

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA MINERA Y METALURGICA



METODOLOGIA DE SOLDADURA

INFORME DE SUFICIENCIA

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL
DE INGENIERO METALURGISTA**

ASESOR : ING. MANUEL CRUZ TORRES

ESPECIALISTA : ING. OVER A. ALIAGA INGARUCA

PRESENTADO POR : SERGIO ARMANDO VENEGAS SANCHEZ

LIMA – PERU

2013

DEDICATORIA

Doy gracias a Dios por la oportunidad de ingresar a la Universidad Nacional de Ingeniería, a mis padres Orlando y Violeta, a mi hermana, hermanos y a mi amiga Olivia por su invaluable apoyo.

RESUMEN

La información presentada forma parte de la experiencia obtenida durante varios años por el equipo de ingenieros del área comercial de la empresa SOLDEX S.A, equipo al que gracias a Dios tengo el honor de formar parte. SOLDEX S.A es la fábrica peruana de soldaduras y maquinas de unión y corte de materiales, que fábrica productos bajo la licencia de Oerlikon de Alemania. Como parte del servicio post-venta la empresa desde su fundación en 1960 se ha preocupado en difundir la ciencia de la soldadura, capacitando a personal de diferentes empresas ligadas al rubro de construcción de estructuras metálicas, y así contribuir en el desarrollo de la industria peruana.

El presente informe desarrolla la metodología a seguir en la selección de materiales de aporte en soldadura, se ha dividido en seis capítulos; en el primer capítulo se describe la metodología propuesta. En el segundo capítulo se describe de una manera general los procesos de soldadura más comunes en la industria peruana. En el tercer capítulo se resumen los documentos existentes para los materiales de aporte según la American Welding Society (AWS) y la utilidad de los códigos sección VIII y IV de la *American Society of Mechanical Engineers* (ASME). En el cuarto capítulo se explica la metodología propuesta para la selección de materiales de aporte de los materiales mayor usados en la industria, enfocándonos más en los aceros inoxidables. En el quinto capítulo se describen criterios a tenerse en cuenta en la técnica de soldadura. En el sexto capítulo se mencionara algunas aplicaciones industriales como, a). Selección del reemplazo del material de aporte de un AISI 304H que es parte de un convertidor de ácido sulfúrico fabricado con especificaciones de Aker Kvaerner Chemetics de Canadá; 2.) Construcción de infraestructura Portuaria; 3). Recuperación en una central hidroeléctrica de un rodete Peltón de acero inoxidable martensítico. Se dan las conclusiones de cada aplicación.

ABSTRACT

The information presented is part of experience gained during several years by a team of engineers from the company's business SOLDEX SA, to whom I thank God have the honor of being a part of. SOLDEX SA is a Peruvian factory of welds and binding machines and cutting materials, which makes products licenced by Oerlikon from Germany. Being part of post-sales service company it has been concerned to spread the science of welding training personnel since its founding in 1960 by training staff from different companies related to the item of metal construction and thus contribute to the development of Peruvian industry.

This report develops the methodology which is followed in the selection of welding filler materials. It is divided into six chapters: the first chapter describes the methodology proposed. The second chapter describes in a general way the most common welding processes in the Peruvian industry. The third chapter summarizes the existing documents to supply materials according to the American Welding Society (AWS) and the usefulness of the code section VIII and IV of the American Society of Mechanical Engineers (ASME). In the fourth chapter the methodology proposed for the selection of input materials from the most used materials in the industry is explained, focusing more on stainless steels. In the fifth chapter outlines criteria to be considered in the welding technique. In the sixth chapter some industrial applications are mentioned such as, a). Selecting filler replacement of AISI 304H which is part of a sulfuric acid converter with specifications made by Chemetics Aker Kvaerner Canada, 2) Port Infrastructure Construction , 3).Recovery in a hydroelectric plant of a Pelton martensitic stainless steel. The conclusions of the report are given for each application.

INDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN	11
CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES	
1.1 Objetivo General	12
1.2 Antecedentes	12
1.3 Justificación	12
CAPITULO II: IDENTIFICACION DEL MATERIAL BASE	14
CAPITULO III: SELECCION DEL PROCESO DE SOLDADURA	
3.1. Proceso SMAW	15
3.2 Proceso GMAW	20
3.3 Proceso FCAW	23
3.4 Proceso GTAW	27
3.5 Proceso SAW	31
3.6 Proceso OAW	34
CAPITULO IV: SELECCIÓN DEL MATERIAL DE APORTE	
4.1 Identificación de los electrodos para el proceso SMAW	39
4.2 Identificación del aporte en proceso GMAW y GTAW	47
4.3 Identificación del aporte en proceso FCAW	49
4.4 Identificación del aporte en proceso SAW	51
4.5 Identificación de las varillas para OAW	52
CAPITULO V: TECNICA DE SOLDADURA	
5.1 Materiales de Unión	60
5.2 Diseño de la unión soldada	60
5.3 Procedimiento de soldadura	61
5.4 Forma de aplicar la soldadura	61
5.5 Programa de Inspección	64
CAPITULO VI: APLICACIONES INDUSTRIALES	
6.1 Reemplazo de material de aporte de acero inoxidable.	65
6.2 Construcción de Infraestructura Portuaria.	80

	Pág
6.3 Recuperación de Turbinas Peltón.	84
6.4 Unión de Aceros de difícil Soldabilidad.	96
CONCLUSIONES GENERALES	104
BIBLIOGRAFIA	106
ANEXOS	
Anexo 1: Normas de Soldadura	108
Anexo 2: Tipos de revestimientos, posiciones de soldadura y corriente.	110
Anexo 3: Composición química del metal depositado por electrodos revestidos	112
Anexo 4: Tabla de propiedades mecánicas de electrodos revestidos.	121

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1 Identificación del Material	13
Figura 1.2 Selección del Proceso de Soldadura	13
Figura 1.3 Selección del Material de Aporte	13
Figura 1.4 Técnica de Soldadura	13
Figura 2.1 Propiedades Mecánicas y Agentes de desgaste	14
Figura 2.2 Extracción de viruta y tipos de Espectrómetros	15
Figura 2.3 Probetas de ensayos mecánicos	16
Figura 2.4 Metalografía	16
Figura 2.5 Curva de revenido	16
Figura 2.6 Dimensiones y formas	17
Figura 2.7 Posiciones de Soldadura	17
Figura 3.1: Soldadura por arco con electrodo revestido y Equipo SMAW	20
Figura 3.2 Proceso GMAW, equipo GMAW, y partes de alimentador	22
Figura 3.3 Proceso FCAW	23
Figura 3.4: Maquinas FCAW y tipos de rodillos	24
Figura 3.5 Proceso GTAW	27
Figura 3.6 Efecto de la forma de onda cuadrada de la punta	29
Figura 3.7 Elementos del equipo GTAW	30
Figura 3.8 Proceso SAW, elementos básicos.	31
Figura 3.9 Fisura de Solidificación debido al Perfil de la Soldadura	32
Figura 3.10 Equipo de Arco Sumergido	33

	Pág
Figura 3.11 Soldadura Oxiacetilénica	34
Figura 3.12 Equipo de Soldadura Oxiacetilénica y tipos de antorcha	35
Figura 4.1: Comportamiento del abrasivo en raspadura de bajo esfuerzo	44
Figura 4.2: Comportamiento del abrasivo en raspadura de alto esfuerzo	45
Figura 4.3: Comportamiento de la partícula abrasiva en abrasión con impacto	45
Figura 4.4: Comportamiento de la partícula abrasiva en desgaste por impacto	45
Figura 4.5: Comportamiento de la partícula abrasiva en desgaste por adhesión	46
Figura 5.1: Pasos para la conformidad de una unión soldada	53
Figura 5.2 Personal calificado	54
Figura 5.3 Instrumentos	54
Figura 5.4 Variables para obtener una junta de calidad	59
Figura 5.5 Hornos	60
Figura 5.6 Junta Soldada	60
Figura 5.7: Simbología Junta Soldada	61
Figura 5.8 Plancha	62
Figura 5.9 Tubo	62
Figura 5.10 Estructuras tubulares	63
Figura 6.1: Instalaciones de la planta de ácido sulfúrico	66
Figura 6.2 Categoría de uniones	74
Figura 6.3 Cupon de soldadura	75
Figura 6.4: Probeta de tracción	76
Figura 6.5: Probeta de dobléz	77

