TEMA II

NOMENCLATURA Y PREPARACION PARA SU APLICACION

La soldadura, al igual que la mayoría de los procesos industriales disciplinas técnicas, posee sus propios términos especializados, mismos que resultan necesarios para lograr una comunicación efectiva entre la gente que de alguna manera esta relacionada con los procesos, operaciones, equipo, materiales, diseño y otras actividades pertenecientes a los métodos de unión involucrados.

Debido a que es indispensable el uso correcto y preciso de estos términos, los institutos y organizaciones técnicas encargadas de las aplicaciones y del desarrollo científico y tecnológico de la soldadura de diferentes países, han preparado y publicado normas que establecen los términos estandarizados a emplearse y la definición de los mismos.

La norma de la Sociedad Americana de Soldadura que trata sobre este tema, la ANSI/AWS 3.0, “Norma de Términos y Definiciones de Soldadura” (Estándard Welding Terms and Definitions) fue preparada por el personal del Comité de Definiciones y Símbolos, y la edición vigente a la fecha es la publicada en 1994.

La Norma Mexicana correspondiente es la NMX-H-93, “Soldadura – términos y definiciones”, y fue preparada por el Comité Técnico de Normalización de la Industria Siderúrgica (CTNIS) de la Cámara Nacional de la Industria del Hierro y el Acero (CANACERO).

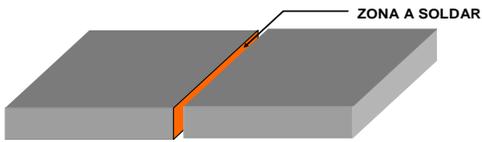
Juntas Y soldadura

Junta (joint); Es la unión de los miembros, o de sus extremos. Existen cinco tipos básicos de junta:

Término en español	Término en inglés
junta a tope	butt joint
junta en esquina	corner joint
junta en “T”	T-joint
junta de traslape	lap joint
junta de borde o de orilla	edge joint

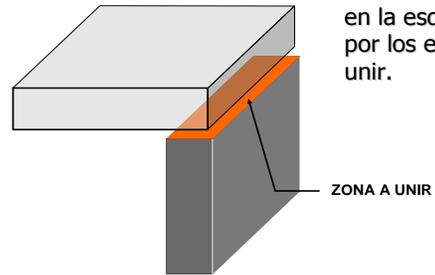
JUNTA A TOPE

- Los materiales se unen por su espesor.



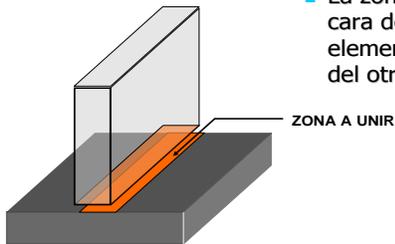
JUNTA EN ESQUINA

- La zona a soldar es en la esquina formada por los elementos a unir.



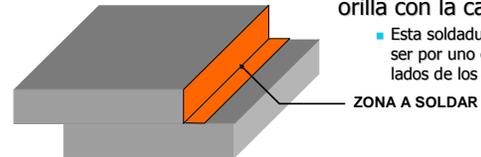
JUNTA EN T

- La zona a soldar es la cara de uno de los elementos y el borde del otro.



JUNTA A TRASLAPE

- Un elemento está sobremontado en el otro y se suelda la orilla con la cara.
- Esta soldadura puede ser por uno o ambos lados de los elementos.



JUNTA DE ORILLA

- La soldadura se realiza en las caras de los elementos a unir

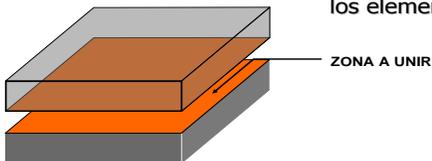


Fig. 2.1 – Tipos básicos de junta

Según la forma, la sección transversal y otras características, existen los siguientes tipos de unión:

Termino en español	Termino en inglés
De escuadra	Groove
De filete	Fillet
De tapón	Plug
De botón	Spot
De pernos	Stud
De proyección	Projection
De respaldo	back weld
De costura	Seam
De recubrimiento	Surfacing
De borde	Flange

La unión, dependiendo de la geometría de sus bordes, puede ser de los siguientes tipos:

Termino en español	Termino en inglés
Escuadra	Square
Bisel sencillo	Bevel
En "V"	V-groove
en "J"	J-groove
en "U"	U-groove
en bisel abocinado	flare-bevel-groove
abocinado en "V"	flare-V-groove

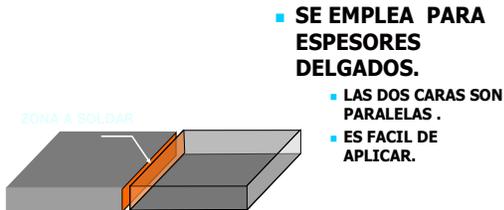
Adicionalmente, las ranuras antes mencionadas pueden ser dobles o sencillas.

Juntas y sus nomenclaturas

Las partes o elementos de las juntas soldadas son variadas y existe una nomenclatura que nos permite describir correctamente cualquier parte de la unión soldada, en la figura 2.3 se dan las nomenclaturas mínimas y mas comúnmente empleadas.

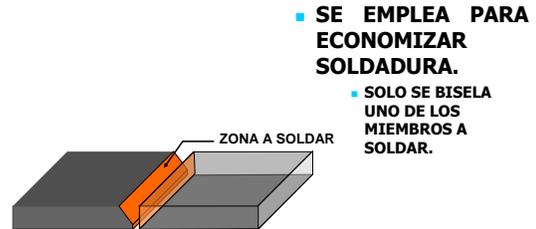
El inspector de soldadura debe tener claro el concepto y la definición de cada nomenclatura ya que el uso correcto de los términos nos permite elaborar mejores reportes y nos ayudan a interpretar correctamente los procedimientos de soldadura o las instrucciones de trabajo.

RANURA A ESCUADRA



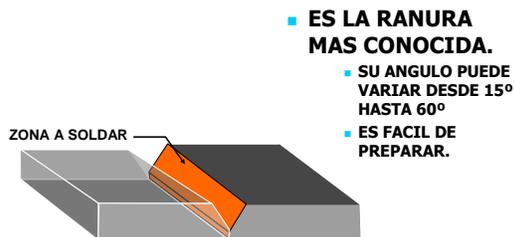
- SE EMPLEA PARA ESPESORES DELGADOS.
- LAS DOS CARAS SON PARALELAS.
- ES FACIL DE APLICAR.

RANURA EN BISEL SENCILLO



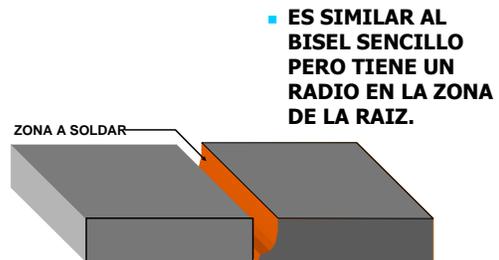
- SE EMPLEA PARA ECONOMIZAR SOLDADURA.
- SOLO SE BISELA UNO DE LOS MIEMBROS A SOLDAR.

RANURA EN "V"



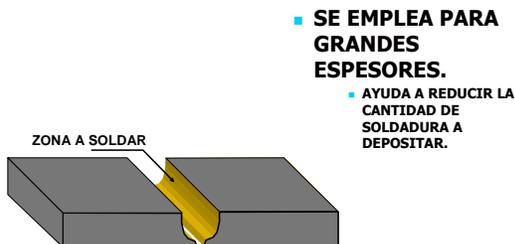
- ES LA RANURA MAS CONOCIDA.
- SU ANGULO PUEDE VARIAR DESDE 15° HASTA 60°
- ES FACIL DE PREPARAR.

RANURA EN J



- ES SIMILAR AL BISEL SENCILLO PERO TIENE UN RADIO EN LA ZONA DE LA RAIZ.

RANURA EN "U"



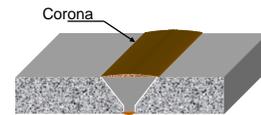
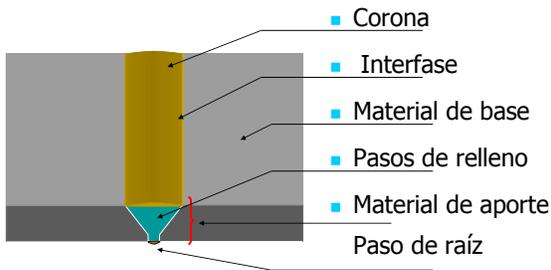
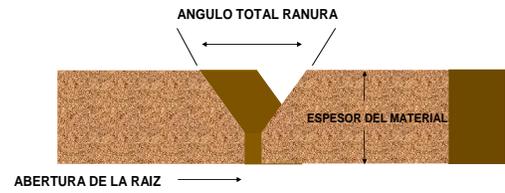
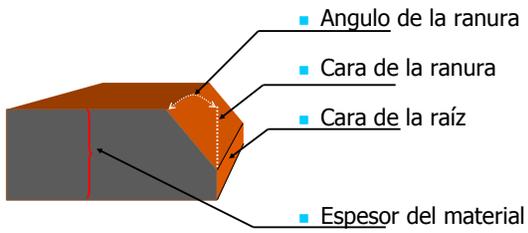
- SE EMPLEA PARA GRANDES ESPESORES.
- AYUDA A REDUCIR LA CANTIDAD DE SOLDADURA A DEPOSITAR.

FILETE

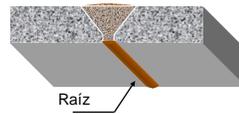


- NO ES PROPIAMENTE UNA RANURA.
- SE EMPLEA PARA LA SOLDADURA DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES.
- NO SE RECOMIENDA PARA ESFUERZOS CORTANTES.

Fig. 2.2 formas básicas de las ranuras de unión



- Corona o refuerzo
 - Sirve para asegurar que la ranura esta totalmente llena.



- Raíz o penetración

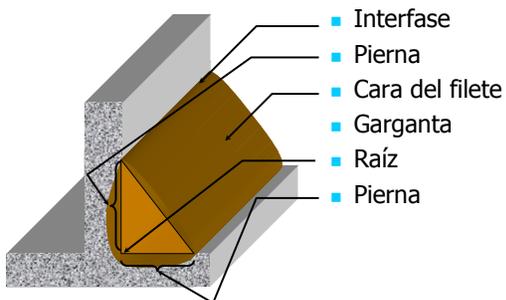


Fig. 2.3. Nomenclatura empleada en las uniones soldadas

Posiciones de aplicación de soldadura.

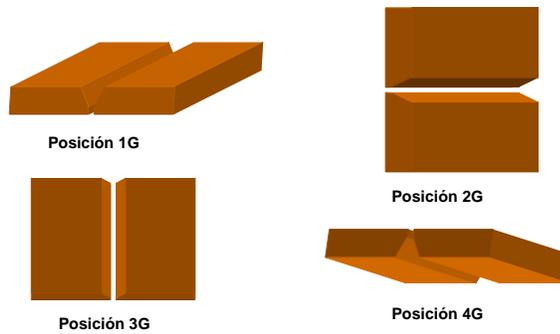
Otro punto de gran importancia se refiere a las definiciones de las posiciones en las que se realiza la unión soldada. La posición permite establecer el grado de dificultad que tendrá el soldador para realizar la unión, es una de las variables mas importantes ya que algunos códigos limitan al soldador en la posición o posiciones que en puede soldar o bien, en que debe estar calificado. Las posiciones que están consideradas son las siguientes:

Posición	En ranura	En filete
Plana o a piso	1G	1F
Horizontal	2G	2F
Vertical (ascendente o descendente.	3G	3F
Sobrecabeza	4G	4G
En tubo, sin rotación	5G	5F
En tubo a 45° de inclinación, sin rotación	6G	6F
En tubo a 45° de inclinación, sin rotación y con restricción	6GR	No aplica.

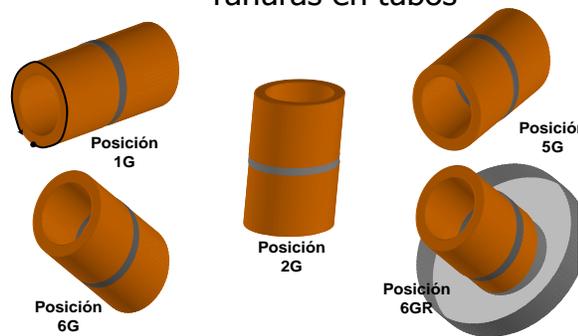
Las posiciones se han homologado en función de su grado de dificultad, siendo la posición plana mas fácil de soldar y la de sobre cabeza la mas difícil; en el caso especial de la posición 6G en tubería, es considerada la de mayor grado de dificultad debido a que se combinan todas las posiciones en una sola muestra, por esta razón, algunos códigos la consideran la posición universal que califica a todas las demás. Sin embargo esto no es aplicable para todos los documentos aplicables y por ello se debe seleccionar cuidadosamente la posición en la que se califica el soldador y el procedimiento de soldadura.

A continuación en las figs. 2.4 a 2.9 se muestran esquemáticamente las posiciones antes mencionadas para las ranuras y los filetes en placa y tubería.

Posiciones para la soldadura de ranuras en placas



Posiciones para la soldadura de ranuras en tubos



Posiciones para la soldadura de filete

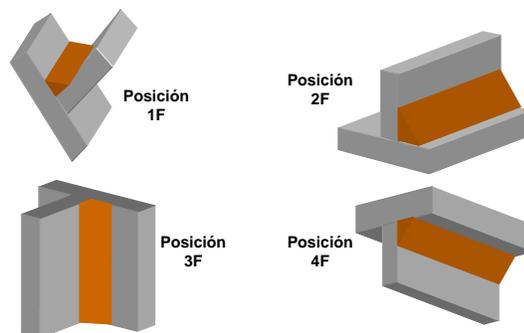


Fig. 2.4 Posiciones de soldadura

Posición plana o sobremesa



■ Posición 1 G.

La letra G es de ranura (groove).

- Es la posición mas sencilla y fácil de aplicar la soldadura se deposita de forma vertical.



Posición 1G en tubería

- En este caso, la tubería se hace girar y la soldadura siempre se deposita en la parte superior.



Posición 1F

La letra F es de filete

- Los elementos están a 45° de inclinación y la soldadura se realiza verticalmente

posición plana
fig. 2.5 Posiciones de la soldadura

Posición horizontal



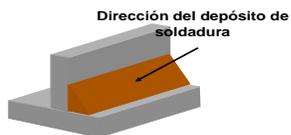
Posición 2 G

- La soldadura se deposita sobre el plano horizontal.



Posición 2G en tubería.

- El tubo se coloca vertical y la soldadura se hace en el plano horizontal.



Posición 2 F

- La soldadura se deposita sobre el plano horizontal.

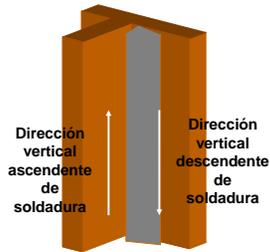
posición horizontal
fig. 2.6 Posiciones de la soldadura

Posición vertical



Posición 3G

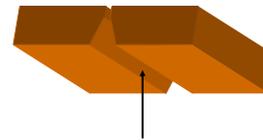
- La soldadura se deposita de forma vertical y puede ser:
 - Ascendente
 - descendente



Posición 3F

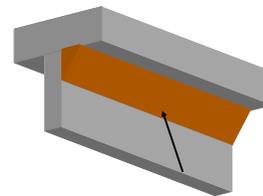
- La soldadura se deposita de forma vertical y puede ser:
 - Ascendente
 - descendente

Posición sobre cabeza



Posición 4G

- La soldadura se realiza desde la parte inferior de forma vertical.
 - Es la posición mas difícil de soldar.



Posición 4F

- La soldadura se realiza desde la parte inferior de forma vertical.
 - Es la posición mas difícil de soldar.

posición vertical

posición sobre cabeza

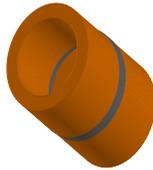
fig. 2.7 Posiciones de la soldadura

Dirección del depósito de soldadura



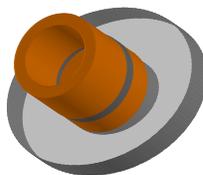
Posición 5G solo tubería.

- El tubo esta fijo en la posición horizontal y la soldadura se realiza en forma vertical y sobrecabeza.



Posición 6G solo tubería.

- El tubo esta fijo en una posición inclinada de 45° y la soldadura se realiza de forma vertical y sobrecabeza.



Posición 6GR solo tubería.

- Es similar a la 6G excepto que se pone un anillo de restricción para limitar el movimiento del soldador.

posiciones para tubería
fig. 2.8 Posiciones de la soldadura

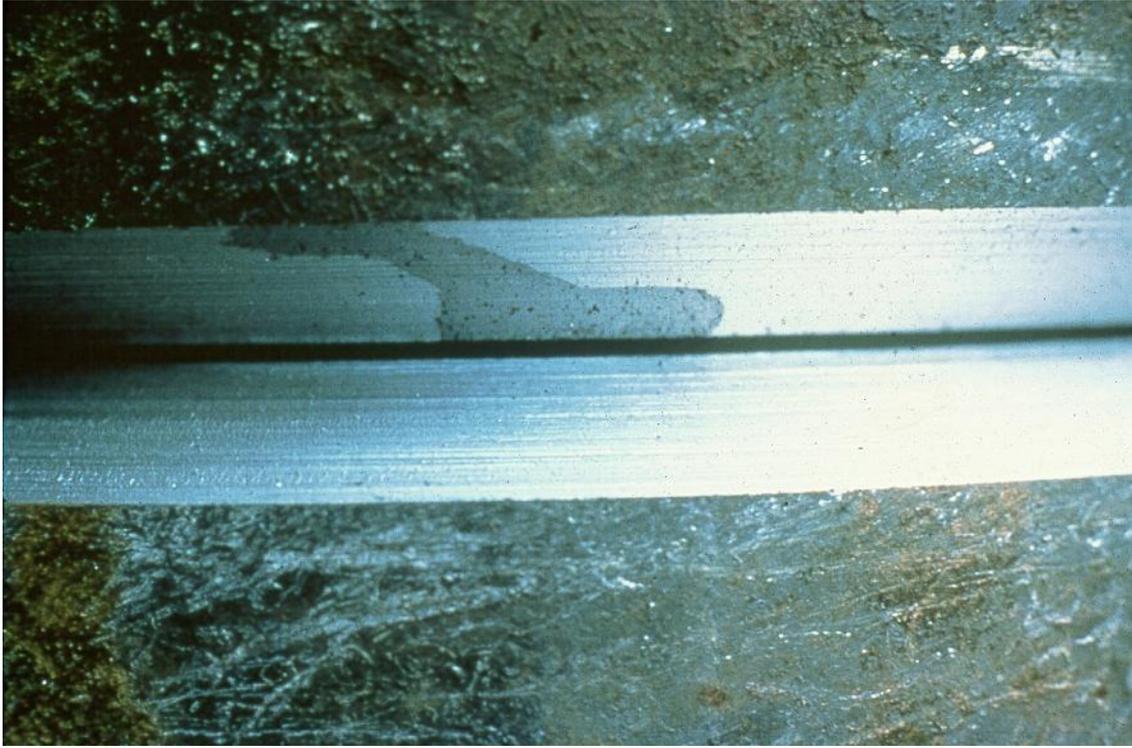


Fig. 2.9 Junta preparada para soldarse

Simbología de la soldadura.

La información técnica así como los requisitos con los que han de fabricarse los productos, son transmitidas por el diseñador por medio de instrucciones y, principalmente dibujos, ya que estos últimos constituyen el medio más eficaz para describir con exactitud detalles complicados.

Sin embargo, a fin de que resulten claros y comprensibles para la fabricación e inspección, los dibujos a menudo requieren de tiempo y esfuerzo para poder plasmar todos los detalles de una unión soldada. El empleo de símbolos de soldadura es un medio adecuado para reducir el trabajo sin menoscabo de la precisión

Para que los símbolos resulten útiles y fáciles de interpretar, es necesario que se elaboren de forma homogénea y consistente para que tengan el mismo significado para el diseñador y para el personal encargado de realizar, supervisar o inspeccionar el trabajo.

Existen varias normas que describen la elaboración y aplicación de los símbolos de soldadura; una de las más conocidas y empleadas es la norma americana ANSI/AWS A2.4, "Símbolos normalizados para Soldadura, Soldadura Fuerte y Exámenes no Destructivos" y la edición vigente a la fecha es la de 2001.

La norma mexicana correspondiente es la NMX-H-111, "Símbolos para Soldadura y Pruebas no Destructivas".

Los dos documentos antes mencionados son compatibles en lo fundamental, y también lo son con sus similares de otros países, pero tienen algunas diferencias relevantes en relación con las normas de países europeos. Debido a este hecho, se recomienda consultar la norma adecuada, particularmente si los diseños proceden de países europeos.

Para que los símbolos de soldadura, resulten efectivos, deben ser empleados apropiadamente. Si son mal elaborados serán mal interpretados y pueden causar confusión y problemas.

Los símbolos de soldadura están compuestos de varios elementos que tienen un significado específico y una localización determinada con respecto de los otros, por lo que existen ciertas reglas para su aplicación y disposición. Debido a lo anterior, el empleo correcto de estos símbolos requiere que los usuarios conozcan con detalle cada elemento y las reglas asociadas con su elaboración, uso e interpretación.

En este capítulo se hace un breve estudio de las reglas para elaborar un símbolo de soldadura y de la forma de interpretarlo.

Símbolos básicos

Las normas americana y mexicana hacen una distinción entre los términos **símbolo de soldadura (weld symbol)** y **símbolo de soldar (welding symbol)**.

El símbolo de soldar es un carácter grafico que indica el tipo unión a realizar y forma parte del símbolo de soldar.

El símbolo de soldadura es una representación grafica que esta constituido por los siguientes elementos:

Una línea horizontal, llamada línea de referencia.

Un extremo que tiene la forma de una punta de flecha,

Un símbolo básico que representa el tipo de unión a realizar

Puede tener símbolos auxiliares que complementan la información.

Puede tener las dimensiones propuestas para el tipo de unión a realizar.

Puede tener un extremo con la forma de una cola de flecha.

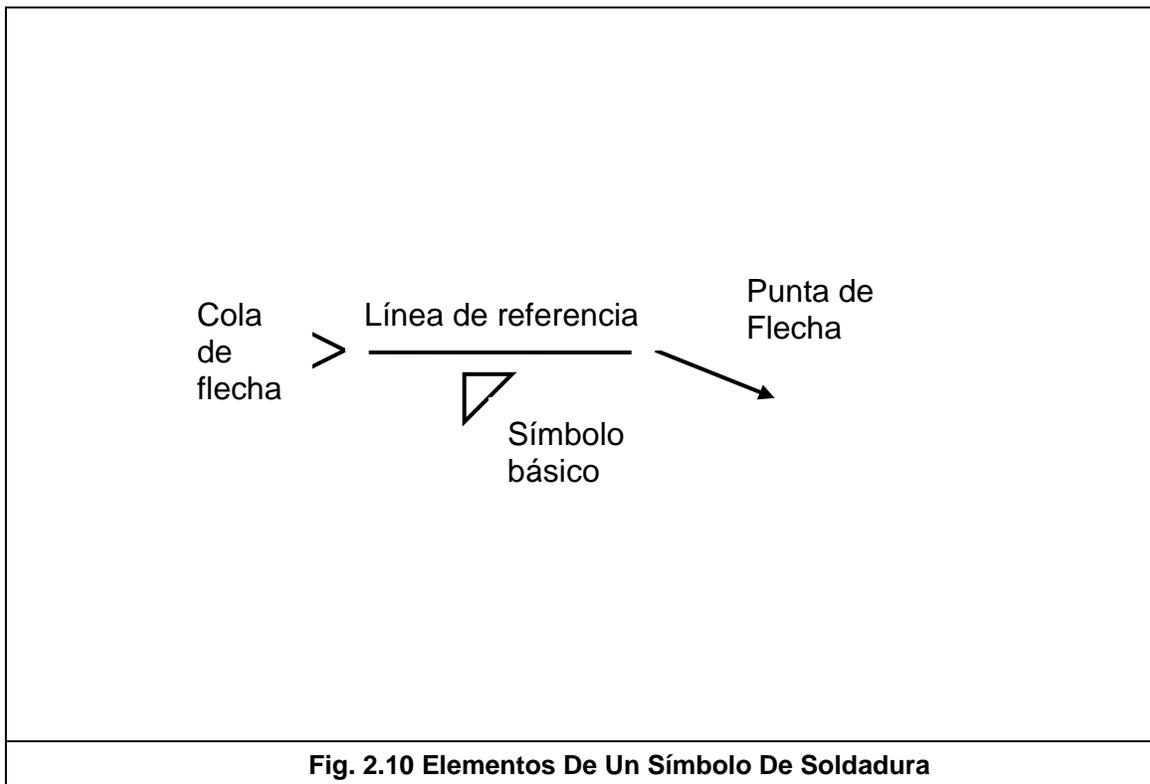


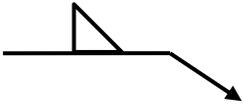
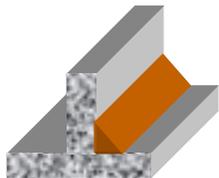
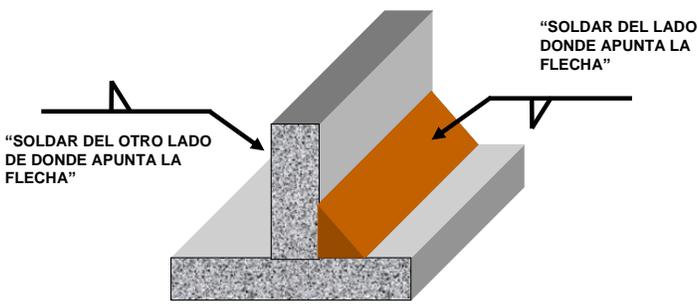
Fig. 2.10 Elementos De Un Símbolo De Soldadura

Línea de referencia

Como su nombre lo indica nos sirve para referir donde y como queremos que se realice la soldadura se tienen las siguientes reglas para su aplicación.

- 1.- siempre debe estar en el plano horizontal
- 2.- toda la información que se dibuje o redacte en la parte superior de la línea de referencia debe interpretarse como “del otro lado” de donde apunte la línea de la flecha.
- 3.- Toda la información que se dibuje o redacte en la parte inferior de la línea de referencia, debe interpretarse como “del mismo lado” de donde apunte la línea de la flecha.

En la figura 2.11 se muestra la aplicación de estas reglas

Soldar “del otro lado” que apunta la flecha	Soldadura que se desea	Soldar “del mismo lado” que apunta la flecha
		
 <p data-bbox="357 1491 568 1554">“SOLDAR DEL OTRO LADO DE DONDE APUNTA LA FLECHA”</p> <p data-bbox="893 1375 1055 1438">“SOLDAR DEL LADO DONDE APUNTA LA FLECHA”</p>		
<p data-bbox="503 1785 1031 1816">Fig. 2.11 empleo de la línea de referencia.</p>		

Flecha

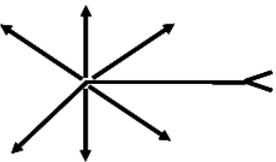
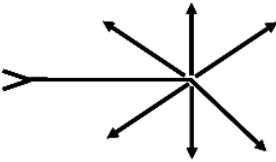
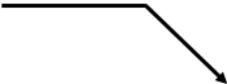
La finalidad de este elemento es indicar el lugar donde se debe realizar la unión soldada. Para su empleo tenemos las siguientes reglas básicas:

1.- puede tener cualquier inclinación, pero nunca debe estar en el plano vertical ya que puede confundirse con la línea de referencia.

2.- cuando esta formada por una línea recta, se debe interpretar que no tiene mayor importancia cual de los elementos a unir deban ser rasurados.

3.- cuando la línea presente una inflexión o “quiebre” indicará que el elemento señalado por el extremo es el que debe ser ranurado o preparado, o bien el lado desde el cual debe efectuarse el trabajo o la inspección.

La aplicación de estas reglas se muestra en la figura siguiente.

La flecha puede apuntar en cualquier dirección	
	
La flecha puede ser una línea recta	La flecha puede ser una línea “quebrada”
	
Fig. 2.12 empleo del extremo o flecha.	

Los símbolos básicos sirven para representar el tipo de unión o de soldadura que desea efectuarse, los mas comunes son los que se refieren a la forma de la ranura de unión, su forma es lógica y fácil de recordar, adicionalmente están los referentes a soldaduras de recubrimiento, los de costura y de relleno. Una regla básica es que la línea perpendicular siempre debe quedar del lado izquierdo, sin importar la orientación de la línea de referencia. A continuación se presentan los símbolos mas comúnmente empleados.

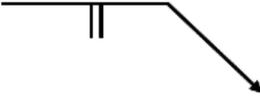
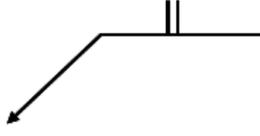
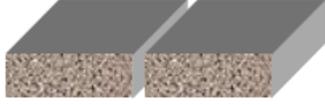
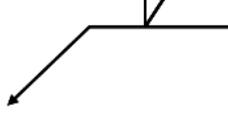
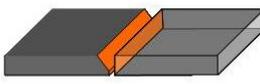
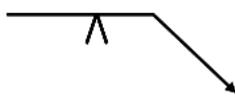
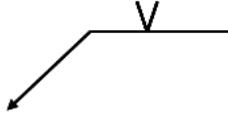
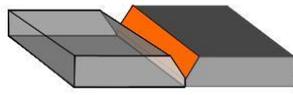
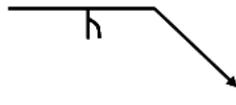
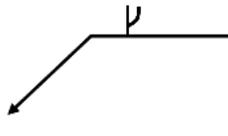
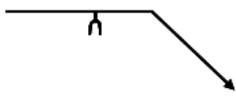
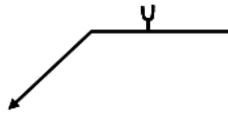
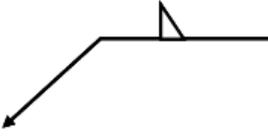
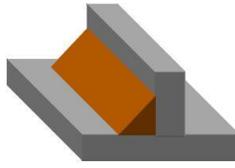
Soldar del mismo lado que apunta la flecha	Tipo de unión	Soldar del otro lado del que apunta la flecha
	Ranura a escuadra	
		
	Ranura en bisel sencillo	
		
	Ranura en V	
		
	Ranura en J	
		
	Ranura en U	
		
	Filete	
		

Fig. 2.13 Símbolos y ranuras mas frecuentes en soldadura.

Símbolos Complementarios

Los símbolos complementarios se emplean para dar mas información sobre el tipo de unión soldada que se desea y son dibujados junto con un símbolo básico, ejemplos de los símbolos complementarios se muestran en la figura 2.14

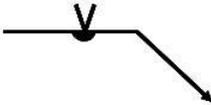
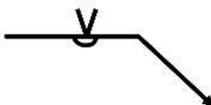
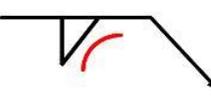
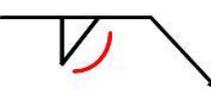
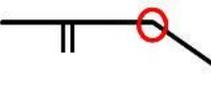
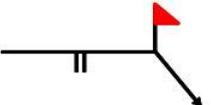
Símbolo complementario	Interpretación
	Soldadura con penetración completa
	Soldadura con respaldo (limpieza de raíz)
	Acabado o contorno cóncavo
	Acabado o contorno convexo
	Acabado o contorno plano
	Soldadura en todo alrededor (perimetral)
	Soldadura a efectuarse en campo (in situ)

Fig. 2.14 símbolos complementarios mas frecuentes

Símbolo de penetración completa

El símbolo de penetración completa debe emplearse únicamente donde se requiera cien por ciento de penetración en las juntas o en los miembros y un refuerzo en la raíz de la soldadura, en soldaduras hechas por un solo lado.

Este símbolo debe colocarse en el lado de la línea de referencia opuesta al del símbolo de soldadura. Las dimensiones de la penetración completa no necesitan indicarse sobre el símbolo de soldar y si se desea especificar la altura del refuerzo, esta debe indicarse en el dibujo, a la izquierda del símbolo de penetración completa.

Símbolo de respaldo o de limpieza de raíz.

Este símbolo también se dibuja en la línea de referencia del lado opuesto al símbolo básico, e indica que la raíz debe de removerse y volverse a aplicar soldadura desde el lado de la raíz.

Símbolos de contorno y de acabado superficial

En las soldaduras en las que se requiere especificar la forma de realizar el acabado, puede especificarse con los símbolos de contorno y el método de acabado correspondiente.

A continuación se indican las siglas de acabado, que se refieren al método empleado, no al grado del acabado.

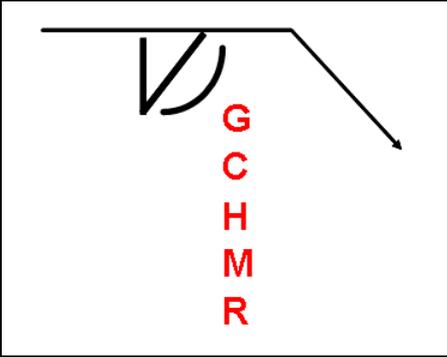
	sigla	Proceso a emplear	término en inglés
	C	Desbaste	Chipping
	G	Esmerilado	Grinding
	M	Maquinado	Machining
	R	Laminado	Rolling
H	Martillado	Hammering	

Fig. 2.15 siglas del método de acabado

Símbolo de soldadura perimetral o de “todo alrededor”

Se emplea para indicar que la soldadura es a todo el perímetro de uno de los miembros que se están soldando. Este símbolo siempre es un círculo y se dibuja en la unión de la flecha y la línea de referencia.

Símbolo de soldadura en campo.

Se emplea para indicar que una unión soldada en particular debe de ser ejecutada en el lugar de erección o terminación, este símbolo siempre se coloca en la unión entre la flecha y la línea de referencia.

Línea de referencia múltiple

Para indicar la secuencia de operaciones se utilizan dos o más líneas de referencia. La primera operación se indica en la línea de referencia más cercana a la flecha, y las siguientes se especifican en las líneas de referencia subsecuentes.

Símbolo	Soldadura deseada	Símbolo
<p>Primera operación: soldadura de ranura.</p> <p>Segunda operación: Soldadura de filete con acabado convexo.</p>		<p>Primera operación: soldadura de ranura.</p> <p>Segunda operación: Soldadura de filete con acabado convexo.</p>
<p>Fig. 2.16 empleo de la línea de referencia múltiple.</p>		

Están establecidas otras disposiciones sobre el uso de los símbolos tales como los usos de flechas múltiples, cambios de dirección de soldadura, combinación de varios tipos de soldadura en un solo símbolo de soldar y la combinación de estos son las siglas de los ensayos no destructivos.

Acotación de dimensiones

En algunas ocasiones es necesario establecer las dimensiones mínimas o máximas de una unión soldada, esto es posible siguiendo las reglas básicas de acotamiento. Un punto importante de destacar es que se debe especificar desde el principio el sistema de unidades a emplear, la norma americana esta referida principalmente a dimensiones en sistema inglés, en nuestros ejemplos usaremos el sistema internacional y en ocasiones, el inglés para familiarizar al lector en la forma de emplear los acotamientos . A continuación veremos los casos mas frecuentes de la aplicación de estas reglas.

Acotación de soldaduras de filete

Las dimensiones de las soldaduras de filete se indican en el mismo lado de que el símbolo de soldadura

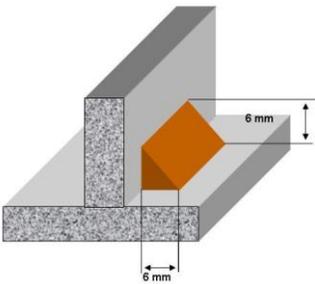
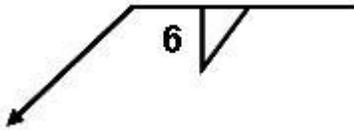
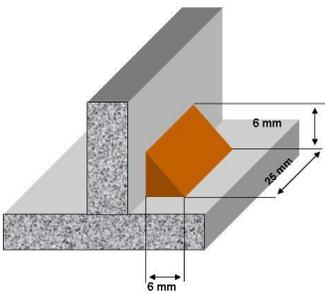
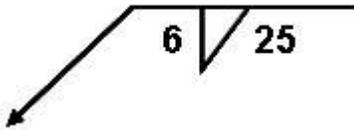
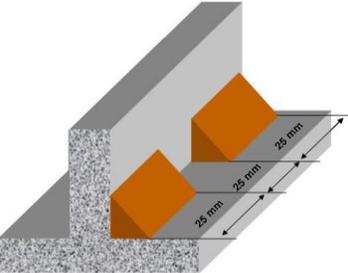
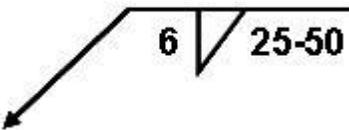
El tamaño de las piernas del filete se indica siempre del lado izquierdo del símbolo.

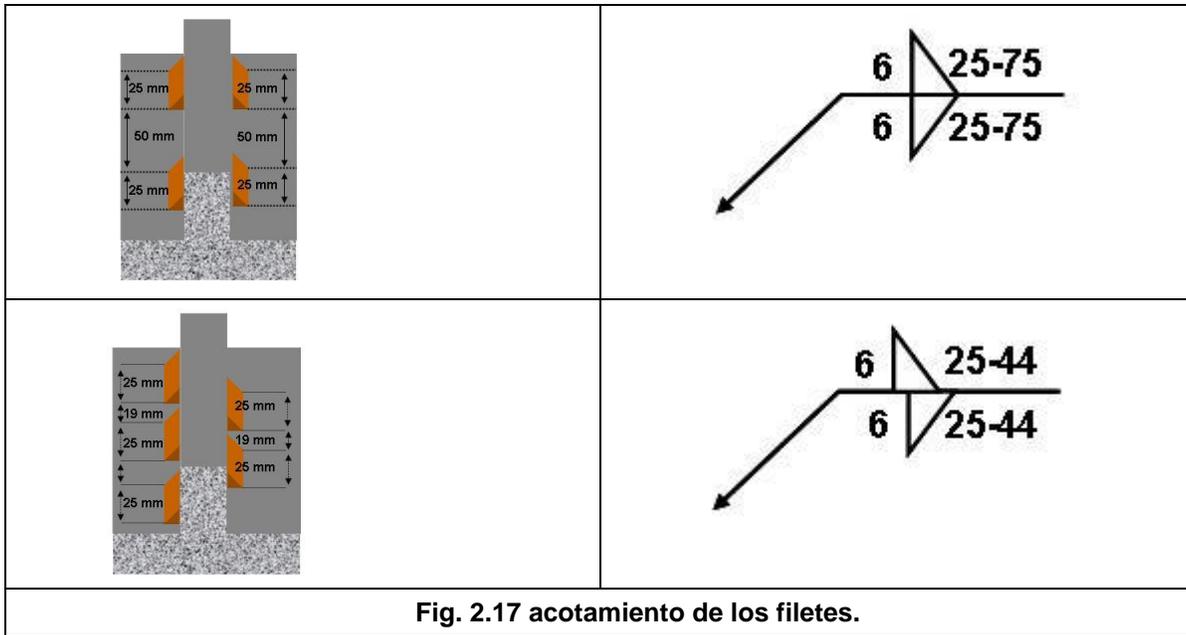
La longitud de la soldadura de filete se indica siempre del lado derecho del símbolo.

Cuando se requiere soldadura de filete intermitentes, se indica la separación de los cordones con medidas de centro a centro de los cordones de soldadura. La separación se indica del lado derecho e inmediatamente después de la longitud del cordón.

Cuando se requieren soldaduras de filete por ambos lados de la junta, los símbolos de filete a ambos lados deben tener especificadas sus dimensiones.

Las soldaduras de filete intermitente pueden estar por un solo lado de la junta o en ambos lados. Si están en ambos lados, las soldaduras intermitentes pueden ser en cadena (si coinciden los centros de los incrementos en ambos lados de la junta) o alternados.

Unión deseada	Símbolo de soldadura
	
	
	



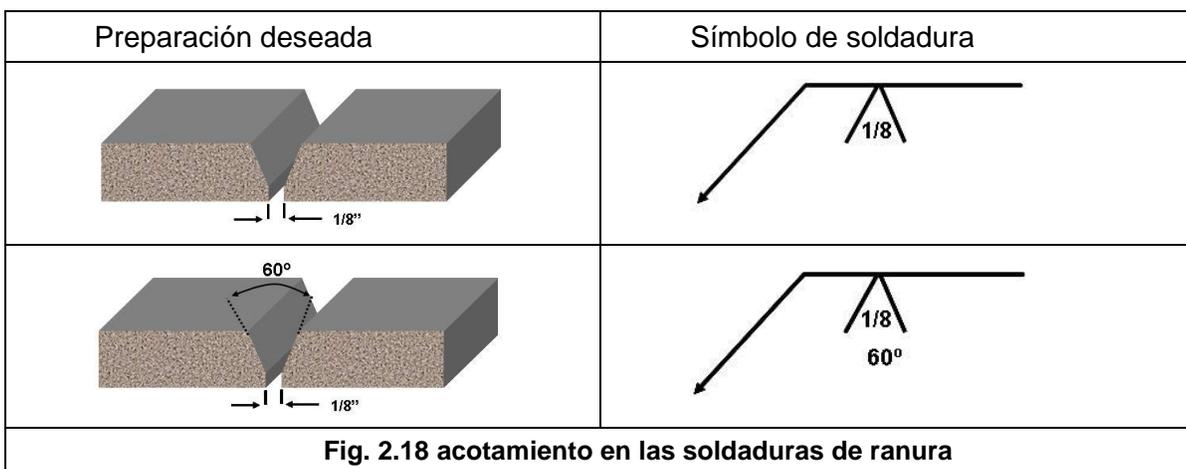
Acotación de soldaduras de ranura.

Al igual que las soldaduras de filete, las de ranura pueden ser acotadas siguiendo reglas similares a las de filete.

Cuando se requiere indicar la separación de raíz, se indica siempre dentro del símbolo de la ranura.

Para indicar el ángulo del bisel o el ángulo total de la ranura, el valor se escribe afuera del símbolo de la ranura.

Existen otras dimensiones que se pueden indicar en el símbolo de soldadura como es la profundidad a la que se debe preparar una ranura, la profundidad de la garganta efectiva, sin embargo estos datos puede ser mejor indicarlos en un dibujo de detalle.



Existen aún mas reglas sobre el acotamiento de de las soldaduras empleando los símbolos, pero en ocasiones hacer un símbolo con mucha información resumida puede hacerse difícil de leer por el soldador o el personal técnico así que es conveniente balancear en los planos la información simbólica y la de detalle para facilitar la comprensión.

simbolos de ensayos no destructivos

El símbolo de soldadura también puede ser empleado para indicar los ensayos no destructivos que se deben realizar a una unión soldada. Las reglas de aplicación son similares a las ya indicadas.

Las siglas de los ensayos no destructivos se pueden combinar con los símbolos básicos o auxiliares de soldadura.

Las siglas por debajo de la línea de referencia indican que la inspección se debe realizar del mismo lado que apunta la flecha

Las siglas por arriba de la línea de referencia indican que la inspección se debe realizar por el otro lado que indica la flecha.

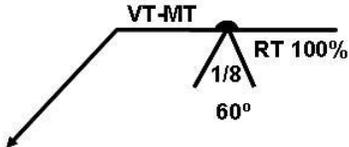
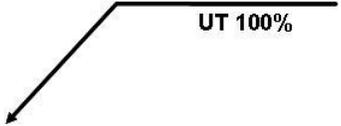
Las siglas en la línea de referencia indican que es indiferente el lado desde el cual se haga la inspección.

La flecha quebrada indica el elemento que se debe inspeccionar.

La extensión de la inspección se indica del lado derecho de las siglas (indicar cual es el sistema de medida).

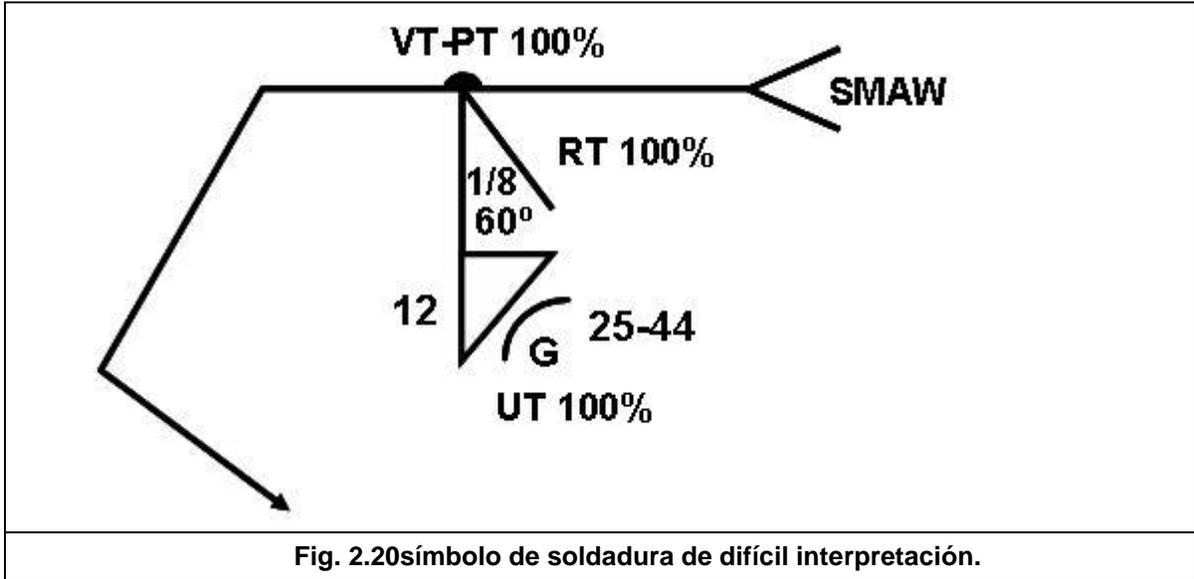
El número de pruebas o inspecciones se indica por arriba de las siglas y entre paréntesis.

Ensayo no destructivo	Siglas
Visual	VT
Líquidos penetrantes	PT
Partículas magnéticas	MT
Ultrasonido	UT
Radiografía	RT
Electromagnético (Eddy)	ET
Emisión acústica	AET
Hermeticidad (Leak testing)	LT
Radiografía neutrónica	NRT
Termografía.	TIR
Comprobación (Proof)	PRT

Operación Deseada	Símbolo
Inspeccionar la raíz de la unión soldada empleando visual y líquidos penetrantes y radiografiar al 100% desde el lado de la corona.	
Inspeccionar del lado que apunta la flecha con ultrasonido el 100% de la unión soldada.	
Inspeccionar 200 mm. del lado que apunta la flecha con líquidos penetrantes	
Inspeccionar al 100% con radiografía dos muestras (o puntos de muestreo).	
Fig. 2.19 empleo de las siglas de ensayos no destructivos	

Como se puede concluir, el dibujar o el interpretar un símbolo de soldadura no es difícil, pero requiere de práctica y de interpretación continua.

Como una recomendación final podemos decir que es conveniente mantener el símbolo de soldadura lo mas sencillo posible para facilitar su interpretación y manejo, por otra parte, el símbolo sirve para abreviar y concentrar la información pero en ningún momento sustituye la información técnica y de detalle que debe tener todo dibujo técnico preparado adecuadamente.



TEMA III

LA SOLDADURA Y SU APLICACIÓN EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES.

La soldadura en general, como proceso de fabricación implica la fusión de un material metálico y su posterior solidificación, estos cambios de estado se desarrollan en un lapso muy breve lo que implica transformaciones metalúrgicas y cambios dimensionales que afectan las propiedades físicas, mecánicas, químicas y dimensionales de los materiales en la zona en que se ha realizado la unión soldada.

La ingeniería de soldadura, que debe ser desarrollada antes de iniciar los procesos de producción, deben contemplar el efecto de las variables y establecer límites operativos que permitan obtener una unión sana y capaz de responder a las demandas extremas del servicio al que será sometida durante su vida útil.

En este tema se presenta una descripción breve y simplificada de los conceptos y fenómenos metalúrgicos que intervienen durante la soldadura de un material metálico. Por lo extenso del tema nos concentraremos principalmente en los materiales ferrosos, pero mencionaremos algunos que son esenciales para otras aleaciones metálicas.

La metalurgia de la soldadura implica una combinación de las diferentes ramas de la especialidad, ya que intervienen conceptos de la física del estado sólido, la termodinámica y la fisicoquímica y esto aunado a un estado del arte propio del proceso.

Es muy recomendable que dependiendo de la rama de especialización, el inspector profundice sus conocimientos sobre los materiales específicos que tiene que inspeccionar para poder comprender mejor las causas de los posibles problemas o defectos y como corregirlos durante los procesos de fabricación por soldadura.

La materia en general presenta tres estados de agregación: gas, líquido y sólido. La diferencia entre estos estados radica principalmente en la movilidad de los átomos, la separación entre ellos y el orden o desorden con que se encuentran dispuestos en cada uno de los casos.

En el estado gaseoso la separación entre los átomos o las moléculas es relativamente grande y existen pocas fuerzas de atracción entre ellas por lo que presentan una gran movilidad e interactúan con un desorden casi completo. Conforme se reduce la distancia entre los átomos o cambian algunas variables termodinámicas o físicas como puede ser: la masa atómica, la temperatura, la presión o la composición química se obtiene un segundo estado de agregación que es el estado líquido. A este cambio de estado se le conoce como licuefacción o condensación y es cuando un material pasa del estado gaseoso al estado líquido.

El estado líquido puede considerarse esencialmente como una estructura indeterminada, ya que no posee el orden del estado sólido ni la separación relativamente grande y movilidad de los átomos que caracteriza al estado gaseoso, en este estado de agregación existe una mayor fuerza de atracción y aumenta la interacción entre los átomos o moléculas pero siguen presentando una gran movilidad. En algunos casos hay líquidos que bajo ciertas condiciones de temperatura o composición química presentan una alta viscosidad lo que les confiere características similares a los sólidos pero no presentan un ordenamiento atómico definido

que es propio de un material sólido, a estos líquidos se les conoce como sobre enfriados y se dice que son amorfos un ejemplo de estos líquidos son el vidrio común y el asfalto.

Cuando se alcanzan ciertas condiciones termodinámicas un material líquido puede pasar al tercer estado de agregación, a este cambio se le conoce como solidificación.

La materia en el estado sólido se caracteriza porque los átomos están muy cercanos entre sí, se mantiene unidos por enlaces iónicos o covalentes para el caso de compuestos químicos, o enlaces metálicos para el caso de los metales; y lo más importante, presentan un ordenamiento característico y propio de cada elemento o compuesto químico. En el caso de los sólidos, los átomos y moléculas se acomodan en arreglos geométricos tridimensionales conocidos como estructuras cristalinas.

Estructura cristalina.

En el estado sólido, los átomos de los materiales metálicos están dispuestos de manera ordenada formando cristales, la distancia entre los átomos es más reducida (con respecto a los otros dos estados) y su movilidad es muy limitada.

Las estructuras cristalinas son diagramas tridimensionales regulares de átomos en el espacio. La regularidad de apilamiento de los átomos en los sólidos es debida a las condiciones geométricas impuestas por la direccionalidad de las uniones y la compactación del apilamiento de los átomos. Las estructuras cristalinas observadas son descritas en términos de un concepto idealizado llamado red espacial y pueden ser clasificados en función de la manera en que se apilan los átomos o moléculas.

Redes espaciales de Bravais.

Se define como red espacial, al ordenamiento tridimensional e infinito de puntos en los que cada uno de ellos tiene un entorno idéntico a los demás, a cada punto que reúne esta condición se le llama punto de la red. Cada punto de la red es ocupado por un átomo el cual es compartido con las celdas vecinas. Existen 14 posibles formas de ordenamiento y son conocidas como redes de Bravais. Las estructuras cristalinas más comúnmente encontradas en los metales son la cúbica simple, la cúbica centrada en el cuerpo, la cúbica centrada en las caras y la hexagonal compacta.

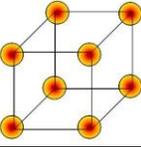
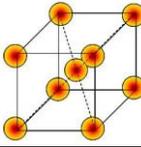
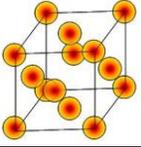
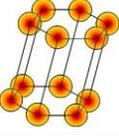
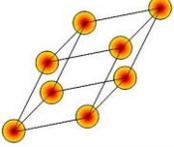
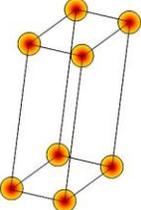
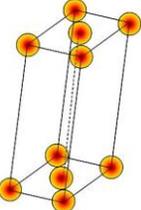
Celda unitaria	Simple	Centrado cuerpo	Centrado cara
Cúbico			
Hexagonal			
Romboédrico			
Monoclínico			

Fig. 3.1 Ejemplos De Las Redes De Bravais

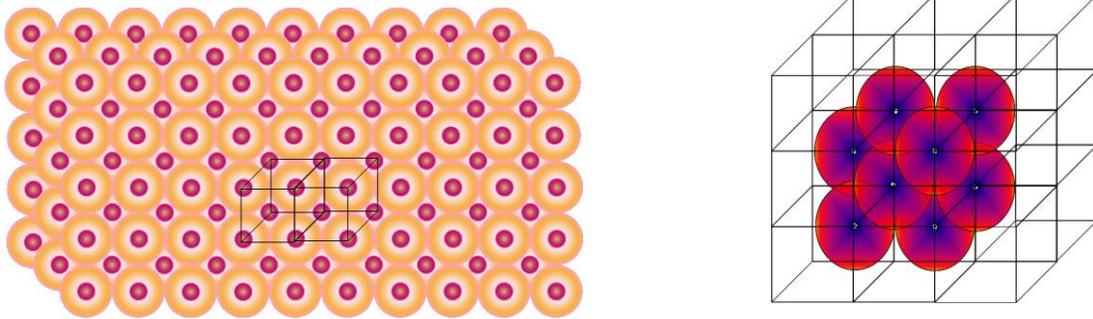


Fig. 3.2 representación de la red cristalina y de la celda unitaria.

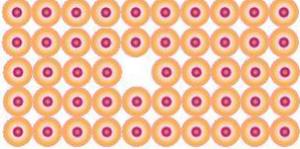
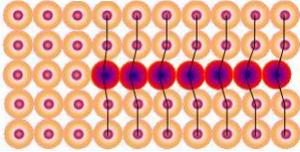
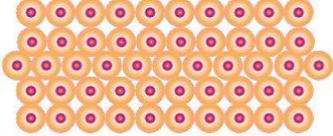
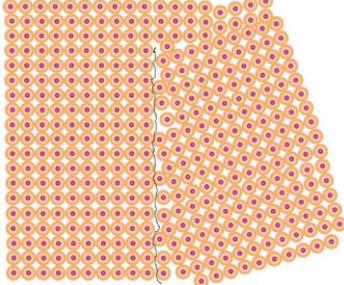
Las propiedades de los metales están determinadas en buena medida por la estructura cristalina, sin embargo, Las estructuras cristalinas perfectamente regulares antes descritas son cristales ideales, muy útiles para comprender como están dispuestos los átomos, pero los materiales metálicos en realidad están compuestos por cristales que presentan imperfecciones o discontinuidades que pueden ser:

Imperfecciones adimensionales también llamadas puntuales, en las que hay la ausencia de un átomo llamada vacancia, o la presencia de un átomo fuera de de su posición llamada intersticial, la presencia de la combinación de ambos casos llamada defecto de Frenkel.