	Pág
Figura 6.6 Pieza recién soldada y pieza pasivada	79
Figura 6.7 Control de calidad	80
Figura 6.8 Fabricación e hincamiento del pilote. Paradigma roto	81
Figura 6.9 Resumen de la construcción del muelle	83
Figura 6.10 Rollo de ER410Nimo 1.20mm x 15kg	85
Figura 6.11 Cangilón del rodete Peltón	86
Figura 6.12 Pre calentamiento	86
Figura 6.13 Se aprecian la maquina GMAW, el alimentador, y la antorcha.	87
Figura 6.14 Arco de transferencia Spray	88
Figura 6.15 Soldador con equipo de protección personal	89
Figura 6.16 Cangilón predeformado	89
Figura 6.17 Inicio en la base.	90
Figura 6.18 Cordones interiores	90
Figura 6.19: Medición de temperatura de interpase	91
Figura 6.20 Limpieza	91
Figura 6.21 Plantillas para rellenado	92
Figura 6.22 Inspección visual.	93
Figura 6.23 Balanceo y acabado superficial final de la rueda	94
Figura 6.24 Curva de tratamiento térmico final	94
Figura 6.25 Diagrama de B.A. Graville	97
Figura 6.26 Diagrama de Schaeffler	99
Figura 6.27 Piñón de acero 4140	101
Figura 6.28 Esquema de aplicación de capas sobre el metal base	102
Figura 6.29 Acabado superficial del piñon	102
Figura 6.30 Curva de tratamiento térmico	103
Figura 6.31 Determinación de conformidad de una variable de soldadura	104

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 4.1: Documentación AWS según el proceso de soldadura y tipo de material base.	38
Tabla 4.2: Tipo de Corriente y Revestimientos de los Electrodo Revestidos	39
Tabla 4.3: Identificación de los electrodos revestidos de acero inoxidable	40
Tabla 4.4: Dureza de materiales más usados.	44
Tabla 4.5: Clasificación de Electrodo de Tungsteno AWS	48
Tabla 6.1 Composición química y propiedades mecánicas del ASTM 240 Tipo AISI 304H	61
Tabla 6.2: Material de aporte recomendado para el respectivo material de acero inoxidable.	66
Tabla 6.3: Calculo del numero PREN del material base y los materiales de aporte	68
Tabla 6.4: Criterio de Aceptación	74
Tabla 6.5: Relación de END	80
Tabla 6.6: Resumen de juntas, procesos y soldadura utilizada en el proyecto	82
Tabla 6.7 Composición química y propiedades mecánicas del GX 5Cr Ni 13 4	84
Tabla 6.8: Parámetros de soldadura	88
Tabla 6.9: Composición química y propiedades mecánicas de aceros en estudio	97
Tabla 6.10: Materiales de aporte	98
Tabla 6.11: Valores de temperaturas de interfase	101

INDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 4.1: Identificación de electrodos revestidos para aceros al carbono y baja aleación	39
Cuadro 4.2: Identificación de alambres en proceso GMAW y varillas en proceso GTAW	47
Cuadro 4.3: Identificación de alambres tubulares de acero al carbono y baja aleación	49
Cuadro 4.4: Identificación de alambres tubulares inoxidables.	50
Cuadro 4.5: Identificación de alambres y flujos para arco sumergido	50
Cuadro 6.1: Procedimiento 1: Soldando con AWS E308H-15	69-70
Cuadro 6.2: Procedimiento 2: Soldando con AWS E347-16	71-72
Cuadro 6.3 Procedimiento con material de aporte E347-16	73
Cuadro 6.4 Resultados de laboratorio del Ensayo de tracción	76
Cuadro 6.5: Resultados conformes del ensayo de doblez del aporte E347-16	77
Cuadro 6.6: Resultados conformes del ensayo de doblez del aporte E308H	78
Cuadro 6.7: Resultados del análisis químico	78