Imperfecciones unidimensionales también conocidas como imperfecciones lineales. Estas se caracterizan por ocurrir en una región donde el acomodo de los átomos ocasiona un desajuste y la red se distorsiona por la presencia de uno o varios átomos fuera de la configuración normal de la red

Imperfecciones bidimensionales o superficiales. También conocidas como límites de grano que separan a los cristales de diferente orientación dentro de un agregado policristalino.

Tipo de imperfección	
----------------------	--

<p>Puntual por la Vacancia de un átomo en la red.</p>	
<p>Lineal por la presencia de una Dislocación por intersticialidad</p>	
<p>Lineal por la presencia de una Dislocación</p>	
<p>Bidimensional por la presencia de un Límite de grano</p>	
<p>Fig. 3.3 representación de algunos tipos de imperfecciones</p>	

Aleaciones

En los materiales metálicos se pueden encontrar dentro de sus redes cristalinas átomos de otros elementos que son impurezas, en ocasiones estos elementos son agregados intencionalmente para darle propiedades específicas a los metales, a estos elementos se les conoce como aleantes.

El empleo de metales casi puros es poco frecuente en la industria y solo se emplean para aplicaciones específicas como por ejemplo el aluminio con pureza del 99.99+% con el que se fabrican los envases de las bebidas enlatadas, el cobre de alta pureza 99.99+ %, para aplicaciones en la electrónica, la plata 99.975 para las navajas de los interruptores en contactos eléctricos de alta energía o para acuñar monedas.

Los metales puros tienen pocas aplicaciones en la ingeniería mecánica ya que sus propiedades mecánicas generalmente no son adecuadas.

Los materiales metálicos de uso comercial no son metales puros, sino con mezclas de metales y elementos no metálicos. Estas mezclas reciben el nombre de aleaciones. Los elementos de aleación presentes en un metal ocasionan imperfecciones (discontinuidades) en la estructura cristalina que pueden mejorar o disminuir sus propiedades mecánicas.

En la práctica existen dos tipos de aleantes que son:

Aleantes de proceso. Son aquellos que provienen del proceso de fabricación y que no pueden eliminarse fácilmente ya que provienen de los minerales o “menas” o del proceso de fabricación, tal es el caso en los aceros del Azufre, el Fósforo y el Carbono.

Aleantes de adición. Son aquellos que intencionalmente se adicionan al metal para obtener ciertas propiedades o características, tal es el caso del Manganeso, el Cromo o el Níquel por citar los mas frecuentemente empleados en los aceros.

En términos generales, Los materiales metálicos que empleamos son aleaciones, es decir, son una solución al estado sólido en que existe de un metal base o matriz que esta presente en mayor proporción y en el que se encuentran disueltos o mezclados otros elementos que pueden ser metálicos, no metálicos o compuestos químicos como el óxido de silicio, o el sulfuro de manganeso en el caso de los aceros. La presencia de estos elementos y compuestos influyen en las propiedades físicas, químicas y mecánicas como son la dureza o la resistencia a la corrosión del metal principal.

Los aleantes pueden acomodarse en al menos dos formas esenciales en la red cristalina.

Aleante intersticial. Se dice que son aleantes intersticiales cuando el radio atómico del aleante es mucho menor al de los átomos del metal de la matriz, en este caso el aleante se acomodará en los espacios que hay entre los átomos de la matriz. Ejemplos de este tipo de aleantes son el Carbono, el Boro y el Azufre en los aceros.

Aleante sustitucional. Los aleantes sustitucionales son aquellos que su radio atómico es similar al de los átomos del metal de la matriz, en este caso el átomo del aleante desplaza un átomo de la matriz y ocupa su lugar en el arreglo cristalino. El Manganeso, el Molibdeno, el Cromo y el Níquel son ejemplos de este tipo de aleantes en los aceros.



Fig. 3.4 tipos de aleantes

Tratamientos térmicos del acero

Como se mencionó anteriormente, la diversidad de las propiedades mecánicas que tienen los aceros se debe a que sus pueden ser modificadas por dos caminos, el primero es por la adición de elementos de aleación y el segundo es mediante la aplicación de ciclos térmicos que provocan cambios de fase. Los tratamientos térmicos empleados en la industria permite mejorar propiedades mecánicas o bien, eliminar ciertas propiedades o estructuras que pueden ser perjudiciales para el servicio al que va a ser sometido el material.

Tratamientos térmicos

Los tratamientos térmicos son combinaciones de operaciones de calentamiento y enfriamiento a velocidades y tiempos controlados, que se aplican a un metal o aleación en estado sólido.

Los tratamientos térmicos de los aceros involucran la transformación de la una fase metaestable a otra de equilibrio o de mayor estabilidad.

El proceso de tratamiento térmico se inicia desde el mismo instante que se inicia la solidificación del metal, esta siempre se inicia desde el exterior y hacia el centro de la pieza, la primera parte de la solidificación en las paredes del molde produce un grano relativamente fino y de forma azarosa, pero posteriormente al avanzar la solidificación del material se inicia la formación de cristales grandes y en forma dendrítica y columnar que crecen de la orilla hacia el centro de la pieza, en este proceso ocurre lentamente y crea un patrón de segregación dentro de cada grano, por lo que la micro-estructura resultante consiste en dendritas finas en una red rica en soluto. Este tipo de estructura tiene propiedades mecánicas pobres, para eliminarla es necesario refinarla por dos mecanismos, el primero es el de deformación mecánica (laminado, forjado) y la subsecuente recristalización en caliente, posteriormente el material recibe un tratamiento térmico para modificar la estructura, reducir los gradientes de composición y obtener un tamaño de cristales relativamente pequeños y con mejores propiedades mecánicas.

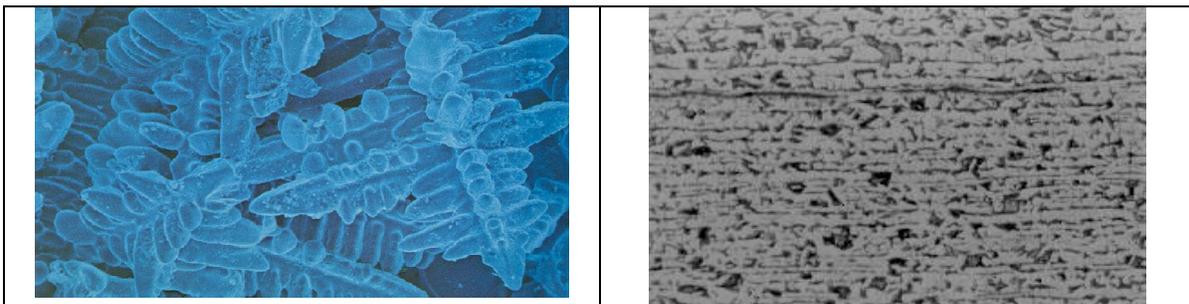


Fig. 3.5 Estructura dendrítica y laminada de un acero al carbono.

Todos los tratamientos térmicos presentan tres etapas que son:

Etapa de calentamiento en la que a una velocidad controlada se aumenta la temperatura de la pieza hasta el valor deseado.

Etapa de residencia en la que la pieza permanece a la temperatura.

Etapa de enfriamiento en la que se reduce la temperatura de la pieza a una velocidad controlada hasta alcanzar una temperatura inferior a los 723° C.

Estas etapas las representamos en una gráfica de tiempo- temperatura.

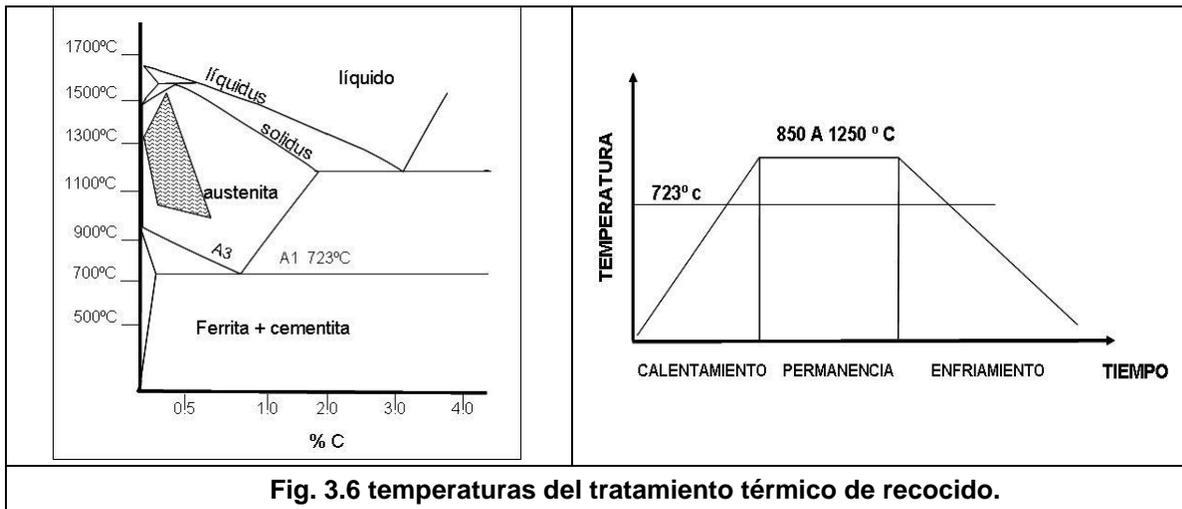


Fig. 3.6 temperaturas del tratamiento térmico de recocido.

Tratamiento térmico posterior a la soldadura.

El tratamiento térmico posterior a la soldadura o tratamiento de alivio de tensiones consiste en calentar a la unión soldada y su zona afectada térmicamente, a una temperatura suficiente para modificar la posible presencia de estructuras metalúrgicas indeseables como las del temple y convertirlas a ferrita y perlita o bainita, al mismo tiempo reducir la mayor parte de los esfuerzos residuales provocados por la contracción y expansión del metal. Las uniones soldadas son mantenidas a la temperatura de tratamiento durante el tiempo especificado, y después se les enfría uniformemente.

Este es el tratamiento térmico más usado en las partes soldadas, y la temperatura para la mayor parte de los aceros al carbono y de baja aleación oscila entre 550 y 680° C.

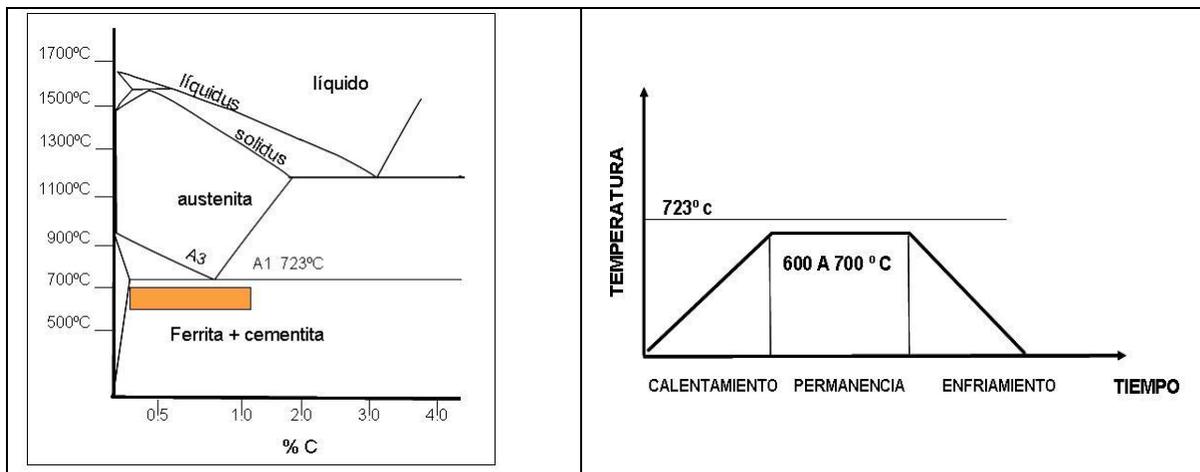


Fig. 3.7 temperaturas del tratamiento térmico posterior a la soldadura

Endurecimiento por precipitación (envejecimiento)

Este mecanismo es aplicable a algunos aceros y aleaciones no ferrosas constituidas por dos fases. Consiste en calentar la aleación a la temperatura adecuada para disolver una fase en la otra y enfriarla rápidamente, de manera que la fase disuelta no tenga tiempo de transformarse y la aleación resultante consista en una sola fase homogénea relativamente suave. Después se procede a volver a calentar la aleación a temperaturas específicas y la fase disuelta forma un precipitado fino dentro de los granos de la otra fase, que resulta significativamente más resistente. Las propiedades mecánicas de las aleaciones envejecidas dependen de la temperatura y el tiempo del envejecimiento, pero tratamientos a temperaturas excesivas o tiempos excesivos a las temperaturas de envejecido no permiten el desarrollo de la resistencia y la dureza máximas posibles.

Metalurgia de la soldadura

En las operaciones de soldadura por fusión, con o sin metal de aporte, las partes soldadas son sometidas a un ciclo térmico que podemos resumir de la siguiente forma.

1. El arco eléctrico provoca un calentamiento localizado muy rápido del metal.
2. La temperatura ocasiona la fusión del metal de base y del metal de aporte.
3. En la zona conocida como cráter el metal fundido se mezcla, se produce una desoxidación y se forma la nueva aleación en este proceso ocurren fenómenos metalúrgicos tales como la fusión, reacciones de oxidoreducción en el metal líquido, reacciones de fases líquidas no metálicas con el metal fundido, interacciones de fases líquidas y sólidas, solidificación, segregación y reacciones en el estado sólido.
4. La unión soldada se enfría rápidamente y durante este proceso el metal de base presenta un gradiente de temperatura que provoca diferentes grados de transformación metalúrgica.

Las características del ciclo térmico de soldadura y los fenómenos que ocurren durante ésta influyen en la microestructura, las propiedades mecánicas y la sanidad de las uniones soldadas.

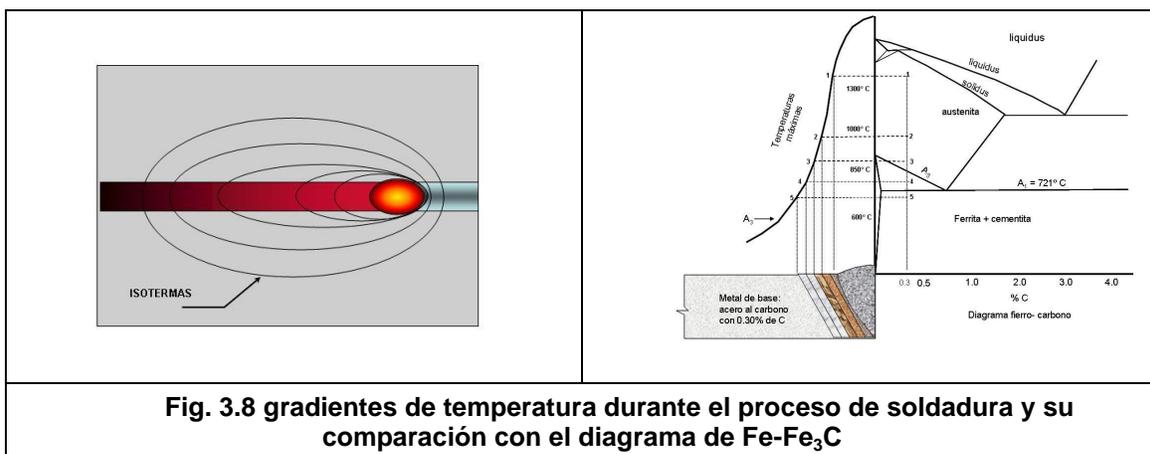


Fig. 3.8 gradientes de temperatura durante el proceso de soldadura y su comparación con el diagrama de Fe-Fe₃C

Ciclo térmico de las uniones soldadas

Al efectuarse las operaciones de soldadura, las juntas experimentan un ciclo de calentamiento y enfriamiento en el que sus diferentes partes se ven sometidas a un amplio rango de temperaturas, que oscila desde temperaturas superiores a las de fusión, hasta prácticamente la temperatura ambiente en el metal base, pasando por el intervalo de las temperaturas de transformación al estado sólido.

La porción del metal base que no se funde durante la soldadura, pero que es calentada a temperaturas en las que se alteran la microestructura original del metal de base y las propiedades mecánicas, es llamada zona afectada térmicamente o HAZ por sus siglas en inglés. En esta zona, la resistencia mecánica, la ductilidad y la tenacidad dependen de la aleación del metal base y del control de las variables esenciales del proceso de soldadura empleado.

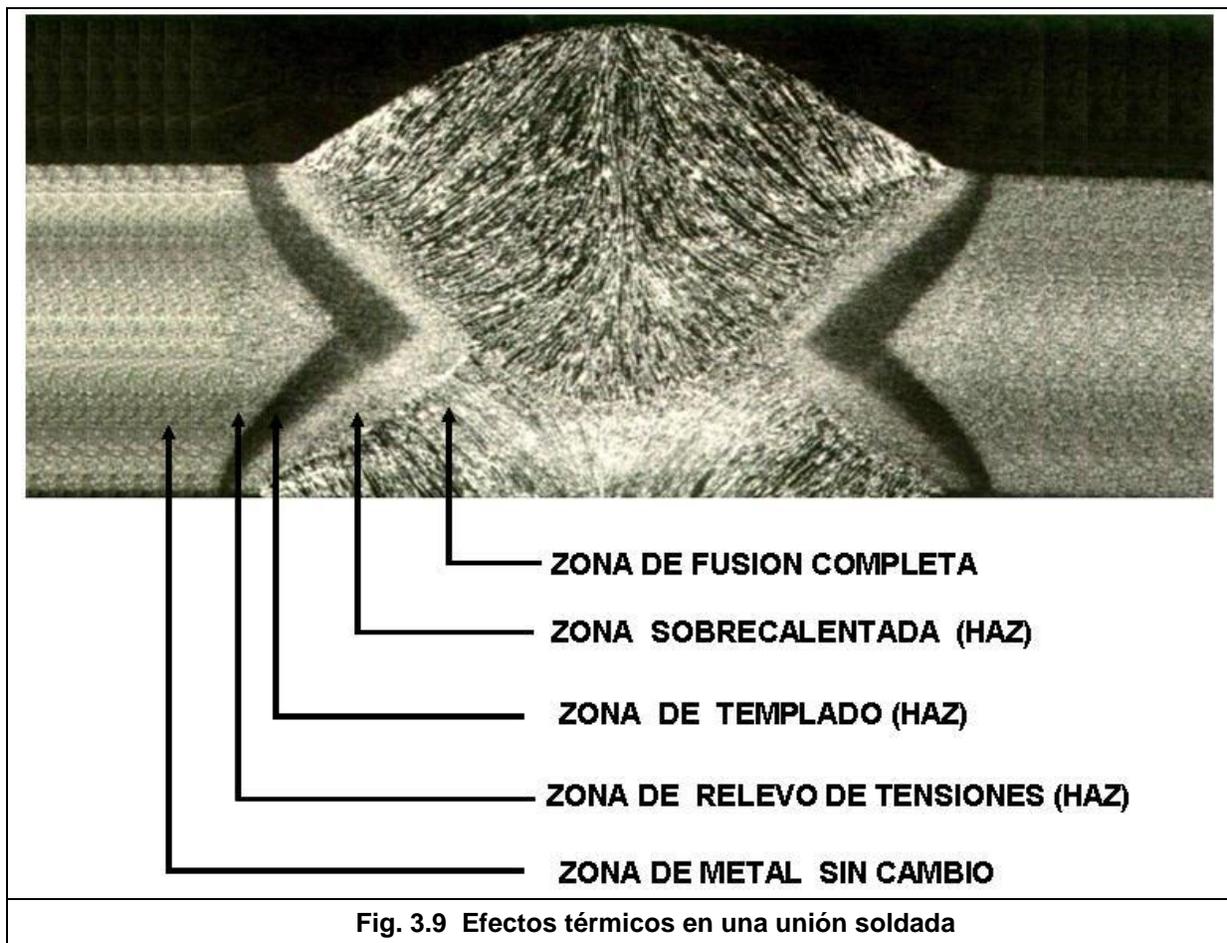


Fig. 3.9 Efectos térmicos en una unión soldada

Las aleaciones en las que la soldadura altera sus propiedades mecánicas, son aquellos cuya zona afectada térmicamente se ve sometida a ciclos similares a los de un recocido o un templado.

Desde el punto de vista del tipo del metal base, el efecto del calor de la soldadura sobre la zona afectada térmicamente puede causar diferentes efectos dependiendo de la historia previa del material soldado:

Metales endurecidos por aleación (no endurecibles o templables), normalmente presentan pocos problemas en la zona afectada térmicamente, si no sufren transformaciones en el estado sólido, el efecto del ciclo térmico es pequeño y las propiedades mecánicas de la zona afectada térmicamente presentan pocos cambios, pero existe crecimiento de grano debido a que estuvo sometida a temperaturas de recocido cerca de la línea de fusión esto no afecta significativamente las propiedades mecánicas si la zona de grano grueso consta de una franja angosta. Ejemplos de este tipo de materiales son las aleaciones de aluminio, las de cobre, los aceros de bajo carbono laminados en caliente y los aceros inoxidables austeníticos y ferríticos.

Cambios dimensionales

Los cambios de temperatura que ocurren durante la soldadura son rápidos, localizados y heterogéneos. Las diferentes partes de las juntas soldadas se calientan y enfrían a temperaturas y velocidades diferentes, y cada región se expande y contrae a su propia velocidad, debido a esta falta de uniformidad en la expansión y contracción, se generan esfuerzos residuales en las juntas. Estos esfuerzos pueden ser lo suficientemente severos para producir deformaciones y fracturas en el metal de soldadura y en la zona afectada térmicamente. Los metales, al soldarse, sufren cambios dimensionales

Expansión térmica

Casi todos los metales se expanden al calentarse. La expansión volumétrica se describe comúnmente en términos lineales, mismos que resultan más fáciles de expresar y son más convenientes para fines de medición. La cantidad de expansión (L) puede calcularse con las siguientes ecuaciones:

$$\Delta L = L_0 \alpha \Delta T$$

o
$$L_f = L_0 (1 + \alpha \Delta T)$$

Donde:

ΔL = Cambio de longitud (cm)

α = Coeficiente de expansión térmica (cm/cm/°C)

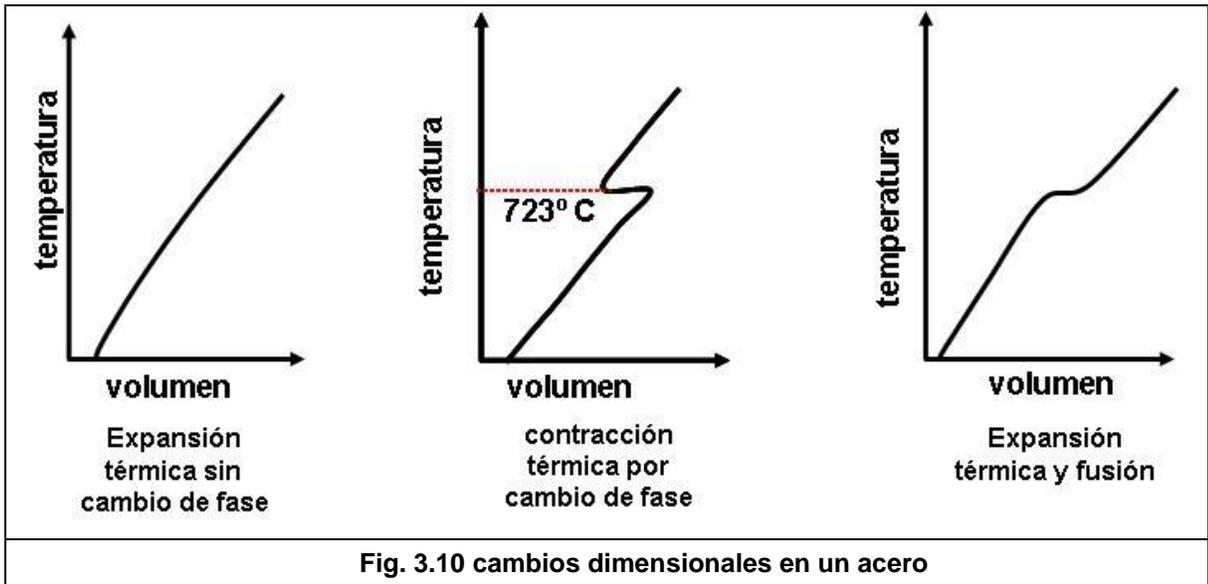
ΔT = Incremento de temperatura

L_f = Longitud final (cm)

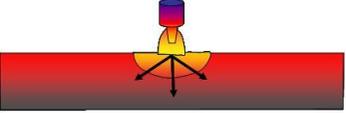
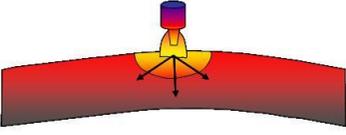
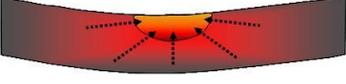
L_0 = Longitud inicial (cm)

Estas ecuaciones son válidas sólo dentro de un límite de temperaturas y mientras no haya cambios de fase o de estado.

El grado con que ocurren la expansión y la contracción es una función de la temperatura y se expresa por medio del coeficiente de expansión térmica (α).



Durante el cambio del estado sólido al estado líquido se origina un aumento del volumen, por el contrario durante la solidificación existe una reducción del volumen por una disminución de las distancias entre los átomos.

<p>El material antes de ser soldado presenta sus dimensiones normales y en este caso las caras son paralelas entre sí.</p>	
<p>Al iniciar el calentamiento sin aplicar material de aporte, se inicia un aumento localizado de temperatura y por lo mismo de expansión térmica del metal.</p>	
<p>El metal al expandirse en un punto localizado provoca la deformación por expansión térmica.</p>	
<p>Al fundirse el metal deja de haber una deformación y el metal en estado sólido recupera parcialmente su forma original.</p>	
<p>Al solidificar el metal se provoca la contracción y por lo tanto genera esfuerzos que se transmiten al metal circundante.</p>	
<p>Finalmente con el metal totalmente solidificado los esfuerzos residuales provocados por la contracción se reflejan en una distorsión de la pieza soldada.</p>	
<p>Fig. 3.11 efecto de la expansión térmica, la deformación y los esfuerzos residuales en una soldadura</p>	

Esfuerzos residuales

Las contracciones que ocurren a lo largo de las juntas soldadas, durante la fase de enfriamiento del ciclo térmico de soldadura, mismas que se desarrollan a diferentes velocidades y varían en magnitud en cada región de las juntas, originan esfuerzos residuales en éstas. Los esfuerzos residuales son definidos como aquellos que están presentes en los materiales (incluidas las juntas soldadas) sin que estén sujetos a fuerzas externas o gradientes térmicos. Estos esfuerzos pueden ser de una magnitud suficiente para provocar, en las partes soldadas, deformación, distorsión, agrietamiento y disminución de propiedades tales como resistencia a la tensión, tenacidad y resistencia mecánica a bajas temperaturas.

Algunos factores que influyen en los esfuerzos residuales son el grado de restricción de las juntas, la diferencia de los coeficientes de expansión térmica de los metales soldados, la secuencia de soldadura, el calor total aportado y la velocidad de enfriamiento. Estos esfuerzos pueden reducirse y controlarse, en alguna medida, con el empleo de precalentamiento y control sobre el calor aportado por paso.

Los esfuerzos residuales generados en las partes soldadas pueden reducirse o eliminarse mediante el empleo del tratamiento térmico posterior a la soldadura conocido como alivio o relevado de esfuerzos que, en algunos casos es obligatorio por requisitos de contrato o de las normas aplicables,.

Transformaciones del acero durante la soldadura

La zona afectada térmicamente debido a que ha sido sometida a diferentes temperaturas durante la soldadura, presenta regiones con diferentes estructuras metalúrgicas.

Tomando como referencia la figura 3.9 podemos observar que en la región 1 es la más próxima a la línea de fusión, estuvo sometida a temperaturas similares a las de un tratamiento de recocido, por lo que puede presentar un grano que creció rápidamente debido al calentamiento a temperaturas cercanas a la de fusión, este aumento en el tamaño promueve una mayor templabilidad, de manera que la fase austenita puede transformarse fácilmente en martensita durante el enfriamiento.

La región 2 también se austenitiza, pero la temperatura que alcanza no es la adecuada para producir el crecimiento de grano, por lo que su templabilidad no se incrementa significativamente, pero puede transformarse en martensita si la velocidad del enfriamiento es suficientemente rápida o si el contenido de carbono es lo suficientemente alto.

En la región 3, el primer efecto que tenemos por la temperatura es que durante la formación de la austenita, se provoca un afinamiento de grano tamaño y por la cercanía a la temperatura crítica de transformación se vuelve propensa a ser templada.

En la región 4 la transformación austenítica es incompleta, y los granos de ferrita se ven sometidos a un efecto de revenido por el calor del proceso de soldadura.

Finalmente en la región 5 no hay conversión austenítica, el metal recibe un tratamiento térmico de revenido o de relevo de tensiones lo que se reflejará en una reducción de la dureza, mayor plasticidad y una ligera disminución de la resistencia mecánica.

Si bien esto es cierto, debemos recordar que los aleantes ejercen un fuerte efecto en los cambios de fase de los aceros y que su presencia junto con el calor aportado por cada cordón sucesivo de soldadura influyen en forma directa en la velocidad de enfriamiento, por lo que determinan los productos finales de transformación y el ancho de cada región de la zona afectada térmicamente.

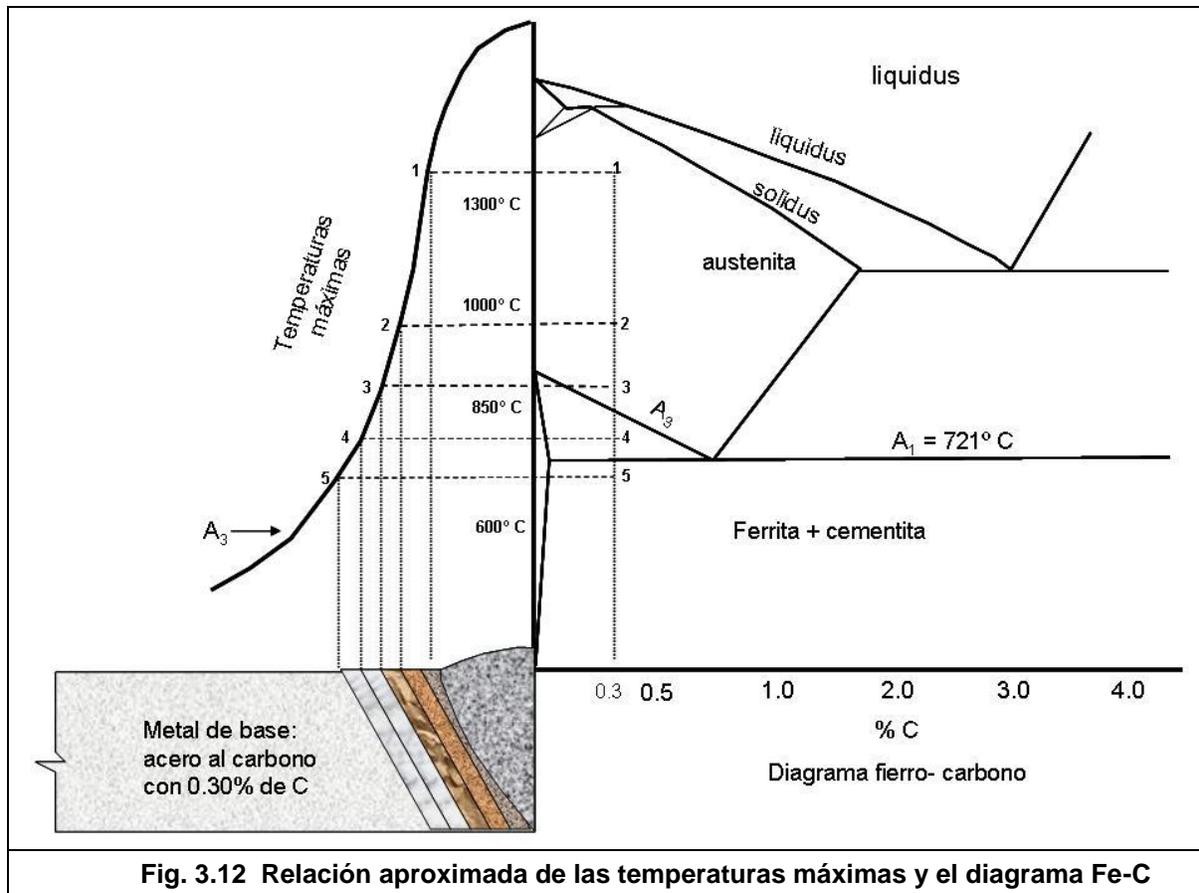
Debido a que la martensita con alto contenido de carbono es dura y frágil, puede crear problemas de alta dureza y agrietamiento en la zona afectada térmicamente. La martensita por sí sola, generalmente no provoca agrietamiento, pero si contiene hidrógeno disuelto o está sometida a esfuerzos residuales altos, es probable la ocurrencia de grietas.

La dureza de la zona afectada térmicamente generalmente es un buen indicador de la cantidad de martensita presente y de la susceptibilidad al agrietamiento: Cuando la dureza del metal es inferior a 250 HBN (Dureza Brinell) casi nunca se presenta el agrietamiento, pero este es frecuente si la dureza del metal es cercana a 450 HB y no se toman las precauciones debidas.

El diagrama Fe-C es útil para entender las transformaciones de la austenita que ocurren en la zona afectada térmicamente cuando el enfriamiento es lento y se forman fases de equilibrio; pero en el proceso de soldadura la dinámica de enfriamiento es mucho más rápida por lo que los diagramas TTT y CCT nos ayudan a comprender mejor las transformaciones fuera de equilibrio que ocurren cuando el enfriamiento es rápido.

Debemos tomar en consideración que durante la soldadura están presentes variables y condiciones que difieren de los descritos en los diagramas TTT, por lo que las fases presentes en la zona afectada térmicamente, la proporción de éstas así como las propiedades resultan diferentes de las que pudieran preverse por las siguientes razones:

En el caso de los tratamientos térmicos que describen los diagramas TTT y CCT; el acero es mantenido a la temperatura de residencia durante el tiempo suficiente para disolver los carburos y desarrollar una estructura austenítica homogénea con tamaño de grano relativamente uniforme, En el ciclo térmico de soldadura, las temperaturas máximas de austenitización varían desde aproximadamente el punto de fusión hasta la temperatura crítica inferior, y la duración de este ciclo de residencia es muy breve y puede durar únicamente fracciones de segundo.



Durante la residencia a temperaturas máximas cercanas a la temperatura de fusión, la difusión es más rápida y los átomos de los aleantes, principalmente los de carbono se dispersan uniformemente en la austenita, y el grano austenítico crece, pero a temperaturas ligeramente superiores a la temperatura crítica de transformación, existe una cinética diferente entre la conversión de ferrita y perlita en austenita y la velocidad de difusión del carbono proveniente de la cementita por lo que existirán altos gradientes de concentración de carbono en algunos granos de austenita los cuales durante el enfriamiento pueden formar fácilmente fases metaestables de martensita o de bainitas de grano fino.

Las estructuras obtenidas en una unión soldada pueden asemejarse mas a las obtenidas durante una prueba de Jominy que a la obtenida en un diagrama TTT.

Para obtener las microestructuras y propiedades deseadas en las juntas soldadas, es necesario controlar la velocidad de enfriamiento durante el ciclo térmico de soldadura.

Existen varios factores que influyen sobre la velocidad de enfriamiento y algunos métodos para controlarla.

Soldabilidad y carbono equivalente

La soldabilidad es la facilidad con la que se puede efectuar la unión soldada sin producir propiedades mecánicas indeseables como son la dureza que esta relacionada con la fragilidad y la pérdida de ductilidad y tenacidad en un acero.

La soldabilidad es definida por la AWS de la siguiente manera: La capacidad de un material para ser soldado bajo las condiciones de fabricación impuestas, dentro de una estructura específica adecuadamente diseñada, y que cumpla satisfactoriamente en el servicio al que se destina.

De acuerdo con esta definición, la soldabilidad de un material debe juzgarse independientemente de los factores de diseño, y se da por cierto que se cumplen las siguientes condiciones:

- El material a soldarse es adecuado para la aplicación a la que se va a someter.
- El diseño de la unión es adecuado para la aplicación prevista.

En términos más sencillos, soldabilidad es la propiedad de un material de ser soldado de manera que la unión resultante posea las mismas propiedades del metal base. Esta definición hace referencia a condiciones ideales, pero ilustra algunos aspectos clave de la soldabilidad. Las uniones de piezas metálicas correspondientes a la misma especificación y clase, suelen presentar variaciones en sus propiedades, y la unión soldada que incluye a el metal de soldadura depositado; a la zona afectada térmicamente y el metal base adyacente pueden presentar estructuras y propiedades diferentes.

Los aceros no tienen únicamente al carbono como aleante, si bien este es el elemento de aleación que más afecta las propiedades de los aceros, incluida la soldabilidad, en los aceros existen otros elementos de aleación que también modifican las propiedades mecánicas y metalúrgicas; En la práctica, es aceptable obtener juntas soldadas con propiedades y estructura razonablemente uniformes, siempre y cuando cumplan con los requisitos especificados. Esto se consigue mediante la selección adecuada de metales de aporte y el empleo de los procesos y procedimientos de soldadura apropiados para cada aplicación.

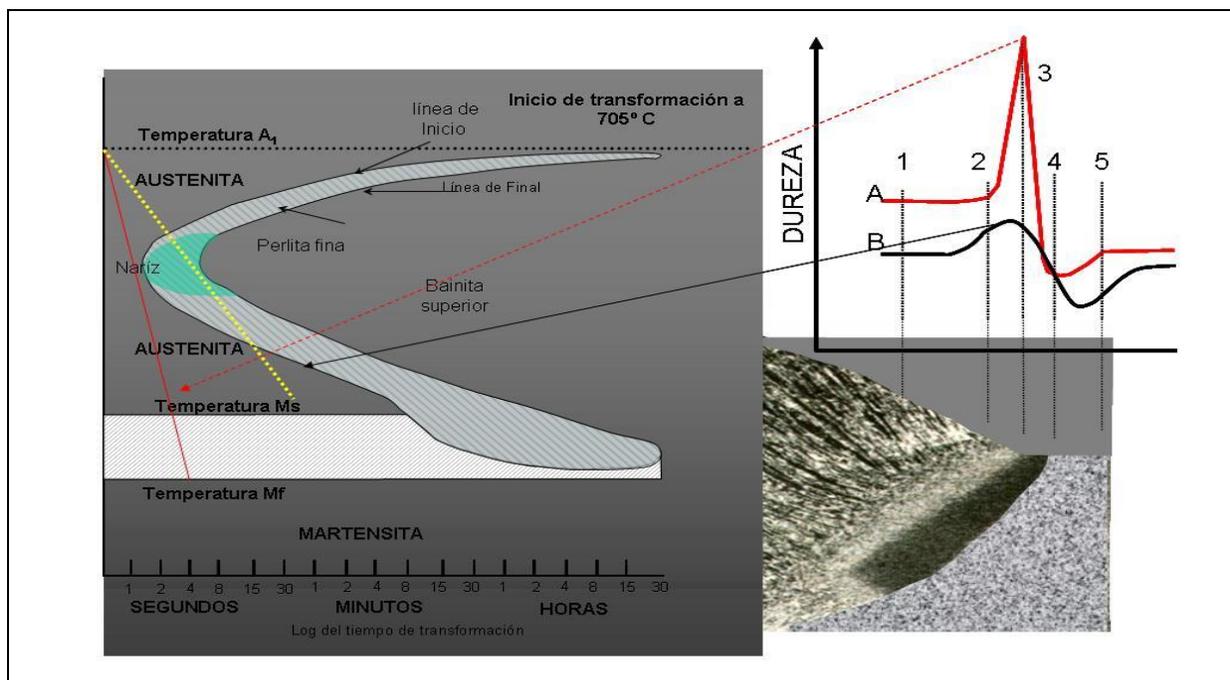


Fig 3.13 relación del ciclo térmico en una unión soldada y el diagrama TTT

Curva A ciclo térmico sin precalentamiento.

Curva B ciclo térmico con precalentamiento.

La templabilidad en los aceros es la tendencia a la formación de martensita, es el efecto de mayor interés. Desde el punto de vista de la soldadura. Como se consideró anteriormente, a mayor contenido de carbono corresponde una mayor templabilidad y dureza, pero también menor soldabilidad.

Los elementos de aleación también afectan a la soldabilidad y su influencia puede ser estimada en términos de su efecto comparado con el efecto del carbono. El efecto total del contenido de aleantes puede ser expresado en términos de equivalente en carbono o carbono equivalente (CE); para estimar el carbono equivalente, se han desarrollado una serie de fórmulas empíricas como la que se indican a continuación.

Para aceros al carbono:

$$CE = \%C + \frac{\%Mn}{4} + \frac{\%Si}{4}$$

Para aceros de baja y media aleación:

$$CE = 5C + \frac{\%Mn}{6} + \frac{\%Cr + \%Mo + \%V}{5} + \frac{\%Ni + \%Cu}{15}$$

Existen otras ecuaciones empíricas para determinar el CE, y cada una de ellas fue desarrollada para aplicaciones específicas y resultan válidas sólo en determinados intervalos de composición química, por lo que deben tomarse las precauciones necesarias para emplear la fórmula correcta en cada caso.

La soldabilidad, es inversamente proporcional al carbono equivalente. Por lo general, los aceros con bajos valores de CE (por ejemplo, de 0.2 a 0.3) poseen una soldabilidad excelente, pero cuando este valor excede de 0.40, la soldabilidad en términos de la susceptibilidad al agrietamiento o el aumento de la dureza por templado, disminuye considerablemente. Así, un acero con 0.20% de carbono y 1.60% de manganeso, tiene un CE de 0.60 (de acuerdo con la segunda fórmula citada), valor que indica una sensibilidad relativamente alta a templarse con valores altos de dureza que promueven el agrietamiento.

Control de las propiedades de las uniones soldadas

Las características de la zona afectada térmicamente depende principalmente de la composición química (CE) y de la velocidad de enfriamiento, que determinan la microestructura y las propiedades finales de las uniones soldadas de un acero en particular, por lo que una composición química específica, determina la velocidad de enfriamiento.

La velocidad de enfriamiento, por su parte, depende del espesor de los miembros de la junta, de la temperatura a la que se encuentra al iniciar la aplicación de cada paso de soldadura y del calor aportado por paso.

A fin de tener soldaduras con las propiedades deseadas de resistencia a la tensión, tenacidad, ductilidad, dureza o resistencia a la corrosión y libres de condiciones indeseables

como puede ser la distorsión, los esfuerzos residuales excesivos, o discontinuidades tales como grietas; es necesario controlar la velocidad de enfriamiento.

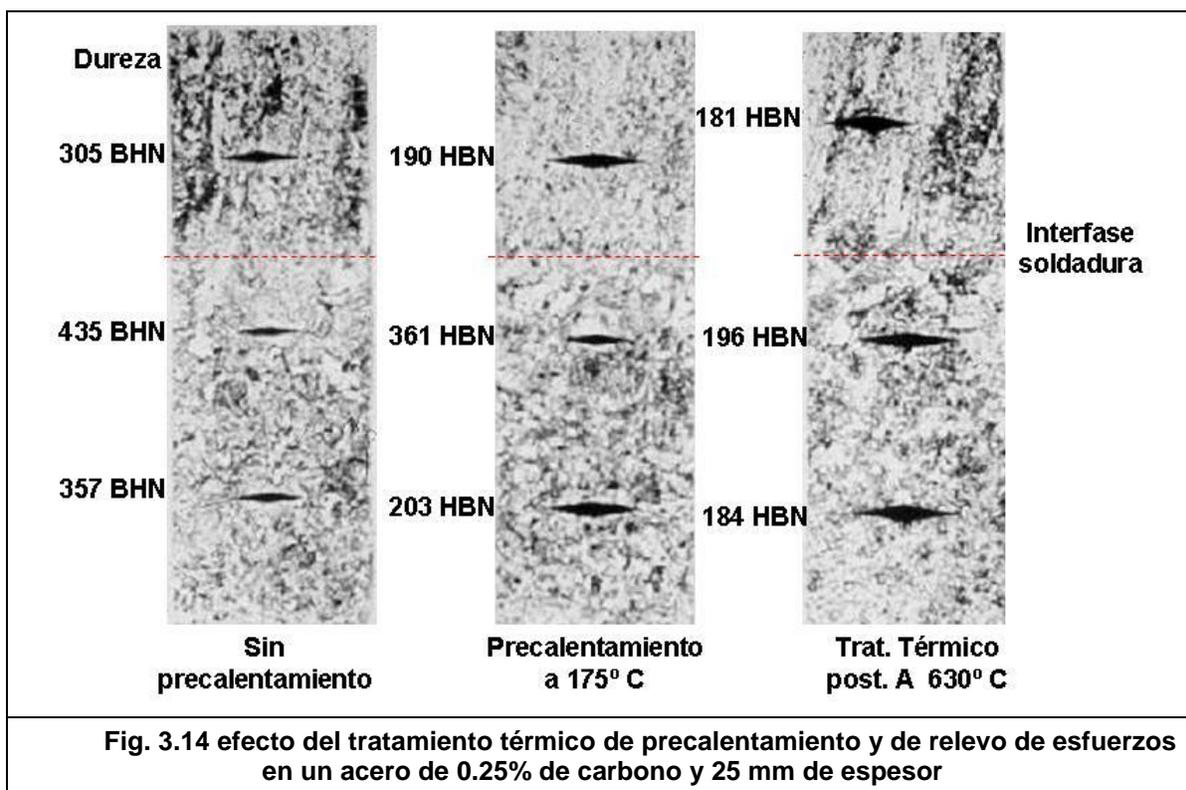
Pre calentamiento

El pre calentamiento consiste en elevar la temperatura el metal base o sustrato a un valor que asegure que el enfriamiento del metal de soldadura será el adecuado. En soldaduras de pasos múltiples, también es la temperatura a la que se encuentra el metal base antes de que se inicien los pasos subsecuentes.

Generalmente, en los procedimientos de soldadura se especifica la temperatura mínima de pre calentamiento y también el límite máximo de la temperatura máxima entre pasos.

El pre calentamiento disminuye la velocidad de enfriamiento, con lo que se puede evitar la formación de martensita y se previene o minimiza el agrietamiento; también se reducen los esfuerzos residuales al disminuir las variaciones de temperatura y los cambios dimensionales de expansión y contracción.

Un ejemplo del efecto de el pre calentamiento y del tratamiento térmico después de la soldadura se muestra en la figura 3.14



Temperatura entre pasos

Las temperaturas entre pasos provocan reducciones de la velocidad de enfriamiento, incremento en el ancho de la zona afectada térmicamente y crecimiento de grano, lo que provoca que las propiedades mecánicas disminuyan. En la práctica, en los aceros al carbono existen pocos problemas asociados con la temperatura entre pasos, pero cuando se sueldan

aceros de media y alta aleación como es el caso de los aceros inoxidable austeníticos, las altas temperaturas entre pasos causan serios problemas.

Normalmente se especifica la temperatura máxima permitida entre pasos, aunque también suele establecerse la mínima, que por lo general coincide con la de precalentamiento.

El propósito de las consideraciones anteriores es ilustrar de manera cualitativa la influencia que el precalentamiento, la temperatura entre pasos y el calor aportado tienen sobre la velocidad de enfriamiento y sobre la micro-estructura y las propiedades de las juntas soldadas, estas variables deben ser controladas de manera cuidadosa y dentro de los valores establecidos en las especificaciones de procedimiento de soldadura

Otra de las variables de soldadura corresponde al tratamiento térmico posterior a la soldadura, en particular, el de relevado de esfuerzos. Este se emplea para reducir los esfuerzos residuales, mismos que, durante el proceso de soldadura, pueden ser minimizados mediante el empleo de diseños de junta y técnicas adecuadas.

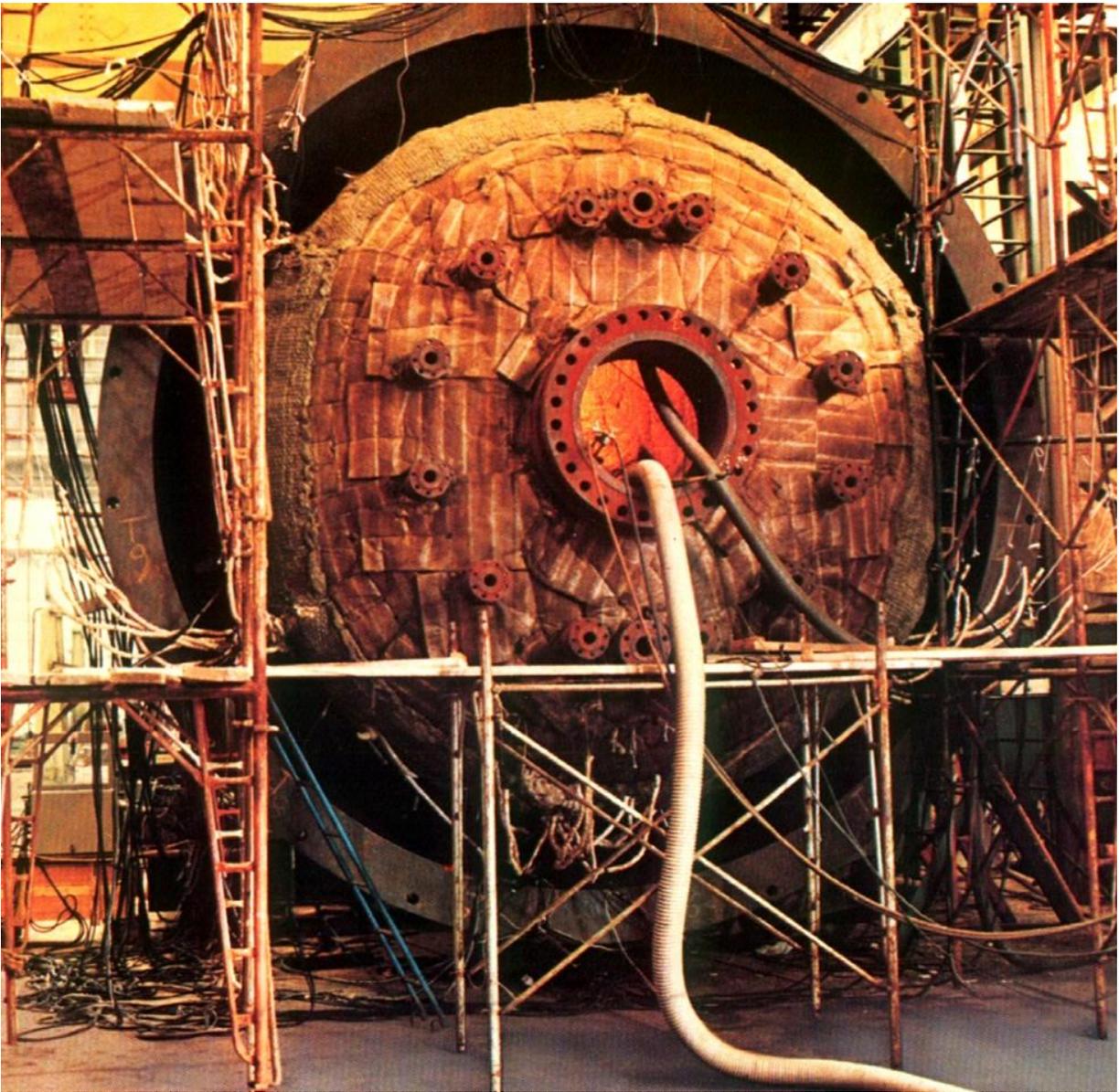


Fig. 3.15 Base de una torre de destilación preparada para tratamiento térmico en campo.

TEMA IV

PROCESOS DE SOLDADURA EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES

La unión de materiales por medio de soldadura por medio del arco eléctrico vino a sustituir a otros métodos de unión como el ribeteado, la soldadura por forjado o el plegado y forjado. La razón de esto son razones tanto técnicas al poder fabricar estructuras mas esbeltas y ligeras, de seguridad al tener la unión soldada mejores propiedades mecánicas como económicas al poderse reducir costos por sobre espesores, tiempo de fabricación y costo de mano de obra. Hoy en día existe una gran variedad de procesos de soldadura, varios métodos y técnicas de aplicación, muchas de las cuales han sido desarrolladas para uniones específicas o materiales de nueva creación. Cada proceso de soldadura involucra aspectos técnicos, de producción, metalúrgicos y económicos. Este capítulo se limita a los procesos más comúnmente empleados y del equipo que se emplea, sus principales aplicaciones, ventajas y limitaciones, las variables particulares más relevantes y, en especial, las especificaciones y clasificaciones de los electrodos y metales de aporte.

Debido a que en el idioma español el término soldadura se aplica de manera indistinta para referirse a diferentes procesos de unión y a diversos objetos y significados (unión soldada, electrodo recubierto, metal depositado, metal de aporte y operaciones de soldadura, entre otros), es conveniente, antes de seguir tratando sobre los procesos de soldadura, hacer algunas definiciones sobre los términos que se emplean en inglés y en español.

Soldadura (welding): Es la coalescencia localizada de materiales que pueden ser metálicos o no metálicos, producida por el calentamiento de los materiales a una temperatura apropiada, con o sin aplicación de presión y con o sin el empleo de material de aporte. En esta definición, el material de base se funde y vuelve a solidificarse para formar la unión soldada.

Soldadura fuerte (brazing): se aplica a los procesos de soldadura, en los cuales producen la coalescencia de los materiales por el calentamiento de éstos, a la temperatura adecuada, y empleando un metal de aporte que tiene una temperatura de liquidus superior a los 450° C (840° F), pero inferior a la temperatura de solidus del metal base. El metal de aporte se distribuye por acción capilar entre las superficies de la junta mantenidas en contacto estrecho. En este proceso solo se funde el metal de aporte y la unión soldada se logra por la difusión al estado sólido del material de aporte en el material de base.

Soldadura blanda (soldering): Grupo de procesos de soldadura que producen coalescencia de materiales, calentándolos a una temperatura adecuada y usando material de

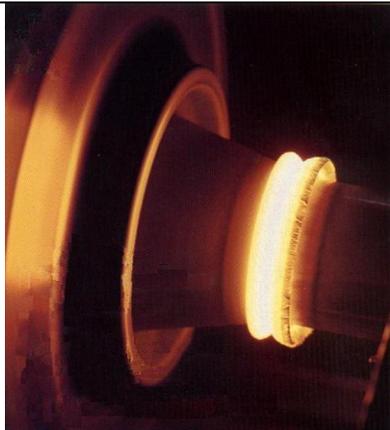
aporte que tenga una línea de liquidus que no exceda de 450° C (840° F) y debajo de la línea de solidus del metal base. El metal de aporte se distribuye por acción capilar entre las superficies de la junta mantenidas en contacto estrecho. En este proceso al igual que en la soldadura fuerte solo se funde el metal de aporte y la unión soldada se logra por la difusión al estado sólido del material de aporte en el material de base.

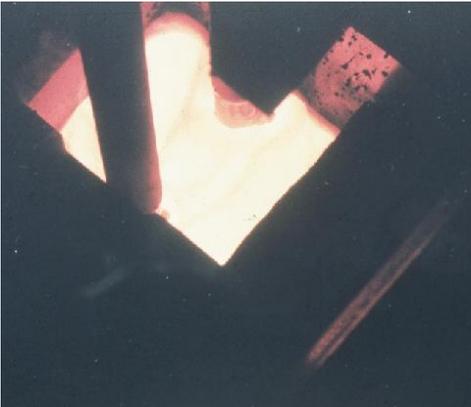
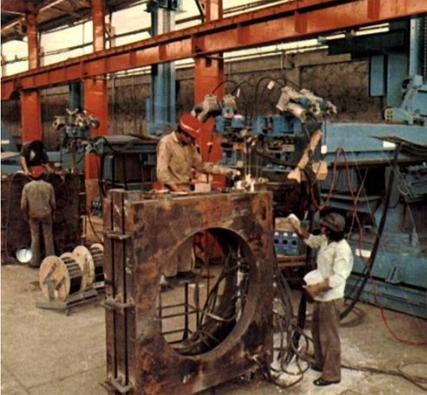
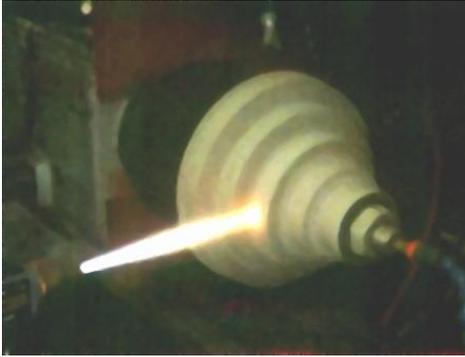
Procesos de soldadura y métodos de aplicación

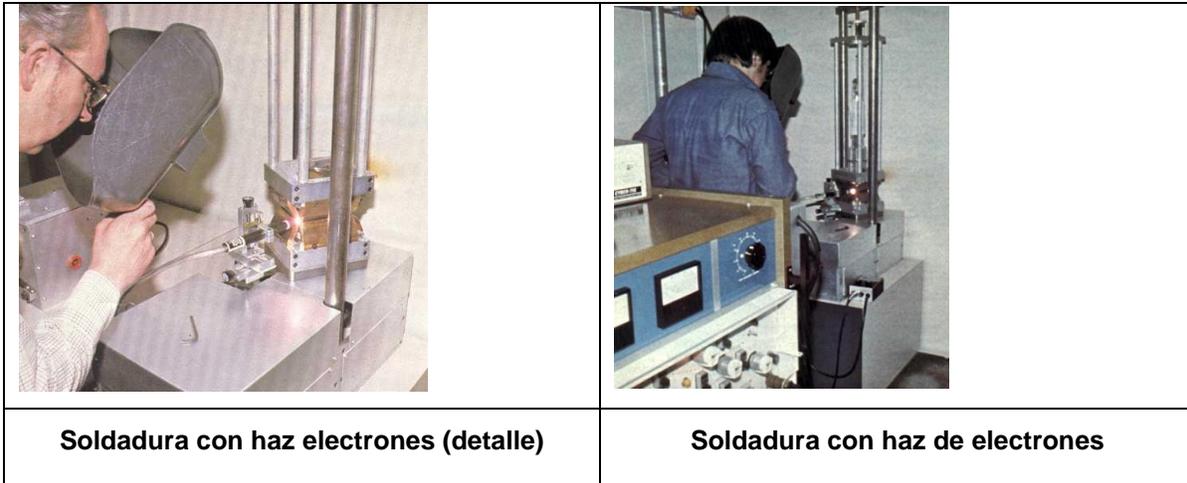
Con el propósito de establecer un marco de referencia útil para ubicar los procesos de soldadura y sus métodos de aplicación en el contexto de la inspección, a continuación presentamos un resumen de los procesos de soldadura mas empleados y sus variantes mas conocidas

PROCESO	VARIANTES	PROCESOS MAS CONOCIDOS	SIGLAS EN INGLES
ARCO ELECTRICICO (ARC WELDING)	11	Electrodo recubierto	SMAW
		Electrodo de tungsteno con gas de protección	GTAW
		Alambre continuo con gas de protección	GMAW
		Alambre tubular	FCAW
		Arco sumergido	SAW
		Arco plasma	PAW
SOLDADURA FUERTE (BRAZING)	11	Soldadura por Soplete oxi-gas	TB
		Soldadura por Inmersión	DB
		Soldadura por horneado	FB
		Soldadura por inducción	IB
SOLDADURA BLANDA	8	Soldadura con caudín	INS
		Soldadura por inmersión	DS
		Soldadura por soplete	TS
SOLDADURA AL ESTADO SÓLIDO	9	Soldadura por explosión	EXW
		Soldadura por fricción	FRW
SOLDADURA POR RESISTENCIA	9	Soldadura de costura por resistencia	RSEW
		Soldadura de puntos por resistencia	RSW

OTROS PROCESOS	6	Soldadura por rayo láser	LBW
SOLDADURA POR OXI-GAS	4	Soldadura con aire acetileno	AAW
		Soldadura por oxiacetileno	OAW

	
Soldadura Por Resistencia	Soldadura por fricción
	
Soldadura fuerte por soplete múltiple	Soldadura fuerte por oxidas

	
<p>Soldadura por plasma no transferido</p>	<p>Soldadura con plasma transferido</p>
	
<p>Soldadura con electroescoria (detalle)</p>	<p>Soldadura con electroescoria</p>
	
<p>Soldadura con laser</p>	<p>Soldadura con plasma</p>



Fuentes de energía para soldadura por arco

Existen varios tipos de fuentes de energía para satisfacer las exigencias eléctricas de los diversos procesos de soldadura. La elección correcta de las fuentes depende, en primer termino, de los requisitos del proceso de soldadura a emplear. Otros factores que se deben considerar incluyen las consideraciones económicas, el mantenimiento, la facilidad de transporte, el entorno, la seguridad y la disponibilidad de personal entrenado.

Las fuentes de energía para la soldadura por arco eléctrico las podemos clasificar de varias formas; primero por la forma en que se obtiene la energía eléctrica.

Generadores y alternadores

Este tipo de máquinas cuentan con un motor eléctrico o de combustión interna que mueve a un generador que puede producir corriente continua, o bien a un alternador y entonces producirán corriente alterna

Transformadores

Son las máquinas que reciben la corriente eléctrica de una línea comercial y elevan el amperaje reduciendo el voltaje, solo producen corriente alterna.

Transformadores rectificadores

Son máquinas que reciben la corriente eléctrica de una línea comercial, elevan el amperaje reduciendo el voltaje, esta corriente a su vez pasa aun banco de tiristores rectificadores de silicio para producir de esta forma corriente rectificada (directa).

Las máquinas dependiendo de las características de la corriente que generan las podemos clasificar en:

Máquinas de corriente constante

La National Electrical Manufacturers Association (NEMA), define a una máquina de soldadura por arco de corriente constante aquella que cuenta con un mecanismo que permite ajustar el amperaje de trabajo y tiene una curva volt-amperaje estática y que tiende a producir una corriente relativamente constante; El voltaje de carga a un amperaje de trabajo

determinado, varía con la rapidez con que el electrodo consumible se alimenta al arco; o bien, cuando se usan electrodos no consumibles, el voltaje de carga varía con la distancia entre el electrodo y el trabajo. Este tipo de máquinas se aplican principalmente a los procesos manuales como son el de electrodo recubierto (SMAW) y de electrodo de Tungsteno (GTAW) en los que no es posible evitar las variaciones en la longitud del arco

Máquinas de voltaje constante

La misma norma NEMA también define una máquina de voltaje constante a una máquina soldadora que cuenta con un mecanismo para ajustar el voltaje de trabajo con una curva voltaje-amperaje estática y que tiende a producir un voltaje relativamente constante; en este tipo de máquinas el amperaje de carga a un voltaje de trabajo determinado, varía con la rapidez que el electrodo consumible se alimenta al arco. Este tipo de máquinas se emplean principalmente en los procesos semiautomáticos, automáticos y mecanizados como son el de alambre continuo con gas de protección (GMAW), alambre tubular (FCAW), Arco sumergido (SAW) y electroescoria (ESW).

Cualquiera que sea el proceso de soldadura por arco se requiere que la corriente eléctrica sea de bajo voltaje y alto amperaje por lo que la función principal de las máquinas soldadoras es reducir el voltaje de entrada a un intervalo de voltaje de salida apropiado (el cual varía de unos 17 a 45 Voltios), y una corriente adecuada, que normalmente oscila de menos de 90 a 1500 Amperios.

Ciclo de trabajo

Las máquinas de soldadura por arco son también clasificadas de acuerdo con su ciclo de trabajo. Esta clasificación generalmente es establecida por los fabricantes del equipo de acuerdo con las normas NEMA y están clasificadas en términos de un porcentaje de ciclo de trabajo (duty cycle); el ciclo de trabajo de una máquina de soldar es el porcentaje del tiempo que puede operar a una corriente de soldadura establecida. Así, una máquina clasificada como de 300 Amperios a un ciclo de trabajo de 60% significa que la máquina puede operar de forma confiable a una corriente de 300 Amperios durante 6 de cada 10 minutos. Si este ciclo de trabajo se reduce en una operación real, se podrá incrementar la corriente máxima permisible.



máquina de voltaje constante



máquina de potencial constante

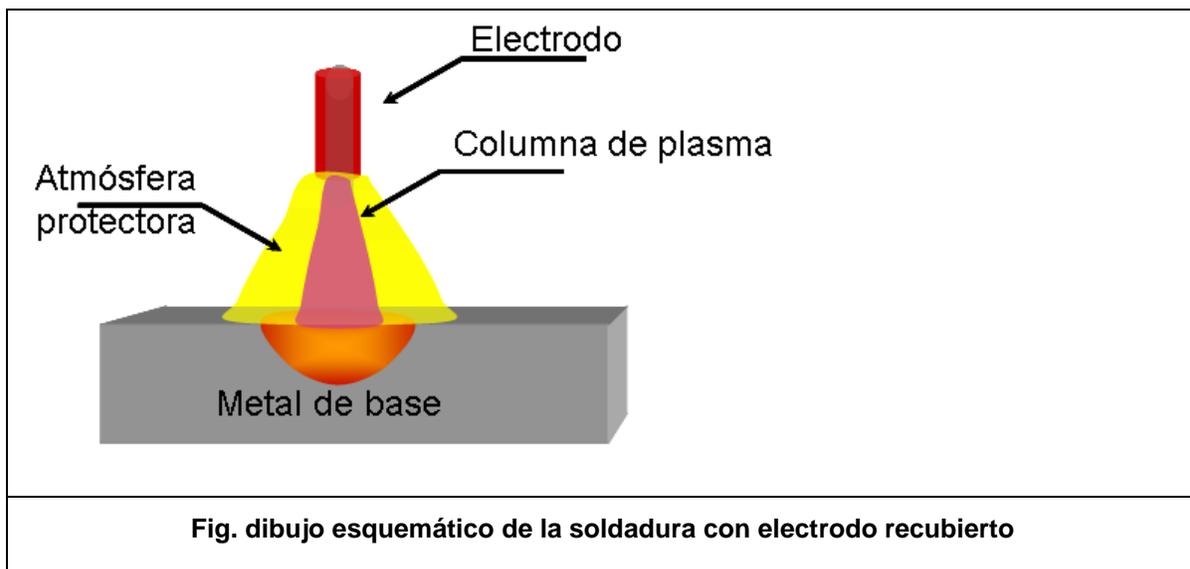
Soldadura por arco eléctrico.

De los procesos de soldadura, el de arco eléctrico es el más conocido y del que se tiene la mayor cantidad de aplicaciones prácticas. En principio el arco eléctrico es un corto circuito controlado que se forma cuando la corriente eléctrica fluye entre el electrodo y la pieza de trabajo generando una columna de gas ionizado llamado "plasma". Para poder alcanzar este nivel de ionización, la corriente presenta un amperaje alto y voltaje bajo debido a una alta concentración de electrones para transportar la corriente. Los electrones son emitidos por el polo negativo (cátodo) y fluyen junto con los iones negativos del plasma hacia el polo positivo (ánodo). El flujo principal de corriente se debe al paso de electrones.

El calor que se genera en el área del polo positivo es producido principalmente por el choque de los iones negativos en la superficie del mismo; mientras que el calor en el área del polo negativo es generado principalmente por los electrones que son acelerados por el voltaje del arco cuando pasan a través del plasma, y ceden su energía en forma de calor al chocar contra el ánodo.

La columna del arco, conocida como plasma, es una mezcla de átomos de gases altamente ionizados en un movimiento acelerado y en constante colisión.

El arco eléctrico puede ser dividido en tres áreas de generación de calor: el electrodo, el metal de base y el plasma producido por el arco.



La intensidad y la concentración del calor en las tres zonas pueden ser modificadas por los siguientes aspectos:

- incrementando la ionización del gas del plasma, esto se logra en los electrodos recubiertos y tubulares mediante la adición de sales de potasio o de sodio en el fundente, cambiando el gas de protección (el bióxido de carbono es más ionizable que el argón o el helio); o bien cambiando la aleación del electrodo de Tungsteno (agregando Torio, Zirconio o Cerio).

-Variando en la longitud del arco. Al aumentar el espacio entre el electrodo y la pieza a soldar se provoca que el voltaje aumente y en consecuencia aumente la temperatura en la zona a soldar.

-Cambiando la conexión del electrodo. Las conexiones del electrodo al polo positivo ocasionan que exista un mayor calentamiento en el electrodo que en el metal de base que esta conectado al polo negativo; por el contrario si el electrodo esta conectado al polo negativo el metal de base tendrá un mayor calentamiento que el electrodo. Este efecto se debe principalmente al impacto y frenado brusco de los electrones que se transportan en el plasma generado por el arco eléctrico.

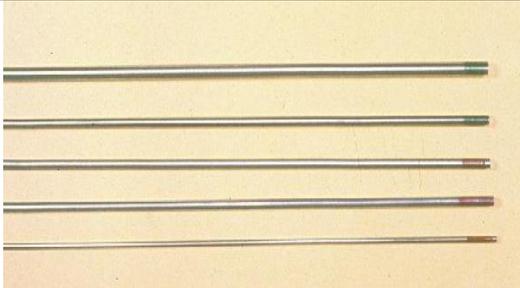
-Cambios en el proceso de soldadura. En el proceso con electrodo recubierto, las temperaturas máximas que se obtienen son de aproximadamente 6250° C, mientras que en el arco de plasma con gas inerte puro, la temperatura es cercana a los 30,000° C. Los valores medidos de las temperaturas del arco eléctrico oscilan entre unos 5,300 y 30,300° C, dependiendo de la intensidad y el tipo corriente que se emplee y de la naturaleza del proceso.

Tipos de los electrodos empleados

El electrodo tiene como una de sus funciones conducir la energía eléctrica para producir el arco; Los electrodos que se emplean en la soldadura por arco eléctrico los podemos dividir en:

Electrodos consumibles. Son aquellos que además de conducir la energía eléctrica, aportan metal a la unión soldada, ejemplos de este tipo de electrodo son los alambres continuos; tanto sólidos como tubulares y los electrodos recubiertos.

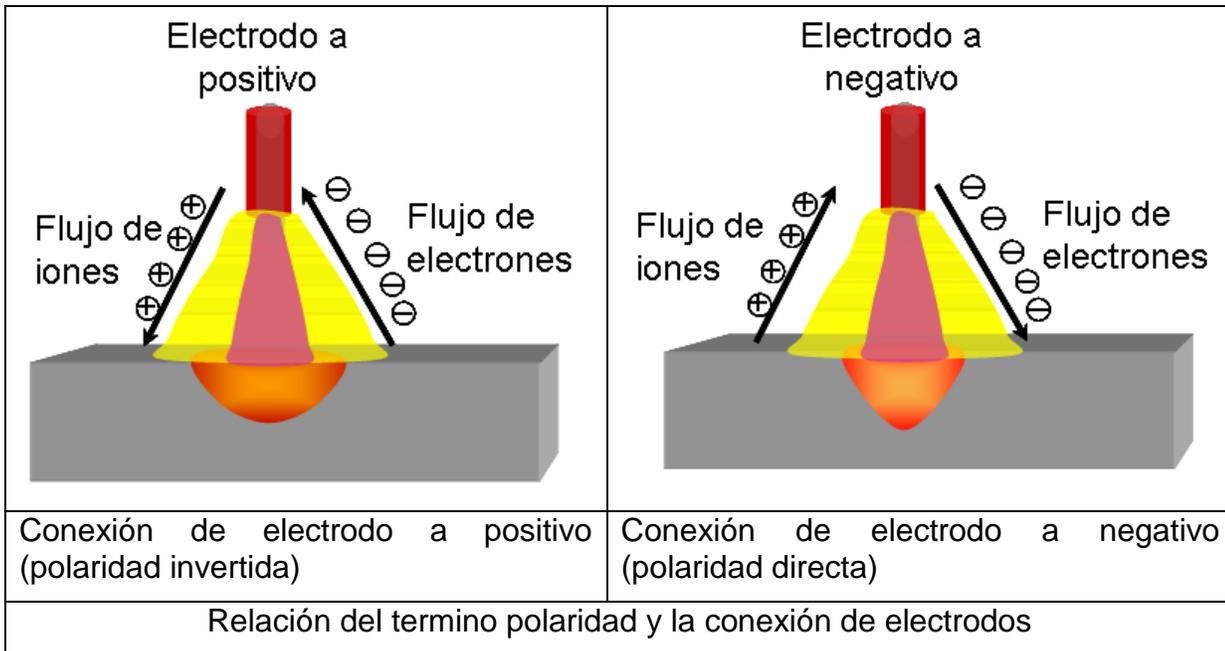
Electrodos no consumibles. Son aquellos que únicamente conducen la energía eléctrica al arco, pero no proporcionan metal de aporte, ejemplos de este tipo de electrodos son los electrodos de tungsteno y de grafito.

	
Electrodos no consumibles	Electrodos consumibles
Tipos de electrodos empleados en soldadura	

Polaridad.

El término polaridad se empleaba para indicar la conexión eléctrica del electrodo a las terminales de las máquinas de soldar de corriente rectificadas. Cuando el cable del electrodo se conecta al borne positivo de la fuente, la polaridad se designaba de manera arbitraria como polaridad invertida; cuando el cable del electrodo se conecta al borne negativo de la máquina, como polaridad directa, esto se debe al hecho de que los electrones fluyen del

polo negativo hacia el positivo. Estos términos causan confusión, en la actualidad la expresión correcta es “corriente directa electrodo a negativo” (polaridad directa) o “corriente directa, electrodo a positivo” (polaridad invertida).



En la mayoría de los procesos de soldadura, en términos generales, cuando el electrodo esta conectado al positivo, se puede obtener una mayor penetración que cuando el electrodo esta conectado al polo negativo.

Protección del metal fundido

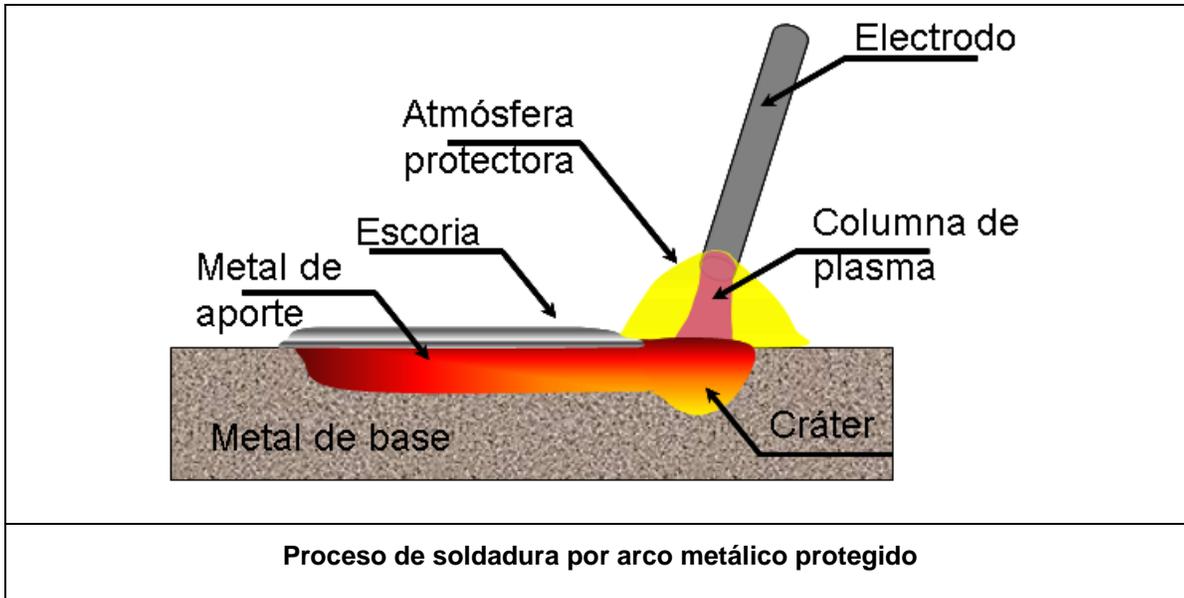
Uno de los primeros problemas que se tuvieron que resolver al inicio de la soldadura por arco eléctrico fue en evitar la oxidación del metal fundido o en proceso de solidificación. Cuando los metales se encuentran a altas temperaturas, reaccionan espontáneamente con el oxígeno y el nitrógeno que se encuentran en el aire y forman óxidos y nitruros. Para evitar la acción oxidante del aire es necesaria la presencia de una atmósfera inerte en el arco eléctrico y evitar el contacto del aire con el metal caliente. La forma mas común es generando una atmósfera con un gas inerte, bien sea quemando un compuesto orgánico, generalmente celulosa, que consume el oxígeno del aire generando bióxido de carbono; inyectando un gas de protección (bióxido de carbono, argón o helio); empleando un fundente o escoria fundida.



equipo básico empleado en la soldadura de electrodo recubierto

Proceso de soldadura con electrodo recubierto (Shielded Metal Arc Welding – SMAW)

Es un proceso de soldadura en el cual el arco se produce entre un electrodo recubierto y el metal de base. El gas de protección y los aleantes se obtienen a partir del recubrimiento, la mayoría del metal de aporte proviene del núcleo metálico del electrodo.



Núcleo metálico

Tiene dos funciones principales; la primera como conductor de la corriente eléctrica trabajando como electrodo en el circuito eléctrico, la segunda es la de aportar la mayoría del metal de aporte para hacer la unión soldada.

Revestimiento del electrodo

El revestimiento está compuesto básicamente de un compuesto orgánico, generalmente celulosa y grafito, elementos de ionización como es el metasilicato de sodio o de potasio, ferroaleaciones como ferrocromo, ferromanganeso, ferromolibdeno, agentes desoxidantes como ferrosilicio y agentes escorificantes. En principio todos los electrodos son iguales en composición, pero la calidad será función de la proporción en que estos compuestos estén presentes en la pasta del recubrimiento. Las funciones más importantes del recubrimiento son:

Generar una atmósfera inerte que desplace al aire y evite su contacto con el metal fundido, en los electrodos el gas que se genera es bióxido de carbono por la combustión de los compuestos orgánicos y que neutraliza la acción del oxígeno con el metal fundido y desplaza el nitrógeno atmosférico.

Proporcionar aleantes desoxidantes que mejoran la calidad del metal aportado y al mismo tiempo adicionar elementos de aleación que mejoran las propiedades mecánicas del metal aportado.

Los productos de la reacción química produce una capa escoria que contiene óxidos e impurezas y que al solidificar forma una capa que protege al metal fundido ayuda a controlar la velocidad de enfriamiento evitando cambios bruscos de temperatura y la oxidación del metal sólido caliente

Los compuestos que contiene cada formulación de los recubrimientos también regulan las condiciones de operación tales como el tipo de corriente y la polaridad así como la profundidad de la penetración y la posición en las que se puede efectuar la soldadura

Fuente de energía

El proceso SMAW requiere de fuentes de energía o poder de voltaje variable (corriente constante) que suministren corrientes de 10 a 500 Amperios y voltajes de 17 a 45 Voltios, dependiendo del tipo y tamaño del electrodo a usarse. El proceso con electrodo recubierto puede emplea equipos de corriente alterna (CA) o de corriente directa (CD), y los electrodos pueden usarse con conexiones al polo positivo o polo negativo.

Métodos de aplicación

El método de aplicación que se emplea en este proceso es el manual, no se emplean los métodos semiautomático ni mecanizado y es susceptible de emplearse el método automático, mismo que se usa de manera limitada.

Aplicaciones

Este es uno de los procesos de soldadura mas ampliamente usado debido a su versatilidad, portabilidad y equipo relativamente sencillo y barato. Se puede aplicar a la mayoría de los materiales metálicos, siendo su uso mas extendido el de los aceros al carbono y aleados.

Sus aplicaciones mas comunes son:

La fabricación mantenimiento y reparación de partes y componentes estructurales como son edificios, puentes y grúas

La fabricación de recipientes a presión

El tendido y reparación de líneas de conducción.

La construcción mantenimiento y reparación naval.

Actualmente ha sido desplazado por los procesos de alambre continuo y arco sumergido y su empleo se ha ido restringiendo a las aplicaciones de reparación y mantenimiento donde el acceso es difícil o complicado.

y otras aplicaciones comerciales de unión de metales.

Ventajas

Sus principales ventajas son las siguientes:

La aleación se puede crear a partir del recubrimiento.

Generalmente puede emplearse en cualquier posición.

Puede emplearse en campo y en taller

Es aplicable a un intervalo amplio de espesores
Es útil para soldar ensamblajes estructurales complejos
Se pueden obtener uniones de alta calidad y alta resistencia

Limitaciones

Las principales limitaciones son las siguientes:

La corriente de soldadura esta limitada por el calentamiento por resistencia del electrodo ya que la temperatura del electrodo no debe exceder la de la desintegración del recubrimiento; si esta temperatura es demasiado alta, los agentes químicos del recubrimiento reaccionan unos con otros o con el aire y se deteriora su capacidad de protección.

La calidad de la unión depende en gran medida de la habilidad del personal

La escoria debe ser removida completamente antes de aplicar el siguiente paso

Tiene una eficiencia de depósito relativamente baja

No puede ser usado para soldar algunos metales no ferrosos

Debido a que los electrodos tienen una longitud fija, las operaciones deben detenerse después de que se consume cada electrodo.

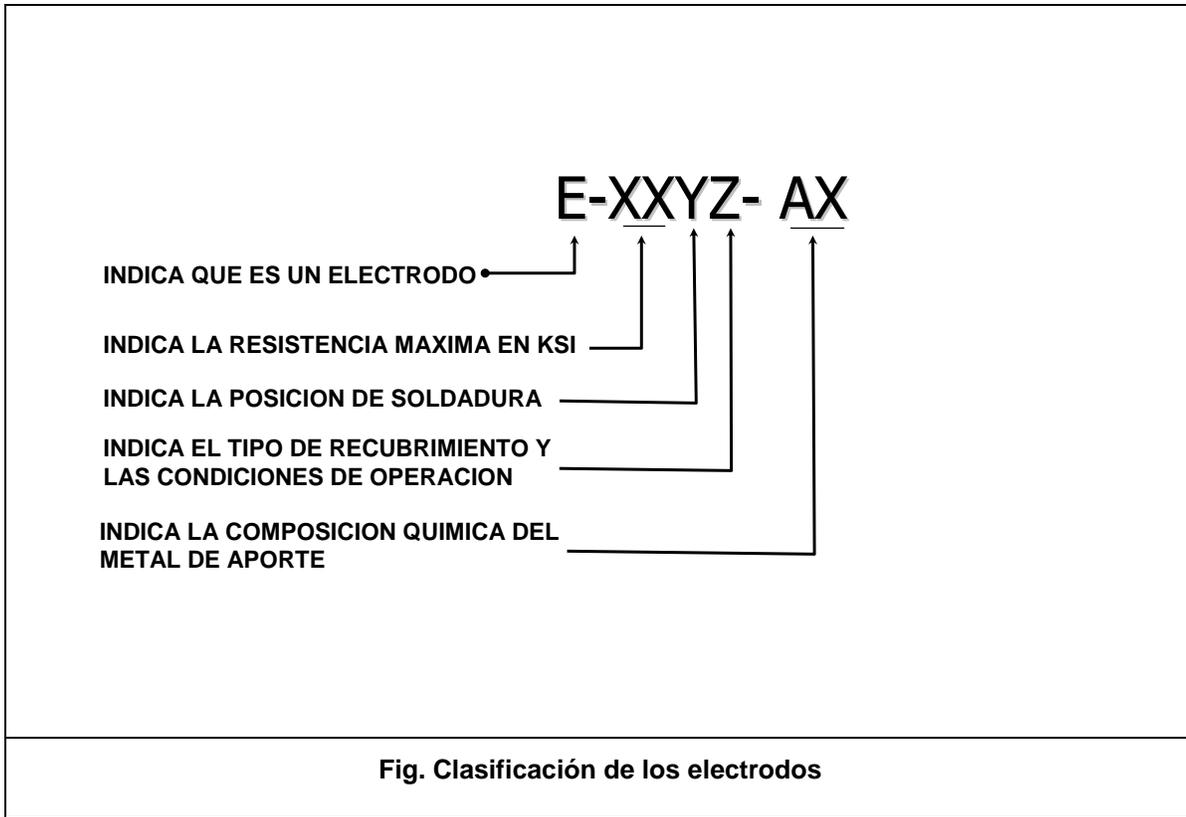
Variables específicas

Las variables particulares mas relevantes de este proceso están asociadas con las características eléctricas y las posiciones en que pueden usarse los diferentes tipos de electrodo; estos aspectos están definidos por la clasificación. Algunas de estas variables están definidas y relacionadas con el cuarto (o quinto) dígito de la clasificación, mismo que indica las características de la corriente a emplear y el tipo de recubrimiento del electrodo.

Para cada clasificación de electrodo, se define que clase de recubrimiento tiene, con que tipo de corriente y polaridad debe emplearse y la profundidad de la penetración con que esta asociado.

Existe una serie de factores y variables adicionales relacionados con el tipo de recubrimiento y la clasificación de cada electrodo. Entre estos pueden señalarse las propiedades mecánicas de la unión soldada o del metal base en que se va a emplear, la eficiencia de producción, la relación entre el espesor, la forma del metal base a soldar y la longitud y el diámetro del electrodo a ser empleado; todos estos factores influyen en la calidad de las uniones soldadas y constituyen la base para realizar una selección adecuada de los electrodos, Todos estos aspectos están mas estrechamente vinculados con puntos de vista de ingeniería de soldadura y producción que con la inspección.

CLASIFICACION DE LOS ELECTRODOS



E-XXYZ	
Los dígitos indican la resistencia máxima del metal depositado.	
Si los digitos son:	Significan que el metal tiene una resistencia mínima de:
60	60,000 libras por pulgada cuadrada (psi)

70	70,000 libras por pulgada cuadrada (psi)
80	80,000 libras por pulgada cuadrada (psi)
90	90,000 libras por pulgada cuadrada (psi)
100	100,000 libras por pulgada cuadrada (psi)
120	120,000 libras por pulgada cuadrada (psi)
Interpretación de los primeros dígitos de la clasificación AWS	

E-XXYZ	
El dígito indica la posición en la que se puede emplear el electrodo	
Si el dígito es:	Significa que el electrodo sirve para:
1	Soldar ranuras y filetes en toda posición (plana, horizontal, vertical y sobrecabeza)
2	Soldar ranuras en posición plana y filetes en posición plana y horizontal
4	Soldar ranuras y filetes únicamente en la posición plana
Interpretación del 3º dígito de la clasificación AWS.	

E-XXYZ			
El dígito puede ser del 1 al 8 e indica las características del recubrimiento y la polaridad con la que se puede emplear el electrodo			
Si el dígito es:	Significan que el recubrimiento principalmente es:	corriente emplear:	a la polaridad debe ser:

0	Sódico celulósico	DC corriente rectificada	EP Electrodo a positivo
1	Potásico celulósico	AC/DC alterna o rectificada	EP Electrodo a positivo
2	Rutílico sódico	AC/DC alterna o rectificada	EN Electrodo a negativo
3	Rutílico potásico	AC/DC alterna o rectificada	EN Electrodo a negativo
4	Rutílico con polvo de Fe	AC/DC alterna o rectificada	EN Electrodo a negativo
5	Bajo hidrógeno sódico	DC rectificada	EP Electrodo a positivo
6	Bajo hidrógeno potásico	AC/DC alterna o rectificada	EP Electrodo a positivo
7	Oxido de fierro sódico	AC/DC alterna o rectificada	
8	Bajo hidrógeno con polvo de Fe.	AC/DC alterna o rectificada	EP Electrodo a positivo
Significado del 4º dígito de la clasificación de AWS			

Intensidad de la corriente de soldadura

Cada fabricante de electrodos establece cuales son los intervalos de amperaje en que estos deben usarse, pero existe una guía empírica, misma que no es muy precisa, para establecer la corriente de soldadura: emplear un amperio por cada milésima de pulgada del diámetro del electrodo. De acuerdo con lo anterior, un electrodo de 1/8" (0.125") de diámetro requiere una corriente promedio de 125 Amperios, esto es solo una guía, ya que si se tratara de un electrodo E-6018 (de 1/8") que tiene polvo de hierro en su revestimiento, la corriente a emplear sería de de 100 a 160 Amperios, dependiendo de si se emplea corriente directa o corriente alterna.

Diámetro	Diámetro en milésimas In.	Amperaje promedio	Valor mínimo recomendado	Valor máximo recomendado
1/8	125	125	100	150
5/32	156	160	130	190
3/16	187	150	190	225
1/4	250	250	200	300
Selección del amperaje de operación de los electrodos según su diámetro nominal.				

Condiciones de almacenamiento y secado de los electrodos

Algunos electrodos, tales como el E-6010 y el E-6011 requieren, para funcionar adecuadamente, tener de un 3 a 7% de humedad en sus revestimientos. Por otra parte, los

ingredientes de los revestimientos y de los compuestos que se emplean para aglomerarlos, tienen afinidad por la humedad del medio ambiente y se combinan con esta higroscópicamente.

En el momento de soldar, el hidrogeno proveniente de esta humedad causa efectos adversos en algunos aceros bajo ciertas condiciones. Para las aplicaciones en las que resulta perjudicial el hidrogeno, se formularon específicamente grupos de electrodos llamados de “bajo hidrogeno”.

El ultimo dígito de la clasificación de los electrodos de bajo hidrogeno es 5, 6 u 8 y sus revestimientos están hechos de componentes inorgánicos que contienen una humedad mínima. Estos electrodos están diseñados para producir depósitos de soldadura con muy bajos niveles de hidrogeno, y el contenido de humedad (en las condiciones que los suministra el fabricante o después de reacondicionados), dependiendo de su clasificación, debe ser de 0.15 a 0.6% como máximo.

Debido a las consideraciones anteriores, es necesario que cada tipo de electrodo sea almacenado, tratado y manejado en las condiciones especificas apropiadas. Cada fabricante establece las condiciones adecuadas de almacenamiento y secado de los electrodos recubiertos que suministra, y la Tabla No. A2 del apéndice de la Especificación AWS A5.1 indica estas condiciones típicas. Es conveniente anotar que pueden existir algunos requisitos adicionales muy rigurosos con respecto al almacenamiento y los periodos máximos de exposición de los electrodos al medio ambiente.

En el Código de Soldadura Estructural para Acero ANSI/AWS D1.1, en su sección “Fabricación”. Establece en los párrafos 5.3.2.2 y 5.3.2.3 y la Tabla 5.2 los periodos aprobados y a los periodos alternativos establecidos por pruebas para la exposición de los electrodos a la atmósfera.

Especificaciones de AWS

Para los electrodos empleados en este proceso, las especificaciones AWS que se aplican son las siguientes:

Especificación AWS	Aplicación
AWS A5.1	para electrodos de acero al carbono
AWS A5.3	para electrodos de aluminio y sus aleaciones
AWS A5.4	para electrodos de acero inoxidable (al Cromo y al Cromo-níquel)
AWS A5.5	para electrodos de acero de baja aleación
AWS A5.6	para electrodos de cobre y sus aleaciones

AWS A5.11	para electrodos de níquel y sus aleaciones
AWS A5.13	para electrodos sólidos para revestimientos superficiales
AWS A5.15	para electrodos de hierro colado
AWS A5.21	para electrodos compuestos para revestimientos superficiales

El sistema de clasificación de los electrodos recubiertos sigue el modelo empleado en las otras especificaciones AWS para metales de aporte. Tal sistema se ilustra en la figura 5.14

La clasificación **E7018-1 H8 R** involucra la información siguiente:

E: Electrodo

70: Indica 70,000 Libras/Pulg.² (PSI) de resistencia mínima a la tensión del metal de soldadura

1: Significa que el electrodo puede usarse en posiciones plana, vertical, horizontal y sobre cabeza

8: Revestimiento de bajo hidrogeno con potasio y polvo de hierro; electrodo para ser empleado con corriente alterna o corriente directa electrodo positivo

1: Indica que cumple con los requisitos de tenacidad (resistencia al impacto) mejorada (20 libras-pie a -50° F o 27 Joules a -47° C)

H8: Significa que el metal depositado con este electrodo contiene como máximo 8 ml de H₂/100 gramos de metal depositado (cuando es sometido a uno de los métodos de prueba establecidos en la norma ANSI/AWS A4.3)

R: Denota que el electrodo cumple con los requisitos de humedad absorbida

La clasificación de los electrodos recubiertos de acero de baja aleación de la especificación ANSI/AWS A5.5 es muy parecida a la empleada para los electrodos de acero al carbono de la especificación ANSI/AWS A5.1, pero adicionalmente contiene un sufijo o designador adicional que indica la composición química del metal de soldadura no diluido producido por el electrodo correspondiente, o si se trata de electrodos intentados para cumplir la mayoría de los requisitos militares o alguna otra aplicación específica.

De acuerdo con esta tabla, los designadores de la clasificación **E8018-B3L** indican lo siguiente:

80: Indica que la resistencia mínima a la tensión del metal de soldadura es de 80,000 PSI.

B3L: **B3** se refiere a que la composición del metal no diluido tiene un contenido nominal de 2.25% de cromo y 1% de molibdeno; y **L** (low) indica bajo contenido de carbono (máximo 0.05%)

La clasificación **E12018M** indica :

120: Designa que la resistencia mínima a la tensión del metal de soldadura es de 120,000 PSI.

M: Se refiere a que el electrodo está diseñado para cumplir la mayoría de los requisitos militares (mayor tenacidad y mayor elongación), y que contiene níquel (de 1.75 a 2.50%),

Cromo (0.30 a 1.50%) y molibdeno (de 0.30 a 0.55%). también tiene vanadio como elemento adicional y un contenido relativamente elevado de manganeso.

Adicionalmente, es conveniente señalar que la designación G indica que el metal de aporte es una clasificación general, es decir, que no todos los requisitos particulares especificados para las otras especificaciones están estipulados para esta clasificación (G). Las tablas de la especificación ANSI/AWS A5.5 establecen algunos requisitos mínimos para la composición química, pero los requisitos adicionales en la composición pueden ser acordados entre el proveedor y el comprador.

También existen algunos electrodos especialmente diseñados para soldar líneas de tubería, como el E7010-P1, electrodos para soldar aceros expuestos a corrosión debida a agentes atmosféricos, como el E8018-W2, y electrodos para aplicaciones militares.

El sistema de clasificación para los electrodos recubiertos de acero inoxidable considerados en la Especificación ANSI/AWS A5.4 también sigue un patrón similar al de las otras especificaciones AWS para metales de aporte.

Las clasificaciones inicial con la letra “E” (electrodo) seguida de tres dígitos que designan su composición química y, ocasionalmente, seguidas de otros números o dígitos para indicar una composición química específica. A estos siguen dos últimos dígitos que designan la clasificación de acuerdo con características de uso, tales como la posición de soldadura y el tipo de corriente y la polaridad a emplear.

Así, la clasificación **E316-16** indica:

E: Que se trata de un electrodo

316: Indica que el electrodo tiene la composición química especificada para el acero inoxidable grado 316

16: Indica que este electrodo puede usarse con CA o CDEP y en todas las posiciones (aunque los electrodos de 3/16” y mayores no se recomiendan para soldar en todas las posiciones)

Los designadores que siguen a los tres dígitos de la composición química pueden ser:

L: Que indica bajo (low) contenido de carbono (0.04% máximo)

H: Indica que el contenido de carbono del metal de soldadura correspondiente está restringido a la porción alta del valor especificado para este elemento

LR: Se refiere a que los contenidos de elementos residuales están especificados a niveles máximos inferiores a los del grado estándar del acero inoxidable correspondiente.

Las clasificaciones también pueden incluir el símbolo químico de algún elemento, por ejemplo E308Mo, lo que indica que la composición de este metal de soldadura es el mismo que el depositado por electrodos E308, excepto por la adición de molibdeno y una pequeña reducción en el límite del carbono.

La tabla 5.5 contiene la información relacionada con el tipo de corriente, polaridad y las posiciones de soldadura con que deben emplearse los electrodos de acero inoxidable.

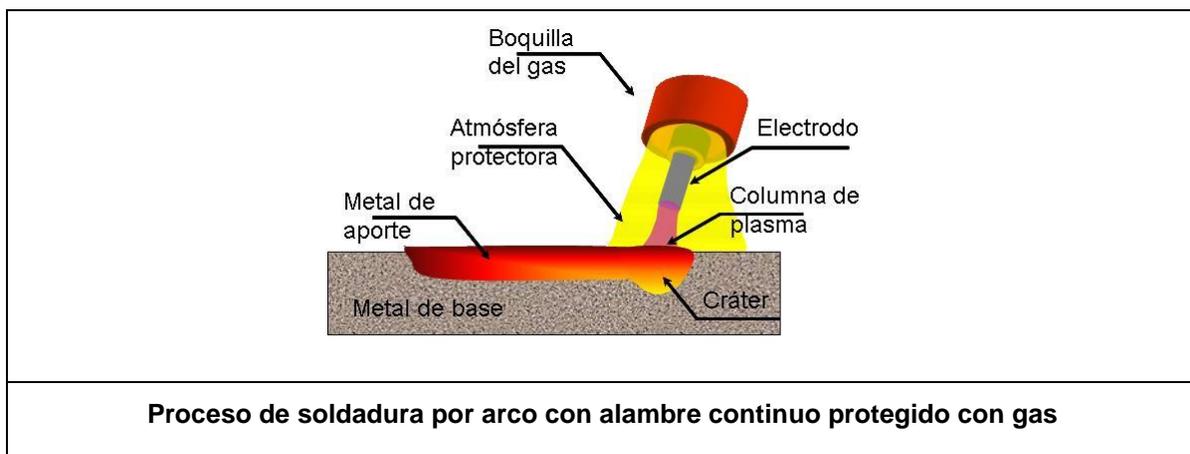
Proceso de soldadura por arco con alambre continuo protegido con gas (Gas Metal Arc Welding –GMAW)

Es un proceso de soldadura por arco en el que este se establece entre un electrodo metálico continuo de aporte y el charco de soldadura del metal base. La protección de obtiene por completo de un gas suministrado externamente y no se aplica a presión.

Este proceso también conocido comercialmente con los nombres de MIG (Metal Inert Gas) o MAG (Metal Active Gas), dependiendo de si se emplea protección con gases inertes o activos-, micro-alambre o “micro-wire”, entre otras designaciones.

En GMAW se emplea un alambre continuo, sólido y desnudo, que tiene las funciones de servir como electrodo y como metal de aporte, y al no haber revestimiento como en el caso del proceso SMAW ni fundente adicionado externamente como en el proceso SAW, no se forma una capa de escoria sino una película vítrea delgada.

El metal depositado y los aleantes son suministrados completamente por el metal de aporte y al no haber agentes limpiadores ni fundentes, se requieren cuidados y limpieza adecuados para obtener soldaduras libres de poros y otras discontinuidades.



Este proceso puede aplicarse de forma semiautomática, mecanizada y automática y por medio de robot, es adecuado para operaciones repetitivas como las empleadas en la industria automotriz.

Equipo de soldadura

El equipo básico empleado en este proceso consiste en una fuente de energía de voltaje constante, una unidad de alimentación de alambre, suministro de gas de protección y antorcha o pistola. La figura 5.16 ilustra de manera esquemática el equipo típico que se emplea en el proceso GMAW.

Aplicaciones,

Este proceso es muy versátil y se usa en aplicaciones que requieren altos o bajos volúmenes de producción. Entre sus aplicaciones principales se encuentran la fabricación de recipientes a presión, tuberías industriales, líneas de tuberías de transmisión, instalaciones de energía nuclear, barcos, ferrocarriles, industrias automotriz y aeroespacial y la de equipo pesado incluyendo la construcción y fabricación de productos y bienes de acero al carbono, aceros inoxidable y algunas aleaciones no ferrosas.

Ventajas y limitaciones

Sus ventajas combinadas, comparadas con los procesos SMAW, GTAW, FCAW o SAW son las siguientes:

Las operaciones de soldadura pueden hacerse en todas las posiciones (dependiendo del modo de transferencia metálica)

No se requiere la remoción de escoria

La velocidad de depósito es relativamente elevada

Tiempos totales de terminación de soldadura de aproximadamente la mitad de aquellos obtenidos con electrodo recubierto (SMAW)

En general, menor distorsión de las piezas de trabajo

Alta calidad de las uniones soldadas

Juntas con aberturas de raíz relativamente grandes pueden ser fácilmente unidas (con modo de transferencia metálica en corto circuito), lo que facilita realizar efectivamente cierta clase de reparaciones

Variables específicas

Entre las variables particulares inherentes a este proceso, mismas que se discutirán brevemente, están las siguientes:

Gases de protección

La protección del arco y del charco de metal fundido se obtiene a partir de un gas o mezcla de gases adicionados externamente.

Los gases empleados constituyen una serie de variables de soldadura que afectan a este proceso y tienen una gran influencia sobre las características de las uniones soldadas.

Cuando se sueldan metales no ferrosos se emplean gases de protección inerte tales como helio, argón, y mezclas de estos. Para metales ferrosos pueden emplearse gases activos tales como dióxido de carbono, o mezclas de gases inertes con gases activos, tales como dióxido de carbono y oxígeno.

Los factores que se deben considerar para determinar el tipo de gas a emplear son, entre otros, los siguientes:

Tendencia al socavado

Velocidad de soldadura

Penetración, ancho y forma del cordón

Tipo de metal a ser soldado

características del arco y tipo de transferencia metálica requerida

Disponibilidad

Costo del gas

Y las propiedades mecánicas requeridas

Modos de transferencia metálica

En soldadura por arco metálico protegido con gas pueden obtenerse varios “tipos de arco” y modalidades de este proceso, los cuales están determinados por el tipo de transferencia metálica, esto es, la forma en que el metal fundido se transfiere del electrodo a la pieza de trabajo. Hay cuatro modos básicos de transferencia metálica: corto circuito, globular, rocío y arco pulsado. Además, recientemente la Lincoln Electric Co. Desarrolla una fuente de energía para corto circuito que produce una transferencia por tensión superficial.

La física de la transferencia metálica aun no esta bien comprendida, pero se cree que hay varias fuerza que regulan tal transferencia. Dos de estas fuerza son la gravedad y el efecto de apriete (“pinch efect”). Este ultimo es el angostamiento momentáneo de la gota liquida en el extremo del metal de aporte que conduce la corriente, y ocurre como resultado de los efectos electromagnéticos de esta. Se estima que este efecto es la clave en la transferencia por rocío y un factor involucrado en la transferencia por corto circuito, mientras que en la transferencia globular, predomina el efecto de la fuerza de gravedad.

El tipo de transferencia metálica esta determinado por la intensidad de la corriente de soldadura –misma que es directamente proporcional a la velocidad de alimentación de alambre (en relación con el diámetro de este)-, el gas de protección y el voltaje, principalmente.

Transferencia por corto circuito

Esta caracterizado como un modo de “baja energía”, ya que emplea los niveles de corrientes mas bajos asociados con GMAW. El metal es transferido del electrodo a la pieza de trabajo solo durante el lapso en que el electrodo esta en contacto (en corto circuito) con el charco de soldadura y no hay transferencia metálica a través del arco.

El electrodo entra en contacto con el charco de soldadura a una velocidad estable en un intervalo de 20 a 200 veces por segundo, dependiendo del nivel de energía. La secuencia de eventos, la transferencia metálica y las variaciones de corriente y voltaje.

Cuando el alambre toca el metal de soldadura fundido, la corriente aumenta y debiera continuar aumentando si no se formara un arco. La velocidad de incremento de la corriente debe ser suficientemente alta para mantener fundida la punta del electrodo hasta que el metal de aporte se transfiere, pero esto no debiera ocurrir tan rápido como para producir un chisporroteo debido a la desintegración de la gota transferida del metal de aporte. La velocidad de aumento de la corriente es controlada por ajustes de la inductancia en la fuente de energía. El valor de la inductancia requerido depende de la resistencia eléctrica del circuito de soldadura y del intervalo de la temperatura de fusión del electrodo. El voltaje de circuito abierto de la fuente debe ser suficientemente bajo de manera que el arco no pueda continuar bajo las condiciones de soldadura existentes. Una porción de la energía para el mantenimiento del arco es proporcionada por la reserva inductiva de energía durante el periodo de corto circuito.

Ya que la transferencia metálica ocurre solo durante el corto circuito, el gas de protección tiene muy poco efecto en este tipo de transferencia. Puede ocurrir algo de chisporroteo, que normalmente es causado por la evolución del gas o por las fuerzas electromagneticas en la punta fundida del electrodo.

La siguiente tabla muestra los intervalos típicos de corriente empleados para electrodos de acero al carbono.

Ventajas, características y aplicaciones de transferencia en corto circuito

-El empleo de los intervalos más bajos de corriente asociados con este proceso

-Pequeños diámetros de electrodo (0.030", 0.035", 0.045")

-Polaridad invertida (electrodo positivo)

Aportes térmicos bajos, lo que produce muy poca distorsión del metal base

-Se produce un charco de soldadura pequeño de solidificación rápida

-Adecuado para unir secciones delgadas (generalmente de 0.6 mm a espesores no mayores a 6.4 mm (1/4 Pulgada)

-Apropiado para el llenado de aberturas de raíz grandes

-Puede soldarse en todas las posiciones

-Alto riesgo potencia de ocurrencia de pequeñas faltas de fusión que pueden resultar indetectables con radiografía o ultrasonido

-Penetración poco profunda

Transferencia globular

La transferencia globular ocurre con intensidades de corriente y voltaje relativamente bajos, pero más altos que los empleados para obtener transferencia en corto circuito. Tiene lugar con todos los tipos de gases de protección, pero si se emplea CO₂, generalmente ocurre a niveles de corriente y voltaje en la parte superior del intervalo de operación.

En este modo de transferencia, el metal se traslada a través del arco en forma de gotas de metal fundido que tienen un tamaño mayor al diámetro del electrodo. Esta caracterizado por un arco errático, menos estable que el asociado con la transferencia en corto circuito y altas cantidades de chisporroteo.

El arco que se produce con CO₂ generalmente es de naturaleza inestable y esta caracterizado por un sonido "crujiente"; la superficie de los cordones es más rugosa que la de los obtenidos con transferencia en rocío.

Cuando se emplea CO₂, la mayor parte de la energía del arco se dirige hacia debajo de la superficie del metal de soldadura fundido, lo que produce un perfil de cordón de penetración muy profunda con una acción de lavado en los extremos del cordón (menor que las obtenidas con el modo de transferencia en rocío).

Si se emplean mezclas de gas ricas en helio, se produce un cordón de soldadura mas ancho y con una profundidad de penetración similar a la que se obtiene con argón.

Ventajas, características y aplicaciones del modo de transferencia globular

-Alta penetración

-Chisporroteo excesivo

-Por lo general no es adecuado para aplicaciones de soldadura fuera de posición.

Prácticamente esta limitada a posición plana y filetes horizontales

-Para soldar metales base de espesores de 1.2 mm en adelante

-Requiere del empleo de corriente directa y polaridad invertida.

Transferencia por rocío

La transferencia por rocío (spray) esta asociada con los niveles de voltaje y amperaje más altos del intervalo de operación del proceso GMAW.

Para que ocurra es necesario que la corriente mínima de soldadura sea igual o superior a la llamada corriente de transición. La tabla 5.8 muestra los valores típicos de corriente de transición para varios metales de aporte y gases de protección.

Como puede apreciarse en esta tabla, la corriente de transición depende del diámetro del alambre y del gas de protección, sin embargo, para obtener transferencia en rocío al soldar aceros al carbono y de baja aleación, es necesario que la mezcla del gas de protección contenga un porcentaje mínimo de Argón (que oscila de aproximadamente el 80 al 86%, según diversos autores).

El ciclo de transferencia por rocío empieza cuando el extremo del electrodo se adelgaza en un punto, se forman pequeñas gotas y son impelidas electromagnéticamente de la punta adelgazada del electrodo. El metal se transfiere a través del arco en forma de pequeñas gotas cuyo tamaño es menor o igual al diámetro del electrodo. Las gotas son dirigidas axialmente en línea recta del electrodo al charco de metal de soldadura y el arco es muy estable, lo que resulta en muy poco chisporroteo y un cordón de soldadura de superficie relativamente lisa.

Debido a que la energía del arco (plasma) se extiende en forma de cono desde el alambre-electrodo, se produce una acción de lavado en los extremos del cordón, y a la vez una penetración relativamente profunda, menor que la que se obtiene con una transferencia globular de alta energía, pero mayor que la obtenida que con SMAW.

Ventajas, características y aplicaciones del modo de transferencia en rocío

- Adecuado para soldar secciones de espesores relativamente gruesos, por lo general, de 3.2 o 4.8 mm (1/8 o 3/16") en adelante

- El arco estable produce la menor cantidad de chisporroteo que los otros modos de transferencia

- Adecuado para soldar en posiciones plana y en filetes horizontales, aunque también el útil para soldar fuera de posición, pero debe tenerse en cuenta que los altos niveles de corriente y voltaje usados pueden producir un charco de soldadura relativamente abundante que resulta difícil de controlar

- Requiere del empleo de corriente directa y polaridad invertida (electrodo positivo)

Transferencia por arco con corriente pulsada

La transferencia por corriente pulsada es una variante del proceso GMAW útil para soldar en todas las posiciones empleando un nivel de energía más alto que el usado en la transferencia por corto circuito.

En esta variante se requiere una fuente de energía especial, misma que suministra dos niveles de corriente: un nivel estable de fondo de una magnitud demasiado baja para producir cualquier tipo de transferencia, y una corriente de pico pulsada super-impuesta, a intervalos regulares, a la corriente de fondo.

La combinación de estas dos corrientes produce un arco estable (correspondiente al amperaje de fondo), y una transferencia controlable del metal de soldadura en el modo rocío, correspondiente a la corriente pulsada de pico.

Este modo de transferencia combina características y ventajas de las transferencias en rocío y corto circuito, pero requiere de buenas técnicas de operación para evitar faltas de

fusión en espesores gruesos, pero este no es un factor crítico como en el modo de transferencia por corto circuito.

Consumibles, especificaciones y clasificaciones

Las especificaciones aplicables para los electrodos empleados en este proceso son las siguientes:

- AWS A5.9 para electrodos de aceros inoxidables
- AWS A5.10 para electrodos de aluminio y sus aleaciones
- AWS A5.13 para electrodos sólidos para recubrimientos especiales
- AWS A5.14 para electrodos de níquel y sus aleaciones
- AWS A5.16 para electrodos de titanio y sus aleaciones
- AWS A5.18 para electrodos de acero al carbono
- AWS A5.24 para electrodos de circonio y sus aleaciones
- AWS A5.28 para electrodos de acero de baja aleación

La clasificación de estos electrodos esta relacionada con las aplicaciones específicas previstas. El sistema para identificar la clasificación de los electrodos en las especificaciones AWS para metales de aporte sigue un modelo estándar que puede ser ejemplificado con el sistema de clasificación para los electrodos de acero al carbono (AWS A5.18) que se ilustra a continuación:

ER XX S – Y N

Donde:

ER indica que se usa como un electrodo (E) o una varilla desnuda (R,Rod.)

XX indica la resistencia mínima a la tensión, en incrementos de 1,000 libras por pulgada cuadrada (6.9 MPa), del metal de soldadura depositado por el electrodo cuando es probado de acuerdo con esta especificación.

S indica que se trata de un metal de aporte sólido

Y se refiere a la descripción y al uso intentado de los electrodos, e indica aspectos tales como el uso principal previsto (para soldaduras de un solo paso o de pasos múltiples, si el acero a soldar es calmado, semicalmado o efervescente, así como el grado de herrumbre o contaminación superficial que puede tolerarse), los desoxidante que contiene el electrodo y si la clasificación correspondiente requiere o no pruebas de impacto.

N esta letra se emplea únicamente cuando aplica la nota b de la Tabla 1 de la especificación, e indica que el metal de soldadura esta intentado para aplicaciones en reactores nucleares.

Así, en la clasificación ER70S-3:

ER significa que se trata de un electrodo una varilla desnuda (Rod, R)

70 indica una resistencia mínima a la tensión (del metal de soldadura producido por este electrodo) de 70,000 libras por pulgada cuadrada (PSI, Pound per Square Inch)

S indica que se trata de un metal de aporte sólido

3 significa que estos electrodos están intentados para soldaduras de pasos sencillos y múltiples.

También existe una clasificación “G”, misma que denota que el metal de aporte corresponde a una clasificación “general”, no incluida en otras clasificaciones y para la cual únicamente ciertos requisitos de propiedades están especificados.

Adicionalmente, las clasificaciones pueden incluir el designador opcional suplementario H16, H8 o H4, que se refiere a los requisitos de hidrogeno difusible en ml/100 gramos de metal depositado.

La especificación AWS A5.18 incluye clasificaciones para electrodos compuestos, para pasos múltiples y para paso sencillo. Una clasificación típica de estos es la E70C-3X, donde “E” indica electrodo, la “C” indica que el electrodo es compuesto, el “3” se refiere a las características de uso y, la posición de la “X” puede ser ocupada por una “C” o una “M”, que establecen, respectivamente, si el electrodo es clasificado con CO₂ o con mezcla de 75-80% argón/balance CO₂.

Si se trata de clasificaciones cubierta por la especificación AWS A5.28 para electrodos de acero de baja aleación, la clasificación incluye un sufijo que se refiere a la composición química del electrodo. Por ejemplo, en la clasificación ER80S-B2 el sufijo B2, indica que se trata de un electrodo con un contenido nominal de 1.25% de Cr y 0.5% de Mo.

Para el caso de los electrodos de aceros inoxidable, la designación de las clasificaciones esta compuesta por los designadotes “ER”, para alambre sólidos que pueden ser usados como electrodos o varillas desnudas (o pueden ser “EC” para alambres trenzados, tubulares o compuestos, o “EQ” para electrodos en forma de tira), seguido de un numero de tres dígitos que designa la composición química del metal de aporte. Por ejemplo, ER308.

En algunos casos la clasificación puede incluir símbolos de elementos químicos y las letras L, H y LR, que denotan, respectivamente: contenido de carbono en la parte baja del intervalo especificado para el grado estándar del metal de aporte correspondiente, contenido de carbono restringido a la parte superior del intervalo especificado (también para el grado estándar para el metal de aporte), y contenido bajo de elementos residuales.

TEMA V

DISCONTINUIDADES Y RIESGOS PARA LAS ESTRUCTURAS METALICAS

Los metales base y las juntas soldadas generalmente presentan imperfecciones que pueden representar un riesgo para la integridad y de la seguridad del equipo o estructura y varían en su naturaleza, tamaño, frecuencia, localización y distribución.

Cada norma establece los criterios de aceptación para las diferentes imperfecciones que pueden presentarse en las uniones soldadas, A estas imperfecciones se les llama discontinuidades. Los criterios de aceptación de las normas establecen el tipo, tamaño, número y distribución que puede ser tolerado por lo que una de las funciones principales de la inspección consiste en determinar si la unión soldada cumple con los criterios de aceptación.

En esta sección se resumen los efectos de las distintas variables que influyen en la inspección así como la definición de conceptos importantes para la evaluación e interpretación de resultados. También se definen algunas de las funciones del inspector y denotando que requiere experiencia para efectuar las pruebas y una absoluta honestidad en la evaluación e interpretación de las indicaciones.

En todos los métodos de Ensayos no Destructivos se producen indicaciones en forma directa o indirecta, las cuales deben ser correctamente interpretadas antes de obtener Información útil.

Existe una gran tendencia por parte de los inspectores, de confundir los términos "interpretación" y "evaluación". Actualmente, éstos se refieren a dos etapas completamente diferentes en el proceso de inspección, por lo que requieren distintas categorías de conocimiento y de experiencia.

El término "interpretar" una indicación significa predecir que tipo de discontinuidad puede ser la causa que la origina. La "evaluación" es posterior a la interpretación y consiste en comparar las características de la indicación o de la posible discontinuidad con los requisitos establecidos por las normas de calidad aplicables. Para interpretar las indicaciones correctamente, el inspector debe familiarizarse completamente con el proceso de inspección y fabricación que se está empleando. También debe conocer el material de la pieza inspeccionada y en caso necesario, debe ser capaz de obtener toda la información posible acerca de la discontinuidad que produce la indicación y su posible efecto en la pieza.

Puesto que la evaluación correcta de las indicaciones obtenidas depende en gran parte de la interpretación de las mismas, el inspector es un elemento clave del proceso. En muchas ocasiones se espera que el inspector que observa e interpreta la indicación, también la evalúe, por lo que un inspector hábil y con experiencia es de gran utilidad para mejorar los métodos de inspección.

Para iniciar la interpretación y evaluación de discontinuidades es necesario clasificar algunos conceptos importantes empleados en la inspección no destructiva.

Sensibilidad.

Para la inspección por ultrasonido, se puede definir que la sensibilidad es la capacidad del sistema ultrasónico para detectar discontinuidades que tienen una cierta dimensión establecida por un código, norma o especificación.

Umbral de Detección.

Es la capacidad de un sistema de inspección para detectar una discontinuidad de un tamaño determinado y producir una indicación que pueda ser interpretada y evaluada sin dificultades.

Indicación.

Es una señal que puede ser producida por una alteración en el material o pieza sujeta a inspección y es generada por el método de inspección empleado. Las indicaciones pueden ser:

Tipo de indicación	Definición
Falsas.	Es aquella que aparece durante la inspección y que puede ser provocada por una mala aplicación del método
No relevantes	Es producida por la estructura del material o por la configuración de la pieza. En general, esta indicación se produce por interrupciones de la configuración de la pieza y pueden ser los dientes, cuñeros, condición de la superficie. También puede ser producida por cambios en algunas características del material como su tamaño de grano, los tratamientos térmicos de endurecimiento a que ha sido sometido o el acabado superficial.
Relevantes	Es producida por una discontinuidad, Para determinar su importancia se debe interpretar la indicación y evaluar la discontinuidad

Normalmente los códigos y las normas definen las indicaciones relevantes en función de su forma o dimensiones quedando establecido por ejemplo que una indicación relevante es aquella que tiene una dimensión igual o mayor a un límite dimensional, así, una indicación redondeada es aquella que su longitud es igual o menor a tres veces su ancho; una indicación lineal o alargada es aquella en que su longitud es mayor a tres veces su ancho.

Discontinuidad.

Es la falta de homogeneidad o interrupción en la estructura física normal de un material, también puede ser una deficiencia en la configuración física de una pieza, parte o componente. Las discontinuidades pueden ser:

Tipo de discontinuidad	Definición
No relevantes.	Es aquella que por su tamaño, forma o focalización requiere de ser interpretada, pero no es necesario evaluarla
Relevantes	Es aquella que por su tamaño, forma o localización requiere de ser interpretada y evaluada

Defecto.

Es toda discontinuidad o indicación de una discontinuidad que por su tamaño, forma o localización ha excedido los límites de aceptación establecidos por el código, norma o especificación aplicable.

Discontinuidad crítica.

Es la discontinuidad más grande que se puede aceptar o la más pequeña que puede ser rechazada.

Interpretación.

Es la determinación del tipo de discontinuidad que ha provocado la indicación y la predicción del posible origen de la misma.

Evaluación.

Es la ponderación de la severidad de la discontinuidad después de que la indicación se ha interpretado; es decir, si la pieza debe ser aceptada, reparada o rechazada.

Durante el proceso de evaluación de una indicación se pueden plantear cuatro interrogantes:

- ¿Qué tipo de discontinuidad causa la indicación?
- ¿Cuál es la extensión de la discontinuidad?
- ¿Qué efecto tiene la discontinuidad en la calidad de la pieza?
- ¿Cuáles son las tolerancias dimensionales establecidas por el documento para la indicación?

Con base en las respuestas a estas preguntas, es posible determinar si la pieza se acepta o se rechaza.

El tipo y tamaño de la discontinuidad no sólo se determina con respecto a la amplitud de la indicación, si no también en base a la experiencia del inspector.

Clasificación de las Discontinuidades de Acuerdo a su Origen.

Las discontinuidades se dividen en tres clases: inherentes, de proceso y de servicio.

Discontinuidades inherentes. Son aquellas que se forman durante la solidificación del metal fundido. Estas discontinuidades están directamente relacionadas con la calidad y el tipo de aleación del metal, la forma del vaciado y la solidificación del metal, incluyendo aquellas que son producidas por las variables del proceso primario, tal es como una alimentación inadecuada, vertedero en mal estado, temperatura alta de vaciado, inclusiones no metálicas y gases atrapados.



Ejemplo de una laminación (discontinuidad de proceso)

Discontinuidades de proceso. Las discontinuidades de proceso son aquellas que se relacionan con los procesos de manufactura que pueden ser maquinado, tratamientos térmicos, recubrimientos metálicos, conformado en caliente (forja, extrusión, rolado), conformado en frío (doblado, prensado, extruido) y soldadura. Durante estos procesos, muchas discontinuidades que son sub-superficiales se pueden convertir en superficiales.

Discontinuidades de servicio. Son las discontinuidades que se generan por las diferentes condiciones del servicio al que se sujeta la pieza, pudiendo tratarse de esfuerzos de tensión o compresión, corrosión, fatiga o fricción.



Ejemplo de una discontinuidad por servicio

Como se puede concluir, es necesario conocer qué tipo de discontinuidad se desea detectar para seleccionar adecuadamente el sistema y la técnica de inspección; adicionalmente, tiene que ser elegido tomando en cuenta las condiciones planteadas por el material y la forma de la pieza, así como por los requisitos del ensayo, por ejemplo, el tamaño mínimo de la discontinuidad que se desea detectar.

Algunas discontinuidades pueden ser aceptables y los defectos siempre son rechazables. Los defectos ponen en riesgo la utilidad y seguridad del producto que los contiene, y una tarea del inspector es identificar, rechazar y reportar los defectos existentes, así como verificar, por medio de los métodos de inspección apropiados, que la unión soldada después de reparada cumpla con los criterios de aceptación.

Existen otras imperfecciones, tales como la distorsión, que no corresponden con exactitud a la definición de discontinuidad.

Las discontinuidades de soldadura y metal base pueden clasificarse en los siguientes grupos:

Discontinuidades por la estructura metalúrgica en la unión soldada.

Discontinuidades en la unión soldada.

Discontinuidades provenientes del metal base.

Imperfecciones y discontinuidades relacionadas con los requisitos dimensionales.

DISCONTINUIDADES DEL PROCESO DE SOLDADURA

Estas ocurren de forma inherente de la soldadura y normalmente se describen en términos de la interrupción de la integridad física del metal de soldadura o la zona afectada térmicamente.

Fracturas. (cracks)

Las fracturas ocurren en las uniones soldadas o el metal adyacente cuando los esfuerzos localizados exceden la resistencia máxima del metal, pueden producirse por la intervención de varios factores entre los cuales podemos considerar la presencia de discontinuidades lineales como las faltas de penetración o de fusión, las inclusiones de escoria o líneas de poros; por muescas mecánicas relacionadas con el diseño del ensamble soldado o bien cuando la junta es demasiado rígida y no puede absorber las contracciones y expansiones térmicas propias del proceso de soldadura. Otra causa de las fracturas es el empleo de amperajes altos que ocasionan sobrecalentamientos localizados. Algunos de los factores que favorecen su aparición son los esfuerzos residuales altos y la fragilización provocada por la presencia de hidrógeno.

Hay varios tipos de fracturas y estos se clasifican generalmente: en base de su orientación con respecto a la soldadura y también por la temperatura a la que se desarrollan; desde este punto de vista se agrupan en fracturas en caliente y fracturas en frío.

Las fracturas en caliente se desarrollan a temperaturas cercanas o superiores a la temperatura crítica de transformación; bien sea durante el proceso de solidificación a temperaturas cercanas al punto de fusión o en el punto de las transformaciones de fase. El

primer caso de estas fracturas esta muy relacionado con los amperajes altos durante la soldadura que ocasionan un enfriamiento mas lento en el metal aportado que en el metal de base, este diferencial de temperatura provoca zonas de contracción cuando aún hay metal en estado semisólido que no puede resistir las contracciones del enfriamiento. Otra causa es la presencia de aleantes o contaminantes como es el caso de Azufre y que pueden originar sitios de solidificación preferencial conocidos como segregaciones y en este caso las fracturas se propagan integranularmente.

Las fracturas en frío se desarrollan después de que han concluido el proceso de solidificación y la temperatura es inferior a la temperatura crítica de transformación, este tipo de defecto puede deberse a que la junta es demasiado rígida y durante la contracción final y la unión soldada no puede absorber la deformación y el metal termina por ceder y fracturarse. Otra causa es la presencia de hidrógeno disuelto en el metal base y la cuando se tratan de micro estructuras susceptibles a fracturarse al estar sometidas a esfuerzos y pueden propagarse a través de la microestructura en forma integranular o transgranular. Normalmente las fracturas por hidrógeno requieren de un tiempo de incubación que puede variar entre 24 y 72 horas para que se inicie su propagación

Existen varias formas de evitar las fracturas. La primera y mas económica es la de precalentar adecuadamente el material para evitar los cambios bruscos de temperatura; ajustar las características eléctricas o corregir las técnicas de operación para mejorar las propiedades de la unión soldada; Usar electrodos de bajo hidrogeno. Establecer la secuencia de soldadura que permita balancear de manera adecuada los esfuerzos de contracción.

Dependiendo de su orientación, las fracturas se clasifican como longitudinales y transversales.

Fracturas longitudinales (longitudinal cracks).

Son aquellas paralelas al eje de la soldadura, ya sea que estén en la línea de centro del metal de aporte o bien, en la zona térmicamente afectada del metal base. Las fracturas longitudinales en soldaduras de secciones de espesor grueso frecuentemente son originadas por velocidades de enfriamiento altas y condiciones severas de ejecución o restricción; en soldaduras de gran longitud depositadas y empleando equipos mecanizados, este tipo de fractura esta asociado con amperajes y velocidades de avance altas y algunas veces con porosidad que no aflora a la superficie.

Fracturas transversales (transversal cracks).

Son fracturas perpendiculares al eje de la soldadura, pueden estar localizadas exclusivamente en el metal de soldadura o pueden propagarse de este a la zona afectada térmicamente y aun dentro del metal base. En algunos casos las fracturas transversales se forman solo en la zona afectada térmicamente y no en la soldadura. Este tipo de fractura se debe principalmente a esfuerzos de contracción longitudinales que actúan sobre el metal de aporte con baja ductilidad y juntas que tienen un alto grado de restricción.

Fracturas en el cráter (crater cracks)

Ocurren en los cráteres que se forman debido a una terminación inapropiada de un paso de soldadura. Se consideran fracturas en caliente y normalmente tienen poca profundidad. Algunas veces son denominadas fracturas estrella debido a que frecuentemente se propagan en varias direcciones a partir del centro del cráter, pero también pueden tener otras formas. Este tipo de fractura se debe a que al interrumpir una operación de soldadura existe una contracción del metal de aporte y la formación de cráteres. Las fracturas normalmente se propagan solamente hasta el borde del cráter, sin embargo, pueden ser punto de inicio de fracturas longitudinales, en particular cuando ocurren en la terminación de las soldaduras. Este tipo de fracturas se encuentra con mucha frecuencia en materiales con altos coeficientes de expansión tales como los aceros inoxidable austeníticos. Para evitar las fracturas en estrella o de cráter lo más conveniente es terminar el cordón de soldadura de manera que el cráter tenga una forma ligeramente convexa antes de interrumpir el arco.

Fracturas en la interfase de la soldadura (toe cracks).

Estas se inician y se propagan a partir de la interfase de la soldadura donde están concentrados los esfuerzos de contracción; su ocurrencia se ve favorecida por la convexidad excesiva del cordón o por un esfuerzo residual muy alto. Generalmente se inician en la superficie del metal base, pero tienden a propagarse a través de la zona afectada térmicamente. Por lo general son fracturas en frío.

Fracturas en la raíz (root cracks).

Generalmente son fracturas que se forman en la zona afectada térmicamente y se pueden encontrar distribuidas a intervalos regulares debajo del cordón, delineando los límites de la soldadura donde los esfuerzos residuales son más altos. Con frecuencia son pequeñas, pero pueden unirse para formar fracturas largas continuas. Pueden llegar a convertirse en un problema serio, particularmente cuando se presentan de forma combinada la presencia de contaminación por hidrógeno, Micro-estructuras que tienen una ductibilidad relativamente baja y alta resistencia y dureza (HRC superior a 30) y esfuerzos residuales altos.



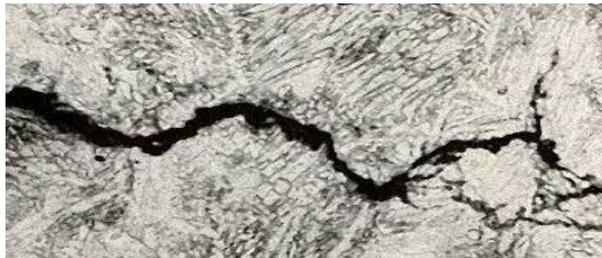
Fractura longitudinal



fractura en estrella.



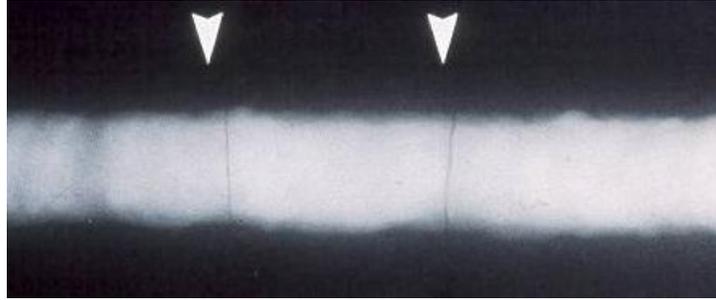
Micrografía de una fractura en acero austenítico



Micrografía de una fractura en acero martensítico.



Radiografía de una fractura longitudinal



Radiografía de una fractura transversal

Porosidad (porosity)

Son cavidades formadas por gas atrapado durante la solidificación del metal. Los poros generalmente tienen forma más o menos esférica pero también pueden ser alargados. Cuando la porosidad no es excesiva o el tamaño de los poros son pequeños, su presencia no es crítica debido a que no tienen bordes agudos que pudieran causar concentraciones de esfuerzo.

La presencia de porosidad excesiva es evidencia de falta de control en los parámetros de soldadura, de un diseño de junta inadecuado, una mala preparación de las juntas o bien, la contaminación de los materiales de aporte o los fundentes así como suciedad, herrumbre o humedad en la superficie del metal base. Otra causa puede ser la pérdida del gas de protección o un flujo inadecuado durante la soldadura.

Porosidad distribuida uniformemente (scattered porosity)

Es la porosidad esparcida de manera uniforme en el metal de soldadura; las causas probables de este tipo de discontinuidad es una técnica de soldadura inadecuada, la preparación incorrecta de las juntas o errores en el manejo de los materiales. La manera de prevenir este tipo de porosidades es el manejo adecuado de los materiales, técnicas correctas de soldadura y de preparación de juntas.

Porosidad agrupada (cluster porosity)

Son los grupos localizados de poros separados por longitudes considerables de metal de soldadura sano. Pueden ser causados por un mal inicio o terminación inadecuada del paso de soldadura, otra causa es el soplo de arco (arc blow) que se puede evitar o disminuir al reducir la intensidad de la corriente directa o bien cuando es posible, soldando con corriente alterna; cambiando la conexión del cable al otro extremo de la pieza de trabajo o haciendo conexiones en varios puntos.

Porosidad alineada (linear porosity)

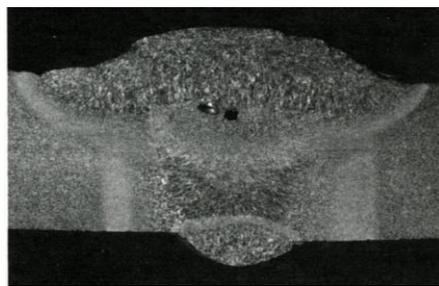
Es una serie de poros alineados que siguen una trayectoria más o menos recta, frecuentemente a lo largo de los límites del metal de soldadura con el metal base, los límites entre cordones o cerca de la raíz de la soldadura; puede ser causada por contaminantes que reaccionan químicamente y genera gases en las zonas contaminadas

Poros túnel (Worm hole)

Es una cavidad alargada que se extiende de la raíz de la soldadura hacia la superficie. Ocurre principalmente en soldaduras de ranura. Generalmente los poros superficiales están asociados con porosidad debajo de la superficie.



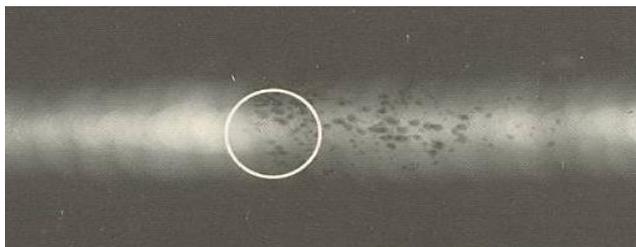
Porosidad superficial



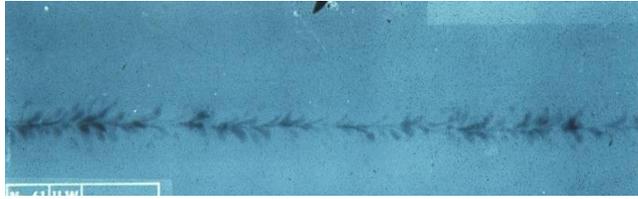
Micrografía de una porosidad



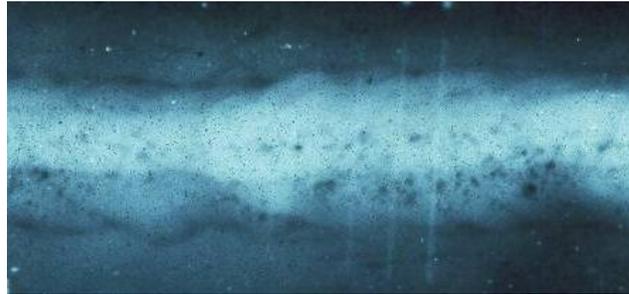
Radiografía de un poro aislado



Radiografía de porosidad aglomerada



Radiografía de poros en la raíz



Radiografía de Porosidad una generalizada



Radiografía de poros túnel.

Penetración incompleta (incomplete penetration)

Se presenta cuando el arco eléctrico no logra fundir uno o los dos lados de la cara de la raíz. La penetración incompleta puede presentarse en ranuras soldadas por uno o por ambos lados y indeseable cuando la raíz de la soldadura va a estar sujeta a esfuerzos de tensión o dobléz, ya que las áreas no fundidas permiten la concentración de esfuerzos que podrían causar una fractura sin deformación apreciable, adicionalmente los esfuerzos de contracción y la consecuente distorsión que sufren las partes durante la soldadura pueden provocar la iniciación de fracturas en el área no fundida y que llegan a extenderse a través del espesor de la soldadura.

Cuando se requiere asegurar que las soldaduras tengan penetración completa como en el caso de estructuras civiles y líneas de tubería, se deben inspeccionar con un método no destructivo.

Las causas probables de la aparición de este defecto son varias y dependen del proceso que se este empleando, pero podemos mencionar un amperaje bajo, otra causa común es el diseño inadecuado de la junta por ejemplo: Un tamaño excesivo de la cara de raíz, abertura de raíz muy pequeña o el ángulo de la ranura mas cerrado de lo debido; otras causas son:

espesor demasiado grueso para que el arco de soldadura pueda penetrar, el uso de electrodos de diámetro inadecuado con respecto al diseño de la junta, velocidades de soldadura muy altas. Para evitar este tipo de defecto se recomienda revisar que la junta o preparación cumpla con los requisitos de diseño, emplear electrodos del diámetro apropiado y con la intensidad de corriente correcta. En el caso de soldaduras por los dos lados es necesario la limpieza de la raíz antes de soldar el segundo lado a fin de asegurar una penetración completa .

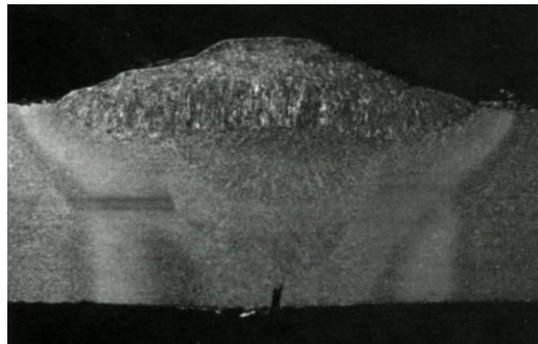
Un caso particular de la falta de penetración es la ocasionada por el desalineamiento de los elementos a soldar, en este caso se puede deber a que las piezas tengan diferentes espesores o en el caso de tuberías por el ovalamiento de uno o ambos elementos a soldar o espesores diferentes para diámetros iguales.



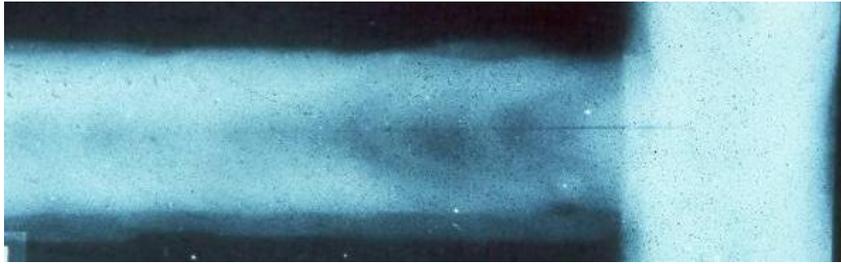
Desalineamiento en tuberías



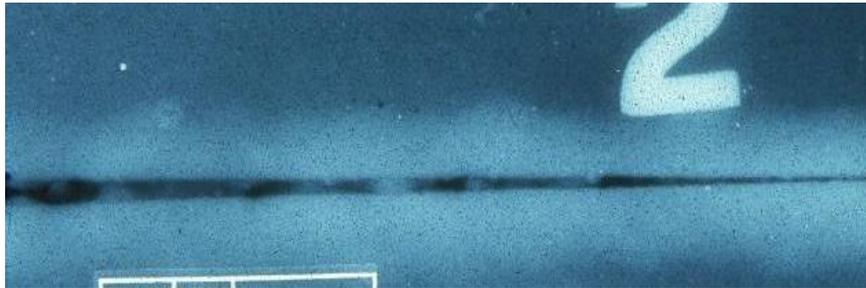
Vista interna de una falta de penetración



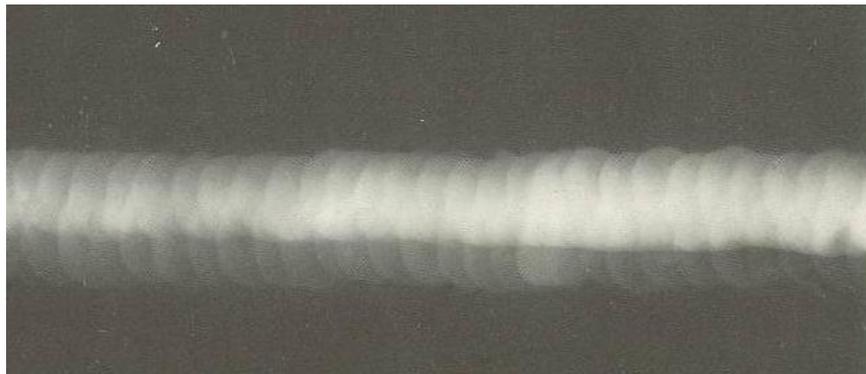
Micrografía de una falta de penetración.



Radiografía de una falta de penetración de un solo lado



Radiografía de una falta de penetración de los dos lados



Radiografía de una falta de penetración con desalineamiento

Inclusiones de escoria (slag inclusión)

Es material sólido no metálico que queda atrapado en el metal de soldadura o entre el metal de soldadura y el metal base. Las causas de las inclusiones pueden ser un mal diseño o mala preparación de la junta, una limpieza deficiente entre cordones. Para evitar la presencia de inclusiones de escoria se debe preparar adecuadamente la junta, corregir los contornos que pudieran dificultar el acceso completo del arco, evitar ángulos de ranura muy cerrados y asegurar la remoción completa de escoria antes de depositar el siguiente cordón. En términos generales podemos decir que la densidad de la escoria es menor que la densidad del metal, por lo que flota y se acumula en la superficie del metal fundido, pero si existen socavaciones debidas a amperajes altos la escoria puede quedar atrapada mecánicamente para evitar este problema se recomienda que después de depositar un

cordón, se remueva la capa de escoria antes de aplicar el siguiente paso para evitar que quede atrapada dentro del metal de soldadura

Inclusiones de tungsteno (tungsten inclusions)

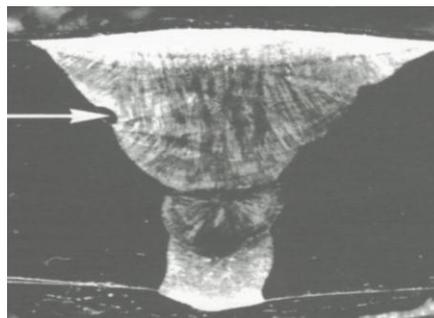
Son partículas de tungsteno atrapadas en el metal de soldadura. Este tipo de discontinuidad solamente ocurre en juntas soldadas con el proceso GTAW. En las radiografías, las inclusiones de tungsteno aparecen como áreas redondeadas y más claras que el cordón de soldadura. Este tipo de discontinuidad se debe a partículas que se desprenden del electrodo de tungsteno y quedan atrapadas en el metal fundido, esto sucede si hay contacto ocasional entre el electrodo y el metal fundido o cuando se emplean corrientes demasiado altas o se usa un electrodo de tungsteno con punta muy aguda. Para evitar esta discontinuidad se recomienda afilar correctamente los electrodos de tungsteno; emplear corriente de soldadura adecuada y polaridad directa. Evitar contactos entre el electrodo y el metal fundido durante el proceso de soldadura.

Fusión incompleta (incomplete fusion)

Es la falta de unión entre el metal de soldadura y las caras del metal de base o la superficie de otros cordones. Esta discontinuidad es también conocida con el término de falta de fusión. Generalmente se debe a un amperaje bajo o bien a una velocidad de avance relativamente alta lo que no permite la fusión completa del metal de base o de los cordones adyacentes de soldadura. Otra posible causa es escoria que al fundirse no permite la unión del metal aportado.

Socavado (undercut)

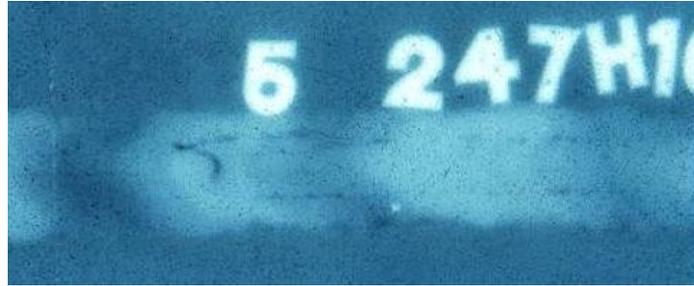
Es la erosión provocada por el arco eléctrico y puede presentarse en la interfase entre el metal de aporte y el metal de base o entre dos cordones de soldadura. Es una discontinuidad lineal y su aceptación o rechazo dependerá de su profundidad y de su longitud ya que su presencia crea una muesca que actúa como un concentrador de esfuerzos y reduce la sección efectiva afectando la resistencia de la junta, particularmente a los esfuerzos de fatiga. Normalmente es provocado por el empleo de amperajes o voltajes altos o longitud de arco largo, también es provocado por una técnica incorrecta de soldador y la manipulación inadecuada del electrodo.



Micrografía de una inclusión de escoria.



Radiografía de una inclusión de escoria lineal.



Radiografía de una inclusión de escoria doble
(Huella de carreta)



Radiografía de una inclusión de tungsteno.

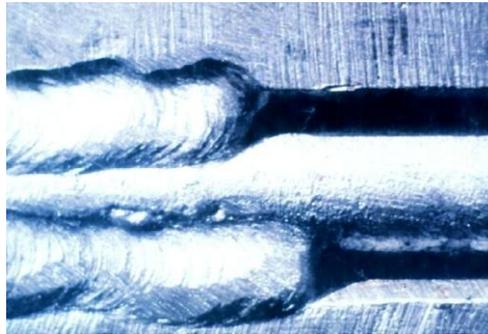
Quemaduras (burn through)

Es una zona de la raíz en la cual por exceso de metal fundido este se ha desprendido dejando una cavidad en la raíz. Este tipo de defecto se debe a varias razones; la primera es una mala preparación de la raíz, que puede deberse a que la cara de la raíz es muy delgada, la separación o abertura de raíz es muy ancha; otra razón es el emplear corriente alta para soldar o bien una técnica incorrecta de aplicar el cordón de soldadura en el paso de fondeo. La forma de evitar este defecto es corrigiendo la causa. La reparación de este defecto puede ser laboriosa y en ocasiones debe retirarse la pieza por no lograrse una reparación satisfactoria según códigos.

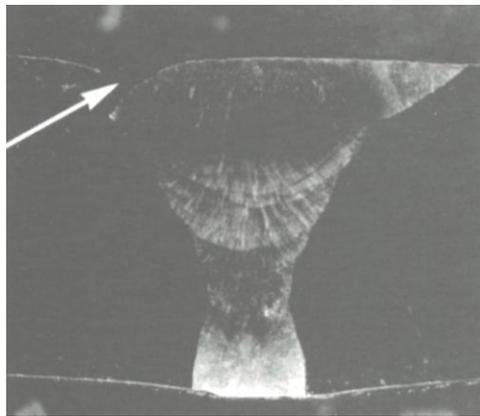
Llenado incompleto (underfill)

Es una depresión de la junta soldada en la cual el metal de aporte no logra llenar toda la ranura quedando la corona abajo del espesor del metal base; algunas veces queda

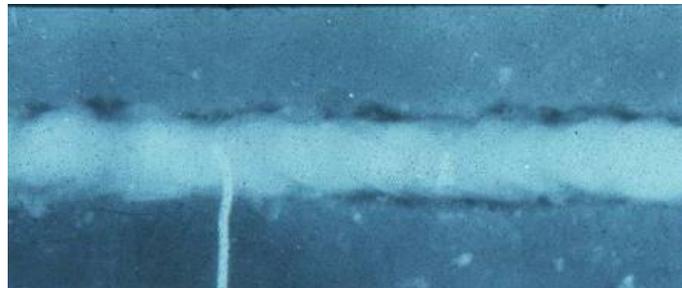
descubierta una porción de la cara de la ranura . En la superficie de la raíz de soldaduras hechas por un solo lado, esta discontinuidad es conocida también con el término de concavidad de raíz.



Socavado entre metal de base y el cordón de soldadura



Micrografía de un socavado externo o en la corona



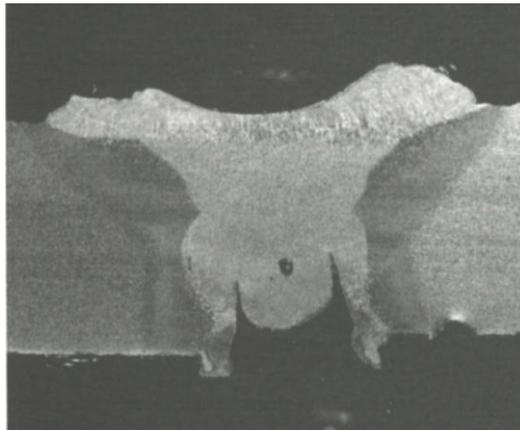
Radiografía de un socavado en la corona



Micrografía de una concavidad en la raíz



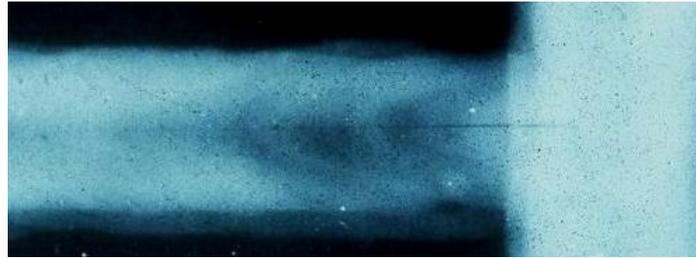
Radiografía de una concavidad en la raíz



Micrografía de una quemadura



Radiografía de una quemadura



Radiografía de una falta de llenado (y una falta de penetración)

Discontinuidades relacionadas con requisitos dimensionales.

Las uniones soldadas, generalmente deben cumplir con el tamaño, forma, acabado y otras características dimensionales especificadas. Los requisitos que deben satisfacer estas características y las tolerancias correspondientes están especificados en los dibujos, contratos y normas aplicables. Las uniones soldadas que no cumplen con las especificaciones deben ser corregidas antes de su aceptación final. Las discontinuidades y otros tipos de imperfecciones clasificadas dentro de esta categoría se describen brevemente a continuación.

Distorsión.

El calor que se genera durante la soldadura por arco eléctrico así como la solidificación del metal de soldadura provocan la expansión y contracción térmica de la unión soldada, y se generan esfuerzos internos después de que la soldadura se ha enfriado y causan algún grado de distorsión que puede llegar a ser tan severo que pueden exceder las tolerancias dimensionales.

El establecimiento de la secuencia de soldadura apropiada por lo general resulta útil para balancear los esfuerzos y reducir la distorsión. Los métodos para corregir la distorsión de productos o componentes que ya se terminaron de soldar son uno o más de los siguientes: Operaciones de enderezado con o sin aplicación de calor, Remover las soldaduras que causaron la distorsión y volver a aplicarlas, la adición de metal de soldadura en áreas específicas o la aplicación de un tratamiento térmico posterior a la soldadura. En cualquiera de los casos la aplicación de los métodos anteriores dependerá de las especificaciones establecidas y de los términos estipulados en el contrato entre el cliente y fabricante.

Productos terminados con dimensiones incorrectas.

Las normas sobre estructuras, equipos y partes soldadas, y en algunos casos, los dibujos y especificaciones de ingeniería, también establecen los requisitos dimensionales, y las tolerancias aplicables, con los que se deben cumplir los bienes fabricados. La falta de cumplimiento de estos requisitos es motivo de rechazo de los productos involucrados, ya que resultan afectados su utilidad y su comportamiento durante servicio; el inspector de soldadura también tiene, entre sus funciones, la de asegurar la conformidad con respecto a este tipo de características .

Discontinuidades en estructura y propiedades de juntas soldadas.

A demás de las imperfecciones descritas, existen otras condiciones y discontinuidades relacionadas con las propiedades, estructura y apariencia, que afectan adversamente a las juntas soldadas. A continuación se describe brevemente las imperfecciones de este tipo.

Golpes de arco (arc strikes)

son discontinuidades que se producen intencional o accidentalmente, cuando se establece el arco eléctrico entre la pieza de trabajo y el electrodo, fuera del área de metal de soldadura permanente. Consiste en pequeñas áreas localizadas del metal fundido y térmicamente afectado, o en cambios del contorno superficial de cualquier objeto mecánico sobre el que se inicio o desplazo el arco, fuera de las áreas a fundir durante la soldadura. Las áreas con golpe de arco contienen regiones metal que se fundió, solidifico y enfrió rápidamente. Los golpes de arco son indeseables y con frecuencia no son aceptables, ya que pueden originar fracturas de las partes que los contienen particularmente si son de aceros de media o alta aleación. La mayoría de las normas requiere que las áreas con golpe de arcos sean removidas y que su eliminación efectiva sea verificada.



Chisporroteo en una unión soldada



Ejemplo de un golpe de arco

Salpicaduras o chisporroteo

Son partículas metálicas expulsadas durante la soldadura y que no forma parte de junta. Por definición, las salpicaduras son partículas son lanzadas lejos de los metales base y de soldadura, pero algunas de estas se adhieren al metal base contiguo. Por lo general las salpicaduras no se consideran un problema serio, a menos de que su presencia interfiera con

las operaciones posteriores, particularmente con la ejecución de exámenes no destructivos, o afecte la utilidad o la apariencia de la parte o componente.

Discontinuidades de metales base

Por su parte, las placas, los tubos, las piezas forjadas y fundidas y otros metales base presentan discontinuidades que pueden afectar la calidad de los productos soldados. Las especificaciones de los metales base establecen los criterios de aceptación para tales discontinuidades, y es deber del inspector de soldadura detectarlas, evaluarlas y rechazar los productos que las contienen, si estos no cumplen los criterios especificados.

Algunas discontinuidades que presentan los metales base, tales como fracturas y desgarre laminar, se desarrollan durante las operaciones de soldadura, mientras que otras ya existen en ellos como parte inherente de sus procesos de fabricación.

Laminaciones (laminations)

Discontinuidades planas, generalmente extendidas y paralelas a la superficie de laminación, que se encuentran en el área central de productos laminados, tales como placas, laminas y perfiles.

Las laminaciones se forman como resultado de porosidades, cavidades de contracción o inclusiones no metálicas en el lingote original a partir del cual se fabricó el producto laminado; el proceso de laminado provoca que tales discontinuidades se unan, extiendan, crezcan y adquieran forma plana en la parte central del espesor de la pieza.

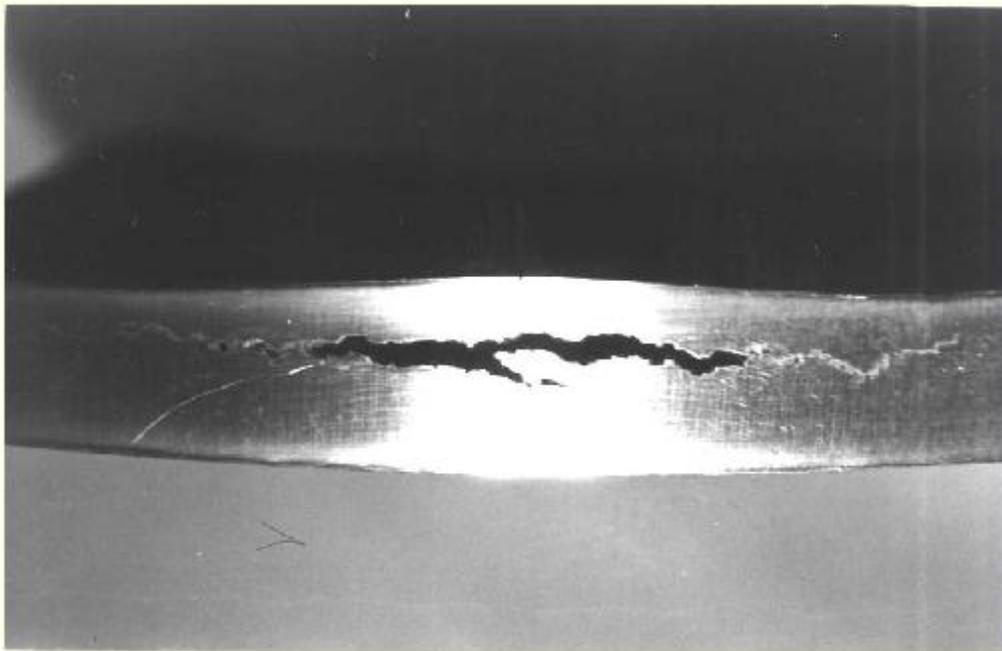
Algunas laminaciones pueden ser eliminadas debido a las altas temperaturas y presiones del laminado, pero otras persisten y pueden ser completamente internas, también pueden extenderse a los extremos y bordes y resultar visibles en la superficie, o bien, pueden quedar expuestas por operaciones de corte y maquinado, situaciones en las que pueden ser verificadas por medio de líquidos penetrantes o partículas magnéticas. Las partes metálicas que contienen laminaciones por lo general no son capaces de conducir satisfactoriamente los esfuerzos de tensión a través de la dirección del espesor, por lo que el tamaño y frecuencia de las laminaciones están restringidas por las especificaciones correspondientes.



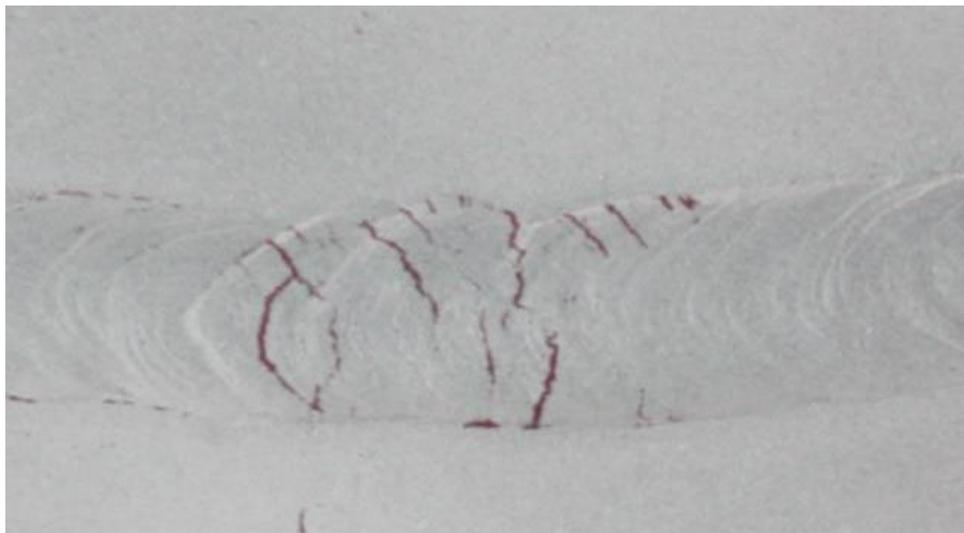
Ejemplo de una unión soldada incorrecta



Ejemplo de una laminación



Macrografía de una laminación en un recipiente a presión.



Fotografía de una fractura en soldadura

TEMA VI

NORMAS PARA LA APLICACIÓN EN DIFERENTES TIPOS DE CONSTRUCCIONES.

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

Existe una variedad muy amplia de áreas, productos, servicios y sistemas objeto de las normas, y el alcance, campo de aplicación, extensión y estructura de éstas también son muy variados.

Los documentos que gobiernan o establecen lineamientos para las actividades relacionadas con el sector industrial de la soldadura tienen el propósito de asegurar que se producirán bienes soldados seguros y confiables y que las personas relacionadas con las operaciones de soldadura no estarán expuestas a riesgos o condiciones que pudieran resultar dañinas a su salud.

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

La declaración anterior es particularmente válida para el inspector de soldadura, ya que el propósito del ejercicio de su especialidad es determinar si los productos soldados cumplen los criterios de aceptación de las normas y otros documentos aplicables.

Por otra parte, algunas normas, particularmente los códigos, son muy extensos y se refieren a todos los aspectos de su campo de aplicación, por lo que con frecuencia, su manejo e interpretación pueden resultar difíciles y provocan una reacción de rechazo por parte de los lectores.

Debido a que los aspectos y puntos de vista considerados en las normas son amplios y muy variados, el enfoque predominante desde el que se aborda el estudio de las normas en este texto es el de la inspección, pruebas y requisitos de calidad de los productos soldados.

A continuación se presentan los conceptos y consideraciones que se estiman más relevantes para que el inspector de soldadura incremente su dominio sobre la interpretación de este tipo de documentos.

Origen de las normas

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

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

Sociedad	Siglas o acrónimo	Nombre en español
American Association of State Highway and Transportation Officials	AASHTO	Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportación
American Bureau of Shipping	ABS	Oficina Americana de Barcos
American Institute of Steel Construction	AISC	Instituto Americano de Construcción de Acero
American National Standards Institute	ANSI	Instituto Nacional Americano de Normas
American Petroleum Institute	API	Instituto Americano del Petróleo
American Society of Mechanical Engineers	ASME	Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos
American Water Works Association	A W W A	Asociación Americana de Trabajos de Agua
American Welding Society	A WS	Sociedad Americana de Soldadura
Association of American Railroads	AAR	Asociación de Ferrocarriles Americanos
The American Society for Testing and Materials	ASTM	Sociedad Americana de Pruebas y Materiales
International Organization for Standardization	ISO	Organización Internacional para la Normalización
The Society of Automotive Engineers	SAE	Sociedad de Ingenieros Automotrices

Debido a que muchas áreas de interés se traslapan, las entidades involucradas proceden, cuando es posible o práctico, a hacer los acuerdos pertinentes a fin de evitar la duplicación de esfuerzos.

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

Los integrantes de cada uno de los comités principales se seleccionan entre grupos de productores, usuarios y representantes del gobierno, de manera que incluyan miembros de todos los sectores y estén representados los diversos intereses de todas las partes involucradas. Para evitar el control o influencia indebida de un grupo de interés, debe alcanzarse el consenso de un alto porcentaje de todos los miembros.

Los gobiernos federales también se han dado a la tarea de desarrollar normas, o bien a adoptarlas, para aquellos bienes o servicios que resultan de interés público más bien que del privado. Los procedimientos para preparar, publicar y actualizar normas gubernamentales o de aplicaciones militares son similares a los que emplean las organizaciones privadas, y dentro de los organismos federales generalmente existen comités encargados de preparar

las normas para regular las aplicaciones particulares que son de su interés o responsabilidad.

En los Estados Unidos de América, la entidad responsable de coordinar las normas nacionales es El Instituto Nacional Americano de Normas. El ANSI es una organización privada que opera a través de grupos de revisión de interés nacional que determinan si las normas propuestas son de interés público. Estos grupos están integrados por representantes de diversas organizaciones relacionadas con los asuntos de cada norma, y si los integrantes del grupo alcanzan el consenso en el sentido del valor general de la norma en cuestión, entonces ésta puede ser adoptada como una Norma Nacional Americana.

Si una norma adoptada por el ANSI es invocada por un mandato o regulación gubernamental, su cumplimiento, desde un punto de vista legal, adquiere un carácter obligatorio. Los siguientes ejemplos ilustran situaciones en las que algunas normas sobre bienes soldados, adoptadas por el ANSI, alcanzan la categoría de aplicación obligatoria:

El Código ANSI / ASME para Calderas y Recipientes a Presión, al estar referido en las regulaciones de seguridad de la mayor parte de los estados y las principales ciudades de los Estados Unidos, así como en las provincias del Canadá; obliga a fabricantes, agencias de inspección y usuarios de este tipo de bienes en esas entidades, a cumplir los requisitos de este código, que también está incluido en las regulaciones de algunas agencias federales.

El Código para Tuberías sujetas a Presión, ANSI / ASME B31.4, "Sistemas de Transportación Líquida para Hidrocarburos, Gas Líquido de Petróleo, Amoníaco Anhidro y Alcoholes", al estar incorporado por referencia en las regulaciones del Departamento de Transportación de los Estados Unidos, lo convierte, legalmente, en una norma de cumplimiento obligado. El Departamento de Transportación tiene la responsabilidad de regular, en el comercio interestatal, la transportación, a través de líneas de tubería, de materiales peligrosos, petróleo y sus derivados. Las disposiciones de este departamento están publicadas bajo el Título 49 del Código de Regulaciones Federales de los Estados Unidos, Parte 195.

Otros países desarrollados industrialmente; y algunos en vías de desarrollo, también se han dado a la tarea de preparar y publicar las normas necesarias para regular la producción y el comercio de los bienes que fabrican, venden y compran. A manera de ejemplo, se citan algunos organismos nacionales de normalización y el nombre con que son designadas las normas que publican.

British Standards Institution	BS	Institución Británica de Normas
Canadian Standards Association	CSA	Asociación de Normas de Canadá
Deutsche Institute für Normung	DIN	Instituto Alemán de Normas
Japanese Standards Association	JIS	(Asociación Japonesa de Normas
Asociación Francaise de Normalisation	AFNOR	Asociación Francesa de Normalización
Asociación Española de Normalización y Certificación	UNE	

En el ámbito internacional opera la Organización Internacional para la Normalización (International Organization for Standardization -ISO), fundada en 1947 para desarrollar un conjunto común de normas para la manufactura, el comercio y las comunicaciones. Aunque este organismo generalmente es referido como ISO, esta designación técnicamente no tiene un significado directo: es el nombre corto de la organización y fue derivado de la palabra griega *isos*, que significa *igual*. *Isos* también es la raíz del prefijo "iso". Esta designación fue seleccionada debido a que conceptualmente remite a "igualdad", "uniformidad", "normal".

La ISO tiene su sede en Ginebra, Suiza, está compuesta por más de 120 países miembro y la integran aproximadamente 180 comités técnicos que preparan normas preliminares.

Esquema Mexicano de Normalización

En los Estados Unidos Mexicanos, los trabajos relacionados con el desarrollo, publicación y actualización de las normas son regidos por la Ley Federal sobre Metrología y Normalización. Esta ley también cubre las actividades de certificación, acreditación y verificación.

El Programa Nacional de Normalización es la instancia encargada de la coordinación de las actividades asociadas con el desarrollo de las normas.

En México operan las Normas Oficiales Mexicanas -NOM- y las Normas Mexicanas -NMX-. Las NOM son de observancia obligatoria debido a que se refieren a productos o actividades que puedan constituir un riesgo para la seguridad de las personas o dañar la salud humana, animal, vegetal, el medio ambiente general y laboral, o para la preservación de recursos naturales. Las NMX, en términos generales son de aplicación voluntaria.

Códigos, normas y especificaciones

Como se mencionó anteriormente, los códigos, normas y especificaciones son documentos que regulan a las actividades industriales.

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

Código (code)

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

Norma (standard)

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

Especificación

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

Prácticas recomendadas.

Son normas que cuyo propósito principal es brindar asistencia, a través de la descripción de reglas y principios de efectividad comprobada sobre una actividad específica, para que los usuarios puedan entenderlos y aplicarlos de manera adecuada antes de emplear algún proceso, técnica o método.

Clasificaciones

Estas normas generalmente establecen arreglos o agrupamientos de materiales, procesos o productos atendiendo a las características que tienen en común, tales como origen, composición, propiedades, procesos de fabricación o uso.

Métodos y guías

Indican las prácticas reconocidas para realizar actividades tales como las pruebas, análisis, muestreos y mediciones aplicables a un campo específico. Este tipo de documentos establecen los procedimientos necesarios para determinar la composición, integridad, propiedades o funcionamiento de las partes o materiales a los que se aplican. Un método describe procedimientos uniformes que aseguran o mejoran la confiabilidad de los resultados a obtener, y no incluyen los límites numéricos de las propiedades o composición involucradas; tales límites o criterios de aceptación están contenidos en las especificaciones y códigos correspondientes. Ejemplos de este tipo de normas son los métodos de examen no destructivo.

Existen otros tipos de norma, tales como las de definiciones de términos y aquellas de símbolos gráficos. Estos documentos presentan y explican los términos y símbolos estándar propios del dominio específico del campo de aplicación que regulan estas normas. Esta clase de documentos constituyen un recurso que permite el uso de un lenguaje común entre los usuarios, son útiles para el entrenamiento del personal y mejoran la comunicación dentro de la industria.

Aplicabilidad de las normas y claves para su interpretación

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

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

El usuario de una norma debiera conocer completamente el alcance, el uso previsto y el campo de aplicación de ésta, aspectos que están indicados en la **introducción** o el **alcance** de cada documento. Asimismo, también es muy importante, pero a menudo más difícil, reconocer los aspectos no cubiertos por el documento. Estas omisiones pueden requerir algunas consideraciones técnicas adicionales: Un documento puede cubrir detalles sobre el producto, tales como su forma, sin considerar las condiciones especiales bajo las cuales éste será usado. Ejemplos de estas condiciones especiales no previstas podrían ser la operación del material o parte en atmósferas corrosivas, bajo temperaturas elevadas o sometida a cargas dinámicas o cíclicas en lugar de cargas estáticas.

En las normas hay diferencias en cuanto a la forma de lograr el cumplimiento de los requisitos: Algunas establecen exigencias específicas que no permiten acciones alternativas, otras permiten acciones o procedimientos alternos, siempre y cuando se cumpla con los criterios estipulados, mismos que generalmente están dados como requisitos mínimos. Como ejemplo de esta situación puede citarse la resistencia última a la tensión que un espécimen soldado debe satisfacer o exceder, donde el criterio de aceptación a cumplir es la resistencia a la tensión mínima especificada para el metal base correspondiente.

Por otra parte, los requisitos mínimos de una norma particular pueden no ser suficientes para satisfacer las necesidades especiales de cada usuario, por lo que algunos usuarios pueden encontrar que resulta indispensable recurrir a requisitos adicionales para obtener las características de calidad que necesitan cubrir. Las especificaciones, ASTM por ejemplo, de materiales y productos, incluyen los requisitos suplementarios previstos para especificar las características adicionales correspondientes, pero en circunstancias especiales, aún estos podrían resultar insuficientes.

Existen varios mecanismos por medio de los cuales la mayoría de las normas son revisadas. Estos mecanismos se ponen en práctica cuando se detecta que una norma tiene errores, contiene restricciones sin fundamento o no es aplicable con respecto a desarrollos tecnológicos recientes. Algunas normas son actualizadas regularmente en base de periodos establecidos, mientras que otras son revisadas según lo requieran las necesidades. Las

revisiones pueden ser en forma de "addenda", o éstas pueden ser incorporadas en documentos que reemplazan a las ediciones obsoletas.

Cuando hay preguntas acerca de una norma en particular, con respecto a su interpretación o a un posible error, el usuario debiera contactar con la organización responsable.

Cuando el uso de una norma es obligatorio como resultado de una regulación gubernamental o de un acuerdo de compra y venta, es esencial conocer la edición particular del documento que debe de ser empleado. Desafortunadamente no es poco común encontrar situaciones en las que se especifican ediciones obsoletas del documento al que se hace referencia, y tales ediciones deben ser seguidas a fin de poder dar cumplimiento a los requisitos estipulados. Siempre que existan dudas en cuanto a las ediciones o revisiones de los documentos a ser usados, éstas debieran aclararse antes de que se inicien los trabajos correspondientes.

Hay algunas palabras clave que se emplean ampliamente en las normas relacionadas con bienes soldados, y a fin de asegurar su interpretación correcta, es conveniente precisar su significado e intención:

Shall y *Will* (debe de), indican requisitos obligatorios, tales como el uso de ciertos materiales o la realización de determinadas acciones, o ambas cosas. Estos son términos que se encuentran con frecuencia en los códigos y especificaciones.

Should (podría, debiera), denota que el requisito o aspecto al que se refiere no es obligatorio, pero se recomienda como una buena práctica. Las prácticas recomendadas y las guías generalmente emplean esta palabra.

May (puede), indica que la aplicación de la provisión a la cual se hace referencia es de carácter opcional.

Algunas normas sobre equipos y estructuras soldadas

A continuación se listan algunas de las normas que con mayor frecuencia están asociadas con las asignaciones del inspector de soldadura:

CÓDIGO ANSI / ASME BPV (ASME BPV CODE)	PARA CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN
CÓDIGO ANSI / ASME B31	PARA TUBERIAS SUJETAS A PRESIÓN
CÓDIGO ANSI/AWS D1.1	DE SOLDADURA ESTRUCTURAL -ACERO
CÓDIGO ANSI/AWS D1.2	PARA SOLDADURA ESTRUCTURAL -ALUMINIO
CÓDIGO ANSI/AWS D1.3	DE SOLDADURA ESTRUCTURAL -LÁMINA DE ACERO (ESPESORES DELGADOS, MENORES DE 1/8"
CÓDIGO ANSI/AWS D1.4	PARA SOLDADURA ESTRUCTURAL - ACERO DE REFUERZO (VARILLAS PARA CONCRETO REFORZADO)
CÓDIGO ANSI/AWS D1.5	PARA SOLDADURA DE PUENTES
CÓDIGO ANSI/AWS D1.6	PARA SOLDADURA ESTRUCTURAL -

	ACERO INOXIDABLE
ESPECIFICACIÓN ANSI/AWS D15.1	DE SOLDADURA DE FERROCARRILES - CARROS Y LOCOMOTORAS
ESPECIFICACIÓN ANSI/AWS D14.1	PARA SOLDADURA DE GRÚAS INDUSTRIALES Y OTROS EQUIPOS DE MANEJO DE MATERIALES
ESPECIFICACIÓN ANSI/AWS D3.6	PARASOLDADURA SUBACUÁTICA
ESPECIFICACIÓN ANSI/AWS D18.1	PARA SOLDADURA DE SISTEMAS DE TUBERÍA DE ACERO INOXIDABLE AUSTENÍTICO PARA APLICACIONES SANITARIAS (HIGIÉNICAS)
ESPECIFICACIÓN ANSI/AWS B2.1	PARA LA CALIFICACIÓN - DE PROCEDIMIENTOS Y HABILIDAD DE SOLDADURA
NORMA API 1104	SOLDADURA DE LÍNEAS DE TUBERÍA E INSTALACIONES RELACIONADAS.
PRÁCTICA RECOMENDADA API 1111	PARA EL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LÍNEAS DE TUBERÍA PARA HIDRO-CARBURROS EN PLATAFORMAS MARINAS
ESPECIFICACIÓN API 5L	PARA TUBERÍA DE LÍNEA
NORMA API 620	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE TANQUES GRANDES DE ALMACENAMIENTO A BAJA PRESIÓN, SOLDADOS
NORMA API 650	PARA TANQUES DE ACERO SOLDADO PARA ALMACENAR PETRÓLEO
PRÁCTICA RECOMENDADA API 2A WSD	PLANEACIÓN, DISEÑO y CONSTRUCCIÓN DE PLATAFORMAS MARINAS FIJAS - DISEÑO CON ESFUERZOS DE TRABAJO
PRACTICA RECOMENDADA API 2A-LRFD	PLANEACIÓN, DISEÑO y CONSTRUCCIÓN DE PLATAFORMAS MARINAS FIJAS - DISEÑO CON FACTORES DE CARGA Y RESISTENCIA
ISO 13920	TOLERANCIAS PARA CONSTRUCCIONES SOLDADAS -LONGITUDES, ÁNGULOS, POSICIÓN Y FORMA
ISO 5817	UNTAS SOLDADAS POR ARCO EN ACERO -GUÍA SOBRE NIVELES DE CALIDAD PARA IMPERFECCIONES
ISO 3183-1, 3183-2, 3183.3 Y 3183-3/COR	INDUSTRIAS DEL PETRÓLEO Y GAS NATURAL - TUBO DE ACERO PARA LÍNEAS DE TUBERÍA – CONDICIONES TÉCNICAS DE ENTREGA, TUBOS DE REQUISITOS CLASES A, B Y C (NORMA EN 3 PARTES).

Alcance, campo de aplicación y estructura de algunas normas

Las normas mexicanas relacionadas "con estructuras, líneas de tubería, equipos y componentes soldados no cubren la amplia gama de este tipo de bienes que se producen en el país, por lo que para cubrir las necesidades relacionadas con su diseño, construcción e inspección, se tiene que recurrir a normas extranjeras.

Por otra parte, la globalización de las actividades industriales y comerciales impone el empleo de las normas nacionales del país de las partes que contratan el suministro de bienes, las de la nación de las partes contratadas para su suministro o las normas de uso común en el país de las organizaciones propietarias de la tecnología o desarrolladoras de la ingeniería de los productos o servicios a suministrar; también, cada vez es más frecuente el empleo de normas de aceptación internacional.

Las situaciones que involucran los hechos anteriores se complican debido a que muchos fabricantes, contratistas y firmas de ingeniería y de servicios de inspección y control de calidad que operan en México, desconocen el alcance, campo de aplicación, interpretación y características generales de la gran variedad de normas existentes.

A fin de familiarizar al lector con los documentos de uso más frecuente para el inspector de soldadura, a continuación se hace un breve bosquejo de estos.

Código ANSI/ASME para Calderas y recipientes a presión (ASME BPVC)

Este código es emitido por la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos. Su alcance y su campo de aplicación son muy amplios, y aunque a grandes rasgos están definidos por el nombre, es necesario tener presente el campo específico de cada una de las secciones, subsecciones y partes de que consta.

Este código es el único que requiere que las inspecciones sean llevadas a cabo por terceras partes independientes de los fabricantes y los usuarios. Los individuos designados para realizar este trabajo son los inspectores del Consejo Nacional de Inspectores de Calderas y Recipientes a Presión (National Board of Boiler and Pressure Vessel Inspectors - NBBPVI). Estos inspectores son empleados por agencias de inspección autorizadas, por lo general compañías aseguradoras, o bien . por autoridades jurisdiccionales.

El código establece que antes de que una compañía pueda construir calderas o recipientes a presión, es necesario que posea el permiso correspondiente. Para que las compañías obtengan tales permisos, deben tener implantado un sistema de control de calidad y un manual que lo describa. Tal sistema debe resultar aceptable a la agencia de inspección autorizada y a la autoridad jurisdiccional o al NBBPVI. Si los resultados de la auditoria que se practica al sistema de calidad en cuestión son satisfactorios, ASME puede emitir al fabricante el Certificado de Autorización y la estampa del símbolo del código correspondiente al bien que está autorizado a construir.

Adicionalmente, las agencias de inspección autorizadas llevan a cabo monitoreos de la construcción en planta y el montaje en campo de las calderas y recipientes a presión que construyen las compañías, y antes de que éstas puedan aplicar su estampa a cualquier bien que producen, un inspector autorizado debe asegurarse de que se cumplieron todas las provisiones aplicables del código.

El Código ASME BPV consta de las siguientes secciones:

- I.- Calderas de Potencia
- II.- Especificaciones de Materiales

- Parte A - Materiales ferrosos
- Parte B - Materiales no ferrosos
- Parte C - Varillas, electrodos y metales de aporte para soldadura
- Parte D – Propiedades mecánicas

III.-Subsección NCA - Requisitos

Generales para las Divisiones 1 y 2

III.- División 1

Subsección NB-Componentes Clase 1

Subsección NC-Componentes Clase 2

Subsección ND-Componentes Clase 3

Subsección NE-Componentes Clase MC

Subsección NF -Soportes

Subsección NG -Estructuras de Soporte del Núcleo

Subsección NH -Componentes Clase 1 en Servicio a Temperaturas Elevadas

Apéndices

III.- División 2 -Código para Recipientes y Contenedores de Concreto del Reactor

IV.- Calderas de Calefacción

V.-Exámenes no Destructivos

VI.-Reglas Recomendadas para el Cuidado y Operación de Calderas de Calefacción .

VII.- Reglas Recomendadas para el Cuidado de Calderas de Potencia

VIII.-Recipientes a Presión

División 1

División 2 - Reglas Alternativas

División 3 - Reglas Alternativas para la Construcción de Recipientes a Alta

Presión

IX Calificaciones de Soldadura y Soldadura Fuerte

X Recipientes a Presión de Plástico Reforzado con Fibra de Vidrio

XI Reglas para la Inspección durante Servicio de Componentes de Plantas de Energía Nuclear.

Debido al contenido y campo de aplicación tan amplio de este código, es conveniente hacer algunas precisiones acerca del alcance de algunas de las secciones que cubren el diseño, construcción e inspección de calderas y recipientes a presión.

La Sección I cubre las calderas de potencia, eléctricas y miniatura, así como las calderas de agua que operan a altas temperaturas y que son empleadas en servicio estacionario, y también aquellas calderas de potencia que se usan en locomoción, portátiles y en servicio de tracción.

La Sección III está orientada a los diversos componentes requeridos en la industria de la energía nuclear.

La Sección IV aplica a calderas que suministran vapor y agua caliente y que están sometidas a fuego directo producido por petróleo, gas, electricidad o carbón.

La Sección VIII cubre los recipientes a presión no sometidos directamente a fuego. Este tipo de recipientes son contenedores sujetos a presión interna o externa. Todos los recipientes a presión que no están cubiertos por las Secciones 1, III Y IV, lo están por la Sección VIII. Entre éstos están incluidos las torres de destilación, los reactores y otros recipientes usados para la refinación química o de petróleo, intercambiadores de calor para refinerías y otras industrias de proceso, así como tanques de almacenamiento para compresores grandes y pequeños de gas y aire.

Código ANSI/ASME B31 para tuberías sujetas a presión

Actualmente consta de ocho secciones, cada una de las cuales prescribe los requisitos mínimos aplicables al diseño, materiales, fabricación, montaje, pruebas e inspección de un tipo específico de sistema de tubería.

Sección B31.1, Tubería *para potencia* Cubre sistemas de potencia y de servicios auxiliares para estaciones de generación de energía eléctrica, plantas industriales e institucionales, plantas de calefacción principales y regionales, y sistemas de calefacción regionales. Esta sección no incluye la tubería externa de las calderas que es definida por la Sección I del Código ASME BPV; tal tubería requiere un sistema de control de calidad y una inspección por terceras partes similar a aquella requerida para la fabricación de calderas. Pero por otra parte, los materiales, el diseño, la fabricación, instalación, inspección y pruebas para la tubería externa de calderas debe cumplir los requisitos de la Sección B31.1.

Sección B31.2, Tubería para Gas Combustible Esta sección se discontinuó como Norma Nacional Americana en febrero de 1988, y era aplicable a los sistemas de tubería para gases combustibles, tales como gas natural, gas manufacturado, gas licuado de petróleo (LP) y mezclas con aire arriba de los límites superiores combustibles, gas LP en fase gaseosa, o mezclas de estos gases. Las aplicaciones que eran objeto de esta sección actualmente están cubiertas por la Sección B31.4

Sección B31.3, Tubería para Plantas Químicas y Refinerías de Petróleo Cubre todas las tuberías dentro de los límites de propiedad de las instalaciones dedicadas al proceso o manejo de productos químicos, del petróleo y sus derivados. Como ejemplo de este tipo de tuberías se pueden citar las de las plantas químicas, refinerías de petróleo, terminales de carga, plantas de procesamiento de gas natural (incluyendo instalaciones de gas natural licuado), plantas de entrega a granel, plantas de mezclado y campos o conjuntos de tanques. Esta sección aplica a sistemas de tubería que manejan todo tipo de fluidos, incluyendo sólidos fluidizados, y para todo tipo de servicio, incluyendo materias primas, productos químicos intermedios y finales; aceite y otros productos de petróleo, gas, vapor, aire, agua y refrigerantes, excepto aquellos que específicamente están excluidos. Las tuberías para aire y otros gases los cuales actualmente no están dentro del alcance de las secciones existentes de este código pueden diseñarse, fabricarse, inspeccionarse y probarse de acuerdo con los requisitos de esta Sección del Código. Las tuberías deben estar en plantas, edificios e instalaciones similares que de otra forma no están incluidos dentro del alcance de esta sección.

Sección B31.4, "Sistemas de Transportación Líquida para Hidrocarburos, Gas Líquido de Petróleo, Amoníaco Anhidro y Alcoholes" Esta sección prescribe requisitos para tubería que transporta líquidos tales como petróleo crudo, condensados, gasolina natural, líquidos de gas natural, gas licuado de petróleo, alcohol líquido, amoniaco anhidro líquido y productos líquidos de petróleo, entre las instalaciones de contratación de los productores, conjuntos de tanques, plantas de procesamiento de gas natural, refinerías, estaciones, plantas de amoniaco, terminales (marinas, de ferrocarril y de autocamiones) y otros puntos de entrega y recepción.

Sección B31.5, Tubería de Refrigeración Aplica a tuberías para refrigerantes y salmueras para uso a temperaturas tan bajas como -320°F (-196° C), ya sea que hayan sido construidas en campo o ensambladas en fábrica. Esta sección no es aplicable a sistemas unitarios de refrigeración o auto-contenidos que están sujetos a requisitos de los Underwriters Laboratories o cualquier otro laboratorio de pruebas reconocido nacionalmente, tubería para agua o tubería diseñada para presión interna o externa que no exceda de 15 lb / pulg² manométricas, sin considerar su tamaño. Otras secciones del Código pueden estipular requisitos para tuberías de refrigeración dentro de sus respectivos alcances.

Sección B31.8, Sistemas de Tubería de Transmisión y Distribución de Gas Está orientada a estaciones compresoras de gas, estaciones de regulación y dosificación de gas, líneas principales de gas y líneas de servicio hasta el punto de entrega del dispositivo de medición del cliente. También están incluidas las líneas y equipos de almacenamiento de gas del tipo tubo cerrado que son fabricadas o forjadas a partir de tubos y conexiones.

Sección B31.9, Tuberías de Servicios en Edificios Esta sección es aplicable a sistemas de tuberías para servicios en edificios industriales, comerciales, públicos, institucionales y residenciales de unidades múltiples. Incluye solamente los sistemas de tubería dentro de los edificios o sus límites de propiedad.

Sección B31.11, Sistemas de Tubería para Transportación de Lechadas o Lechos Fluidos

Sección B31G, Manual para Determinar la Resistencia Remanente de Líneas de Tubería Corroída. Un Suplemento al Código ASME B31 Ésta contiene procedimientos para la evaluación de tuberías en servicio corroídas, así como para la toma de las acciones pertinentes a fin de determinar si éstas pueden continuar en operación en condiciones razonablemente seguras, si tienen que ser reparadas o se debe disminuir la Presión Máxima Permisible de Operación a fin de que puedan continuar en servicio.

Todas las secciones del Código para Tuberías a Presión requieren de la calificación de los Procedimientos y la habilidad de soldadores y operadores de equipo para soldar a ser usados en construcción.

Algunas secciones requieren que estas calificaciones sean realizadas de acuerdo con la Sección IX del Código ASME BPV, mientras que en otras, esto es opcional. Algunas secciones requieren o permiten, como alternativa, realizar estas calificaciones de acuerdo con API 1104, *Norma para la Soldadura de Líneas de Tubería e Instalaciones Relacionadas*.

En todo caso, debe consultarse la sección aplicable del código a fin de determinar correctamente cuáles son las normas de calificación aplicables.

Código ANSI/AWS D1.1 de Soldadura Estructural--Acero

Este Código cubre los requisitos aplicables a estructuras de acero al carbono y de baja aleación. Está previsto para ser empleado conjuntamente con cualquier código o especificación que complementa el diseño y construcción de estructuras de acero. Quedan fuera de su alcance los recipientes y tuberías a presión, metales base de espesores menores a 1/8 Pulg. (3.2 mm), metales base diferentes a los aceros al carbono y de baja aleación y los aceros con un límite de cedencia mínimo mayor a 100,000 lb/pulg² (690 MPa.)

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

I. Requisitos Generales

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

2. *Diseño de Conexiones Soldadas* Contiene requisitos para el diseño de conexiones soldadas compuestas por perfiles tubulares y no tubulares.

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

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

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

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

7. *Soldadura de Pernos* Esta sección contiene los requisitos aplicables a la soldadura de pernos a acero estructural.

8. *Reforzamiento y Reparación de Estructuras Existentes* Contiene la información básica relacionada con la modificación o reparación de estructuras de acero ya existentes.

Anexos - Información Obligatoria Anexos no Obligatorios

Comentarios sobre el Código de Soldadura Estructural –Acero.

Código para Soldadura de Puentes ANSIIASHTO/AWS D1.5

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

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

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

1. *Provisiones Generales*

2. *Diseño de Conexiones Soldadas*

3. *Mano de Obra*

4. Técnica
 5. Calificación
 6. Inspección
 7. Soldadura de Pernos
 8. Estructuras Estáticamente Cargadas (sin aplicaciones dentro de este código)
 9. Puentes de Acero Soldados
 10. Estructuras Tubulares (sin aplicaciones dentro de este código)
 11. Reforzamiento y Reparación de Estructuras Existentes (sin aplicaciones *dentro de este código*)
 12. Plan de Control de Fractura (Fracture Control Plan -FCP) para Miembros no Redundantes
- Anexos -Información Obligatoria Anexos no Obligatorios

Norma API 1104 para Líneas de tubería e Instalaciones Relacionadas

Esta norma aplica a la soldadura por arco y por oxígeno y combustible de tubería empleada en la compresión, bombeo y transmisión de petróleo crudo, productos del petróleo y gases combustibles, y también para los sistemas de distribución cuando esto es aplicable. Presenta métodos para la producción de soldaduras aceptables realizadas por soldadores calificados que usan procedimientos y equipo de soldadura y materiales aprobados. También presenta métodos para la producción de radiografías adecuadas, realizadas por técnicos que empleen procedimientos y equipo aprobados, a fin de asegurar un análisis adecuado de la calidad de la soldadura. También incluye los estándares de aceptabilidad y reparación para defectos de soldadura.

La autoridad legal para el empleo de esta norma deriva del Título 49, Parte 195, Transportación de Líquidos a través de Líneas de Tubería del Código de Regulaciones Federales (CFR) de los Estados Unidos de América.

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

Sección 1 – Generalidades

Sección 2-Calificación de Procedimientos de Soldadura para Soldaduras con Metal de aporte.

Sección 3 - Calificación de Soldadores

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

Sección 5 - Inspección y Pruebas de Soldaduras de Producción

Sección 6 - Estándares de Aceptación para Pruebas no Destructivas.

Sección 7 - Reparación y Remoción de Defectos

Sección 8 - Procedimientos para pruebas no destructivas

Sección 9 - Soldadura Automática

Sección 10 - Soldadura Automática sin Adiciones de Metal de Aporte

Apéndice - Estándares Alternativos de Aceptación para Soldaduras

Especificación API 5L para Tubería de Línea

El propósito de esta especificación es proporcionar estándares para tubos adecuados para usarse en la conducción de gas, agua y petróleo, en la industria petrolera y de gas natural.

Es aplicable a tubos para líneas, soldados y sin costura. Incluye tubos de línea roscados de peso estándar y de pared extra-gruesa, así como tubos de extremos planos de peso estándar, de peso regular, de pared extra-gruesa y doble extra-gruesa, de extremos planos especiales y también tubos con extremo en campana y espita y tubos de línea de flujo directo (through-the-flowline TFL). El contenido de esta especificación se presenta a continuación:

Alcance

Referencias

Definiciones

Información a ser Suministrada por el Comprador.

Materiales y Procesos de Manufactura.

Requisitos para los Materiales Dimensiones, Pesos, Longitudes, defectos y Acabados en los Extremos.

Coples

Inspección y Pruebas

Marcado

Recubrimiento y Protección

Documentos

Apéndice A - Especificación para Uniones Soldadas de dos Segmentos de Tubo

Apéndice B - Reparación de Defectos por medio de Soldadura

Apéndice C - Procedimiento de Soldadura de Reparación

Apéndice D - Tabla de Elongaciones Apéndice E - Dimensiones, Pesos y Presiones de Prueba

-Equivalentes Métricos Apéndice F - Requisitos Suplementarios

Apéndice G - Dimensiones del dispositivo de Prueba de Doblado Guiado

Apéndice H - Inspección del Comprador

Apéndice I - Instrucciones de Marcado para Licenciarios API

Apéndice J - Conversiones de Unidades métricas (SI) y Procedimientos de Redondeo.

Requisitos de las normas para los materiales y su control

De una forma u otra, las diferentes normas establecen una serie de requisitos para los materiales a ser empleados en los trabajos cubiertos por sus respectivos campos, así como para la inspección, pruebas y control de dichos materiales.

Por ejemplo, el Código ASME BPV, en su Sección n, Partes A, B Y C, recopila las especificaciones de los materiales adoptados para ser empleados en la construcción de calderas y recipientes a presión. Las especificaciones para materiales base las adoptó de la ASTM, y las relacionadas con consumibles de soldadura las adoptó de la AWS.

Otras normas, como el Código AWS D1.1, hacen referencia directa a las especificaciones de materiales ASTM y AWS aplicables.

Antes de describir la forma en que las normas sobre bienes soldados prevén el control de los materiales, es conveniente examinar algunos aspectos relacionados con las especificaciones ASTM y AWS y las instituciones que las emiten.

Las Especificaciones ASTM

ASTM (en otro tiempo The American Society for Testing and Materials, Sociedad Americana de Pruebas y Materiales) desarrolla y publica las especificaciones que se usan en la producción y prueba de materiales. Los comités de esta asociación que desarrollan las especificaciones están compuestos por productores y usuarios, así como por otras entidades que tienen algún interés en los materiales correspondientes. Estas especificaciones cubren virtualmente todos los materiales que se emplean en la industria y el comercio, con excepción de los consumibles de soldadura, mismos que están cubiertos por especificaciones AWS.

Esta asociación publica un Libro Anual de Normas ASTM que incorpora las normas nuevas y revisadas. Actualmente está compuesta de 15 secciones formadas por 73 volúmenes y un índice. Las especificaciones para los productos metálicos, métodos de prueba y procedimientos analíticos de interés en la industria de la soldadura se encuentran en las primeras tres secciones, compuestas por 18 volúmenes. La Sección 1 cubre productos de hierro y acero, la Sección 2 productos metálicos no ferrosos y la Sección 3, métodos y procedimientos analíticos para metales y aleaciones.

Los prefijos (letras) que forman parte de la designación alfanumérica de cada especificación indican de manera general el contenido de éstas: Para metales ferrosos se emplea el prefijo "A" (Especificación ASTM A36 para Acero Estructural, por ejemplo), para metales no ferrosos se usa "B", y para materias diversas, entre las que se incluyen exámenes, pruebas y métodos analíticos, el prefijo empleado es "E".

Cuando ASME adopta una especificación ASTM para cualquiera de sus aplicaciones, ya sea de manera completa y fiel o en forma revisada, le antepone una letra "S" al prefijo ASTM correspondiente. Así, la Especificación ASME SA-36 es muy parecida o idéntica a la Especificación ASTM A36 de la edición correspondiente.

Muchas de las especificaciones ASTM incluyen requisitos suplementarios que deben ser especificados por el comprador si éste requiere que tales requisitos sean aplicados. Entre estos se pueden citar los relacionados con el tratamiento al vacío del acero, pruebas de tensión adicionales, pruebas de doblado, ensayos de impacto e inspección ultrasónica.

El productor de un material o parte es responsable de que estos cumplan con todos los requisitos obligatorios y los suplementarios especificados de la especificación ASTM correspondiente, mientras que el usuario del material o producto es responsable de verificar que el productor ha cumplido con todos estos requisitos.

Algunos códigos permiten a los usuarios realizar las pruebas requeridas por ASTM u otra especificación para verificar que el material cumple con los requisitos. Si los resultados de esas pruebas cumplen con los requisitos de la especificación designada, el material puede ser usado para esa aplicación.

Algunos productos cubiertos por las especificaciones ASTM son fabricados por soldadura. De éstos, el grupo más grande es el de tubos de acero. Algunos tipos de tubo son producidos a partir de solera, plancha o lámina, por medio de operaciones de rolado y soldadura por arco para hacer la costura longitudinal. Los procedimientos de soldadura que se emplean para esta costura generalmente deben ser calificados de acuerdo con los requisitos del Código ASME BPV o alguna otra norma. Otros tipos de tubo son producidos con costuras soldadas por resistencia, y en este caso, por 10 general las especificaciones ASTM aplicables no establecen requisitos especiales de soldadura, pero el producto terminado es sometido a las pruebas necesarias para demostrar si las operaciones de soldadura fueron efectivamente controladas.

Las especificaciones ASTM para materiales, ya sea que se trate de una en particular, o que ésta haga referencia a otra especificación de requisitos generales para un tipo de material o aplicación, son similares entre ellas y también a especificaciones de materiales emitidos por otras asociaciones. En términos generales, la estructura, contenido y requisitos de este tipo de normas son los siguientes:

Alcance

Indica los materiales y productos a los que la especificación aplica: A veces esta sección incluye otros datos como el tipo, grado y clasificación, y la "calidad", servicio o aplicación al que están destinados, por ejemplo, material para aplicación estructural o para operar a altas temperaturas.

Documentos Aplicables o Referidos

En esta parte se incluyen todas aquellas normas de referencia relacionadas, tales como requisitos generales, métodos de prueba o análisis y normas dimensionales.

Descripción y Definición de Términos Algunas especificaciones, en particular las de requisitos generales, definen los términos empleados o hacen referencia al documento en que están definidos.

Pertenencia de Materiales (Appurtenant Materials)

Algunas especificaciones incluyen esta sección, en la que se hace referencia a algunos requisitos y a normas aplicables para la entrega de un material no considerado de alguna manera o no disponible en las formas de producto cubiertas por la especificación.

Requisitos Generales de Entrega

En esta parte se establece que los materiales o productos a ser suministrados bajo la especificación, deben satisfacer los requisitos estipulados por el documento vigente sobre requisitos generales aplicable a un grupo de especificaciones particulares. Así, en la especificación ASTM A-240 (para placa, lámina y solera de acero al cromo resistente al calor, y de acero inoxidable al cromo-níquel), se establece que los materiales cubiertos deben cumplir con los requisitos aplicables de la norma ASTM A480, "Requisitos Generales para Placa, Lámina y Fleje de Aceros Inoxidables y Resistentes al Calor".

Información para la Compra

Esta sección está incluida en las especificaciones de requisitos generales, y establece la información que deben incluir los pedidos o las órdenes de compra para describir adecuadamente el material deseado, a fin de evitar posibles confusiones. Los principales aspectos involucrados son: designación ASTM (incluyendo tipo, clase, grado) y fecha de emisión de la especificación, cantidad, nombre del material, (acero al carbono, por ejemplo), forma del producto (perfiles, placa, barra, etc.), tamaño, condición (laminado o con tratamiento térmico y tipo de tratamiento), condición superficial (acabado), reportes de prueba, certificados de calidad y requisitos suplementarios y adicionales.

Proceso de Fabricación

Tratamientos Térmico

Estructura Metalúrgica

Calidad

Requisitos de composición química

Propiedades Mecánicas

Inspección y Pruebas Especificadas

Métodos de Prueba

Reportes de Prueba y Certificados Variaciones Permisibles en Dimensiones y Masa

Reparaciones

Marcado, Identificación, Empaque y Carga para el Embarque

Rechazos

Requisitos complementarios.

Esta sección contiene los requisitos suplementarios, ya sea estandarizados u opcionales, aplicables a los productos cubiertos por una especificación particular. Es conveniente hacer énfasis en el sentido de que el productor está obligado a que los bienes que suministra sólo deben cumplir los requisitos estándar contenidos en las especificaciones correspondientes, y que para que también se cumplan los requisitos suplementarios deseados, estos deben estar especificados en las órdenes de compra.

Especificaciones AWS para materiales consumibles de soldadura

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

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

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

La mayor parte de las especificaciones AWS para metales de aporte han sido aprobadas como Normas Nacionales Americanas por el ANSI.

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

Además de las especificaciones para cada metal de aporte, la AWS emite el documento **A5.01, Guía para la Adquisición de Metales de Aporte**, misma que, para asistir a los usuarios en sus funciones de adquisición, establece los métodos para la identificación de componentes de los metales de aporte, para la clasificación de lotes y para la especificación de programas de prueba.

Actualmente y en términos generales, las especificaciones AWS para metales de aporte tienen el siguiente formato:

- *.Alcance

- *Parte A - Requisitos Generales

- *Parte B - Pruebas, Procedimientos y Requisitos

- *Parte C - Manufactura, Empaque e Identificación

- **Apéndice* (En esta parte se incluyen los métodos de clasificación de los materiales objeto de la norma particular, algunos aspectos sobre procedimientos de soldadura y pruebas de clasificación, la descripción y uso intentado para cada clasificación cubierta y las condiciones típicas de almacenamiento y secado para electrodos recubiertos).

Por otra parte, es conveniente señalar que en un contexto internacional, actualmente no existe consenso en cuanto a la designación de los diferentes metales de aporte, ya que cada uno de los países desarrollados emite sus propias normas y no hay correspondencia completa entre éstas la fase falta un sistema genérico para la designación de metales de aporte, pero en la preparación de tal sistema están trabajando el Instituto Internacional de Soldadura de los Estados Unidos de América y organismos de países de la Unión Europea. Se prevé que las designaciones empleadas por países europeos y por la A WS formarán la base de un sistema genérico internacional de designación, mismas que serán empleadas en las especificaciones ISO e irán siendo, de alguna manera, incorporadas a las especificaciones A WS.

Como puede apreciarse después de la descripción de algunas especificaciones de materiales base y de aporte, los requisitos para éstos están incluidos en las especificaciones mismas, pero el control de los materiales en rubros tales como la inspección durante recibo, la identificación, rastreabilidad, almacenamiento, manejo y preservación durante los procesos de fabricación y montaje, son requisitos establecidos por cada norma particular para bienes soldados, y hay que remitirse a éstas, según la aplicación de que se trate.

Por ejemplo, la Sección VIII, División I del Código ASME BPV, entre sus apéndices obligatorios incluye el No. 10, "Sistema de Control de Calidad", mismo que contiene provisiones para el control de materiales. Adicionalmente, en sus diferentes partes y

subsecciones contiene requisitos particulares para dicho control, tales como la inspección y el marcado de materiales y el examen de superficies durante la fabricación.

El Código AWS D1.1, por su parte, en sus secciones sobre fabricación e inspección, contiene algunos requisitos aplicables al control de materiales, además de que estos deben cumplir con las especificaciones correspondientes.

Requisitos sobre Inspección y Pruebas

Los códigos y especificaciones establecen las diversas inspecciones y pruebas que se deben aplicar para asegurar el cumplimiento de los requisitos estipulados, quién debe realizar tales actividades y cuándo, los criterios de aceptación y los requisitos de calificación y certificación del personal de inspección. En general, todas las normas hacen una distinción entre las actividades de inspección y control de calidad que deben ser realizadas por el fabricante o contratista y aquellas a ser llevadas a cabo por segundas o terceras partes.

El Código ASME BPV, además de establecer las responsabilidades de examen y pruebas propias de los fabricantes y contratistas, incluye la intervención de una inspección por terceras partes independientes del fabricante y el comprador: el "Inspector Autorizado". Por su parte, el Código AWS D1.1 hace la distinción muy clara entre Inspección y Pruebas durante Fabricación/Erección e Inspección de Verificación, siendo ésta última una prerrogativa del propietario. ASME B31.3 distingue entre exámenes e inspección, reservando esta última designación para las funciones realizadas por parte del inspector del propietario o el delegado del inspector, y API 1104 establece que las actividades de inspección pueden ser realizadas por parte de la compañía o por parte del contratista.

ASME B31.1, API 1104 y AWS D1.1, entre otras normas, establecen los requisitos de calificación y/o certificación para el personal que realiza los exámenes y pruebas o inspecciones por parte del fabricante o contratista y por segundas o terceras partes. Los requisitos de calificación para este tipo de personal generalmente están fijados en términos de entrenamiento y experiencia, aunque algunas veces se hace referencia a esquemas más completos de calificación y certificación, mismos que incluyen también requisitos de escolaridad, exámenes de pericia y de agudeza visual. Entre estos esquemas destaca el Programa de Certificación de Inspectores de Soldadura de la Sociedad Americana de Soldadura, mismo que es descrito en el Capítulo 1 de este texto.

Los exámenes o inspección y pruebas a ser realizados por el personal empleado por el fabricante o contratista indicados anteriormente se refieren a actividades generales de controlo aseguramiento de calidad (tales como control de materiales base y de aporte y otras funciones propias de la inspección de soldadura), de las que se excluyen las pruebas no destructivas, para las cuales existen requisitos particulares, los más relevantes de los cuales se describen en la siguiente sección.

Requisitos para la realización de exámenes no destructivos

Las diferentes normas establecen una serie de requisitos para la realización de las pruebas no destructivas especificadas a fin de verificar la calidad de los metales base y las juntas soldadas.

Los requisitos establecidos pueden clasificarse en dos grupos: los relacionados con la ejecución de las pruebas en sí y aquellos que tienen que ver con la capacitación, calificación y certificación del personal encargado de llevarlas a cabo.

En cuanto al personal de pruebas no destructivas, las normas generalmente establecen que éste debe estar calificado y certificado de acuerdo con la edición vigente de la Práctica Recomendada SNT - TC-1A emitida por la Sociedad Americana de Ensayos no Destructivos (American Society for Nondestructive Testing -ASNT). De esta manera se tiene que, en términos generales -como lo establece claramente AWS D1.1 en sus párrafos 6.14.7.1 y 6.14.7.2-, sólo individuos certificados como Nivel I (en la técnica no destructiva correspondiente) y trabajando bajo la supervisión de individuos Nivel II, o personal certificado como Nivel II, pueden realizar las pruebas no destructivas especificadas.

Adicionalmente, las normas coinciden en señalar que la certificación del personal de niveles I y II debe ser realizada por un individuo certificado como Nivel III por la ASNT o que ha sido certificado cubriendo todos los requisitos, incluyendo los de examen, establecidos en el documento SNT-TC-1A

Hay algunas variantes en los requisitos anteriores, ya que ASME B31.3 sólo indica que la Práctica Recomendada SNT-TC-1A puede emplearse para propósitos de calificación y certificación,

mientras que la Sección VIII División 1 de ASME BPV permite la Certificación de Competencia del personal que realiza los exámenes por partículas magnéticas y líquidos penetrantes requeridos por esa división. Las condiciones para esta certificación de competencia que debe cumplir el personal que realiza estos ensayos por partículas y líquidos (y los procedimientos de examen) están estipulados en los Apéndices Obligatorios Nos. 6 y 8, respectivamente.

En cuanto a los requisitos para la realización de las pruebas, estos varían de una norma a otra. A manera de ejemplo, a continuación se citan algunos casos:

El Código ASME especifica que las pruebas deben realizarse cumpliendo todos los requisitos establecidos en su Sección V.

AWS D1.1 describe los procedimientos de pruebas radiográficas y ultrasónicas de soldaduras en su Sección 6, Partes D, E y F.

La Norma API 1104, en su Sección 8 presenta métodos y procedimientos radio gráficos y establece los requisitos aplicables, y para las situaciones en las que están especificadas pruebas con partículas magnéticas, líquidos penetrantes y ultrasonido, remite al usuario a las especificaciones ASTM correspondientes. (La sección 6 contiene los estándares de aceptación).

Código de Inspección del Consejo Nacional

Este documento (the National Board Inspection Code -NBIC), preparado por el Consejo Nacional de Inspectores de Calderas y Recipientes a Presión, tiene el propósito de mantener la integridad de las calderas y recipientes a presión después de que han sido puestos en servicio, y establece las reglas para la inspección, reparación y alteración de tales equipos a fin de asegurar que estos puedan continuar operando de manera segura.

Al establecer lineamientos a las autoridades jurisdiccionales, inspectores, usuarios y organizaciones que realizan las reparaciones y alteraciones, este código fomenta la administración uniforme de las reglas relacionadas con los contenedores de presión.

En su parte RA-1000, "Generalidades",

se refiere a los requisitos administrativos para la acreditación de organizaciones dedicadas a la reparación, así como para organizaciones de inspección por parte de usuarios y propietarios.

El Consejo Nacional administra los cuatro programas de acreditación que se indican a continuación:

Estampa Símbolo "R", cuyo alcance es la reparación y alteración de contenedores de presión.

Estampa Símbolo "VR", que cubre la reparación de válvulas de alivio de presión.

Estampa Símbolo "NR", orientado a reparaciones, modificaciones y reemplazos de las partes y componentes empleados en la industria nuclear.

Organizaciones de Inspección de Propietarios/Usuarios, que cubre la inspección durante servicio de los contenedores de presión, empleados por o en posesión de la organización acreditada como una Organización de Inspección Propietaria/Usuaría.

Código API 570 para Inspección de Tubería

Este código cubre procedimientos de inspección, reparación, alteración y reclasificación (rerating) para sistemas de tubería metálica que ha estado en servicio, y fue desarrollado para las industrias de refinación de petróleo y de procesos químicos, pero puede ser usado, cuando resulte práctico, en cualquier sistema de tubería.

Norma API 653 para la Inspección, Reparación, Reconstrucción y Alteración de Tanques

Ésta cubre los tanques de acero al carbono y de baja aleación construidos de acuerdo a la Norma API 650 Y a su predecesora, 12C. Establece los requisitos mínimos para mantener la integridad de tanques soldados o remachados, no refrigerados y a presión atmosférica, después que han sido puestos en servicio. Su alcance está limitado a la cimentación, fondo, envolvente, estructura, techo, accesorios y a las boquillas unidas a las primeras bridas, juntas roscadas o conexiones soldadas exteriores.

Código API 510 para la Inspección de Recipientes a Presión

Cubre el mantenimiento, inspección, reclasificación (rerating) y alteración de recipientes a presión en servicio empleados en la industria petroquímica y de refinación.

Práctica Recomendada API 573

Este documento proporciona los lineamientos para la inspección de calderas y calefactores sometidos a fuego directo. Combina los capítulos VIII, "Calderas a Fuego Directo y Equipo Auxiliar" y IX, "Calefactores a fuego y Chimeneas", de la **Guía de Inspección de Equipo de Refinería**. Su propósito es promover procedimientos de inspección pro-activa que permitan evitar fallas en los equipos, y de esta manera incrementar la confiabilidad y seguridad en las plantas.

Programas API de Certificación de Inspectores

El Instituto Americano del Petróleo, con el fin de ayudar a la industria a mantener y mejorar la seguridad y confiabilidad durante la operación de equipos e instalaciones, ha desarrollado algunos esquemas de certificación de inspectores. Actualmente tiene implementados los siguientes programas:

Certificación de Inspector de Tuberías de Proceso I API 570

Certificación de Inspector de Tanques de Almacenamiento I API 653

Certificación de Inspector de Recipientes a Presión I API510.

TEMA VII

CALIFICACION DE PROCEDIMIENTOS

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

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

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

Es un hecho indiscutible que el éxito de los trabajos de soldadura depende, en gran medida, del cumplimiento total de las condiciones anteriores (disponibilidad de los procedimientos de soldadura calificados y apropiados para cubrir los requisitos de las aplicaciones previstas, así como del personal apto para aplicarlos), además de una inspección completa antes, durante y después de soldar, a fin de asegurar que los procedimientos establecidos son aplicados de manera correcta por el personal debidamente calificado.

Variables de soldadura

Los parámetros y condiciones que varían de una operación de soldadura a otra o dentro de una misma operación, y que influyen en mayor o menor grado sobre las propiedades de las uniones soldadas, son conocidos con el nombre de variables de soldadura.

Existen designaciones diferentes para estas variables, tales como variables de procedimiento y variables de habilidad de soldadores y de operadores, y variables esenciales y no esenciales. Debido a las diferencias que existen entre las normas de mayor aplicación con respecto a la clasificación, designación y requisitos para los diferentes tipos de variable, en las secciones siguientes de este capítulo se describen los principales tipos de éstas, se hacen algunas consideraciones acerca de cada uno y se señalan las diferencias básicas con que son tratadas en las principales normas.

Requisitos de calificación de procedimientos y personal de soldadura

Las normas también establecen que cada fabricante o contratista es el responsable de las soldaduras depositadas por el personal de su organización, que ningún trabajo de soldadura debe iniciarse si no se cuenta previamente con todas las especificaciones de procedimiento de soldadura a emplearse que éstas deben estar documentadas calificadas y aprobadas y que en tales trabajos sólo debe intervenir personal de soldadura previamente calificado en la extensión y alcance completos estipulados.

Sin embargo, es necesario tener en cuenta que cada código o especificación tiene requisitos particulares para la documentación y calificación de los procedimientos y personal de soldadura, y que si bien las normas tienen características y propósitos similares, hay diferencias básicas entre los requisitos especificados entre una y otra: Por ejemplo, el Código AWS D1.1 permite el uso de especificaciones de procedimientos de soldadura precalificados (mismos que no requieren pruebas de calificación antes de poder ser empleados), pero otras normas no contemplan esta posibilidad. Por otra parte, de acuerdo con los lineamientos del Código ASME BPV, si un procedimiento de soldadura se califica en cualquier posición, en términos generales, queda calificado para todas las posiciones, mientras que en el AWS D1.1, hay limitaciones considerables en cuanto a la calificación de los procedimientos en posiciones diferentes a aquélla en la que se realizó la prueba de calificación.

A continuación se hace una descripción breve de los requisitos generales sobre la documentación, calificación, certificación y aprobación de procedimientos y personal de soldadura establecidos en las normas más empleadas, y se hacen algunos comentarios con respecto a las diferencias más relevantes establecidas en éstas.

Especificación de procedimiento de soldadura -EPS (Welding Procedure Specification -WPS)

Una especificación de procedimiento de soldadura es un documento que contiene y describe las variables que aplican a los procesos y operaciones de soldadura a emplearse, así como los límites de los valores dentro de los que estas variables están calificadas y pueden emplearse en , producción o construcción.

Las EPS se preparan con el propósito de dirigir a soldadores y operadores para que hagan las soldaduras de manera que se asegure que se cumplen los requisitos de las normas aplicables.

Todo fabricante o contratista que realiza trabajos bajo un código, debe preparar por escrito (ya sea que se trate de procedimientos precalificados o a calificar con pruebas) todas las especificaciones de procedimiento de soldadura a emplear, de manera que queden cubiertas todas las variables, operaciones y aplicaciones de cada trabajo o proyecto, y cumpliendo con los requisitos específicos del código aplicable; también debe proceder a su calificación y aprobación (esta última por parte del Ingeniero o el representante del propietario, o por el inspector autorizado). Así mismo, debe proporcionar estas EPS al personal de soldadura para que le sirvan como guía para los trabajos a realizar, y tenerlas disponibles para la revisión y las actividades de inspección de los inspectores de las segundas o terceras partes involucradas, ya sea por requisitos contractuales o de norma.

Desde el punto de vista de las variables, existen diferencias significativas entre una norma y otra: mientras que el Código ASME BPV estipula que una EPS debe contener todas las variables esenciales y esenciales suplementarias (y también que, opcionalmente, puede contener las no esenciales), el Código AWS D1.1 y la Especificación API 1104 únicamente establecen que deben especificarse las variables esenciales.

Adicionalmente, sólo en el Código ASME BPV se hacen consideraciones relacionadas con las variables esenciales suplementarias y se define con claridad cada tipo de variable mencionado.

El Código ASME BPV (Sección IX) considera a los diferentes tipos de variable de la siguiente manera:

*Variable esencial de procedimiento es aquella cuyo cambio (según es descrito en las tablas Nos. QW-252 a QW-265 de variables para cada proceso) afecta las propiedades mecánicas -con excepción de la resistencia al impacto- de la junta soldada y requiere la recalificación del procedimiento. Ejemplos de variable esencial son los cambios en el espesor del metal base (fuera del espesor calificado, según las tablas de variables de cada proceso y condición) y la inclusión o la exclusión del tratamiento térmico posterior a la soldadura.

*Variable esencial suplementaria es un cambio en una condición de soldadura que afecta la tenacidad (resistencia al impacto) de una junta soldada. Un ejemplo de este tipo de variable son incrementos (mayores a los establecidos en las tablas de variables) en la temperatura entre pasos y en el calor aportado por paso.

Es necesario tener presente que este tipo de variables sólo es aplicable cuando otras secciones del código (no la Sección IX), la Sección VIII, División I, por ejemplo, especifican requisitos de resistencia al impacto para algunos metales. En este caso, un o más cambios en las variables esenciales suplementarias hace obligatoria la recalificación del procedimiento.

*Variable no esencial de procedimiento es un cambio en una condición de soldadura que no afecta las propiedades mecánicas de la unión y no requiere recalificación.

Por su parte, ni AWS D1.1 ni API 1104 definen expresamente qué es una variable esencial, pero en todas las normas se indica con precisión cuáles son éstas para cada proceso de soldadura. y se establece que un cambio en una o más de este tipo de variables, hace obligatoria la recalificación del Procedimiento.

Cada norma particular establece los requisitos generales y específicos para la documentación (y calificación) de las EPS e incluye los formatos recomendados para éstas.

En cualquiera de los casos, el usuario debe remitirse a la norma específica correspondiente a cada campo de aplicación particular a fin de conocer con exactitud los requisitos que debe cumplir.

Calificación de procedimientos de soldadura

La calificación de un procedimiento consiste en soldar un ensamble o cupón de prueba empleando las variables establecidas en la especificación de procedimiento de soldadura (preliminar) a calificar, y obtener de éste las probetas o especímenes para realizar los ensayos que establece cada norma.

El propósito de la calificación de un procedimiento es determinar que la ensambladura soldada que se propone (en la EPS) para construcción, es capaz de tener las propiedades requeridas para la aplicación intentada.

El tipo y número de ensayos que se deben realizar depende del tipo de soldadura involucrado (de ranura o de filete, por ejemplo), y para un mismo tipo de soldadura, los requisitos de cada código son diferentes, por lo que es necesario consultar cada norma particular a fin de identificar sus requisitos específicos.

Para el caso de soldaduras de ranura y para la mayoría de las aplicaciones, el Código ASME requiere dos pruebas de tensión, dos de doblado de cara y dos de doblado de raíz (o cuatro de doblado lateral, en sustitución de las de cara y raíz, cuando los espesores del cupón de prueba son de 3/8" o mayores).

Se hace énfasis en la necesidad de remitirse a cada norma aplicable, ya que para soldaduras de ranura, el Código AWS D1.1 requiere, además de dos pruebas de tensión y cuatro de doblado, inspecciones visual y no destructiva del cupón de prueba. Por su parte, la Especificación API 1104, dependiendo del espesor de pared y del diámetro del tubo (cupón), además de establecer un número variable y diferente de ensayos de tensión (que varía de 0 a 4) y doblado de raíz, cara o lateral (de 2 a 8), también especifica de 2 a 4 pruebas de rotura en probeta ranurada (nick-break).

Si las pruebas realizadas a los especímenes cumplen los criterios de aceptación de resistencia a la tensión, de ductilidad (doblado) y "sanidad" (nick-break), se comprueba que la unión soldada obtenida con el procedimiento propuesto para construcción tiene las propiedades requeridas para la aplicación intentada y la calificación es satisfactoria.

Los resultados de estos ensayos y los valores reales de las variables empleadas para soldar el ensamble de Prueba deben ser documentada en un *Registro de Calificación de Procedimiento* -RCS (Procedure Qualification Record -PQR), para el cual, cada norma incluye sus formatos recomendados.

Una vez que las pruebas se realizaron y sus resultados son satisfactorios según los criterios de aceptación establecidos, se procede a hacer los cambios aplicables en la EPS preliminar, de acuerdo con los valores reales de las variables empleadas en las pruebas de calificación del procedimiento, y se emiten la EPS y el RCS definitivos.

En el RCP, el fabricante o contratista debe certificar que los cupones y los especímenes de prueba se prepararon, soldaron y ensayaron cumpliendo los requisitos especificados. Adicionalmente, el EPS calificado debe proporcionarse a los soldadores u operadores que lo van a emplear, y tal EPS, así como el RCP correspondiente, deben tenerse disponible para la revisión de los representantes del cliente y para las actividades aplicables del inspector de soldadura.

Conviene mencionar que también pueden calificarse procedimientos a ser empleados para producir solamente soldaduras de filete y, en este caso, las pruebas que se deben realizar son otras: de macro-ataque, principalmente.

Especificación de procedimiento de soldadura precalificado

El Código ANSI/AWS D1.1 para Soldadura Estructural de Acero permite el empleo de procedimientos precalificados. La precalificación de especificaciones de procedimiento de

soldadura debe ser definida como la exención de una EPS de las pruebas de calificación requeridas en la Sección 4 de este código, esto es, que dicha EPS puede emplearse para realizar soldaduras de construcción sin necesidad de efectuar dichas pruebas.

En cualquier caso, toda EPS precalificada debe estar escrita y el personal de soldadura que la aplique debe estar calificado de la manera prevista en la misma Sección 4 del código.

Para que una EPS pueda considerarse como precalificada, debe cumplir con todos los requisitos establecidos en la Sección 3 del código, algunos de los cuales se indican a continuación:

- El empleo exclusivo de procesos considerados como precalificados
- El empleo exclusivo de los metales base y de aporte incluidos en la Tabla 3.1
- Las aplicaciones de las temperaturas mínimas de precalentamiento y entre pasos indicadas en la Tabla 3.2
- Que los parámetros de intensidad de corriente (amperaje) o velocidad de alimentación de alambre, potencial (voltaje), velocidad de desplazamiento y flujo de gas de protección estén establecidos en la EPS dentro de la limitación de variables prescrita en la Tabla 4.5 para cada proceso aplicable
- Deben cumplirse todos los requisitos indicados en de tabla 3.7.

Especificaciones estándar de procedimientos de soldadura

Las EPS' s Estándar son procedimientos generados por la Sociedad Americana de Soldadura y el Consejo de Investigación en Soldadura (Welding Research Council - WRC). Estos procedimientos están derivados de, y tienen el soporte de dos o más RCP's realizados de acuerdo con la **Norma AWS B2.1 para la Calificación de Procedimientos y Habilidad de Soldadura**, y bajo el auspicio del WRC.

Estas especificaciones de procedimiento estándar pueden adquirirse y emplearse (sin la necesidad que el usuario las califique, ya que están previamente calificadas) siempre y cuando su uso esté permitido por las normas o documentos contractuales aplicables, se acepte (por escrito) la responsabilidad completa derivada de su uso, no se empleen fuera del intervalo de las variables establecidas y se proporcione el personal calificado y el equipo adecuado para su implantación.

Es interesante señalar el hecho de que el Código NBIC permite, bajo ciertas circunstancias, efectuar reparaciones y alteraciones de partes sujetas a presión empleando una o más EPS estándar; y que la Sección IX del Código ASME BPV, a partir de su Agenda 2000, permite que los fabricantes o contratistas usen las EPS estándar de la AWS en la construcción de partes y equipos nuevos sujetos a presión, y no tendrán que realizar pruebas de calificación de procedimiento, sino que sólo deberán efectuar y documentar una demostración que avale que conocen suficiente de soldadura para seguir y aplicar la EPS estándar correspondiente.

Calificación de la habilidad del personal de soldadura

Las normas establecen que el personal, antes de iniciar cualquier soldadura de producción o construcción, debe estar debidamente calificado, en la extensión y en los

términos especificados, ya sea que se trate de procedimientos calificados, precalificados o estándar.

El personal de soldadura es clasificado como sigue: soldador (welder) si emplea métodos de aplicación manuales o semiautomáticos, operador de equipo para soldar (welding operator) si aplica métodos mecanizados o automáticos, y "punteador" (tack welder) si únicamente aplica puntos (tack welds). Esta última clasificación es considerada únicamente por las normas emitidas por la AWS.

La preparación y la realización de una prueba de calificación de habilidad de personal presuponen la existencia de la EPS aplicable previamente documentada y calificada, misma que servirá como base para fijar los límites de las variables dentro de los cuales queda calificada la habilidad.

Las pruebas de calificación de habilidad tienen el propósito de demostrar si el personal tiene la capacidad para depositar metal de soldadura sin defectos: Habilidad manual para producir soldaduras sanas en el caso del soldador, y habilidad mecánica para operar el equipo en el caso de los operadores de equipo para soldar.

Los detalles de los ensambles o cupones de prueba, el tipo y número de ensayos a realizar y los criterios de aceptación están definidos en cada norma particular y difieren entre una y otra. Se vuelve a hacer énfasis en el sentido de que el lector debe remitirse a la norma correspondiente a cada aplicación.

En términos generales, para calificar la habilidad de soldadores y operadores para hacer soldaduras de ranura, se requieren, además de la inspección visual, una probeta de doblado de raíz y una de doblado de cara, o dos de doblado lateral. (La Norma API 1104 también requiere pruebas de tensión y de rotura de probeta ranurada). Con ciertas limitaciones, las pruebas de doblado pueden ser sustituidas por el examen radiográfico de los cupones o ensambles de prueba.

La limitación más frecuente para sustituir las pruebas de doblado por examen radiográfico está relacionada con las calificaciones de habilidad que involucran el proceso de soldadura de arco metálico protegido con gas con el modo de transferencia metálica en corto circuito (GMAW-S). Esto se debe a que el metal de soldadura depositado con este proceso (y modo de transferencia metálica) es susceptible de contener pequeñas zonas de fusión incompleta que no siempre pueden detectarse por medio de radiografía.

Las variables esenciales de habilidad del personal de soldadura, tales como posiciones, tipo de metales base y de aporte, el empleo de respaldos, diámetros de tubería, etc., así como el tipo y número de ensayos aplicables a cada tipo de soldadura y los criterios de aceptación están estipulados en cada norma.

Para cada prueba aprobada debe generarse un *Registro de Calificación de Habilidad del Soldador -CHS o RCHS (Record Welder Qualification Record WPQ or WPQR)*. En este documento se registran las condiciones y los valores reales de las variables que uso el soldador u operador al soldar su cupón de prueba de calificación, así como el intervalo (límites) de las variables en las que queda calificado. También se deben registrar los resultados de la inspección visual del cupón y de los ensayos mecánicos o exámenes radiográficos. Adicionalmente, el fabricante o contratista debe certificar que las soldaduras de prueba fueron preparadas, realizadas y ensayadas de acuerdo con los requisitos aplicables.

Recalificación de la habilidad del personal de soldadura

La Sección IX del Código ASME establece que la calificación de habilidad de un soldador o un operador de equipo para soldar expira si éste no ha soldado con un proceso durante un periodo de 6 meses o más.

Por su parte, el Código ANSIIAWS D1.1 establece que si el periodo de efectividad de la calificación del personal de soldadura ha terminado, debe procederse a realizar las pruebas de recalificación correspondientes.

Ambos documentos estipulan que si hay razones específicas para cuestionar la capacidad del personal para hacer soldaduras satisfactorias, cesa la calificación de habilidad y deben llevarse a cabo las pruebas de recalificación en los términos, especificados. Estas dos normas establecen con detalle las condiciones, excepciones y requisitos aplicables para cada caso particular de pruebas de recalificación, y también indican cómo y en qué circunstancias debe conducirse la repetición de pruebas de habilidad en aquellos casos en los que el personal falló en su primera prueba de calificación.

Adicionalmente, los soldadores y los operadores de equipo para soldar deben ser recalificados cuando hay cambios en una o más de las variables esenciales de habilidad.

Las variables esenciales de habilidad están definidas como cambios en las condiciones de soldadura que afectan la capacidad del personal para depositar metal de soldadura sano. Ejemplos de este tipo de variables son cambios de proceso de soldadura, omisión del respaldo en las juntas y cambios en el No. F de los metales de aporte. Las normas incluyen tablas que describen este tipo de variable para cada proceso.

Variables de soldadura a incluir en los documentos de calificación

Como se mencionó anteriormente, la información requerida acerca de las variables de soldadura que debe incluirse en los EPS, RCP y RCS difiere de una norma a otra, y también varía la forma en que cada norma clasifica a estas variables, pero independientemente de las diferencias señaladas, las variables de soldadura pueden agruparse en las siguientes categorías:

- Uniones o juntas
- Metales base
- Metales de aporte y electrodos
- Posiciones
- Pre calentamiento y temperatura entre pasos
- Tratamiento térmico posterior a la soldadura
- Gases de combustión y de protección.
- Características eléctricas
- Técnica.

También son variables los diferentes tipos de proceso de soldadura (un cambio de proceso es considerado como variable esencial de procedimiento y de habilidad) y los métodos de aplicación (manual, semiautomático, mecanizado o a máquina y automático).

A continuación se describen las principales variables de cada categoría y se indican algunos de sus aspectos clave.

Uniones o juntas

Los siguientes aspectos se consideran variables de soldadura asociadas con las juntas:

*Tipo de unión (a tope, en esquina, de traslape, en "T" y de borde).

*Tipo de ranura ("V" sencilla, doble "V", bisel sencillo, etc.

*Diseño básico de la unión

*La adición o eliminación de respaldos *Cambios en la composición nominal del respaldo

*Eliminación del respaldo en uniones a tope soldadas por un solo lado

*Abertura de raíz

*Dimensión de la cara de raíz

*Angulo de ranura.

Metales base

Las variables principales relacionadas con los metales base son las siguientes:

- Agrupamiento según la composición química, soldabilidad y propiedades mecánicas.

Las normas agrupan a los metales base en función de características tales como composición química, soldabilidad y propiedades mecánicas, de manera que los metales base con características similares están clasificados dentro de un mismo grupo. Esta clasificación se hace con la finalidad de reducir el número de EPS a preparar y las pruebas de calificaciones correspondientes.

En la Sección IX del Código ANSI/ ASME se agrupan los diferentes metales base adoptados para la construcción de calderas y recipientes a presión, asignándoles un Número "P" y Números de Grupo (del 1 al 10) dentro de los números P para metales base ferrosos los cuales tienen especificados requisitos de resistencia al impacto.

Así, si una EPS se califica con un acero ASME SA-36, con P No. 1, esta misma EPS también está calificada y puede emplearse (si no hay cambios en otras variables esenciales) para soldar un acero ASME SA-285 grados A, B y C o uno ASME SA-53, ambos con P No.1.

Por su parte, en el Código AWS D1.1, los metales base precalificados están clasificados en los grupos I,II y III los del Anexo M para EPS' s a calificar con pruebas.

En la Especificación ANSI/AWS B2.1, los metales base están agrupados en categorías generales bajo Números M de materiales y subdivididos en grupos dentro de cada categoría general.

- Espesor del metal base

Las variaciones del espesor del metal base son una consideración importante en la calificación de los procedimientos, ya que si esta variación es mayor al intervalo permitido (en

base al espesor del cupón de prueba empleado para la calificación) en las tablas de límites de espesores en las normas, se considera una variable esencial y la EPS correspondiente debe recalificarse o debe prepararse una nueva.

En la Sección IX del Código ASME BPV, los límites de espesores calificados de metales están establecidos en las tablas QW-451.1, QW-451.2 y QW-451.3 para la calificación procedimientos, y QW-452.1 y QW-452.2 para calificar la habilidad de soldador u operador. En el Código AWS D1.1, los límites de espesor para calificación de EPS están especificados en la tabla 4.2, y para personal de soldadura en la tabla 4.9.

Metales de aporte y electrodos

Las principales variables de los metales de aporte son:

- Números F

Los electrodos y varillas de soldadura están agrupados y clasificados en números F. Esta clasificación está basada principalmente en sus características de uso, mismas que determinan de manera fundamental la habilidad que tienen los soldadores para realizar soldaduras satisfactorias con un metal de aporte específico.

- Composición química del metal de soldadura depositado

La Sección IX del Código ASME, en su tabla QW-442, establece una clasificación de los metales ferrosos de soldadura depositados. Este agrupamiento está hecho en función de la composición química y a cada grupo se le asigna un Número "A". Esta clasificación agrupa a los diferentes metales de soldadura en "familias" tales como aceros dulces (A No.1), aceros al carbono molibdeno (A No. 2), aceros al cromo molibdeno (A No.12), etc.

- Clasificación de los metales de aporte

- Diámetro nominal de los electrodos consumibles

Con relación a esta variable, es oportuno señalar otra diferencia entre los requisitos de algunas normas: mientras que el Código ASME y la Norma API 1104 no consideran una variable esencial de procedimiento al cambio en el diámetro de los electrodos, AWS D1.1 si lo considera (en el caso particular del proceso SMAW, es variable esencial un incremento mayor a 1/32" en el diámetro de los electrodos recubiertos).

- Espesor del metal de soldadura depositado

- Cambios en el tipo de electrodo de tungsteno

- Clasificación de los fundentes (para arco sumergido)

- Tipo y composición del fundente Adición o eliminación de insertos consumibles

- Tipo de metal de aporte (alambre sólido o tubular, por ejemplo) Adición o eliminación de metal de aporte suplementario.

Posiciones

- Cambios en la posición de soldadura

- En posición vertical, cambios en la progresión ascendente o descendente

Las posiciones de soldadura de ranura y de filete, así como las "tolerancias" para la inclinación del eje de soldadura y la rotación de la cara están ilustradas en las normas para

construcciones soldadas (las figuras 4.1 y 4.2 del Código AWS D1.1, por ejemplo). En la figura 8.1 se ilustran las diferentes posiciones de prueba.

Pre calentamiento (preheat), temperatura entre pasos (interpass temperature) y calor aportado por paso (heat input)

Las principales variables dentro de esta categoría son:

Disminución de la temperatura de pre calentamiento.

Variaciones en el sostenimiento o reducción de la temperatura después de terminar una soldadura y antes de aplicar cualquier tratamiento térmico posterior requerido

Incrementos en la temperatura entre pasos máxima especificada en la EPS y registrada en el RCP

Incrementos en el calor aportado por paso.

Debido a la influencia que tienen estas variables sobre las propiedades mecánicas de las uniones soldadas y con la finalidad de hacer referencia a algunos requisitos clave de varias normas, a continuación se comentan algunos aspectos relevantes:

Las temperaturas de pre calentamiento y entre pasos son parámetros cuyas variaciones entre límites estrechos son considerados como variables esenciales de procedimiento en las normas.

El propósito del pre calentamiento es evitar el agrietamiento de las uniones durante las operaciones de soldadura, y en cierta medida, ayudar a reducir los esfuerzos residuales.

En términos generales, las necesidades de pre calentamiento son mayores en la medida en que aumentan los contenidos de ale antes (incrementos en el carbono equivalente) de los aceros al carbono y de baja aleación, los espesores a unir son mayores y si no se emplean procesos y materiales consumibles de soldadura de bajo hidrógeno.

Los requisitos para temperaturas mínimas de pre calentamiento y entre pasos están referidos en cada norma, por ejemplo:

El Código AWS D1.1 en su Tabla 3.2 establece las temperaturas mínimas de pre calentamiento y entre pasos para procedimientos pre calificados, así como métodos opcionales (véase Anexo XI) para fijar éstas. .

La Sección VIII, División I del código ASME, en su Apéndice R

"Pre calentamiento", ofrece una guía general para fijar el pre calentamiento para los metales base listados bajo diferentes Números P en la Sección IX. En este caso no hay reglas obligatorias para establecer las temperaturas mínimas de pre calentamiento y entre pasos, con excepción de las indicadas en las notas de pie de página de las Tablas Nos. DCS-56 y UHA-32.

El Código ASME B31.3, "Tuberías para Plantas Químicas y Refinerías de Petróleo" establece, en su Tabla No. 330.1.1, las recomendaciones y requisitos de temperatura mínima de pre calentamiento y entre pasos (y de temperatura máxima entre pasos) para metales base de diferentes espesores y Nos. P.

Asimismo, cada norma particular, en sus tablas de variables para cada proceso de soldadura, especifica los intervalos de variación que se permiten para estos parámetros sin que se consideren variables esenciales y sin que se requiera la recalificación de los procedimientos.

En relación con la temperatura máxima entre pasos y al calor aportado por paso, en las normas (con excepción de las variables esenciales suplementarias y donde existen requisitos de resistencia al impacto) por lo general no están definidas por completo las limitaciones aplicables.

Cuando se trata de aceros al carbono, el hecho de que en las normas no estén establecidas las limitaciones a las variables antes citadas, obedece a que la soldadura de estos aceros no presupone problemas serios, pero cuando se sueldan otros metales base, por ejemplo aceros de alta resistencia y baja aleación templados y revenidos, o cuando se trata de aceros inoxidable austeníticos, es necesario fijar con precisión los límites permisibles en las temperaturas máximas entre pasos y el calor aportado por paso, ya que de no hacerlo se corre el riesgo de afectar las propiedades mecánicas o de resistencia a la corrosión. Para fijar los intervalos de variación de estos parámetros hay que remitirse no solamente a las tablas de variables esenciales y variables esenciales suplementarias incluidas en las normas, sino a las recomendaciones de los fabricantes de los metales base involucrados, y a bibliografía especializada sobre metalurgia e ingeniería de soldadura.

Tratamiento térmico posterior a la soldadura (postweld heat treatment)

Las variables más comunes son:

Inclusión u omisión del tratamiento térmico posterior

El tratamiento térmico se efectúa a temperaturas menores a la temperatura inferior de transformación, por ejemplo el alivio o relevado de esfuerzos (aplicable sólo a metales base ferrosos)

Tratamiento térmico a temperaturas arriba de la temperatura superior de transformación. Un tratamiento de este tipo es el normalizado (aplicable sólo a metales base ferrosos)

Un tratamiento térmico a temperaturas mayores a la superior de transformación, seguido por otro a temperaturas por debajo de la inferior de transformación, por ejemplo, normalizado y templado seguido de revenido (sólo aplicable a metales ferrosos)

Un tratamiento térmico entre las temperaturas inferior y superior de transformación (aplicable sólo a metales base ferrosos)

Cambios en la temperatura y tiempo de permanencia en horno.

A continuación se hace referencia a algunos requisitos clave de las normas con respecto a estas variables.

Los tratamientos térmicos que se realizan después de soldar son de varios tipos, pero el que se aplica la mayoría de las veces a los aceros al carbono y de baja aleación es el alivio o relevado de esfuerzos.

Para el caso de los recipientes a presión diseñados y construidos de acuerdo con la Sección VIII, División I del código ASME, los requisitos correspondientes están contenidos en el párrafo UW -40 y las tablas Nos. UCS-56, UHT-56, UNF56 Y UHA-32, además de consideraciones como las indicadas en el párrafo UW-2, "Restricciones de Servicio", que establece que los recipientes que van a contener sustancias letales, si son construidos con aceros al carbono o de baja aleación, siempre deben ser térmicamente tratados.

El Código ASME B31.3 establece los requisitos de tratamiento térmico posterior a la soldadura en el párrafo 331 y en la tabla 331.1.1, Y los aplicables al tratamiento térmico posterior al formado o doblado se establecen en el párrafo 332.4.

Por su parte, el Código AWS D1.1 establece en el párrafo 5.8 que cuando las especificaciones o dibujos de contrato lo requieren, los ensambles soldados deben ser sometidos a un relevado de esfuerzos por tratamiento térmico, y especifica los requisitos aplicables a éste.

En cualquiera de los casos, los procedimientos de soldadura deben establecerse y calificarse considerando todas las variables esenciales, incluyendo las relacionadas con los tratamientos térmicos.

Gases empleados en soldadura

Las principales variables asociadas con los gases empleados son:

La adición u omisión del gas de protección (shielding gas)

Cambios de un gas sencillo de protección a otro gas sencillo, o a una mezcla de gases

Cambios en los porcentajes especificado de la composición de la mezcla de gases

La adición o eliminación de gas de seguimiento (trailing gas), o bien un cambio en su composición.

Cambios en la velocidad de flujo del gas.

Adición u omisión del gas de respaldo (backing gas), o cambios en la velocidad de flujo o la composición del gas de respaldo.

La omisión de gas inerte en el gas de respaldo

Cambios de protección en el ambiente (empleo de vado, por ejemplo)

Tipo de gas combustible

Cambios en la presión del oxígeno o en la del gas combustible

Características eléctricas

Las principales variables son:

Tipo de corriente (directa o alterna) Tipo de polaridad (directa o invertida)

Calor aportado por paso

Volumen de soldadura depositado por unidad de longitud

El tipo de transferencia metálica a través de arco

Adición u omisión de corriente pulsante a las fuentes de energía de corriente directa

Variación en el amperaje y voltaje de soldadura

Variación en la velocidad de alimentación de alambre (wire feed speed)

Cambios en el tamaño y en el tipo de electrodos de tungsteno

Cambios en la velocidad de desplazamiento (travel speed)

Técnica

Las principales variables dentro de esta categoría son:

Cambio de técnica de cordón recto (string bead) a técnica de cordón oscilado (weave bead)

Oscilación

Naturaleza de la flama (reductora, oxidante o neutra)

Tamaño del orificio de la copa de gas

Técnica de soldadura, hacia delante o hacia atrás

Método de limpieza inicial y entre pasos

Método de ranurado (back gouging)

Distancia entre la punta del contacto eléctrico y la pieza de trabajo (stickout or tube-work distance)

Número de electrodos (un solo electrodo o electrodos múltiples)

Espaciado entre electrodos

Ángulo del electrodo (para arco sumergido)

Si la soldadura es depositada por un solo lado o por ambos

Cambios de método de aplicación (manual, semiautomático, mecanizado o automático)

Adición u omisión de martillado (peening).

Es oportuno indicar que la relación anterior de variables de soldadura no es completa ni detallada, y que no todas las variables particulares o categorías éstas son aplicables a todos los procesos o metales base o de aporte. Los individuos encargados realizar los trabajos (y también los inspectores o el personal encargado de evaluarlos y aprobados) asociados con la realización de pruebas de calificación y elaboración de los registros correspondientes, deben consultar las normas apropiadas, mismas que detallan con exactitud los requisitos aplicables en cada situación.

Responsabilidades con respecto a la calificación de procedimientos y personal de soldadura

Como se mencionó a lo largo de este capítulo, los contratistas y fabricantes que intervienen en un trabajo a realizar de acuerdo con un código o especificación, son los responsables directos de las soldaduras aplicadas por todos los integrantes de su organización. Tales contratistas o fabricantes son los responsables de preparar todas las EPS necesarias, de realizar las pruebas de calificación de éstas y de calificar la habilidad del personal de soldadura que va a emplear tales EPS, así como preparar, archivar y actualizar los registros correspondientes (EPS, RCP y RCS), asimismo, tienen la obligación de poner estos documentos a la disposición del representante del cliente y de los inspectores encargados de evaluarlos y emplearlos en sus tareas de inspección.

Las responsabilidades y obligaciones del inspector de soldadura son las de verificar que los procedimientos a ser empleados durante el trabajo de código satisfagan los requisitos especificados por éste y que cubran todas las aplicaciones, condiciones y variables previstas para la ejecución del trabajo.

En este sentido, el inspector debe asegurar que los procedimientos estén debidamente preparados por escrito en las EPS correspondientes, que las calificaciones de

procedimiento y de habilidad de soldadores y operadores de equipo para soldar hayan sido debidamente realizadas, documentadas y certificadas y estén actualizadas.

Una vez que se inician los trabajos de producción o construcción, el inspector debe verificar que los procedimientos establecidos y calificados se apliquen correctamente en cada junta, y que en su aplicación sólo intervenga personal cuya habilidad esté calificada en la extensión y las variables de soldadura impuestas en cada situación. .

El inspector de soldadura, para cumplir satisfactoriamente con sus obligaciones y responsabilidades relacionadas con la calificación de procedimientos y personal, debe estar completamente familiarizado con los procesos involucrados en cada procedimiento, así como con los requisitos específicos y generales del código particular aplicable, ya que en algunos sentidos, estos requisitos pueden diferir grandemente entre una norma y otra. Algunas de las diferencias clave de las normas empleadas con mayor frecuencia fueron comentadas con cierto detalle a lo largo de este capítulo.

TEMA VIII

PRUEBAS DESTRUCTIVAS.

Como todos los productos que se fabrican y construyen, las partes y estructuras soldadas están destinados a realizar un servicio bajo condiciones específicas, y las juntas soldadas de tales productos se diseñan para que posean las propiedades y capacidad apropiadas para operar satisfactoriamente bajo las condiciones de servicio previstas. Con el propósito de asegurar que las juntas cumplirán de manera efectiva la función intentada, por lo general se llevan a cabo algunas pruebas. Es obvio que la prueba ideal sería la operación de la estructura en las condiciones reales de operación, pero aún en los casos en los cuales su ejecución fuera factible, resultaría cara y consumiría mucho tiempo. Debido a esto, se emplean pruebas estandarizadas, y los resultados de éstas pueden relacionarse con materiales y estructuras que se han comportado satisfactoriamente durante servicio

Las pruebas a las que se someten las juntas soldadas son tan antiguas como la soldadura misma. Las primeras pruebas o ensayos que se aplicadas tuvieron los propósitos principales de detectar defectos bastos y evaluar la ductilidad, pero a medida que los requisitos de calidad aumentaron, se desarrollaron pruebas para determinar características específicas, como la composición química y las propiedades mecánicas y metalúrgicas, así como para identificar y localizar discontinuidades tales como grietas, inclusiones de escoria y penetración y fusión incompletas.

Actualmente existe una variedad muy grande de pruebas estandarizadas, y éstas se clasifican de acuerdo a diferentes criterios. Algunas son de naturaleza definitivamente destructiva, mientras que otras no. Desde este punto de vista, para el trabajo que desarrolla el inspector de soldadura en relación con las pruebas, resulta adecuado dividir las en dos grandes grupos: las destructivas y las no destructivas. Las primeras son tratadas brevemente en este capítulo y las segundas se describen en el siguiente.

Las pruebas destructivas que se realizan en el campo de las construcciones soldadas se conducen principalmente con la finalidad de calificar procedimientos de soldadura y habilidad de soldadores y operadores, así como para el control de calidad de las juntas soldadas y de los metales base.

La responsabilidad principal que el inspector de soldadura tiene con respecto de las pruebas destructivas consiste en confirmar que éstas son conducidas adecuadamente, y que los resultados satisfacen los criterios de aceptación especificados. A fin de cumplir con esta responsabilidad, el inspector necesita estar completamente familiarizado con los propósitos, alcances, aplicaciones y limitaciones de las pruebas especificadas, así como con los procedimientos para llevarlas a cabo; también debe saber interpretar los resultados y cómo relacionarlos con las propiedades de las juntas soldadas de los bienes que inspecciona.

Las pruebas que con mas frecuencia se emplean en las aplicaciones en que se ve involucrado el inspector son tratadas en las normas *ANSI / AWS B4.0, "Métodos Estándar para Pruebas Mecánicas de Soldaduras"* y *ASTM A370, "Métodos Estándar y Definiciones para Pruebas Mecánicas de Productos de Acero"*.

Existen muchas otras normas acerca de las pruebas destructivas (o sobre aspectos particulares de éstas) que se aplican a los materiales y productos asociados con la producción de bienes soldados, pero las normas antes citadas cubren la mayor parte de las necesidades del inspector de soldadura. *El Volumen 03.01, "Metales Pruebas Mecánicas; Pruebas a Temperaturas Elevadas y Bajas; Metalografía"*, de la Sección 3 de ASTM contiene una colección de las normas sobre pruebas que eventualmente el inspector puede tener la necesidad de consultar, entre ellas puede citarse *ASTM E 6, "Terminología Estándar Relacionada con los Métodos de Pruebas Mecánicas"*.

El alcance con que el inspector de soldadura debe estar familiarizado con las pruebas destructivas debe cubrir, además de los aspectos ya mencionados, habilidades para verificar los cálculos involucrados en cada prueba, el manejo y conversión de las unidades de medición de las diferentes propiedades evaluadas y la interpretación adecuada de los resultados, así como las implicaciones de los mismos. Debido a la gran cantidad de pruebas y a la amplitud y profundidad del tema, no resulta posible en este texto cubrir todas las necesidades del inspector, por lo que sólo se tratan los aspectos básicos de estas pruebas y se hace referencia a las normas que tratan sobre su ejecución y sobre los criterios de aceptación especificados para los especímenes ensayados.

Por otra parte, se hace énfasis en el hecho de que el inspector de soldadura debe consultar otras fuentes a fin de que pueda complementar sus conocimientos y habilidades sobre esta materia, para la que afortunadamente, existe una bibliografía abundante en español.

Pruebas destructivas aplicables a las soldaduras

Los ensayos, pruebas o exámenes destructivos pueden definirse como aquellos en los cuales se destruye o inutiliza el espécimen probado.

Las pruebas destructivas a que se someten las juntas y productos soldados se pueden clasificar en mecánicas, químicas y metalográficas, y cada una de estas clasificaciones incluye un número relativamente grande de pruebas particulares para satisfacer los requisitos especificados.

Pruebas mecánicas

Estas pueden definirse como aquellas que se emplean para determinar propiedades mecánicas, tales como la resistencia, la tenacidad y la ductilidad. Por su parte, las propiedades mecánicas de un material son aquellas que están relacionadas con sus reacciones elásticas o inelásticas (plásticas) cuando se le aplica una fuerza, o aquellas que involucran la relación entre esfuerzo y deformación. Las pruebas mecánicas involucran la deformación plástica o permanente del espécimen probado e indican si éste es apropiado para un servicio mecánico determinado. Existen pruebas mecánicas estáticas y dinámicas, y la mayor parte de éstas se realizan a temperatura ambiente, pero hay otras que deben conducirse a temperaturas muy altas o muy bajas.

Las pruebas mecánicas que se realizan con más frecuencia son las siguientes:

1. Tensión
2. Doblado
3. Dureza
4. Impacto

5. Fatiga
6. Termofluencia (creep)

Antes de considerar algunos aspectos básicos de las pruebas mecánicas, es conveniente tener presente el significado de los términos que a continuación se definen:

- Deformación (strain) - Medida del cambio en la forma o tamaño de un cuerpo, referido a su forma o tamaño original.
- Ductilidad (ductility) - La habilidad de un material para deformarse plásticamente antes de fracturar. Por lo general se la evalúa por la elongación o la reducción de área en una prueba de tensión, o por el radio del ángulo de doblez en una prueba de doblado.
- Elasticidad - Es la propiedad de un material en virtud de la cual, después de deformarse bajo la aplicación de una fuerza (carga), tiende a recuperar su tamaño y forma originales cuando deja de aplicarse la fuerza.
- Esfuerzo (stress) - Intensidad de la fuerza por unidad de área, a menudo pensada como la fuerza que actúa en una pequeña área dentro de un plano. Puede dividirse en componentes, normal y paralela al plano, llamadas esfuerzo normal y esfuerzo cortante, respectivamente. Los esfuerzos son expresados en términos de fuerza por unidad de área, tales como libras fuerza por pulgada cuadrada, o en Mega Pascales.
- Limite elástico - El esfuerzo más grande que un material es capaz de soportar sin ninguna deformación permanente residual después de que se deja de aplicar el esfuerzo.
- Plasticidad - Capacidad de un metal para deformarse no elásticamente permanentemente) sin sufrir rotura.
- Tenacidad (toughness) - Capacidad de un metal de absorber energía y deformar plásticamente antes de fracturarse. También se la define como la habilidad de un metal para resistir a la fractura en presencia de una ranura o entalla, y para absorber las cargas deformándose plásticamente. Por lo general se evalúa al medir la energía absorbida por un espécimen muescado durante un ensayo de impacto, pero el área bajo la curva esfuerzo-deformación de la prueba de resistencia a la tensión también se usa como una medida de tenacidad.

Pruebas de tensión

Las pruebas de tensión se emplean para determinar la resistencia de los materiales bajo esfuerzos de tracción (aquellos que son normales perpendiculares al plano sobre el que actúan y son producidos por fuerzas cuyas direcciones se apartan de tal plano); también sirve para evaluar la ductilidad de los materiales.

Durante las pruebas de tensión se determinan las siguientes propiedades:

- Resistencia a la tensión (tensile strength), que es el esfuerzo de tracción máximo que un material es capaz de soportar, también se le llama resistencia última. Se calcula dividiendo la carga máxima (la de rotura) durante la prueba entre el área de la sección transversal original del espécimen.

- Resistencia de fluencia o cedencia (yield strength), es el esfuerzo (de ingeniería) al cual, de manera convencional se considera que comienza la elongación plástica del material.
- Elongación, es el incremento medido en la longitud calibrada del espécimen ensayado, y por lo general se expresa como un porcentaje de la longitud calibrada original.

Reducción de área, es la diferencia entre las áreas de las secciones transversales del espécimen, la original y la más pequeña después de realizado el ensayo. Se expresa como un porcentaje del área de la sección transversal original.

Las dos últimas propiedades citadas son una medida de la ductilidad del material.

Una gran parte del diseño de los productos (incluyendo las partes y equipos soldados) está basado en las propiedades de tensión de los materiales empleados, por lo que la realización de las pruebas para determinarlas es de importancia vital. En el campo de las construcciones soldadas, las pruebas de tensión se emplean para ensayar metales base, metal de soldadura y juntas soldadas, las cuales incluyen regiones de metal base, metal depositado de soldadura y zonas térmicamente afectadas. Las pruebas de tensión de los especímenes obtenidos de cupones de calificación de procedimientos de soldadura sirven para demostrar que las juntas soldadas que se pueden obtener con el procedimiento (calificado) tienen las propiedades de tensión iguales o superiores a los metales base soldados.

Otras pruebas de tensión que se emplean con frecuencia son: tensión a corte para determinar la resistencia al corte de las soldaduras de filete y en juntas obtenidas por medio de soldadura fuerte, y pruebas de tensión a corte para soldaduras por puntos.

Los criterios de aceptación para los resultados de las pruebas de tensión que se requieren para los metales base están contenidos en las especificaciones aplicables (ASTM o API, por ejemplo), mientras que los criterios relacionados con aspectos como la resistencia que deben tener las juntas de cupones de prueba para calificar procedimientos de soldadura están establecidos en las normas correspondientes. Así, el *Código AWS D1.1 para Soldadura Estructural de Acero*, en su Sección 4, "Calificación", especifica las dimensiones de los especímenes y los criterios de aceptación, estos últimos en el párrafo No. 4.8.3.5. Por su parte, el *Código ASME para Calderas y Recipientes a Presión*, establece las provisiones correspondientes en su Sección IX, "Norma para la Calificación de Procedimientos de Soldadura y Soldadura Fuerte, Soldadores y Operadores". El Artículo I contiene los requisitos para los especímenes y los criterios de aceptación (véase el párrafo

"QW-163).

Nota: Los métodos de prueba a emplear son los cubiertos en las normas ASTM A3 70 Y A WS B 4.0 antes mencionadas.

Pruebas de doblado (bend testing)

Las prueba de doblado se emplean para evaluar la ductilidad y sanidad (ausencia de defectos) de las juntas soldadas, y la ductilidad por lo general se juzga verificando si el espécimen se fracturó o no bajo las condiciones especificadas de prueba.

Estas pruebas consisten en doblar o plegar un espécimen bajo cargas aplicadas gradual y uniformemente, aunque a veces también se aplican mediante impactos. Hay cuatro

tipos de prueba de doblado: libre, guiado, semi guiado y "doblez alrededor de" (wrap around bend test).

Las pruebas de doblado guiado se usan como parte del proceso de calificación de procedimientos de soldadura y habilidad de soldadores y operadores de equipo para soldar. Los especímenes de doblado guiado pueden ser longitudinales o transversales al eje de la soldadura, y estos últimos, dependiendo de la superficie que se somete a tensión durante la prueba, pueden ser de doblado de cara, raíz o lateral.

Los resultados de las pruebas de doblado que se practican a los especímenes tomados de los cupones de pruebas de calificación de procedimientos y de habilidad del personal de soldadura indican, respectivamente, lo siguiente: si el procedimiento de soldadura propuesto (en proceso de calificación) es capaz de producir juntas soldadas con los niveles de ductilidad mínimos especificados por las normas aplicables, y que los soldadores o los operadores de equipo para soldar son capaces de depositar metal de soldadura sin defectos y con el nivel de ductilidad requerido.

Los requisitos v criterios de aceptación para pruebas de doblado varían un tanto entre una norma y otra, y el inspector debe asegurar que estas pruebas y sus resultados son conducidas de acuerdo con el documento aplicable, y que cumplen con los estándares especificados.

Los criterios de aceptación están establecidos en términos de la ausencia de discontinuidades (con alguna tolerancia) superficiales en la parte convexa de los especímenes que se doblaron durante la prueba con un radio de curvatura dado especificado para cada tipo de material y para cada espesor nominal de espécimen o probeta. La dimensión del radio de doblado especificado varía entre una norma y otra en relación con el tipo de material a ensayar. A continuación se refieren las partes de algunas normas donde se establecen los radios de doblado:

- Código AWS D1.1: Figuras 4.15, 4.16 y 4.14.
- Sección IX del Código ASME: Figuras QW-466.1, QW-466.2 y QW466.3.
- Norma API 1104, "Soldadura de Líneas de Tubería e Instalaciones Relacionadas":
- Especificación API 5L para Tubería de Línea: Apéndice G (normativo).

Pruebas de dureza

La dureza es la resistencia que ofrece un material a la deformación, en particular a la deformación permanente, a la depresión (indentation) o al rayado; puede considerarse como la resistencia que ofrece un metal a ser penetrado.

Las pruebas de dureza se emplean en la evaluación de metales base, metal de soldadura depositado y zonas afectadas térmicamente. Las mediciones de dureza pueden proporcionar información acerca de los cambios metalúrgicos causados por las operaciones de soldadura. En los aceros simples al carbono y en los de baja aleación, una dureza alta por lo general indica la presencia de martensita en la zona afectada térmicamente, mientras que valores bajos de dureza pueden indicar condiciones de soldadura en las cuales el material se reblandeció debido a efectos similares a los producidos por el tratamiento térmico de revenido, o aún el de recocido.

Los métodos de prueba de dureza que se emplean en los metales son los siguientes:

- Brinell

- Vickers
- Knoop
- Rockwell (varias escalas) .

Los métodos de prueba de dureza a emplear en una aplicación específica dependen de factores como la dureza o resistencia del metal, el tipo de metal o aleación y su espesor y la información requerida. Hay métodos de prueba y escalas de dureza apropiadas para cubrir diferentes necesidades. También hay pruebas de microdureza Vickers y Knoop adecuadas para medir la dureza de las juntas soldadas en sus diferentes regiones (metal base, metal de soldadura depositado y zonas térmicamente afectadas).

Algunas normas, para situaciones especiales o particulares, especifican ciertos requisitos de dureza, pero para algunas aplicaciones, por ejemplo en aquellas en las que los equipos soldados van a estar sometidos a condiciones corrosivas, los requisitos de dureza pueden ser muy rigurosos.

Prueba de impacto

Los metales se comportan de manera dúctil o de manera frágil, esto es, experimentan deformaciones plásticas relativamente elevadas antes de fracturar, o fracturan con muy poca o ninguna deformación plástica. Algunos aceros que durante las pruebas de tensión o de doblado han mostrado comportamiento dúctil, pueden no comportarse de esta misma manera cuando se les somete a otros tipos de prueba mecánica, o bajo condiciones de servicio. De hecho, se han registrado muchos casos en los cuales, metales considerados dúctiles (a juzgar por los resultados de las pruebas de tensión y de doblado), han fracturado de manera frágil (con muy poca o ninguna deformación plástica y requiriendo muy poca energía), por lo que tenacidad y ductilidad se consideran propiedades distintas (consúltense las definiciones incluidas en la sección "Pruebas mecánicas" de este capítulo).

Adicionalmente, algunos metales, en particular los aceros ferríticos, muestran un cambio de comportamiento (de dúctil a frágil) en el modo de falla al descender la temperatura, al tener muescas o ranuras o por la forma de la aplicación de las cargas. Las pruebas apropiadas para evaluar este tipo de propiedades y comportamiento son las pruebas de tenacidad.

Tenacidad con respecto a la fractura (fracture toughness) es un término genérico empleado para referirse a la resistencia de los materiales en relación con la extensión de las grietas. La propagación de las grietas requiere de una fuente de energía, misma que, en las estructuras en servicio, procede de la energía de deformación elástica almacenada, y en los ensayos de tenacidad en fractura, es producida por la máquina de prueba.

Los métodos comunes de prueba para medir esta tenacidad en las juntas soldadas son: impacto Charpy en probeta con ranura en "V", desgarre dinámico, la tenacidad de fractura en plano de deformación (plane strain fracture toughness) y caída de peso (drop weight).

La prueba de tenacidad más empleada es la de impacto Charpy en probeta con ranura en "V"; su utilidad radica en el hecho de que puede reproducir el cambio de comportamiento dúctil a frágil de los aceros en casi el mismo intervalo de temperaturas que las observadas en las condiciones reales de servicio de estructuras o componentes, cosa que no sucede en los ensayos de tensión ordinarios, en los que la transición dúctil frágil ocurre a temperaturas mucho más bajas. Sin embargo, es necesario tener en cuenta que los resultados de esta

prueba no pueden ser usados directamente para valorar el comportamiento de una estructura o equipo.

El procedimiento de prueba, los detalles sobre las dimensiones de los especímenes y otros aspectos clave pueden consultarse en las normas ASTM A370 y A WS B4.0 citadas con anterioridad. Los resultados generalmente se reportan en términos de energía absorbida por los especímenes (en libras-pie o en joules), aunque también se suelen reportar como el porcentaje de fractura frágil y la expansión lateral. Para metales como los aceros al carbono y de baja aleación, que exhiben un cambio en el modo de falla al descender la temperatura, es común conducir la prueba a varias temperaturas, y determinar la temperatura de transición, la cual se define de varias maneras, dos de las cuales son: "La temperatura más baja a la cual la fractura del espécimen exhibe una estructura fibrosa", y "La temperatura correspondiente al valor de energía igual al 50% de la diferencia entre los valores obtenidos a 100 por ciento y 0 por ciento de fractura de apariencia fibrosa". La siguiente figura muestra una curva típica de temperatura de transición.

Esta prueba por 10 general se usa para especificar los criterios mínimos de aceptación con que deben cumplir los metales base y de aporte. Es común que los criterios de aceptación estén fijados en términos de los valores mínimos de absorción de energía que deben satisfacer los materiales a una temperatura particular.

En ciertas situaciones, algunas normas de construcción requieren que los procedimientos de soldadura también se califiquen con pruebas de impacto Charpy en especímenes tomados del metal de soldadura y de la zona térmicamente afectada; igualmente, hay requisitos de norma para la realización de pruebas de impacto de soldaduras de producción. En tales casos, la norma en cuestión especifica las condiciones en las que estas pruebas son un requisito a cumplir y los criterios de aceptación.

Dos situaciones en las que es un requisito incluir pruebas Charpy en la calificación de procedimientos de soldadura son:

- Cuando una sección de diseño y construcción del Código ASME para Calderas y Recipientes a Presión (la Sección VIII, División 1, por ejemplo) especifica requisitos de resistencia al impacto para el metal base a usarse. En este caso, las variables esenciales suplementarias identificadas en la Sección IX del código deben considerarse en la calificación o re calificación de los procedimientos.
- En el caso del Código AWS D 1.1, cuando es requerido por los dibujos o las especificaciones del contrato (véase el párrafo 4.1.1.3).

Pruebas químicas

Las pruebas químicas se emplean con dos propósitos principales: determinar la composición química de metales base y metales de soldadura depositada y para evaluar la resistencia a la corrosión de las juntas soldadas.

La composición de los metales base y de los electrodos y metales de aporte, o el metal de soldadura depositado por estos últimos (durante pruebas estandarizadas) es determinada por los fabricantes de dichos productos, y es un requisito que estos proporcionen los reportes o certificados de composición química correspondientes que demuestren que tales productos cumplen con los requisitos especificados por las normas aplicables, cumplimiento que debe ser verificado por el inspector de soldadura. En las situaciones en las cuales es necesario determinar la composición del metal de soldadura

depositado durante la aplicación de soldaduras de producción o construcción, tal tarea debe ser llevada a cabo por el contratista o fabricante de los productos soldados, y el inspector debe asegurarse que tal composición es la especificada o la apropiada.

Existe una gran cantidad de métodos y técnicas sobre el análisis químico y la obtención de las muestras representativas que han de someterse a análisis. Las normas para realizar estas actividades están referidas en las especificaciones de cada material, y los volúmenes Nos. 03.05 y 03.06 de la Sección 3 de ASTM contienen una colección completa de estos.

En cuanto a las pruebas de corrosión de juntas soldadas, puede decirse que éstas son necesarias debido a que muchos equipos y componentes (fabricados por medio de operaciones de soldadura) destinados a las industrias químicas y de refinación de petróleo, entre otras, operan en una gran variedad de ambientes, algunos de los cuales son corrosivos. Por otra parte, la resistencia a la corrosión de las juntas soldadas puede diferir mucho de aquella de los metales base no soldados debido a que en las primeras, las regiones del metal depositado y la zona afectada térmicamente tienen estructuras metalúrgicas y niveles de esfuerzos residuales diferentes a las del metal base, y el metal depositado también tiene una composición química diferente.

La corrosión, definida como el deterioro de un metal debido a la reacción química o electroquímica con su ambiente, puede atacar de manera uniforme a la junta soldada, o atacar de manera preferencial el metal base, el de soldadura o la zona afectada térmicamente, y pueden ocurrir varios tipos o mecanismos de corrosión: picadura o corrosión diseminada (pitting), corrosión en línea (line corrosion), corrosión generalizada (general corrosion), "ranuramiento" (grooving), corrosión galvánica (galvanic corrosion), ataque de hidrógeno (hydrogen attack), fragilización causada por hidrógeno (hydrogen embrittlement) y agrietamiento por corrosión bajo esfuerzo (stress corrosion cracking) .

Las normas sobre las pruebas de corrosión más empleadas se pueden consultar en el *Volumen 03.02, "Desgaste y Erosión; Corrosión de Metales"* de la Sección 3 de ASTM, aunque para aplicaciones particulares relacionadas con las juntas soldadas, existen normas específicas que tratan sobre pruebas y métodos de control de corrosión, algunas de éstas se citan a continuación:

- *Norma NACE TM0284, "Evaluación de la Resistencia al Agrietamiento Inducido por Hidrógeno (HIC) en Aceros para Líneas de Tubería y Recipientes a Presión."*
- *Norma NACE TMO177, "Pruebas de Laboratorio para la Resistencia de los Metales a Formas Específicas de Agrietamiento Ambiental en Ambientes de H₂S".*
- *Práctica Recomendada Estándar NACE RPO472, "Métodos de Control para Prevenir Agrietamiento Ambiental en Servicio de Ensamblajes Soldados de Acero al Carbono en Ambientes Corrosivos en la Refinación de Petróleo".*
- *Norma NACE MRO175, "Materiales Metálicos Resistentes al Agrietamiento de Sulfuro bajo Esfuerzo, para Equipo Petrolero".*

Nota: Las normas NACE son publicadas por la Asociación Nacional de Ingenieros en corrosión (National Association of Corrosion Engineers).

Pruebas metalográficas

Las pruebas metalográficas consisten en la obtención, preparación (mediante corte, desbaste y pulido y ataque químico o electroquímico) y evaluación de muestras metálicas representativas de la estructura

metalúrgica que se desea examinar. El examen puede hacerse a simple vista, a pocos aumentos, por medio de microscopios óptico o electrónico y por difracción de rayos x.

En la evaluación de juntas soldadas, los exámenes metalográficos se usan para determinar uno o más de los siguientes aspectos:

- La sanidad (ausencia de defectos) de las juntas
- La distribución de inclusiones no metálicas en la junta
- El número de pasos de soldadura
- La localización y la profundidad de la penetración de la soldadura
- La extensión de la zona térmicamente afectada
- La estructura metalúrgica del metal de soldadura y la zona afectada térmicamente.

La mayor parte de las pruebas metalográficas que se emplean para evaluar juntas soldadas se efectúan a escala macroscópica (a simple vista o a pocos aumentos), y permiten revelar aspectos tales como la estructura y configuración generales de los cordones de soldadura y su penetración, así como la presencia de poros, grietas e inclusiones. Las aplicaciones típicas de estas pruebas son las siguientes:

Calificación de procedimientos de soldadura de filete y de habilidad de soldadores que van a depositar solamente soldaduras de filete (véase tabla 4.4 y 4.9, y párrafos 4.8.4, 4.8.4.1 y 4.30.2 del Código AWS D1.1; y tablas QW-451.3 y QW452.5, y párrafos QW-183 y QW-184 de la Sección IX del Código ASME).

- Calificación de procedimientos de soldadura de ranura de penetración parcial en la junta (véase la tabla 4.3 del Código AWS D1.1).

Por lo general es necesario hacer un ataque químico (macro-ataque) a los especímenes a examinar. Los procedimientos y reactivos que se emplean con mayor frecuencia para este propósito pueden consultarse en:

- Párrafo QW-470, "Reactivos y Procesos de Ataque", de la *Sección IX del Código ASME*.
- Apéndice F, "Procedimiento de Macroataque", de la Norma *ANSI AWS B2.1, "Especificación para la Calificación de Procedimientos y Habilidad de Soldadura"*.

Adicionalmente, los métodos y procedimientos para la realización de exámenes metalográficos macroscópicos y microscópicos que eventualmente el inspector de soldadura pueda tener la necesidad de consultar, están cubiertos en el Volumen 03.01 de la Sección 3 de ASTM antes citado.

Otras pruebas

Se ha desarrollado y estandarizado una variedad de pruebas destructivas para cubrir propósitos específicos de evaluación de juntas soldadas, mismos que por las limitaciones inherentes a un texto de esta naturaleza, no pueden ser tratados, ni aun de manera superficial.

Entre otras pruebas que se emplean con cierta frecuencia, pueden mencionarse las siguientes:

- Prueba de rotura en probeta ranurada (nick-break), las cuales se emplean como medio de control y como parte de los procesos de calificación de procedimientos y personal de soldadura cubiertos por la norma API 1104.
- Pruebas de soldabilidad y sensibilidad de agrietamiento en caliente.

TEMA IX

PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS

Los Ensayos no Destructivos, Conocidos de forma general por las siglas END, son un campo de la ingeniería que se desarrolla rápidamente. Las técnicas como la digitalización de imágenes, la radiografía por neutrones, el electromagnetismo, la termografía o la emisión acústica, que eran relativamente desconocidas hasta hace pocos años, se han convertido en herramientas de uso cotidiano en las industrias que desean mantenerse en la vanguardia del mercado con sus productos.

En la fabricación y/o construcción de componentes, subensambles, equipos e instalaciones, intervienen una serie de actividades cuya finalidad está bien definida o delimitada; éstas son principalmente: el diseño, la fabricación o construcción, el montaje o instalación y finalmente la inspección y las pruebas.

El desarrollo de nuevas tecnologías y la optimización de los productos o los requisitos de seguridad, como es el caso de la industria aeroespacial, la nucleoelectrónica o la petroquímica, impusieron también nuevas condiciones de inspección, en las cuales se estableció la necesidad de verificar hasta en un 100% los componentes críticos; lo que planteó una severa dificultad a los departamentos de calidad y a los de seguridad industrial hasta que iniciaron el empleo de técnicas de inspección no destructiva, con las cuales se medía la integridad de los componentes sin dañarlos o alterarlos. Esto fue posible al medir alguna otra propiedad física del material y que estuviera relacionada con las características críticas del componente sujeto a inspección. Actualmente la aplicación de las pruebas no destructivas es una actividad común en casi todos los sectores industriales.

Definición de las pruebas no destructivas

Las pruebas no destructivas son la aplicación de métodos físicos indirectos, como es la transmisión del sonido, la opacidad al paso de la radiación, etc., y que tienen la finalidad de verificar la sanidad o la homogeneidad de las piezas examinadas. Cuando se aplica este tipo de pruebas no se busca determinar las propiedades físicas inherentes de las piezas (resistencia a la tensión, dureza o maleabilidad) o la composición química; sino verificar su homogeneidad y continuidad. Por lo tanto, estas pruebas no sustituyen a los ensayos destructivos.

Las pruebas no destructivas, como su nombre lo indica, no alteran de forma permanente las propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales de un material. Por ello no inutilizan las piezas que son sometidas a los ensayos y tampoco afectan de forma permanente las propiedades de los materiales que las componen.

De acuerdo con su aplicación, los Ensayos no Destructivos, nombre más comúnmente usado para las pruebas no destructivas, se dividen en:

- Técnicas de Inspección Superficial.
- Técnicas de Inspección Volumétrica.
- Técnicas de Inspección de la Integridad o hermeticidad.

Cada técnica reporta ventajas y limitaciones, por lo que es conveniente definir sus campos de aplicación.

Técnicas de inspección superficial.

Mediante éstas sólo se comprueba la integridad superficial de un material. Por tal razón su aplicación es conveniente cuando es necesario detectar discontinuidades que están en la superficie, pudiendo estar abiertas a ésta o a una profundidad no mayor de 3 mm. Este tipo de inspección se realiza por medio de cualquiera de los siguientes Ensayos no Destructivos:

técnica	siglas en inglés
Inspección Visual	VT
Líquidos Penetrantes	PT
Partículas Magnéticas	MT
Electromagnetismo	ET

Técnicas de inspección volumétrica.

Su aplicación permite conocer la integridad de un material en su espesor y detectar discontinuidades internas que no son visibles en la superficie de la pieza. Este tipo de inspección se realiza por medio de cualquiera de los siguientes ensayos:

Técnica	Siglas en inglés
Radiografía Industrial	RT
Ultrasonido Industrial	UT
Radiografía Neutrónica	NT
Emisión Acústica	AET

Técnicas de inspección de la integridad o de la hermeticidad.

Son aquéllas en la que se comprueba la capacidad de un componente o de un recipiente para contener un fluido (líquido o gaseoso) a una presión superior, igual o inferior a la atmosférica, sin que existan pérdidas apreciables de presión o de volumen del fluido de prueba en un periodo previamente establecido. Este tipo de inspección se realiza empleando cualquiera de los siguientes ensayos:

Técnica	Siglas en inglés
Pruebas por cambio de presión Hidrostática. Neumática	
Pruebas por pérdidas de fluido Cámara de burbujas. Detector de halógeno Espectrómetro de masas Detector ultrasónico	

Aplicaciones de los ensayos no destructivos

Los Ensayos no Destructivos pueden ser usados en cualquier paso de un proceso productivo, pudiendo aplicarse por ejemplo:

Durante la recepción de las materias primas que llegan al almacén; para comprobar la homogeneidad, la composición química y evaluar ciertas propiedades mecánicas.

Durante los diferentes pasos de un proceso de fabricación; para comprobar si el componente está libre de defectos que pueden producirse por un mal maquinado, un tratamiento térmico incorrecto o una soldadura mal aplicada.

En la inspección final o de liberación de productos terminados; para garantizar al usuario que la pieza cumple o supera sus requisitos de aceptación; que la parte es del material que se había prometido o que la parte o componente cumplirá de manera satisfactoria la función para la que fue creada.

En la inspección y comprobación de partes y componentes que se encuentran en servicio; para verificar que todavía pueden ser empleados de forma segura; para conocer el tiempo de vida remanente o mejor aún, para programar adecuadamente los paros de mantenimiento y no afectar el proceso productivo.

Este tipo de inspección es muy rentable cuando se inspeccionan partes o componentes críticos, en los procesos de fabricación controlada o en la producción de piezas en gran escala.

Ventajas de los ensayos no destructivos.

La primera ventaja es que en la mayoría de las técnicas son rápidos de aplicar y se obtienen resultados repetitivos y reproducibles por lo que se pueden emplear en el control automatizado de los procesos de fabricación (inspección “on line”).

Debido a que medimos propiedades físicas indirectas, los ensayos no destructivos no dañan al material que se esta inspeccionando.

Actualmente hay una amplia variedad de pruebas no destructivas que no son intrusitas por lo que se pueden aplicar en componentes que este operando sin necesidad de detener la producción.

Cuando se aplican correctamente y de forma adecuada reducen costos de proceso o los tiempos de reparación.

Limitaciones de los ensayos no destructivos.

La primera limitación a la que se enfrentan los usuarios de este tipo de pruebas es que en algunos casos la inversión inicial es alta, pero puede ser justificada si se analiza correctamente la relación costo-beneficio, especialmente en lo referente a tiempos muertos en las líneas productivas. Un ejemplo de esto es que los END aplicados por la industria norteamericana sólo representan el 0.03% del precio al consumidor de un producto tan caro y delicado como son las partes aeronáuticas o los componentes nucleares.

Se requiere que el personal que los realice haya sido debidamente capacitado y calificado y que cuente con la experiencia necesaria a fin de que se interpreten y evalúen correctamente los resultados y se evite el desperdicio de material o las pérdidas de tiempo por sobre inspección.

Otra limitación es que la propiedad física a controlar es medida de forma indirecta; adicionalmente, es evaluada cualitativamente o por comparación. Esta limitante puede ser superada si se preparan patrones de comparación o referencia que permitan una calibración correcta de los sistemas de inspección.

Cuando no existen procedimientos de inspección debidamente preparados y calificados o cuando no se cuenta con patrones de referencia o calibración adecuados, una misma indicación puede ser interpretada y ponderada de forma diferente por dos o más inspectores.

Beneficios del empleo de los ensayos no destructivos.

Antes de mencionar los beneficios de la aplicación de los END, es conveniente aclarar que éstos sólo deben ser parte de un buen programa de aseguramiento de calidad y que la información que de ellos se obtenga, si no es analizada y aplicada en medidas de tipo preventivo para evitar la repetición de los problemas, no reducirá los costos de producción o de mantenimiento y aumentarían los costos de inspección.

El primer beneficio que se puede observar es que aplicar correctamente los Ensayos no Destructivos y combinarlos con un buen análisis estadístico contribuye a mejorar el control del proceso de fabricación de una parte, componente o servicio.

También ayudan a mejorar la productividad de una planta, al prevenir paros imprevistos por falla de un componente crítico; además de ayudar a programar los planes de mantenimiento, lo que reduce el tiempo y el costo de la reparación.

Debido a que no se alteran las propiedades del material y por lo tanto no existen desperdicios, con el empleo de los Ensayos no Destructivos sólo hay pérdidas cuando se detectan piezas defectuosas.

También es importante mencionar que estos métodos, cuando se aplican como parte de la inspección preventiva reducen notablemente los costos de reparación o reproceso, pero sobre todo ayudan a ahorrar tiempo y recursos que de otra forma se desperdiciarán en una pieza que finalmente puede tener un costo de producción muy superior al presupuestado.

Actualmente en los países desarrollados, la combinación de la inspección no destructiva con otras actividades del programa de aseguramiento de calidad ayuda a mantener un nivel de calidad uniforme en el producto final, lo que mejora la competitividad de sus productos en el mercado nacional e internacional.

Otro beneficio que normalmente no contemplan muchas empresas es que al emplear los END como una herramienta auxiliar del mantenimiento industrial, se tiene una mejor evaluación de las partes y componentes en servicio; lo que permite optimizar la planeación del mantenimiento correctivo. La aplicación de los END en la industria norteamericana evita pérdidas del orden de 2% del PIB de ese país.

Actualmente en la fabricación de bienes de capital de servicio especializado, la aplicación de los ensayos no destructivos puede ser requerida por un contrato o por los códigos y regulaciones nacionales o internacionales aplicables al producto; por lo que la empresa que cuente con un sistema de inspección no destructiva podrá cumplir más fácilmente requisitos de calidad más estrictos.

Selección del ensayo no destructivo adecuado.

Si bien las pruebas de un grupo pueden ser intercambiadas para aumentar la velocidad de la inspección o aumentar la sensibilidad en la detección de discontinuidades, no es recomendable sustituir las pruebas de un grupo con las de otro.

Por ejemplo, las pruebas de Inspección Volumétrica tienen limitaciones cuando se intenta encontrar defectos cercanos a la superficie, como es el caso del campo muerto del haz ultrasónico o la falta de definición (penumbra) en una radiografía.

Por otra parte las partículas magnéticas o el electromagnetismo tienen grandes limitaciones en cuanto a su sensibilidad cuando aumenta el espesor de la muestra que se inspecciona, ya que la intensidad del campo magnético generado o la corriente inducida decrecen de forma cuadrática o exponencial con la profundidad, representada por el espesor del material.

En el caso de las pruebas de hermeticidad estas no sustituyen de modo alguno a las demás, ya que tan sólo aseguran que un recipiente pueda contener un fluido sin que existan pérdidas apreciables del mismo; por lo que muy posiblemente en una primera prueba el recipiente pase con éxito; pero de existir un defecto no detectado con anterioridad por los demás ensayos, al paso del tiempo éste podría tener tendencia al crecimiento hasta convertirse en una falla del material del recipiente, con consecuencias tal vez desastrosas y la posible pérdida no sólo de bienes materiales, sino también de vidas humanas.

Finalmente, para efectuar una aplicación correcta de los ensayos no destructivos, debe seleccionarse previamente con un esquema a seguir para capacitar, calificar y certificar al personal que realiza este tipo de inspecciones.

Dicha actividad es importante, ya que no basta contar con el equipo adecuado si no se cuenta con un personal debidamente preparado para operarlo y que pueda obtener resultados confiables, reproducibles y repetitivos. Por lo antes mencionado es conveniente comprender que la capacitación del personal que realiza las inspecciones es una inversión a corto plazo y que evitará la sobre inspección, el desperdicio de materiales o la inadecuada aplicación de los equipos de inspección.

TÉCNICAS DE INSPECCIÓN SUPERFICIAL.

Como se mencionó al inicio son aquéllas en la que sólo se comprueba la integridad superficial de un material y con las que se detectan discontinuidades que están abiertas a la superficie o a profundidades menores de 3 mm. Los métodos de Inspección Superficial por lo general se aplican en combinación, ya que la inspección visual y los líquidos penetrantes detectarán cualquier discontinuidad abierta a la superficie, pero las partículas magnéticas y el electromagnetismo detectarán discontinuidades subsuperficiales, siempre y cuando no sean profundas. Las técnicas de Inspección Superficial que más frecuentemente se emplean son:

Inspección visual.

Esta es una técnica que requiere de una gran cantidad de información acerca de las características de la pieza a ser examinada, para una interpretación acertada de las posibles indicaciones. Está ampliamente demostrado que cuando se aplica correctamente como inspección preventiva, detecta problemas que pudieran ser mayores en los pasos subsecuentes de producción o durante el servicio de la pieza. Aún cuando para ciertas aplicaciones no es recomendable.

Una persona con "ojo entrenado" es alguien que ha aprendido a ver las cosas en detalle. Al principio todos asumimos que es fácil adquirir esta habilidad; sin embargo, requiere de ardua preparación y experiencia.

Requisitos de la inspección visual.

Un requisito para los individuos que realizan o se seleccionan para realizar la Inspección Visual es un examen de la agudeza visual cercana y lejana cada 6 ó 12 meses y de ser necesario por prescripción médica el uso de lentes por parte del Inspector, éste deberá emplearlos para toda labor de inspección e interpretación de indicaciones. Cabe aclarar que este examen únicamente verifica que la persona posee una vista con cierto nivel de sensibilidad.

Para algunas actividades de inspección, el examen de discriminación cromática se aplica a fin de comprobar que el inspector pueda detectar variaciones de color o tonos cromáticos, ya que en algunos casos es crítica la detección de pequeñas variaciones de un tono de color o la apreciación de un color en particular, principalmente en aplicaciones de la industria aeronáutica o nuclear; dicho examen sólo se realiza una vez ya que el daltonismo es una alteración genética y no es corregible.

El siguiente paso en el entrenamiento y actualización del personal que realiza la inspección visual es aprender qué tipo de discontinuidades pueden detectarse visualmente y cuáles son las que aparecen con más frecuencia a partir de ciertas condiciones. Este punto involucra el conocimiento que tenga el Inspector en cuanto a la historia previa de la pieza que está en examen.

Herramientas para la inspección visual.

Tal vez uno de los mayores problemas de la aplicación de la Inspección Visual es enseñar y hacer comprender a los Inspectores que no se puede ver todo tan sólo con la observación directa y que en algunas ocasiones es necesario saber leer planos y dibujos técnicos; o bien, saber emplear diferentes instrumentos que pueden ser equipos de metrología dimensional o de observación directa; ya que actualmente existe una amplia variedad de instrumentos para ayudar a la Inspección Visual y que son:

Lentes de aumento o lupas.- Normalmente tienen aumentos de 5x y de 10x, como máximo para los estudios llamados macroscópicos. Sus ventajas son tener un costo bajo y que abarcan una amplia área de inspección.

Sistemas de interferencia cromática o con luz polarizada.- Consisten en emplear luz polarizada sobre una superficie reflejante y por medio de los patrones cromáticos formados son determinadas las zonas con discontinuidades, como en el caso de la inspección de porcelanas o recubrimientos vidriados.

Endoscopios (Boroscopios).- Este sistema ha sido ampliamente difundido en las nuevas técnicas de Inspección Visual, principalmente porque permiten la observación del interior de una parte o componente sin desarmar el equipo.

En este tipo de herramientas existen diferentes alternativas que varían de acuerdo al instrumento:

Endoscopios rígidos.

Endoscopios flexibles.

Endoscopios remotos.

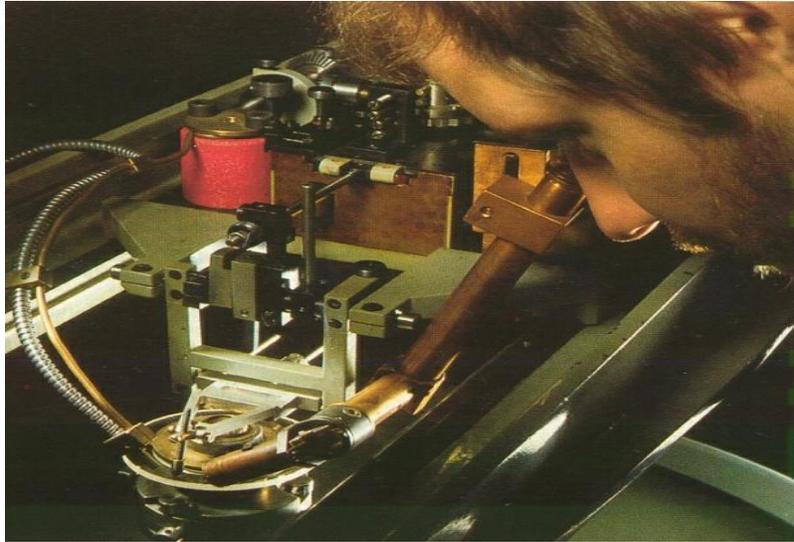
Por otra parte, los avances tecnológicos han permitido la adaptación de sistemas de gran iluminación por medio de fibras ópticas y el empleo de sistemas de vídeo para el registro permanente de la inspección y de sistemas cromáticos (a colores) para una mejor inspección de interiores así como la automatización del proceso por medio del empleo de pequeños robots o unidades de control remoto y de sondas. Debe hacerse la aclaración de que la Inspección Visual, además de ser el método menos costoso, puede también producir grandes ahorros.

La tecnología actual ha permitido el desarrollo de sistemas de Inspección Visual de muy alta calidad y por este motivo se describirá brevemente la historia y aplicaciones de los endoscopios.

Este tipo de instrumento antiguamente es llamado incorrectamente boroscopio, del inglés bore (hoyo) y scope (ver u observar); esto se debe a que en sus inicios los endoscopios fueron empleados para inspeccionar el interior de los cañones de artillería o los rifles. Para evitar este barbarismo, actualmente en español o inglés se les llama endoscopios, del griego endos (dentro de) y scopeos (ver).

En 1806 se creó el primer endoscopio de aplicación médica y consistía de un tubo con un juego de espejos y una vela, que permitían observar los órganos internos de los pacientes. En 1867 este dispositivo fue mejorado y tuvo algunas aplicaciones industriales.

En 1879, el Dr. Nitze, en colaboración con Beneche, un optometrista y Leitz un fabricante de instrumentos, diseñó el primer endoscopio que empleaba una lente para focalizar la imagen y que recibió el nombre de cistoscopio. Posteriormente, en 1928, el Sr. Baird obtuvo una patente industrial por la primera aplicación de las fibras ópticas para la transmisión de imágenes. Dos años más tarde, C. W. Hansell obtuvo una patente por la invención que consistía en el empleo de las fibras ópticas para transmitir la luz.



Ejemplo de un endoscopio rígido

Con estos avances, se fabricaron de forma comercial los primeros endoscopios; sin embargo, eran rígidos, lo que limitaba sus aplicaciones tanto en el campo industrial como en el médico y no fue sino hasta 1955 que los doctores Curtiss y Hirschowitz lograron desarrollar y mejorar el primer endoscopio clínico flexible, que empleaba fibras ópticas como medio de transmisión de la luz y de la imagen. Este desarrollo tecnológico pronto tuvo aplicaciones industriales en la inspección de equipos que no son fáciles de desarmar, como es el caso de las turbinas.

Los primeros endoscopios flexibles fueron de gran utilidad, por ser lo suficientemente versátiles para la inspección de partes interiores de maquinaria, con lo que se eliminaba pérdida de tiempo al no ser necesario desarmar y armar equipos complejos sólo para conocer su estado interior; sin embargo, estos endoscopios tenían el problema de que la imagen obtenida no era del todo clara y nítida, como la de los endoscopios rígidos, motivo por el cual, para realizar un examen confiable, se requería de al menos dos endoscopios: uno rígido con lentes ópticas y otro flexible con fibras ópticas.

Hasta este punto se había eliminado la mayoría de los problemas técnicos de los nuevos instrumentos, pero persistía el problema de la fatiga visual del inspector. Así que la siguiente generación de endoscopios incluyó el empleo de las cámaras y monitores de vídeo. Estos primeros equipos eran muy voluminosos, altamente dependientes de la iluminación y sólo permitían imágenes de baja resolución en blanco y negro.

Las limitantes principales para mejorar la imagen eran dos: el sistema de iluminación, que fue mejorado empleando luz láser o los diodos luminiscentes (LED's); la otra limitante era el sistema de registro, ya que las fibras ópticas y las lentes no daban la calidad de imagen deseada.

En 1970, el Dr. Boyle desarrolló un semiconductor de silicio capaz de registrar una imagen y convertirla en una señal, que podía ser grabada por medios digitales o analógicos, obteniéndose así el primer sistema de registro de imágenes al estado sólido, conocido como CCD (Charge Coupled Device).

La combinación de todos estos desarrollos tecnológicos en los últimos 30 años ha permitido la creación de un sistema de Inspección Visual por endoscopia muy superior a sus predecesores, especialmente en lo referente a la calidad de la imagen que se tiene que interpretar.

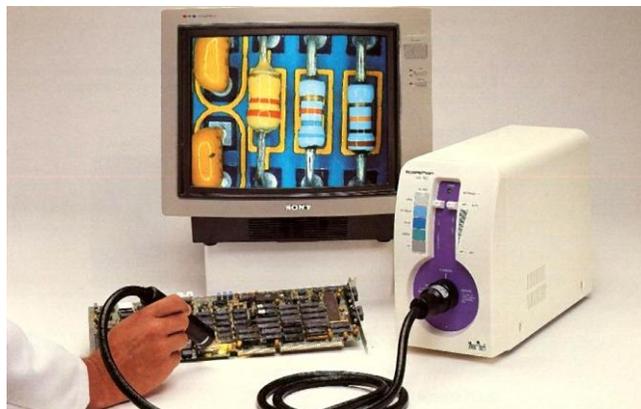
Hoy en día, si se planea la adquisición de un endoscopio, debe tomarse en cuenta que es una herramienta que durante los próximos 10 años no deberá volverse obsoleta y que para ello debe contar con los siguientes elementos como parte integral de instrumento:

El sistema de registro primario de la imagen debe ser por medio de CCD; los sistemas de fibra óptica y lente no son recomendables para la digitalización de imágenes.

La presentación de la imagen debe ser preferentemente digitalizada; esto asegura una mejor calidad de las pequeñas indicaciones, cuidando al mismo tiempo que la pantalla de vídeo tenga la más alta resolución posible (pixeles).

Los sistemas de vídeo deben ser preferentemente cromáticos; esto permite conocer mejor en términos generales el estado del equipo y maquinaria sujetos a inspección.

Los sistemas de almacenamiento (grabado de la imagen) deben ser compatibles con los nuevos sistemas de análisis de imagen por digitalización (empleo de computadoras).



Inspección de una parte electrónica, empleando un endoscopio digital

Ventajas de la inspección visual.

La Inspección Visual se emplea en cualquier etapa de un proceso productivo o durante las operaciones de mantenimiento preventivo o correctivo.

Muestra las discontinuidades más grandes y generalmente señala otras que pueden detectarse de forma más precisa por otros métodos, como son líquidos penetrantes, partículas magnéticas o electromagnetismo.

Puede detectar y ayudar en la eliminación de discontinuidades que podrían convertirse en defectos.

El costo de la Inspección Visual es el más bajo de todos los Ensayos no Destructivos, siempre y cuando sea realizada correctamente.

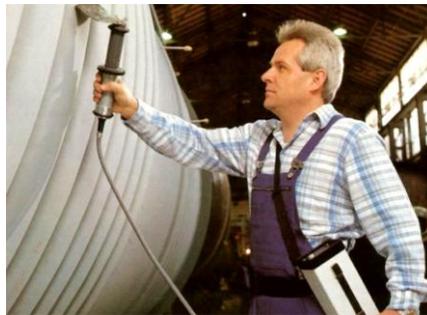
Limitaciones de la inspección visual.

La calidad de la Inspección Visual depende en gran parte de la experiencia y conocimiento del Inspector.

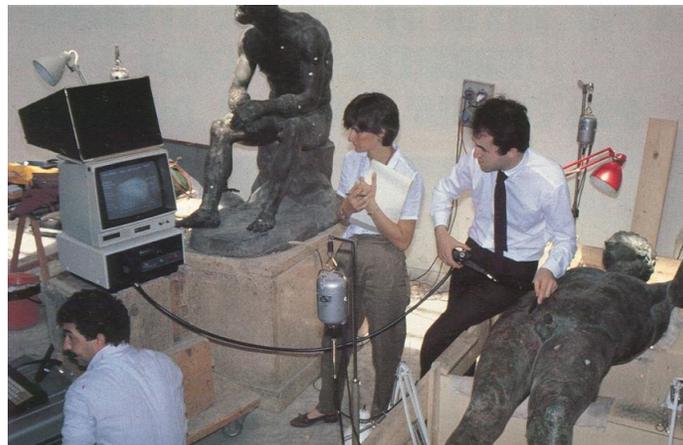
Está limitada a la detección de discontinuidades superficiales.

Cuando se emplean sistemas de observación directa, como son las lupas y los endoscopios sencillos, la calidad de la inspección dependerá de la agudeza visual del Inspector o de la resolución del monitor de vídeo.

La detección de discontinuidades puede ser difícil si las condiciones de la superficie sujeta a inspección no son correctas.



Inspección visual de recubrimientos empleando un detector electrostático



Endoscopía de piezas arqueológicas

LÍQUIDOS PENETRANTES.

La inspección por Líquidos Penetrantes es empleada para detectar e indicar discontinuidades que afloran a la superficie de los materiales examinados.

En términos generales, esta prueba consiste en aplicar un líquido coloreado o fluorescente a la superficie a examinar, el cual penetra en las discontinuidades del material debido al fenómeno de capilaridad. Después de cierto tiempo, se remueve el exceso de penetrante y se aplica un revelador, el cual generalmente es un polvo blanco, que absorbe el líquido que ha penetrado en las discontinuidades y sobre la capa de revelador se delinea el contorno de ésta.

Actualmente existen 18 posibles variantes de inspección empleando este método; cada una de ellas ha sido desarrollada para una aplicación y sensibilidad específica. Así por ejemplo, si se requiere detectar discontinuidades con un tamaño de aproximadamente medio milímetro (0.012" aprox.), debe emplearse un penetrante fluorescente, removible por posemulsificación y un revelador seco. Por otra parte, si lo que se necesita es detectar discontinuidades mayores a 2.5 mm (0.100" aprox.), conviene emplear un penetrante contrastante, lavable con agua y un revelador en suspensión acuosa.

La figura 2 ilustra el principio de la inspección por líquidos penetrantes.

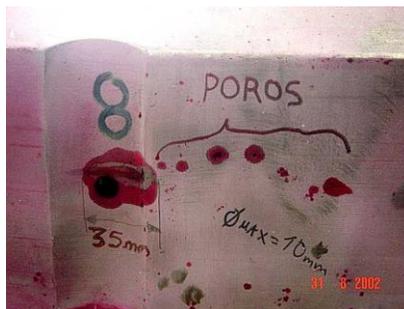


FIGURA No. 2 discontinuidades detectadas con líquidos penetrantes

Requisitos de la inspección por líquidos penetrantes.

Antes de iniciar las pruebas de Líquidos Penetrantes, es conveniente tener en cuenta la siguiente información:

Es muy importante definir las características de las discontinuidades y el nivel de sensibilidad con que se las quiere detectar, ya que si son relativamente grandes o se quiere una sensibilidad entre baja y normal, se recomienda emplear penetrantes visibles; pero si la discontinuidad es muy fina y delgada o se requiere de una alta o muy alta sensibilidad, es preferible emplear los penetrantes fluorescentes.

Otro factor de selección es la condición de la superficie a inspeccionar; ya que si es una superficie rugosa o burda, como sería el caso de una unión soldada o una pieza fundida, se debe emplear un penetrante líquido removible con agua. Pero si la superficie es tersa y

pulida, es preferible emplear un penetrante removible con solvente. Finalmente cuando se requiere una inspección de alta calidad o con problemas de sensibilidad, se puede emplear un penetrante posemulsificable.

Si el material a examinar es acero inoxidable, titanio o aluminio (para componentes aeronáuticos, por ejemplo) o aleaciones de níquel (monel), entonces los penetrantes deberán tener un control muy rígido de contaminantes, como son los compuestos halogenados (derivados del Flúor, Cloro, Bromo, Iodo) o de azufre (sulfatos o sulfuros), ya que si quedan residuos de ellos, pueden ocasionar fracturas o fragilidad del material. Todos los proveedores de productos de alta calidad proporcionan un certificado de pureza de sus productos sin cargo adicional.

Si se trabaja bajo normas internacionales (Código ASME, API, AWS) o de compañías (Bell, Pratt & Whitney o GE), los líquidos deben ser de los proveedores de las listas de proveedores aprobados o confiables publicados por ellos. En caso necesario, se solicitará al proveedor una lista de qué normas, códigos o especificaciones de compañías cubren sus productos.

Una vez seleccionado uno o varios proveedores, nunca se deberán mezclar sus productos; como por ejemplo, emplear el revelador del proveedor A con un penetrante del proveedor B o un penetrante de una sensibilidad con un revelador de otra sensibilidad, aunque ambos sean fabricados por el mismo proveedor.

Secuencia de la inspección.

Para la inspección por Líquidos Penetrantes, se deben realizar varias operaciones previas, las cuales varían poco y dependen del tipo de penetrante que se emplee:

Limpieza Previa.

En toda pieza o componente que se inspeccione por este método, se deben eliminar de la superficie todos los contaminantes, sean éstos óxidos, grasas, aceite, pintura, etc., pues impiden al penetrante introducirse en las discontinuidades. Normalmente la limpieza previa se realiza en dos pasos; el primero es propiamente una prelimpieza en la que se pueden emplear medios químicos o mecánicos para remover los contaminantes de la superficie; y el segundo, que consiste en la limpieza con un solvente (removedor) que sea afín con el penetrante que se empleará en la inspección. Todo esto con el fin de que las posibles indicaciones queden limpias y permitan la fácil entrada del penetrante.



Limpieza previa con solución alcalina caliente

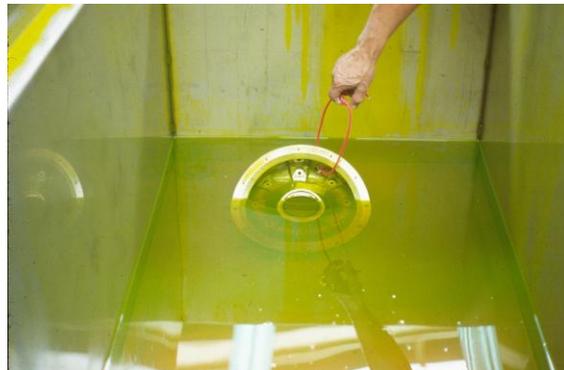
Aplicación Del Penetrante.

El penetrante se aplica por cualquier método que humedezca totalmente la superficie que se va a inspeccionar, dependiendo del tamaño de las piezas, de su área y de la frecuencia del trabajo. Se puede seleccionar el empleo de rociado, inmersión, brocha, etc.; cualquiera que sea la selección, ésta debe asegurar que el penetrante cubra totalmente la superficie.

Actualmente existen diferentes clases de penetrantes, que tienen aplicaciones bien definidas; por ejemplo, si la superficie es rugosa, se debe emplear de preferencia un penetrante que sea lavable con agua; si la superficie es tersa, se puede usar un penetrante removible con solvente y si es necesaria una gran sensibilidad pero con una fácil remoción, debe emplearse un penetrante posemulsificable.

Otra variable importante a tomar en cuenta es la sensibilidad, ya que si hace falta una alta sensibilidad (detección de fracturas muy pequeñas o cerradas), debe aplicarse un penetrante fluorescente de alta luminosidad o si se desea una sensibilidad normal, debe emplearse un penetrante contrastante (visible).

Por otra parte, el tiempo de penetración es una variable crítica en este tipo de inspecciones. Un tiempo muy breve no permite que la concentración del penetrante en las discontinuidades sea la óptima; por este motivo el tiempo que debe permanecer el penetrante en la superficie sujeta a inspección debe determinarse experimentalmente, aún cuando en las normas existen tiempos mínimos recomendados. El tiempo de penetración puede variar desde 5 minutos para discontinuidades relativamente grandes, hasta 45 minutos para discontinuidades muy cerradas o pequeñas, como es el caso de las fracturas por fatiga.



Aplicación de penetrante fluorescente por inmersión

Penetrantes.

Penetrantes removibles con agua.- Como su nombre lo indica, se retiran de la superficie con agua, la cual no debe exceder de una temperatura de 45 grados centígrados. El lavado puede realizarse por rociado de gota gruesa o con una mezcla de agua y aire a presión; en este último caso, la presión del rociado no debe ser superior a los 35 psi. Cualquiera que sea el método de lavado seleccionado, se debe asegurar que éste no se remueva el penetrante que se encuentre introducido en las discontinuidades.

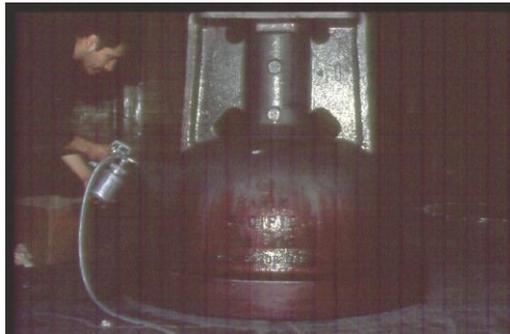
Penetrantes posemulsificables.- Requieren de la aplicación de una sustancia para provocar que el penetrante se solubilice en el agua. Se pueden emplear emulsificantes hidrosolubles o liposolubles, dependiendo de la sensibilidad y de la rapidez con la que se quiera realizar la inspección. Una vez que ha transcurrido el tiempo de emulsificación, el exceso de penetrante se lava de forma similar a cómo se hace con los penetrantes removibles con agua.

Penetrantes removibles con solvente.- Se retiran de la superficie empleando un material absorbente que puede ser tela o papel, con la condición que no dejen pelusa y en caso necesario, se puede humedecer el material absorbente con el removedor que se emplea para la limpieza previa.

Una recomendación muy importante es la de evitar lavar la superficie con el removedor; además de ser un desperdicio de este material, el removedor disuelve y elimina al penetrante que se introdujo en las discontinuidades.

Eliminación Del Exceso De Penetrante.

Consiste en la eliminación del exceso de penetrante que no se introdujo en las discontinuidades. Esta etapa reviste gran importancia pues de ella depende en gran parte la sensibilidad del método.



Remoción del exceso de penetrante

Aplicación Del Revelador.

La función del revelador es absorber o extraer el penetrante atrapado en las discontinuidades, aumentando o provocando la visibilidad de las indicaciones. Existen varios tipos de reveladores cada uno de ellos con características diferentes.

Reveladores secos.- Sólo se recomiendan para los líquidos fluorescentes y tienen la ventaja de dejar una capa muy fina y en algunas ocasiones, invisible; este tipo de revelador tiene la más alta resolución al formar las indicaciones. Su empleo se recomienda cuando no deben quedar residuos después de terminar la inspección.

Reveladores en suspensión.- Pueden ser del tipo acuoso o no acuoso. Están compuestos de un material sólido con un tamaño controlado de partículas, las cuales se mantienen en suspensión mediante una agitación vigorosa.

Revelador en suspensión acuosa.- Se recomienda cuando la inspección se realiza empleando penetrantes removibles con agua, pero tienen el inconveniente de que son los reveladores con la más baja resolución. Estos reveladores se pueden aplicar por inmersión, seguidos de un secado; o por rociado y secado al aire.

Reveladores en suspensión no acuosa.- Son los más empleados y tienen la ventaja de una evaporación muy rápida, lo que permite la formación de indicaciones bastante claras y definidas. Conforme a las normas, es el revelador recomendado para los penetrantes removibles con solvente. Estos reveladores generalmente se aplican por aspersion, con lo que se obtiene una capa uniforme.

Reveladores en solución.- Generalmente son soluciones acuosas y tienen la ventaja con respecto a los reveladores en suspensión de no necesitar de una agitación continua para mantener la solución homogénea. Se aplican por inmersión o por rociado, seguido de un secado al aire o en estufas.



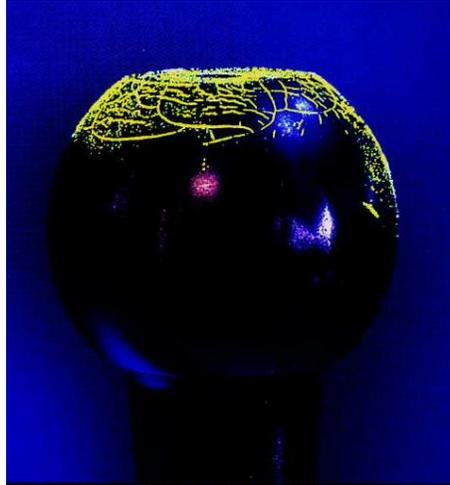
Aplicación de revelador con brocha de aire

Tiempo de revelado.

Cualquiera que sea el revelador empleado, éste debe permanecer sobre la superficie de la pieza aproximadamente el mismo tiempo que se dio de penetración; esto es con el fin de dar tiempo al revelador para que extraiga al penetrante de las discontinuidades y forme una indicación de buena calidad. Es conveniente aclarar que las discontinuidades grandes formarán indicaciones casi inmediatamente, pero las discontinuidades muy finas, pequeñas o cerradas, tardarán en hacerlo; por lo cual este tiempo de revelado no debe ser menor de la mitad del tiempo de penetración. Las pruebas de experimentación con diferentes tiempos de revelado son la mejor manera de establecer cuál es el tiempo de revelado óptimo para cada inspección en particular.

Interpretación Y Evaluación De Las Indicaciones.

Después de que ha transcurrido el tiempo de revelado, la pieza está lista para su evaluación. En esta etapa es importante considerar el tipo de iluminación, el cual se determina de acuerdo al proceso utilizado. Se emplea iluminación normal (luz blanca) de suficiente intensidad para el método de penetrante visible e iluminación ultravioleta (luz negra), para el método de penetrante fluorescente. La calidad de la inspección depende principalmente de la norma de aceptación, de la habilidad y de la experiencia del inspector para encontrar y evaluar las indicaciones presentes en la pieza.



Indicaciones de líquidos penetrantes

Limpieza Final.

Después de concluir la inspección, generalmente debe limpiarse la superficie de la pieza. Este paso puede realizarse mediante un enjuague con agua a presión, por inmersión o mediante un removedor. Por lo común, aquellas piezas que están sujetas a alta temperatura, pueden requerir que los residuos de penetrantes sean removidos de la superficie antes de someter la pieza a procesos posteriores, para asegurar que no exista reacción con el material.

En la página siguiente de este texto se encuentra el diagrama 1, que ilustra las etapas de prueba de cada uno de los sistemas descritos con anterioridad.

Aplicaciones.

Las aplicaciones de los Líquidos Penetrantes son amplias y por su gran versatilidad se utilizan desde la inspección de piezas críticas, como son los componentes aeronáuticos, hasta los cerámicos como las vajillas de uso doméstico.

Muchas de las aplicaciones descritas son sobre metales, pero esto no es una limitante, ya que se pueden inspeccionar otros materiales, por ejemplo cerámicos vidriados, plásticos, porcelanas, recubrimientos electroquímicos. etc.

Ventajas de los líquidos penetrantes.

La inspección por Líquidos Penetrantes es extremadamente sensible a las discontinuidades abiertas a la superficie.

La configuración de las piezas a inspeccionar no representa un problema para la inspección.

Son relativamente fáciles de emplear.

Brindan muy buena sensibilidad.

Son económicos.

Son razonablemente rápidos en cuanto a la aplicación, además de que el equipo puede ser portátil.

Se requiere de pocas horas de capacitación de los Inspectores.

Limitaciones de los líquidos penetrantes.

Sólo son aplicables a defectos superficiales y a materiales no porosos.

Se requiere de una buena limpieza previa a la inspección.

No se proporciona un registro permanente de la prueba no destructiva.

Los Inspectores deben tener amplia experiencia en el trabajo.

Una selección incorrecta de la combinación de revelador y penetrante puede ocasionar falta de sensibilidad en el método.

PARTÍCULAS MAGNÉTICAS.

La inspección por Partículas Magnéticas permite detectar discontinuidades superficiales y subsuperficiales en materiales ferromagnéticos. Se selecciona usualmente cuando se requiere una inspección más rápida que con los líquidos penetrantes.

El principio del método es la formación de distorsiones del campo magnético o de polos cuando se genera o se induce un campo magnético en un material ferromagnético; es decir, cuando la pieza presenta una zona en la que existen discontinuidades perpendiculares a las líneas del campo magnético, éste se deforma o produce polos. Las distorsiones o polos atraen a las partículas magnéticas, que fueron aplicadas en forma de polvo o suspensión en la superficie sujeta a inspección y que por acumulación producen las indicaciones que se observan visualmente de manera directa o bajo luz ultravioleta. La figura 3 muestra el principio del método por Partículas Magnéticas.

Actualmente existen 32 variantes del método, que al igual que los líquidos penetrantes sirven para diferentes aplicaciones y niveles de sensibilidad. En este caso, antes de seleccionar alguna de las variantes, es conveniente estudiar el tipo de piezas a inspeccionar, su cantidad, forma y peso, a fin de que el equipo a emplear sea lo más versátil posible; ya que con una sola máquina es posible efectuar al menos 16 de las variantes conocidas.



Colores de las partículas magnéticas secas

Requisitos de la inspección por partículas magnéticas.

Antes de iniciar la inspección por Partículas Magnéticas, es conveniente tomar en cuenta los siguientes puntos:

La planificación de este tipo de inspecciones se inicia al conocer cuál es la condición de la superficie del material y el tipo de discontinuidad a detectar. Así mismo deben conocerse las características metalúrgicas y magnéticas del material a inspeccionar; ya que de esto dependerá el tipo de corriente, las partículas a emplear y, en caso necesario, el medio de eliminar el magnetismo residual que quede en la pieza.

Si se trabaja bajo normas internacionales (Código ASME, API, AWS) o de compañías (Bell, Pratt & Whitney o GE), las partículas a emplear deben ser de los proveedores de las

listas de proveedores aprobados o confiables publicados por ellas. En caso necesario, se solicita al proveedor una lista de qué normas, códigos o especificaciones de compañías satisfacen sus productos.

Al igual que en el caso de los líquidos penetrantes, una vez seleccionado uno o varios proveedores, nunca se deben mezclar sus productos, como puede ser el caso de emplear las partículas del proveedor A con un agente humectante del proveedor B o las partículas de diferentes colores o granulometrías fabricadas por el mismo proveedor.

Secuencia de la inspección.

Es importante destacar que con este método sólo pueden detectarse las discontinuidades perpendiculares a las líneas de fuerza del campo magnético. De acuerdo al tipo de magnetización, los campos inducidos son longitudinales o circulares. Además, la magnetización se genera o se induce, dependiendo de si la corriente atraviesa la pieza inspeccionada o si ésta es colocada dentro del campo generado por un conductor adyacente.

Las etapas básicas involucradas en la realización de una inspección por este método son:

Limpieza.

Todas las superficies a inspeccionar deben estar limpias y secas. La expresión "limpia" quiere decir que la superficie se encuentre libre de aceite, grasa, suciedad, arena, óxido, cascarilla suelta u otro material extraño, el cual pueda interferir con el ensayo.

Magnetización De La Pieza.

Este paso puede efectuarse por medio de un imán permanente, con un electroimán o por el paso de una corriente eléctrica a través de la pieza.

El tipo de magnetización a emplear depende de el tipo de pieza, las instalaciones existentes en la empresa el tipo de discontinuidad y la localización de la misma.



Magnetización empleando un yugo.



Magnetización con bobina

Corriente de magnetización.

Se seleccionará en función de la localización probable de las discontinuidades; si se desea detectar sólo discontinuidades superficiales, debe emplearse la corriente alterna, ya que ésta proporciona una mayor densidad de flujo en la superficie y por lo tanto mayor sensibilidad para la detección de discontinuidades superficiales; pero es ineficiente para la detección de discontinuidades subsuperficiales.

Si lo que se espera es encontrar defectos superficiales y subsuperficiales, es necesario emplear la corriente rectificada de media onda; ya que ésta presenta una mayor penetración de flujo en la pieza, permitiendo la detección de discontinuidades por debajo de la superficie. Sin embargo, es probable que se susciten dificultades para desmagnetizar las piezas.

Magnetización lineal.- La forma de magnetizar es también importante, ya que conforme a las normas comúnmente adoptadas, la magnetización con yugo sólo se permite para la detección de discontinuidades superficiales. Los yugos de AC o DC producen campos lineales entre sus polos y por este motivo tienen poca penetración.

Otra técnica de magnetización lineal es emplear una bobina (solenoides). Si se selecciona esta técnica, es importante procurar que la pieza llene lo más posible el diámetro interior de la bobina; problema que se elimina al enredar el cable de magnetización alrededor de la pieza. Entre mayor número de vueltas (espiras) tenga una bobina, presentará un mayor poder de magnetización.

Magnetización circular.- Cuando la pieza es de forma regular (cilíndrica), se puede emplear la técnica de cabezales, que produce magnetización circular y permite la detección de defectos paralelos al eje mayor de la pieza. Una variante de esta técnica es emplear contactos en los extremos de la pieza, que permiten obtener resultados similares. Otra forma de provocar un magnetismo circular es emplear puntas de contacto; pero sólo se recomienda su empleo para piezas burdas o en proceso de semiacabado. Se deben utilizar puntas de contacto de aluminio, acero o plomo para evitar los depósitos de cobre, que pudieran iniciar puntos de corrosión. Esta técnica permite cierta movilidad con los puntos de inspección,

pudiéndose reducir la distancia hasta 7 cm entre los polos o aumentarse hasta 20 cm, con lo cual es factible inspeccionar configuraciones relativamente complicadas.

Para la inspección de piezas con alta permeabilidad y baja retentividad, como es el caso de los aceros al carbono o sin tratamiento térmico de endurecimiento, es recomendada la técnica de magnetización continua; esto es, mantener el paso de la energía eléctrica mientras se efectúa la inspección. Cuando las piezas son de alta retentividad, se acostumbra emplear el campo residual (magnetismo residual). En este caso se hace pasar la corriente de magnetización y posteriormente se aplican las partículas.

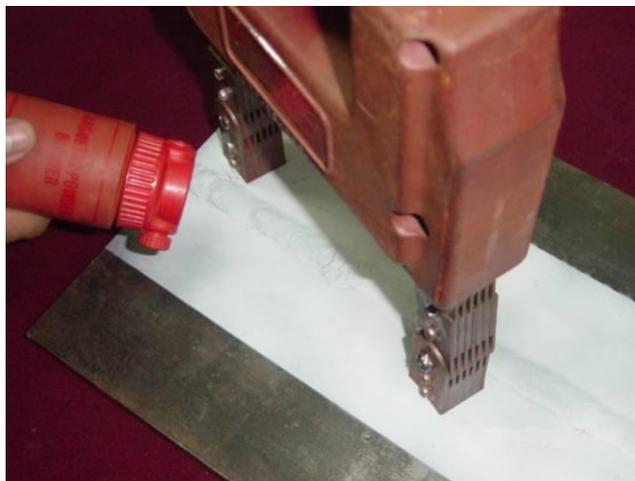
Cualquiera que sea la técnica seleccionada, siempre se debe procurar que la inspección se realice con dos magnetizaciones aproximadamente perpendiculares entre sí; por ello, en la práctica es común combinar dos o más métodos.

Aplicación De Las Partículas.

Tipo de partículas.- Por término general, se prefieren las partículas secas cuando se requiere detectar discontinuidades relativamente grandes. Las partículas en suspensión se emplean preferentemente para detectar discontinuidades muy pequeñas y cerradas.

Color de las partículas.- Dependerá del contraste de fondo. De este modo se emplearán partículas de color oscuro (negras o azules) para piezas recién maquinadas y partículas de colores claros (grises o blancas) para piezas con superficies oscuras.

Las partículas de color rojo están en un punto intermedio y fueron desarrolladas para que su observación se facilite empleando una tinta de contraste blanco; esta tinta tiene un color y consistencia parecidos al del revelador no acuoso de los PT, pero con mayor poder de adherencia.



Aplicación de partículas magnéticas secas.

Cuando se desea una mayor sensibilidad en un método, es necesario emplear las partículas fluorescentes.

Las partículas se aplican conforme se realiza la inspección, para lo que existen dos prácticas comunes que son:

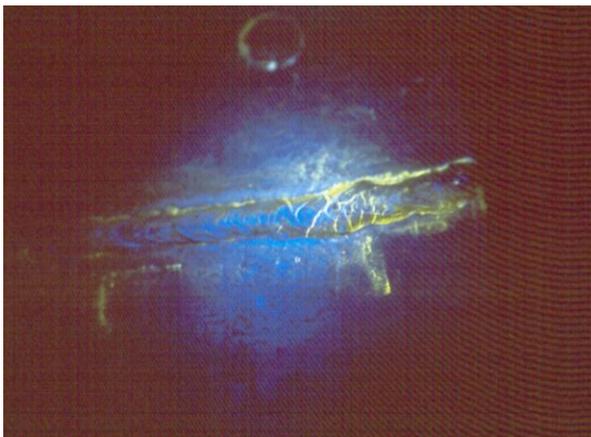
Si se emplean partículas secas, primero se hace pasar la corriente de magnetización y al mismo tiempo se rocían las partículas.

Si se emplean partículas en suspensión, primero se aplica la solución sobre la superficie a inspeccionar e inmediatamente se aplica la corriente de magnetización.

Generalmente se recomienda que la corriente de magnetización se mantenga durante el tiempo de aplicación de las partículas, ya que es cuando el campo magnético es más intenso y permite que las partículas sean atraídas hacia cualquier distorsión o fuga de campo, para así indicar la presencia de una posible discontinuidad.

Observación E Interpretación De Los Resultados.

La inspección visual de las indicaciones se efectuará en parte durante la magnetización y continuará el tiempo necesario después de que el medio de examen se haya estabilizado, para explorar toda la zona de ensayo. Las discontinuidades quedarán indicadas por la retención de las partículas magnéticas. Con base en lo anterior, se puede determinar la existencia de discontinuidades así como su forma, tamaño y localización.



Indicaciones con partículas magnéticas fluorescentes



Indicaciones con partículas magnéticas visibles con fondo de contraste

Desmagnetización.

Debido a que algunos materiales presentan magnetismo residual, en ocasiones es necesario efectuar la desmagnetización de la pieza para evitar que el magnetismo residual afecte el funcionamiento o el procesamiento posterior de la misma. Como regla general se recomienda que si se emplea corriente alterna, se desmagnetice con corriente alterna; de manera similar, si se magnetiza con corriente rectificadas, se debe desmagnetizar con corriente rectificadas.

La desmagnetización consiste en aplicar un campo magnético que se va reduciendo de intensidad y cambiando de dirección hasta que el magnetismo residual en el material queda dentro de los límites de aceptación.



Puente de desmagnetización

Ventajas de las partículas magnéticas.

Con respecto a la inspección por líquidos penetrantes, este método tiene las siguientes ventajas:

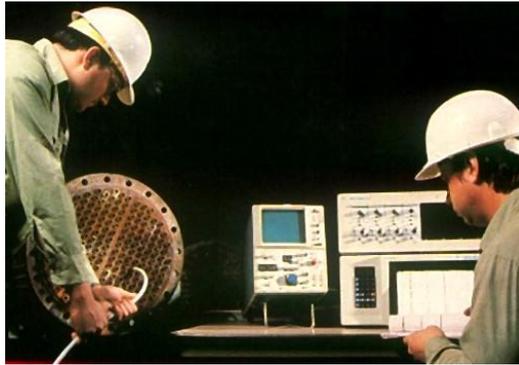
- Requiere de un menor grado de limpieza.
- Generalmente es un método más rápido y económico.
- Puede revelar discontinuidades que no afloran a la superficie.
- Tiene una mayor cantidad de alternativas.

Limitaciones de las partículas magnéticas.

- Son aplicables sólo en materiales ferromagnéticos.
- No tienen gran capacidad de penetración.
- El manejo del equipo en campo puede ser caro y lento.
- Generalmente requieren del empleo de energía eléctrica.
- Sólo detectan discontinuidades perpendiculares al campo.

ELECTROMAGNETISMO (CORRIENTES DE EDDY)

El Electromagnetismo, también conocido como Corrientes de Eddy o de Foucault, se emplea para inspeccionar materiales que sean electroconductores, siendo especialmente aplicable a aquellos que no son ferromagnéticos. Esta técnica comienza a tener grandes aplicaciones en México, aun cuando ya tiene más de 50 años de desarrollo.



Inspección de un intercambiador de calor con electromagnetismo

Como dato histórico, cabe mencionar que el efecto electromagnético es conocido desde mediados del siglo pasado. De hecho, el primer registro de aplicación como Ensayo no Destructivo fue realizado por Hughes en 1879; esto fue 20 años antes del descubrimiento de los rayos X. El principal problema para su aplicación industrial como se conoce hoy en día esta técnica es la forma de poder representar las variaciones producidas por las corrientes inducidas en forma de coordenadas cartesianas, lo cual fue posible gracias a los estudios del Dr. Friederich Foster, quien diseñó el primer aparato de ET. Actualmente existen equipos mucho más sofisticados y versátiles que son de fácil aplicación y empleo.

La inspección por Corrientes de Eddy está basada en el efecto de inducción electromagnética. Se emplea un generador de corriente alterna, con una frecuencia generalmente comprendida entre 500 Hz y 5,000 kHz. El generador de corriente alterna se conecta a una bobina de prueba, que en su momento produce un campo magnético. Si la bobina se coloca cerca de un material que es eléctricamente conductor, el campo magnético de la bobina, llamado primario, inducirá una corriente eléctrica en el material inspeccionado. A su vez, esta corriente generará un nuevo campo magnético (campo secundario), que será proporcional al primario, pero de signo contrario.

En el momento en que la corriente de la bobina se vuelva cero, el campo magnético secundario inducirá una nueva corriente eléctrica en la bobina. Este efecto se repetirá cuantas veces la corriente cambie de fase (al pasar de positivo a negativo y viceversa).

Es predecible que el electromagnetismo se generará entre conductores adyacentes en cualquier momento en que fluya una corriente alterna.

Por otra parte, las variaciones de la conductividad eléctrica, permeabilidad magnética, geometría de la pieza o de su estructura metalúrgica, causan modificaciones en la corriente inducida del material sujeto a inspección, lo que ocasionará que varíe su campo magnético inducido, hecho que será detectado por la variación del voltaje total que fluye en la bobina.

Antes de proseguir, es conveniente aclarar que para la detección discontinuidades por Electromagnetismo, éstas deben ser perpendiculares a las corrientes de Eddy; adicionalmente, la indicación que se genere se modificará en la pantalla del instrumento de inspección, dependiendo de su profundidad y su forma.

Esta técnica cuenta con una amplia gama de alternativas, cada una con un objetivo específico de detección; por lo que antes de comprar un equipo o las sondas es necesario definir la forma del material que se va a inspeccionar, la localización y el tipo de discontinuidades que se deseen detectar y evaluar, con el fin de tener el equipo más versátil y adecuado para la inspección.



Requisitos para la inspección por electromagnetismo.

Al igual que en las técnicas ya descritas, antes de iniciar las pruebas con electromagnetismo, es conveniente revisar la siguiente información:

Conocer la forma, así como las características eléctricas, metalúrgicas y magnéticas del material a inspeccionar, ya que de esto dependerá el tipo de frecuencia, la forma de la sonda y la variante de la técnica a utilizar y, en caso necesario, el medio de eliminar las posibles interferencias que se produzcan en la pieza.

Si se trabaja bajo normas internacionales (Código ASME, API, AWS) o de compañías (Bell, Pratt & Whitney o GE), los instrumentos de inspección, así como las sondas deben ser

de los proveedores de las listas de proveedores aprobados o confiables publicados por ellas. En caso necesario, se solicita al proveedor una lista de qué normas, códigos o especificaciones de compañías satisfacen sus productos.

Una vez seleccionado uno o varios proveedores, no es recomendable mezclar sus productos como puede ser el caso de emplear un instrumento del proveedor A con sondas y cables del proveedor B o bien, cables y sondas con diferentes características de diseño, aunque fueran fabricados por el mismo proveedor, sin antes hacer pruebas de calificación para asegurar que el sistema tiene la resolución y la sensibilidad correctas para la inspección a realizarse.

Secuencia de la inspección. Las etapas básicas de esta técnica de inspección son:

Limpieza Previa.

La importancia de este primer paso radica en que si bien los equipos de electromagnetismo pueden operar sin necesidad de establecer un contacto físico con la pieza, se pueden producir falsas indicaciones por la presencia de óxidos de hierro, capas de pintura muy gruesas o algún tipo de recubrimiento que sea conductor de la electricidad; en caso de que no se desee quitar las pinturas o recubrimientos, es recomendable que el patrón de calibración sea similar en el acabado superficial al de la parte sujeta a inspección.

Selección De La Sonda De Prueba.

Este paso es tan crítico como la selección del instrumento empleado, porque de acuerdo a la variable sujeta a evaluación, se selecciona la sonda que se utilizará. Por este motivo, es necesario conocer las ventajas y limitaciones de cada configuración.



Ejemplo de algunas de las sondas empleadas en la inspección por electromagnetismo

La capacidad de detección de una sonda es proporcional a:

La magnitud de la corriente aplicada.

La velocidad (frecuencia) de oscilación de la corriente.

Las características de diseño de la sonda que incluyen:

Inductancia.

Diámetro del enrollamiento.

Longitud de la bobina.

Número de espiras.

Las sondas, según su arreglo se clasifican en dos grupos: absolutas y diferenciales.

Sondas absolutas.- Se consideran sondas absolutas (o bobinas absolutas) a aquéllas que realizan la medición sin necesidad de una referencia directa o de un patrón de comparación. Este tipo de arreglo tiene aplicaciones en la medición de la conductividad, permeabilidad, dimensiones o dureza de ciertos materiales.

Sus principales ventajas son:

Responde a cambios bruscos o progresivos de la característica que se mide.

Cuando existe más de una indicación, éstas son relativamente fáciles de separar (interpretación sencilla).

Puede detectar la longitud real de una discontinuidad.

Las principales limitaciones de este tipo de arreglo son:

Son muy sensibles a cambios de temperatura (térmicamente son inestables).

Registran cualquier variación de la distancia entre la bobina y la pieza (falsas indicaciones).



Tipos de sondas diferenciales

Sondas diferenciales.- Consisten en dos o más bobinas conectadas entre sí, pero con diferente dirección de enrollamiento. Este arreglo se puede dividir en dos grupos:

Bobinas diferenciales auto referidas.- Este tipo de arreglo cuenta con una bobina que es la que realiza las mediciones y en un punto cercano (normalmente dentro del cuerpo del porta bobina) existe una segunda bobina con un núcleo (de ferrita o zirconio) y con el cual se balancea el equipo cuando se calibra el sistema.

Bobinas diferenciales con referencia externa.- Este arreglo tiene dos variantes. En el primer caso se coloca la bobina de referencia en el material que será el patrón de comparación y la bobina de medición en el material que se desea inspeccionar; es decir, las bobinas se encuentran separadas físicamente.

En el segundo arreglo, las bobinas de medición y referencia se colocan sobre el mismo objeto. Este arreglo tiene la ventaja que se reducen los efectos de variaciones por cambios de separación o por características de la pieza que se está inspeccionando.

Las ventajas de las bobinas diferenciales son:

Se reducen las indicaciones falsas provenientes de las variables no estudiadas.

Se mejora la calidad de la indicación lograda.

Las limitaciones de las bobinas diferenciales son:

Sólo se conoce el fin o el principio de una discontinuidad longitudinal.

Se reduce la sensibilidad de la inspección.

Adicionalmente, las bobinas sirven para inspeccionar:

Superficies exteriores, que pueden tener la forma de un lapicero o de un transductor.

Superficies interiores y/o exteriores de partes tubulares con la forma de una bobina envolvente, en la que el núcleo es la pieza sujeta a inspección.

Superficies exteriores y/o interiores de partes tubulares con la forma de una bobina en forma de cápsula y el material sujeta a inspección se encuentra en la parte exterior.

Frecuencia de prueba.

La siguiente variable a controlar, una vez seleccionada la bobina, es la selección de la frecuencia de inspección. Esta normalmente será referida al valor de una penetración normal (std depth penetration) del material; al tipo de discontinuidad que se espera localizar y a la profundidad a la que se encuentra.

Tipo De Calibración Que Se Desea Efectuar Y Selección Del Patrón De Calibración O De Referencia.

<p>Señal de fracturas superficiales</p>	<p>Señal de conductividad</p>	<p>Señales de daños internos</p>

Los instrumentos de pantalla pueden calibrarse para detectar fracturas superficiales; o bien de cambios de conductividad eléctrica y por último, cambios en el espesor de una pared. En términos generales, la pantalla de rayos catódicos muestra cómo la corriente de Eddy es afectada por la pieza. Si existe una fractura o una costura en la pieza, la corriente de Eddy se reduce. Esto es, las discontinuidades alteran el patrón observado en la pantalla. Existe la presentación por medio de escalas analógicas, en las que una aguja indica el valor de la lectura en una escala calibrada previamente; y también a través de pantallas digitales, en las que se lee un valor, que posteriormente se correlaciona con la variable a medir.

Interpretación De Las Indicaciones.

En este último paso se debe ser cuidadoso en la interpretación de los resultados, bien sean por observación en pantalla o por lectura, ya que un cambio en las propiedades del material también afecta las lecturas y por este motivo la interpretación la debe realizar un Inspector con amplia experiencia en este tipo de trabajos.



Inspección de una caldera por medio de electromagnetismo

Ventajas del electromagnetismo.

Detecta y generalmente evalúa discontinuidades subsuperficiales en casi cualquier conductor eléctrico.

En muchos casos, la inspección por Electromagnetismo puede ser completamente automatizada.

Puesto que no requiere contacto directo, puede emplearse a altas velocidades para la inspección continua a bajo costo.

Con esta técnica es posible clasificar y diferenciar materiales de aleaciones, tratamientos térmicos o estructura metalúrgica distintos, siempre y cuando presenten una diferencia significativa de conductividad.

Es excelente para la inspección de productos tubulares, de preferencia fabricados con materiales no ferromagnéticos, como son los empleados en algunos tipos de intercambiadores de calor, condensadores o sistemas de aire acondicionado.

Limitaciones del electromagnetismo.

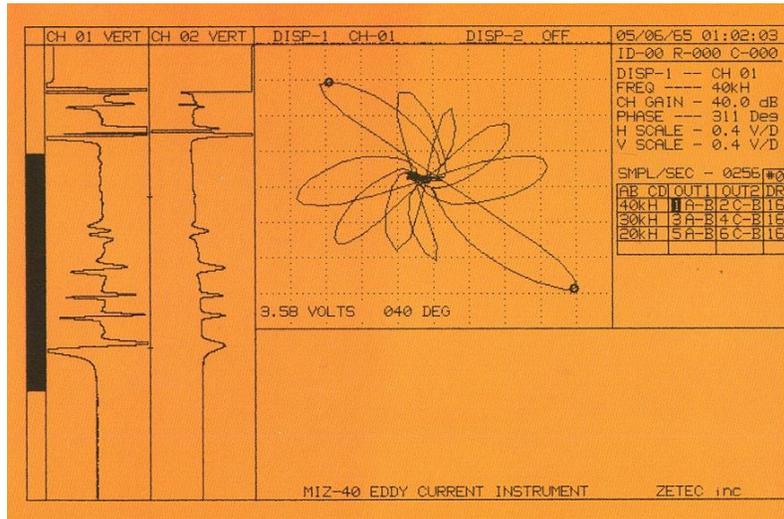
Debe eliminarse de la superficie cualquier tipo de contaminación o suciedad que sea magnética o eléctricamente conductora.

Generalmente la bobina de prueba debe diseñarse en especial para una pieza específica.

La profundidad de la inspección está limitada a aproximadamente 6 mm de penetración y depende de la frecuencia elegida para excitar el campo electromagnético y el tipo de material que se esté inspeccionando.

Se requiere de gran entrenamiento para calibrar y operar adecuadamente el equipo de prueba.

La señal es sensible a las diferencias en composición y estructura de material, lo que enmascara pequeños defectos o proporciona indicaciones falsas.



Señales de un instrumento de corrientes de Eddy multicanal

TÉCNICAS DE INSPECCIÓN VOLUMÉTRICA.

Son aquellas con las que se comprueba la integridad de un material en su espesor y se detectan discontinuidades internas que no son visibles en la superficie de la pieza.

Por regla general estos métodos deben considerarse como complementarios entre sí, ya que cada uno es especialmente sensible para apreciar un tipo determinado de indicaciones; por lo que la combinación correcta de las técnicas permitirá detectar y evaluar correctamente las indicaciones que pudieran encontrarse en el interior de un material.

RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL.

El principio físico en el que se basa esta técnica es la interacción entre la materia y la radiación electromagnética, siendo esta última de una longitud de onda muy corta y de alta energía. Durante la exposición radiográfica, la energía de los rayos X o gamma es absorbida o atenuada al atravesar un material. Esta atenuación es proporcional a la densidad, espesor y configuración del material inspeccionado.

La radiación ionizante que logra pasar el objeto puede ser registrada por medio de la impresión en una placa o papel fotosensible, que posteriormente se somete a un proceso de revelado para obtener la imagen del área inspeccionada; o bien, por medio de una pantalla fluorescente o un tubo de vídeo, para después analizar su imagen en una pantalla de televisión o grabarla en una cinta de vídeo. En términos generales, es un proceso similar a la fotografía, con la diferencia principal de que la radiografía emplea rayos X o rayos Gamma y no energía luminosa.

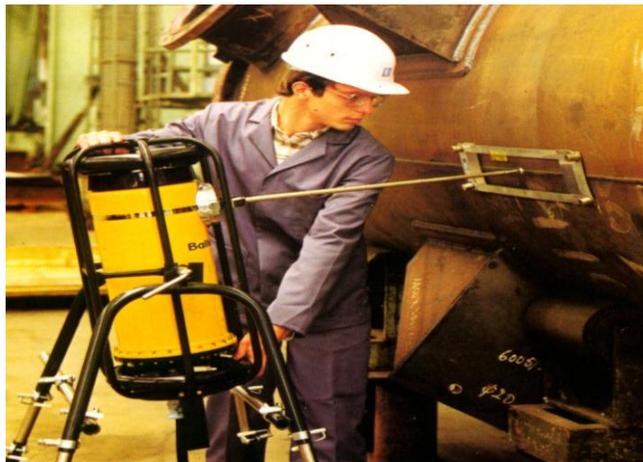
Al aplicar la radiografía, normalmente se obtiene una imagen de la estructura interna de una pieza o componente por lo que el propósito principal de este tipo de inspección es la obtención de registros permanentes para el estudio y evaluación de discontinuidades presentes en dicho material. Por lo anterior, esta prueba es utilizada para detectar discontinuidades internas en una amplia variedad de materiales.



Inspección de la soldadura de un recipiente a presión

Dentro de los ensayos no destructivos, la Radiografía Industrial es uno de los métodos más antiguos y de mayor uso en la industria. Debido a esto, continuamente se realizan nuevos desarrollos que modifican las técnicas radiográficas aplicadas al estudio no sólo de materiales, sino también de partes y componentes; todo con el fin de hacer más confiables los resultados durante la aplicación de la técnica.

La Radiografía Industrial (RT), como prueba no destructiva, permite asegurar la integridad y confiabilidad de un producto; además, proporciona información para el desarrollo de mejores técnicas de producción y para el perfeccionamiento de un producto en particular. La inspección por RT es un método de inspección diseñado para detectar discontinuidades macroscópicas y variaciones en la estructura interna o configuración física de un material.



Arreglo para una toma con rayos X

Los rayos X fueron descubiertos en 1895 por el físico alemán Roentgen (premio Nobel 1901), quien les dio tal nombre debido a que en ese entonces se ignoraba todo sobre su naturaleza.

Roentgen tuvo la suficiente visión para darse cuenta de que la radiografía era útil para las aplicaciones industriales o de investigación y se puede afirmar que él fue el primer radiólogo industrial, puesto que realizó investigaciones sobre el comportamiento de ciertos materiales y de armamentos de reciente creación.

Por otra parte, durante ese mismo año, el físico francés Henri Becquerel estudiaba la fluorescencia de los compuestos de uranio; y al realizar varios experimentos colocando cristales de sulfato de potasio y uranio sobre una placa fotográfica envuelta con papel negro, observó que al exponerlos a la luz solar, la parte de la placa que se encontraba en contacto con los cristales se oscurecía. Como consecuencia de estos experimentos, Becquerel formuló su primera hipótesis, donde consideró que el oscurecimiento de la película fotográfica se debía a que la iluminación o la luz solar producían alguna fluorescencia en los compuestos de uranio.

Para demostrar su teoría, Becquerel expuso una película envuelta en papel negro a los rayos solares y observó que ésta no se había oscurecido, por lo que creyó que era debido a que la envoltura de papel negro no permitía el paso de la luz.

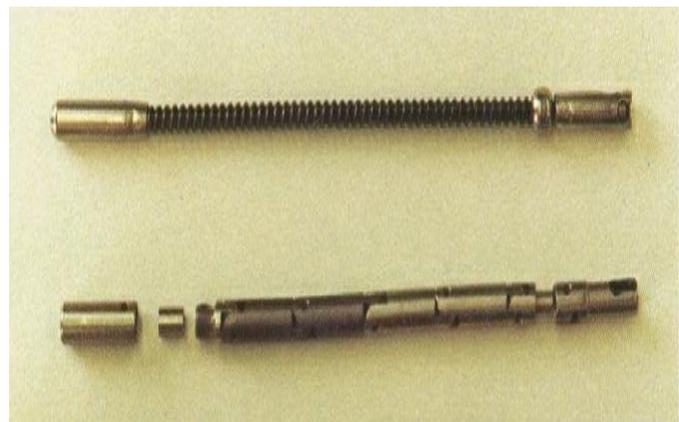
Sin embargo, una casualidad lo llevó a la conclusión de que el uranio emitía rayos en forma espontánea, sin necesidad del estímulo de la luz exterior. A este fenómeno de emisión espontánea de radiación le dio el nombre de radioactividad.

Ante estos hechos, Becquerel llegó a otra hipótesis para establecer que la presencia de radioactividad en algunos minerales de uranio indicaba la existencia de una sustancia aún más radioactiva que éste; por lo que encargó a Pierre y Marie Curie la identificación y separación de dicha sustancia. Los esposos Curie efectuaron la separación química y el análisis de minerales de uranio, logrando aislar en 1898 un nuevo elemento radioactivo: el polonio, nombre dado en honor al país natal de Marie. En 1902, los esposos Curie lograron aislar del mineral pechblenda (de uranio) una pequeña cantidad de otro elemento nuevo, el cual era 300,000 veces más radioactivo que el uranio y al que llamaron radio.

Marie Curie fue la primera radióloga que empleó radioisótopos para tomar una radiografía médica. Esto lo realizó durante la Primera Guerra Mundial, en el frente de Verdun, demostrando adicionalmente la ventaja de que este tipo de radiografía no necesitaba de energía eléctrica para su realización.



Contenedor de radioisótopos



Cápsulas de radioisótopos

En la actualidad, dentro del campo de la industria existen dos técnicas comúnmente empleadas para la inspección radiográfica:

- Radiografía con rayos X.
- Radiografía con rayos gamma.

La principal diferencia entre estas dos técnicas es el origen de la radiación electromagnética; ya que, mientras los rayos X son generados por un alto potencial eléctrico, los rayos gamma se producen por desintegración atómica espontánea de un radioisótopo.

Los rayos X son generados por dispositivos electrónicos y los rayos gamma por fuentes radioactivas naturales o por isótopos radioactivos artificiales producidos para fines específicos de Radiografía Industrial, tales como: iridio 192, cobalto 60, cesio 137 y tulio 170.

La fuente de rayos X es el ánodo en un tubo eléctrico de alto voltaje. Cuando se prende, el haz de electrones generado en el cátodo impacta sobre el ánodo y esto provoca la emisión de los rayos X en todas direcciones; la capa de blindaje alrededor del tubo absorbe los rayos X, excepto aquellos que escapan a través de un orificio o ventana que existe para

tal fin. Los rayos que pasan se emplean para producir la radiografía. Cuando se apaga la máquina de rayos X, la radiación cesa y la pieza inspeccionada no conserva radioactividad.



Equipo de rayos X con su control de exposiciones



Control de exposición

Un radioisótopo, como por ejemplo el cobalto 60 o el iridio 192, emiten radiación constante por lo que se emplean contenedores especiales o cámaras para almacenar y controlarlos dentro de una cápsula, que es una pequeña píldora que se conecta al final del cable de control. Cuando la cápsula está en el contenedor, la mayoría de los rayos gamma son absorbidos por el blindaje. Cuando la fuente es sacada del contenedor por medio del cable de control, la radiación del radioisótopo se dispersa en todas direcciones y es empleada para crear una radiografía.

Aunque existen arreglos especiales, diseñados para casos determinados, el equipo que se emplea con más frecuencia para la inspección radiográfica es el siguiente:

1. Fuente de radiación (rayos X o rayos gamma).
2. Controles de la fuente.
3. Película radiográfica.
4. Pantallas intensificadoras.
5. Indicadores de calidad de la imagen.
6. Accesorios.

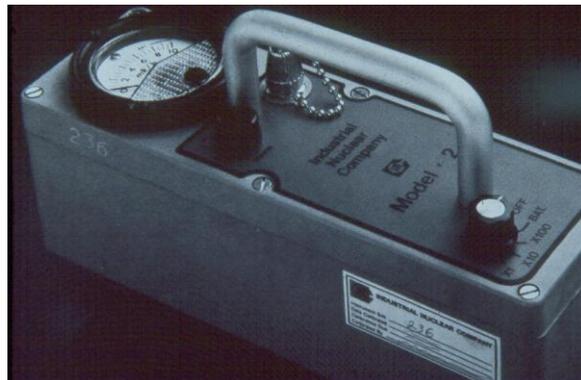
Requisitos y secuencia de la inspección por radiografía industrial.

Inicialmente, deben conocerse algunas características del material que se va a examinar, como son: tipo del metal, su configuración, el espesor de la pared a ser radiografiada, etc. Todo ello con el fin de seleccionar el radioisótopo o el kilovoltaje más adecuados.

Una vez establecida la fuente de radiación, se deben calcular las distancias entre ésta, el objeto y la película, para así poder obtener la nitidez deseada.

Igualmente, se selecciona la película con ciertas características que permitan una exposición en un tiempo razonable y una calidad de imagen óptima. Esta se coloca dentro de un porta película que sirve como protección para evitar que la luz dañe la emulsión fotográfica, y que además contiene las pantallas intensificadoras que sirven para reducir el tiempo de exposición, mejorando con esto la calidad de la imagen. Este último proceso se efectúa en el laboratorio.

Una vez realizado lo anterior, se procede a poner en práctica las medidas de seguridad radiológica en la zona en la que se va a efectuar la radiografía, con el fin de evitar una sobredosis al personal que pueda estar laborando cerca de la zona de inspección.

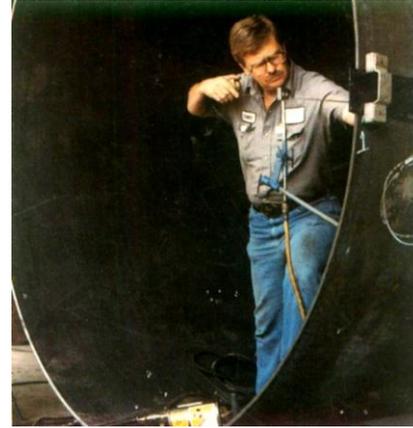
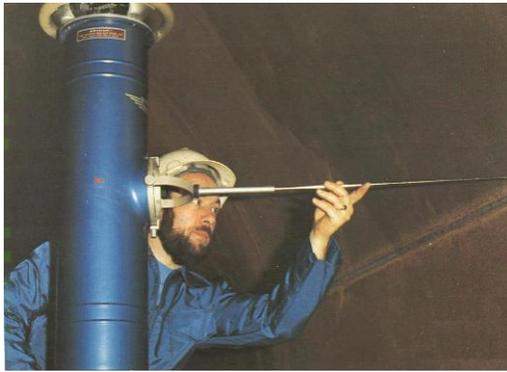


radiómetro

La aplicación del proceso radiográfico implica observar todas las medidas de seguridad obligatorias que eviten dosis de radiación innecesarias al operario; ya que si bien es indudable el valor que como método de inspección representa, también es innegable el riesgo al que está expuesto todo ser humano debido a la utilización de radiaciones ionizantes, motivo por el cual ningún tipo de protección ni medida de seguridad serán excesivos.

Mantenerse a una distancia prudente de la fuente es el mejor camino para evitar la exposición. La segunda medida es usar una protección (plomo, acero, concreto) entre el individuo y la fuente. El tiempo es también un factor importante. Cuanto menos tiempo se encuentre expuesto a la radiación, menor será la dosis de ésta que reciba.

A continuación, se hace el arreglo para colocar la fuente a la distancia calculada con respecto al objeto y se coloca la película radiográfica del otro lado de éste para registrar la radiación que logre atravesar al material sujeto a inspección.



Preparación de la exposición por radiografía y por gammagrafía

Esta radiación provoca la impresión de la película radiográfica, que corresponde al negativo de una fotografía. Entre mayor sea la cantidad de radiación que incida sobre la película, más se ennegrecerá ésta.

Con el objeto de determinar la sensibilidad y la calidad de una radiografía, se emplean indicadores de calidad de imagen, mal llamados penetra metros. Al realizar la inspección, los indicadores de calidad de imagen se eligen normalmente de manera que el espesor de éstos represente aproximadamente el 2% del espesor de la parte a inspeccionar y, siempre que sea humanamente posible, se colocarán del lado de la fuente de radiación.



Indicadores de lámina



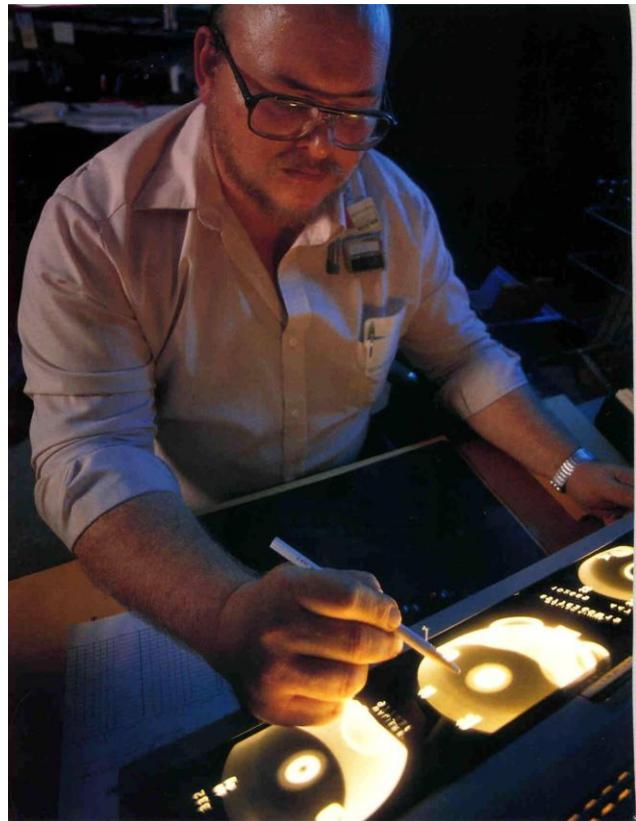
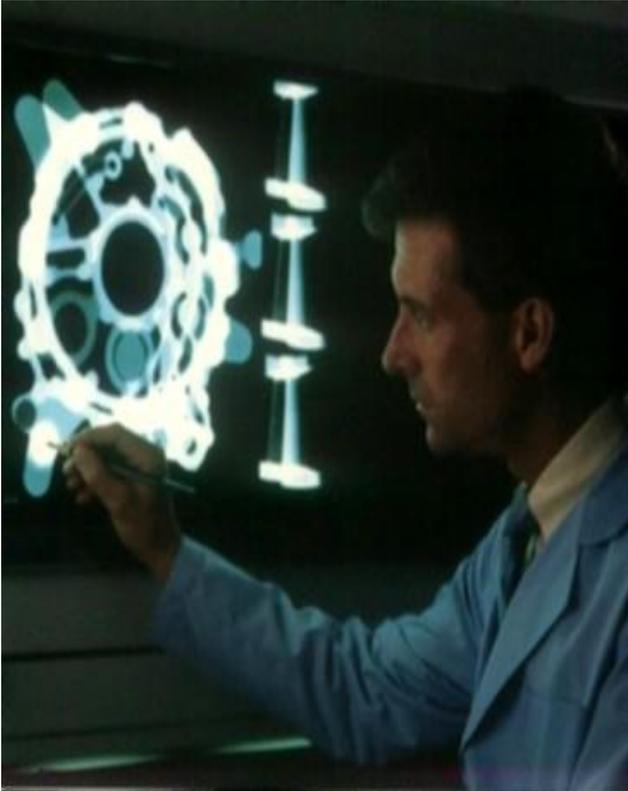
Indicadores de hilos.

La exposición se realiza, bien sea sacando la cápsula que contiene al radioisótopo o encendiendo al aparato de rayos X; esto se lleva a cabo durante el tiempo previamente calculado para realizar la exposición. Una vez terminada la exposición, se recupera la cápsula o se apaga el instrumento de rayos X y la película se lleva a revelar.

Como ya se mencionó, el proceso de revelado se verifica en el laboratorio de revelado, también conocido como cuarto oscuro. El revelado es una de la partes más críticas de la

Radiografía Industrial y consiste en convertir la imagen virtual, producida por el paso de la radiación a través de la película, en una imagen real por medio de una serie de reacciones químicas. El revelado se efectúa en varios pasos: revelado, baño ácido o de parada, baño de fijado y lavado final. Al terminar el revelado, se seca la película y se procede a la interpretación de la imagen obtenida; siendo primero evaluada para comprobar si reúne los requisitos de calidad indicados por el procedimiento de inspección.

Las radiografías, para ser confiables, necesitan cumplir con ciertos requisitos (fijados por las normas correspondientes), tales como densidad radiográfica y calidad de imagen.



Interpretación de las imágenes radiográficas

La densidad radiográfica de una película es su grado de "ennegrecimiento"; es decir, la cantidad de luz que puede pasar de un lado a otro de ésta. Para que una película pueda interpretarse confiablemente, debe tener una densidad entre 2 y 4, dependiendo del tipo de fuente empleada.

Si se comprueba que la imagen es satisfactoria, entonces se interpreta para conocer qué tipo de indicaciones están presentes; las cuales posteriormente serán evaluadas para conocer su nivel de severidad y su posible efecto en el material que se inspecciona.

Aplicaciones.

Las propiedades particulares de la radiografía facilitan su aplicación a nivel industrial, médico y de investigación. La corta longitud de onda de la radiación que emplea la radiografía le permite penetrar materiales sólidos, que absorben o reflejan la luz visible; lo

que da lugar al uso de esta técnica en el control de calidad de productos soldados, fundiciones, forjas, etc.; para la detección de defectos internos macroscópicos tales como grietas, socavados, penetración incompleta en la raíz, falta de fusión, etc.

Ventajas De La Radiografía Industrial.

Es un excelente medio de registro de inspección.

Su uso se extiende a diversos materiales.

Se obtiene una imagen visual del interior del material.

Se obtiene un registro permanente de la inspección.

Descubre los errores de fabricación y ayuda a establecer las acciones correctivas.

Limitaciones de la radiografía industrial.

No es recomendable utilizarla en piezas de geometría complicada.

No debe emplearse cuando la orientación de la radiación sobre el objeto sea inoperante, ya que no es posible obtener una definición correcta.

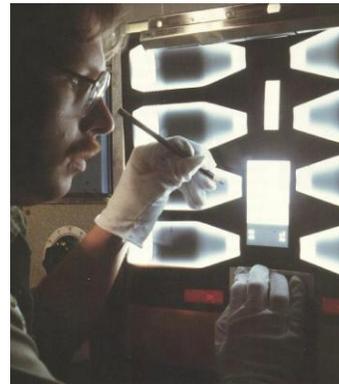
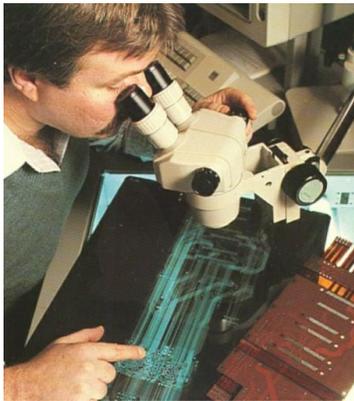
La pieza de inspección debe tener acceso al menos por dos lados.

Su empleo requiere el cumplimiento de estrictas medidas de seguridad.

Requiere personal altamente capacitado, calificado y con experiencia.

Requiere de instalaciones especiales como son: el área de exposición, equipo de seguridad y un cuarto oscuro para el proceso de revelado.

Las discontinuidades de tipo laminar no pueden ser detectadas por este método.



Interpretación de radiografías industriales.

ULTRASONIDO INDUSTRIAL

Este sistema de inspección tiene sus orígenes en los ensayos de percusión, en los cuales los materiales eran golpeados con un martillo y se escuchaba cuidadosamente el sonido que la pieza examinada emitía. La desventaja de estos ensayos es que sólo permitían detectar defectos de una magnitud tal que ocasionarán un cambio en el tono del sonido que emitía el material sujeto a prueba y por este motivo eran poco confiables en la inspección preventiva.

La inspección por Ultrasonido Industrial (UT) se define como un procedimiento de inspección no destructiva de tipo mecánico, que se basa en la impedancia acústica, la que se manifiesta como el producto de la velocidad máxima de propagación del sonido entre la densidad de un material.

La historia del Ultrasonido Industrial como disciplina científica pertenece al siglo XX. En 1924, El Dr. Sokolov desarrolló las primeras técnicas de inspección empleando ondas ultrasónicas. Los experimentos iniciales se basaron en la medición de la pérdida de la intensidad de la energía acústica al viajar en un material. Para tal procedimiento se requería del empleo de un emisor y un receptor de la onda ultrasónica.



Cambios en los equipos de ultrasonido

Posteriormente, durante la Segunda Guerra Mundial, los ingenieros alemanes y soviéticos se dedicaron a desarrollar equipos de inspección ultrasónica para aplicaciones militares. En ese entonces la técnica seguía empleando un emisor y un receptor (técnica de transparencia) en la realización de los ensayos.

No fue sino hasta la década de 1940 cuando el Dr. Floyd Firestone logró desarrollar el primer equipo que empleaba un mismo palpador como emisor y receptor, basando su técnica de inspección en la propiedad característica del sonido para reflejarse al alcanzar una interfase acústica. Es así como nace la inspección de pulso eco; esta nueva opción permitió al ultrasonido competir y en muchas ocasiones superar las limitaciones técnicas de la radiografía, ya que se podían inspeccionar piezas de gran espesor o de configuraciones que sólo permitían el acceso por un lado.

El perfeccionamiento del instrumento de inspección por ultrasonido se debe principalmente a los investigadores alemanes: Karl Deustch, Josef y Herbert Krautkramer, quienes desde 1948 se han dedicado a desarrollar y mejorar el equipo de inspección ultrasónica.

Los equipos de ultrasonido que empleamos actualmente permiten detectar discontinuidades superficiales, subsuperficiales e internas, dependiendo del tipo de palpador utilizado y de las frecuencias que se seleccionen dentro de un ámbito de 0.25 hasta 25 MHz.

Por otra parte, hoy en día contamos con una infinidad de variantes de la inspección ultrasónica; cada una de ellas ha sido especialmente desarrollada para poder detectar un tipo particular de discontinuidad o para inspeccionar diferentes materiales.

Requisitos y secuencia de la inspección por ultrasonido industrial.

Antes de iniciar una inspección por UT, es necesario definir los siguientes parámetros, a fin de hacer una correcta selección del equipo de trabajo:

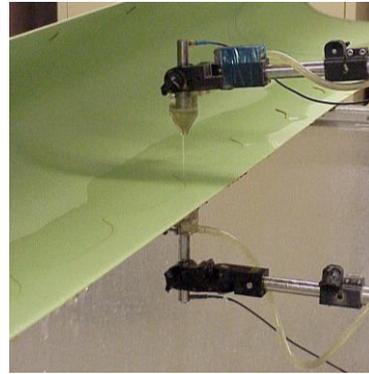
- ~ Cuál es el tipo de discontinuidad que puede encontrarse.
- ~ Qué extensión y orientación puede tener en la pieza.
- ~ Qué tolerancias se pueden aplicar para aceptar o rechazar la indicación.

Una vez definidos los puntos anteriores, el siguiente paso es decidir qué equipo de inspección será utilizado.



Equipos de inspección por ultrasonido por contacto

Los equipos que actualmente existen de forma comercial ofrecen una gran variedad de alternativas, por lo que antes de comprar un equipo es conveniente que se analicen todas las posibles alternativas de operación, siendo recomendable escoger un instrumento que cuente con servicio, refacciones y confiabilidad; ya que la inversión inicial puede variar desde 3,000 USD, hasta varios cientos de miles de dólares..



Equipos de inspección por ultrasonido por inmersión

Todas las normas establecen los requisitos mínimos que debe cumplir un instrumento de inspección por ultrasonido y son:

a) La ganancia, que es la capacidad de amplificación del instrumento y que debe ser de por lo menos 60 dB; esto es, que pueda amplificar las señales del orden de 1,000 veces como mínimo. Adicionalmente, la ganancia debe estar calibrada en pasos discretos de 2 dB.

b) La pantalla debe tener una retícula grabada en la pantalla del tubo de rayos catódicos y deberá estar graduada en valores no menores del 2% del total de la escala.

c) El ruido del instrumento (señal de fondo) no debe exceder del 20% del total de la escala vertical cuando la ganancia esté al máximo de operación. En el caso de emplear medidores con lectura digital o analógica, la repetitividad del instrumento no deberá ser menor al 5%.

Por otra parte, todas las normas exigen que el instrumento de inspección ultrasónica sea revisado y, en caso necesario, recalibrado por un taller de servicio autorizado por el fabricante.

Este último punto es de vital importancia si se está trabajando bajo códigos o normas de aceptación internacional como AWS o ANSI/ASME. Con base en lo anterior, antes de adquirir un equipo, es recomendable visitar al proveedor y comprobar que cuenta con la licencia por parte del fabricante para dar el servicio de mantenimiento preventivo y correctivo al equipo.

A continuación se deben seleccionar el palpador y el cable coaxial a ser empleados.

Los cables son del tipo coaxial para prevenir problemas de interferencia eléctrica y sus conexiones deben ser compatibles con las del instrumento y el palpador a emplear. La longitud del cable afectará la calidad de la inspección, por lo que se debe evitar el empleo de cables más largos de lo recomendado por los fabricantes del equipo.

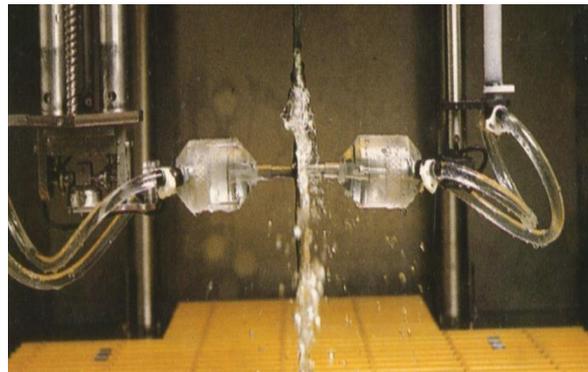
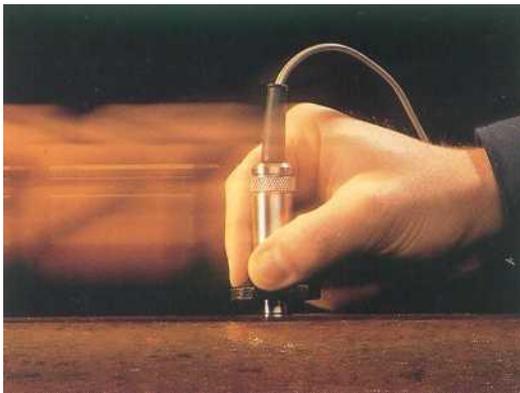
La selección del palpador es uno de los puntos más críticos, ya que de él dependerá en gran medida la calidad de la inspección.

Los factores a ser tomados en cuenta para la selección de un palpador son:

Número de elementos piezoeléctricos.

- El tipo de inspección (contacto, inmersión, alta temperatura).
- El diámetro del elemento piezoeléctrico.
- La frecuencia de emisión.
- En su caso, el ángulo de refracción.
- El tipo de banda, Ancha o angosta.
- El tipo de protección de anti-desgaste.

Por lo común, las normas establecen las condiciones mínimas que deben cumplir los palpadores. Como la variedad de éstos es muy amplia, es conveniente contar con los catálogos de los fabricantes o consultar al proveedor aprobado respecto a las características de cada unidad antes de efectuar una adquisición.



Tipos de palpadores; de contacto y de inmersión

Las ondas ultrasónicas son generadas por un cristal o un cerámico piezoeléctrico; este elemento, que llamaremos transductor, está dentro del palpador y tiene la propiedad de transformar la energía eléctrica en energía mecánica y viceversa. Al ser excitado eléctricamente, y por el efecto piezoeléctrico, el transductor vibra a altas frecuencias (lo que genera ultrasonido); estas vibraciones son transmitidas al material que se desea inspeccionar. Durante el trayecto en el material, la intensidad de la energía sónica sufre una atenuación, que es proporcional a la distancia del recorrido. Cuando el haz sónico alcanza la frontera del material, dicho haz es reflejado. Los ecos o reflexiones del sonido son recibidos por otro (o por el mismo) elemento piezoeléctrico y su señal es filtrada e incrementada para ser enviada a un osciloscopio de rayos catódicos, en donde la trayectoria del haz es indicada por las señales de la pantalla; también puede ser transmitida a un sistema de graficado, donde se obtiene un perfil acústico de la pieza; a una pantalla digital, donde se leerá un valor o a una computadora, para el análisis matemático de la información lograda.

Es importante apuntar la necesidad de emplear un acoplante (aceite, grasa o glicerina) con objeto de que el sonido pueda transmitirse del transductor a la pieza de trabajo sin que existan grandes pérdidas de energía en la interfase acústica conformada por el espacio de aire entre el metal o el material a examinar y el palpador.

El acoplante debe reunir las siguientes características para emplearlo con confianza: ser inerte al material en inspección; de fácil remoción después de terminar la inspección; debe formar una capa homogénea en la superficie de contacto; además, su costo será bajo y fácil la adquisición.

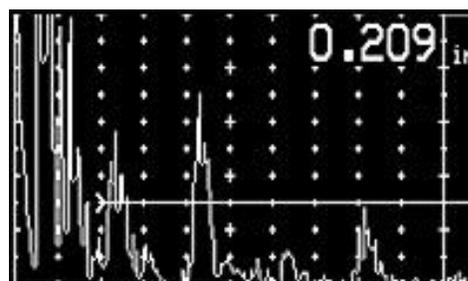
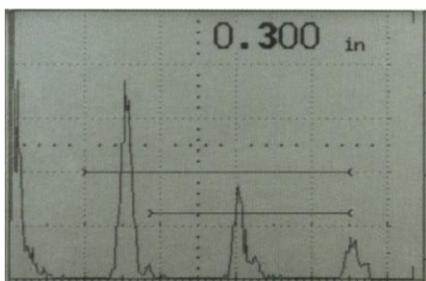
Cabe aquí aclarar que algunas normas o códigos son rígidamente específicos en el tipo de acoplante a ser empleado, quedando limitado al empleo de glicerina, agua o gel de celulosa.

En cuanto al sonido, una vez que ha sido introducido en el material sujeto a inspección, puede presentar diferentes formas (modos) de conversión (viaje). Así pues, si el palpador está orientado perpendicularmente a la superficie de inspección (superficie de incidencia), el sonido viajará preferentemente de forma compresiva (se desplazará con una velocidad longitudinal o compresiva) y será este modo el que se empleará para detectar las indicaciones.

Si por el contrario el palpador se inclina dentro de ciertos ángulos (entre el primer y segundo ángulo crítico de la ley de Snell) sobre la superficie de incidencia, el sonido viajará preferentemente de forma cortante: el sonido se desplazará con una velocidad transversal o cortante. Por último, si el palpador se inclina con una orientación tal que el haz incida con un ángulo igual al segundo ángulo crítico de la ley de Snell, el haz viajará de forma superficial: el sonido se desplazará con una velocidad superficial.

Cada uno de estos modos de propagación tiene aplicaciones muy específicas en la inspección ultrasónica y su selección dependerá de las características de la pieza sujeta a inspección y de las discontinuidades que se quieran detectar.

Si el material está libre de indicaciones que puedan ser detectadas, la señal será constante en cuanto a su intensidad y posición; pero si hay un cambio en las propiedades acústicas del material o una discontinuidad que refleje, atenúe o disperse el haz de ultrasonido, la señal se modificará y se podrá observar una disminución en la amplitud de la señal de la pared posterior o la aparición de indicaciones antes de lo esperado.



Señales de ultrasonido; un material sano y un material con discontinuidades

La interpretación de estos cambios en las señales debe ser realizada por personal que ha sido capacitado, calificado y que cuente con la experiencia necesaria en la inspección a realizar, ya que de ello depende que los resultados sean confiables, reproducibles y repetitivos.

Aplicaciones.

El Ultrasonido Industrial es un ensayo no destructivo ampliamente difundido en la evaluación de materiales metálicos y no metálicos.

Es frecuente su empleo para la medición de espesores, detección de zonas de corrosión, detección de defectos en piezas que han sido fundidas forjadas, roladas o soldadas; en las aplicaciones de nuevos materiales como son los metalcerámicos y los materiales compuestos, ha tenido una gran aceptación, por lo sencillo y fácil de aplicar como método de inspección para el control de calidad. Las nuevas tendencias indican que su campo de aplicación se mejorará con el apoyo de las computadoras para el análisis inmediato de la información obtenida.



Inspecciones por ultrasonido

Ventajas del ultrasonido industrial.

Se detectan discontinuidades superficiales y subsuperficiales.

Puede delimitarse claramente el tamaño de la discontinuidad, su localización y su orientación.

Sólo se requiere acceso por un lado del material a inspeccionar.

Tiene alta capacidad de penetración y los resultados de prueba son conocidos inmediatamente.

Limitaciones del ultrasonido industrial.

Está limitado por la geometría, estructura interna, espesor y acabado superficial de los materiales sujetos a inspección.

Localiza mejor aquellas discontinuidades que son perpendiculares al haz de sonido.

Las partes pequeñas o delgadas son difíciles de inspeccionar por este método.

El equipo puede tener un costo elevado, que depende del nivel de sensibilidad y de sofisticación requerido.

El personal debe estar calificado y generalmente requiere de mucho mayor entrenamiento y experiencia para este método que para cualquier otro de los métodos de inspección.

La interpretación de las indicaciones requiere de mucho entrenamiento y experiencia de parte del operador.

Requiere de patrones de referencia y generalmente no proporciona un registro permanente.



CAPACITACIÓN, CALIFICACIÓN Y CERTIFICACIÓN.

La repetitividad y confiabilidad de los Ensayos no Destructivos dependen en gran medida de los conocimientos y de la habilidad de los individuos que los realizan. Por este

motivo, se debe prestar una atención especial a la capacitación y a la adquisición de experiencia de los Inspectores.

Actualmente existen dos programas aceptados a nivel internacional para la capacitación, calificación y certificación del personal que realiza los END y son:

La Norma ISO 9712, Norma para la capacitación, calificación y certificación de personal que realiza ensayos no destructivos"; que ha sido preparada por la Organización Internacional de Normalización, ISO, (International Standardization Organization) y por la Administración Internacional de Energía Atómica, IAEA, (International Atomic Energy Agency), ambas dependientes de la ONU.

La Práctica Recomendada SNT-TC-1A (Ed. '88), editada por la Sociedad Americana para los Ensayos No Destructivos, también conocida como ASNT (American Society for Nondestructive Testing). Este documento se sustituyó a partir de 1990 por la "Norma ASNT para la calificación y certificación de personal de ensayos no destructivos".

La principal diferencia entre la Práctica recomendada" por ASNT y la "Norma" ISO antes mencionada es que ISO exige que el personal a cualquier nivel de calificación que realice inspecciones por END, sea certificado mediante un examen administrado por una agencia central reconocida internacionalmente; y la práctica SNT-TC-1A establece que la certificación es una responsabilidad de la empresa contratante del individuo. Además, la práctica SNT-TC-1A es un documento en proceso de derogación (no se seguirá empleando) ya que se aprobó la norma ANSI/ASNT CP-189-1991, "Norma para la calificación y certificación del personal que realiza ensayos no destructivos" y que viene a sustituir al documento SNT-TC-1A. Esta nueva norma se apega a las recomendaciones de la ISO, y exige que la certificación del personal (inicialmente sólo los niveles II y III), sea realizada por una agencia central, que es la ASNT para los Estados Unidos de América, por otra parte también establece que solo los niveles III certificados ante la ASNT pueden actuar como los responsables de compañía o desempeñar las actividades de nivel III; también establece las condiciones que deben cumplir aquellas personas que se dediquen a la capacitación de los técnicos en ensayos no destructivos.

Cuando se habla de calificación y de certificación, normalmente los usuarios de estos documentos pueden tener confusiones en cuanto a la definición de algunos términos, por lo cual los documentos internacionales comúnmente aceptados establecen claramente el significado de los términos que se dan a continuación. Al respecto, tan sólo existen diferencias mínimas en cuanto a redacción se refiere entre un texto y otro.

Entrenamiento.- Es el programa debidamente estructurado para proporcionar los conocimientos teóricos y desarrollar las habilidades prácticas de un individuo; a fin de que realice una actividad definida de inspección.

Calificación.- Es la demostración, por medio de exámenes debidamente preparados, de que un individuo posee los conocimientos teóricos y las habilidades necesarias para desarrollar correctamente una inspección no destructiva; aplicar correctamente los criterios de aceptación y en su caso elaborar un reporte de inspección. Puede incluir la elaboración de un procedimiento para una inspección y/o la interpretación de los criterios de aceptación establecidos por un documento escrito, que puede ser un código, una norma o una especificación.

Certificación.- Es un testimonio escrito extendido por una agencia central certificadora (ISO 9712) o por una empresa contratante (SNT-TC-1A), que demuestra que un individuo ha sido capacitado; que está debidamente calificado y tiene la experiencia suficiente para emplear correctamente un método de inspección no destructiva.

Niveles De Certificación.- Los niveles se dan para cada método de inspección no destructiva y son establecidos en función de los conocimientos, la experiencia práctica y responsabilidades que tiene el individuo al realizar una inspección. En cuanto a este concepto, ambos documentos tienen las mismas definiciones y niveles de certificación.

Se ha establecido una etapa de aprendizaje y se han definido tres niveles básicos de certificación. Estos niveles pueden ser subdivididos por la empresa contratante o por cada comité nacional para cubrir situaciones específicas en las que se requiera de habilidades adicionales o responsabilidades más específicas. Los niveles básicos de certificación son:

Aprendiz.- Es el individuo que está en proceso de capacitación para ser calificado y certificado (aun no tiene nivel de competencia); por definición se dice que es la persona en entrenamiento para adquirir los conocimientos y la habilidad necesarios para efectuar un ensayo no destructivo específico y que no podrá realizar por sí solo una inspección; interpretar o evaluar una indicación ni emitir un reporte de resultados antes de concluir sus periodos de capacitación teórica y práctica, de experiencia y de aprobar su examen de calificación.

Esto debe interpretarse como que el individuo sí puede trabajar realizando las inspecciones, pero siempre guiado por una persona calificada y certificada, quien será en última instancia la responsable del trabajo que se esté realizando. Sobre este punto en particular, en el caso de una Auditoría de Calidad, el aprendiz deberá estar anotado como tal en la Lista de Personal de Ensayos no Destructivos; lo cual permitirá además contar con un registro de su experiencia previa a la presentación de sus exámenes de calificación y la emisión de su certificación.

Nivel I.- Es aquel individuo que ha sido capacitado y ha demostrado estar debidamente calificado para efectuar correctamente la calibración de un equipo de inspección; realizar una inspección específica; aplicar los criterios de aceptación o rechazo definidos en un procedimiento o instrucción de inspección y reportar o realizar los registros de estas actividades. El inspector Nivel I debe ser entrenado y supervisado por personal certificado como Nivel II o III. En este caso también existen dudas respecto a si un Nivel I puede o no emitir un veredicto de resultados; la respuesta dependerá del contenido y las responsabilidades que estén establecidas en su procedimiento interno (caso SNT-TC-1A) o de lo que establezca la norma nacional (caso ISO 9712).

Nivel II.- Es aquel individuo que ha sido capacitado y ha demostrado estar debidamente calificado para efectuar correctamente las actividades antes mencionadas para Nivel I.

Además puede ser capacitado para establecer realizar o verificar la calibración de un equipo de prueba; interpretar los resultados obtenidos durante una prueba, evaluándolos conforme a un código, norma o especificación aplicable. Debe estar familiarizado con los alcances y limitaciones de su técnica y puede ser responsable de la capacitación práctica y supervisión de los individuos de Nivel I y de los Aprendices. Tiene la capacidad para responsabilizarse de preparar instrucciones de inspección y de organizar y emitir los reportes de resultados de las pruebas efectuadas por él o bajo su supervisión.

Nivel III.- Es aquel individuo que ha sido capacitado y ha demostrado estar debidamente calificado para efectuar correctamente las actividades definidas para los Niveles I y II; establecer técnicas y procedimientos generales de inspección; interpretar los códigos, normas y especificaciones para establecer los métodos, técnicas y procedimientos específicos a ser empleados. Puede ser responsable de las pruebas por Ensayos no Destructivos para los cuales esté certificado. Debe ser capaz de interpretar y evaluar los resultados con los criterios establecidos por códigos, normas y especificaciones.

El nivel III debe tener un conocimiento general sobre los materiales, métodos y tecnologías de fabricación que le permitan establecer la técnica a emplear durante la inspección no destructiva y para asesorar en la selección de los criterios de aceptación cuando éstos no estén definidos. Debe estar familiarizado con los demás métodos de inspección no destructiva. Puede ser responsable y estar capacitado para impartir el entrenamiento y aplicar los exámenes para la certificación de Niveles I y II.

EXÁMENES DE CALIFICACIÓN.

Los dos documentos mencionados anteriormente también coinciden al definir los exámenes de calificación que deben presentar los individuos a ser certificados a los diferentes niveles de habilidad.

En el caso del personal a calificar como Nivel I ó II, son los siguientes:

De aptitud física.

De conocimientos.

De habilidad práctica.

Exámenes Físicos.

Tienen la finalidad de demostrar que el personal que realiza la inspección es apto para poder observar y evaluar correctamente las indicaciones. Los exámenes físicos que se requieren son:

De agudeza visual lejano.

De agudeza visual cercana.

De discriminación cromática.

El examen de agudeza visual se aplica empleando la carta de Snellen y el resultado debe ser una visión 20/40 o mejor. Para el examen de agudeza visual cercana se emplea la carta de Jaeger y el resultado debe ser una visión J2 o mejor. Estos resultados pueden ser empleando prótesis (lentes); pero en tal caso, el individuo siempre deberá emplear dicho instrumento al realizar una inspección.

Los exámenes físicos de agudeza visual cercana y lejana deben ser presentados cada seis meses, como mínimo, por el personal que realiza inspección visual; y deben ser anuales, como mínimo, para las demás técnicas.

El examen de discriminación cromática sólo se aplica al inicio de las actividades de un inspector; ya que, como se mencionó con anterioridad, el daltonismo es una deficiencia genética incorregible. Para esta prueba se emplean las cartas de Ishijara, que son láminas de diferentes colores y tonalidades. Para aprobar, el individuo debe ser capaz de discriminar los tonos o los colores de las cartas.

Pueden ser necesarios otros exámenes físicos para el personal ocupacionalmente expuesto a la radiación ionizante. Esto dependerá de las reglamentaciones que sobre la materia existan en cada país o estado. En el caso de México, estos exámenes están definidos por la Secretaría del Trabajo y Previsión Social y por La Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardas.

Los exámenes físicos se aplican a todos el personal que realiza END, sin importar cuál sea su nivel.

Exámenes De Conocimientos.

Tienen la finalidad de evaluar la capacidad del individuo para realizar ciertas actividades propias de la inspección, así como la información teórica mínima que debe poseer para realizar una inspección, interpretación o evaluación confiables. Estos exámenes son:

El examen general del método.- Es sobre los principios básicos de la técnica y sus posibles modalidades o variantes. Normalmente las preguntas se redactan en consideración de las necesidades de cada empresa o área de actividad.

El examen específico.- Se prepara tomando como base un procedimiento calificado de inspección. El cuestionario debe cubrir aspectos técnicos y prácticos de los instrumentos o aparatos de inspección, procedimientos de calibración y operación; técnicas de prueba y especificaciones que normalmente se emplean en el trabajo cotidiano de inspección. Este examen puede incluir la interpretación y aplicación de los criterios de aceptación establecidos por los códigos y normas correspondientes.

Exámenes De Habilidad Práctica.

Estos exámenes consisten en la demostración de la habilidad del aspirante para la calibración y operación correcta del equipo de inspección; la realización de una inspección determinada; el análisis e interpretación de las indicaciones obtenidas; la aplicación de los criterios de aceptación establecidos por los códigos o normas y la elaboración de los reportes de resultados.

En lo que respecta a los exámenes que debe presentar un individuo a ser calificado y certificado como nivel III, las normas establecen que deben ser los siguientes:

De aptitud física.

De conocimientos.

De habilidad práctica.

Examen De Aptitud Física.

Los exámenes de aptitud física son los mismos que para los Niveles I y II.

Exámenes De Conocimientos.

Esta es la parte más importante de los exámenes que debe realizar un individuo que desea certificarse como Nivel III y si bien son similares a los de los Niveles 1 y II, el nivel de dificultad de los cuestionarios es mayor. Estos exámenes son:

El examen de conocimientos básicos.- Debe ser presentado una sola vez y el cuestionario se forma por preguntas referentes a los diferentes medios de fabricación (fundición, forja, laminación, extrusión, soldadura, etc.); los defectos más comunes que se presentan en cada uno de estos procesos; las técnicas más comunes de Ensayos no Destructivos, con un nivel de dificultad similar a las preguntas preparadas para un nivel II;

principios de control y aseguramiento de la calidad y sobre temas relacionados con los mecanismos de certificación que se empleen en la empresa que contrata sus servicios o del área industrial en la que realizará las inspecciones.

El examen del método.- Consiste en una evaluación a profundidad de los conocimientos sobre un método específico; por ejemplo, radiografía. El cuestionario de este examen debe basarse en el manejo de los equipos y técnicas empleados en cada empresa(SNT-TC-1A) o un área industrial específica, por ejemplo la metal-mecánica (ISO 9712); las normas y especificaciones aplicables a un producto o servicio. Debe incluir los criterios empleados para la elaboración de procedimientos, criterios de aceptación e interpretación de códigos y normas, así como el manejo, aplicación e interpretación de procedimientos ya calificados de inspección no destructiva.

Exámenes De Habilidad Práctica.

Para los Niveles III, estos exámenes pueden ser similares a los que se aplican a los niveles I y II o puede ser la elaboración y calificación de un procedimiento para una inspección determinada.

Para que se considere que el aspirante ha aprobado cualquiera de los exámenes antes mencionados para los diferentes niveles, la calificación no debe ser menor a 70/100. Posteriormente, los resultados de los exámenes de conocimientos se promedian con los exámenes prácticos para todos los niveles y generalmente este promedio no debe ser inferior a 80/100.

Experiencia práctica.

No se puede certificar personal que no tenga una experiencia práctica en la realización de inspecciones. En el caso del Nivel I, éste primero debió adquirir cierta experiencia actuando como Aprendiz. Para los Niveles III, el individuo debió trabajar durante un tiempo como Nivel I y finalmente un Nivel III, debió ser previamente Aprendiz, Nivel I y trabajar al menos uno o dos años como Nivel II, antes de poder aspirar a ser certificado como Nivel III. Toda esta experiencia debe ser demostrada documentalmente y mantenida en archivos para su verificación en caso de ser necesaria.

Emisión de los certificados.

Los lineamientos para que se realice la certificación de personal a cualquiera de los niveles antes citados debe estar contenida en una "Especificación para la capacitación, calificación y certificación del personal que realiza ensayos no destructivos" ("Práctica escrita para SNT-TC-1A y "Norma Nacional para ISO 9712"). El certificado, para que sea válido, es un documento que debe contener como mínimo los siguientes puntos:

Nivel de escolaridad de los individuos.

Programa de entrenamiento.

Experiencia inicial de los individuos antes de certificarse en cualquier nivel.

Forma en que se realizarán los exámenes de certificación.

Vigencia de las certificaciones.

La ISO y ASNT establecen un periodo de vigencia de la certificación que normalmente tiene una validez de tres años para los Niveles I y II; y de cinco años para el Nivel III.

La certificación expira cuando el individuo deja de laborar con la empresa que lo ha examinado y certificado, (SNT-TC-1A), o cuando se cambia de un área industrial a otra; por

ejemplo, de aeronáutica a metal-mecánica o viceversa (ISO 9712). En este último caso, sólo es necesario presentar el examen específico de la nueva área de trabajo.

Como se puede observar, existen una serie de lineamientos obligatorios a ser seguidos para cumplir con los documentos de aceptación internacional. El documento más frecuentemente aplicado es el SNT-TC-1A, por las siguientes razones:

Es el indicado por las normas norteamericanas, que son las más aceptadas dentro de los criterios industriales.

Es la más "liberal" en cuanto a certificación se refiere.

La "Norma" ISO 9712 es de emisión reciente (1988).

Por lo tanto, se concluye que si una entidad quiere seguir el esquema de la ASNT, debe establecer e implementar un programa bien definido para la capacitación del personal de Ensayos no Destructivos; ya que de otra forma la inspección en vez de reducir costos los puede incrementar. En este caso, es recomendable que la elaboración e implementación del programa de capacitación y que la especificación de capacitación, calificación y certificación la realice una persona con Nivel III certificado (actualmente ya es requisito obligatorio para algunos códigos) y con amplia experiencia en este tipo de actividades.

En 1989, la ASNT e ISO llegaron a un acuerdo de armonización de estos esquemas de certificación; en el cual se estableció que ASNT (específicamente la industria norteamericana) debe homogeneizar con ISO el esquema de certificación de Niveles III en un lapso de 5 años; y que en un lapso de 10 años homogeneizará el esquema de certificación de niveles I y II. El primer paso de este acuerdo ha sido la publicación de la "Norma ANSI/ASNT CP-189-91, para la calificación y certificación de personal que realiza ensayos no destructivos".

El caso de México.

A petición de las industrias asociadas a la Cámara Nacional del Hierro y del Acero (CANACERO), se estudió la necesidad de escribir una norma que definiera los lineamientos para calificar al personal que efectúa los Ensayos no Destructivos. Durante el año de 1989, el Comité Consultivo Nacional de Normalización de la Industria Siderúrgica, a través del Subcomité No 7, "Métodos de Prueba Físicos", preparó la "Norma Mexicana B-482 para la Capacitación, Calificación y Certificación de Personal de Ensayos No Destructivos", adaptando las recomendaciones de ISO a las necesidades del país y seleccionando aquellos criterios que son los más actualizados, fueran de ISO o de ASNT. Por lo anterior se obtuvo una Norma más clara y actualizada que las propuestas" de ISO y más específica que las recomendaciones" de ASNT. Asimismo, los temarios de los cursos de entrenamiento son los mismos que los de ISO o de ASNT, pero contemplan tiempos más realistas para el entrenamiento. Es conveniente hacer mención que tanto las empresas como los técnicos tienen las siguientes ventajas con esta "Norma nacional".

Los cursos de capacitación serán dictados con un temario homogéneo, con lo cual se evitarán en lo posible los cursos de mala calidad o improvisados.

Los exámenes de calificación serán aplicados en español; lo que ayudará a aquellos técnicos que no dominen un idioma extranjero, como es el inglés.

La calificación será obtenida en el país, con lo que los gastos de transportación y hospedaje se reducirán.

La Norma fue enviada a encuesta durante 1990; se aprobó en diciembre de ese mismo año y se publicó en 1991 en el "Diario Oficial de la Federación".