INTRODUCCIÓN

A lo largo de los años en el Perú se han construido numerosas obras donde involucran la construcción de estructuras metálicas, las cuales son construidas en mayor número por procesos de soldadura. Actualmente en el Perú existen muchos proyectos para continuar mejorando nuestra infraestructura, donde se involucran diversos materiales y donde los ingenieros seguirán resolviendo desde el diseño la selección de los materiales de aporte y el cumplimiento de los estándares mundiales de construcción requeridos para el proyecto.

Se identificarán los principales procesos de soldadura usados en la industria peruana, y las normas que se deben cumplir. Dada la amplia variedad de materiales en la industria se tratará de manera general varias familias de materiales y se enfocará con mayor detalle el estudio de la soldadura para los aceros al carbono, aceros al carbono de baja aleación y aceros inoxidables.

CAPITULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1 Objetivo General:

Presentar una metodología para obtener una unión soldada de calidad.

1.2 Antecedentes:

Desde su fundación hace más de cincuenta años hasta la actualidad la empresa Soldex S.A., continua recibiendo llamadas de distintos sectores de la industria para dar soluciones a diversos tipos de uniones soldadas y así encontrar la mejor metodología a seguir y obtener una unión segura; reduciendo las consecuencias de una mala elección que pueden ir desde el aumento del costo por reparaciones innecesarias, a mortales cuando fallan estructuras de alto grado de responsabilidad.

1.3 Justificación:

En la actualidad se conocen varios procedimientos para materiales base conocidos, pero de manera general cuando el metal base no es conocido o se trata de materiales disimiles, es necesario encontrar los parámetros necesarios para la unión de los materiales base requeridos, para ello se ha establecido una metodología para encontrar el mejor procedimiento para la unión de materiales que se resume en cuatro pasos:

1. Identificación del Material Base.
2. Selección del Proceso de Soldadura.
3. Selección del Material de Aporte.
4. Técnica de Soldadura.



Figura 1.1 Identificación del Material



Figura 1.2 Selección del Proceso de Soldadura

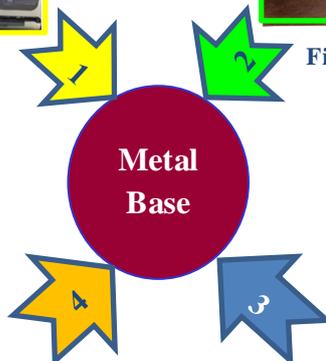


Figura 1.4 Técnica de Soldadura

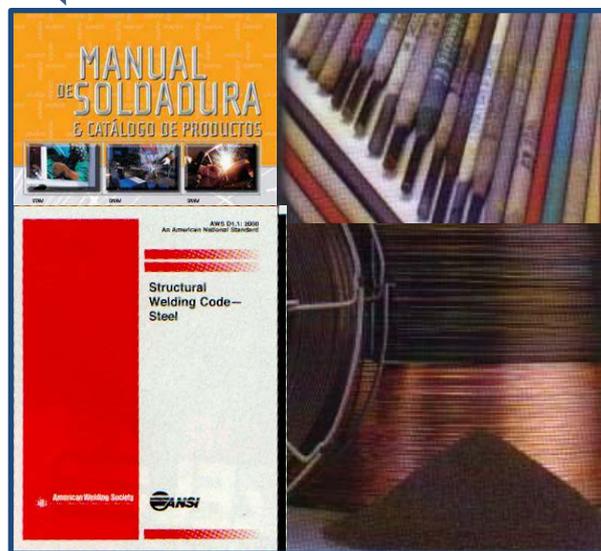


Figura 1.3 Selección del Material de Aporte

En los próximos capítulos se indicara en mayor detalle los pasos de la metodología propuesta para la unión de materiales.

CAPITULO II

IDENTIFICACION DEL MATERIAL BASE

Los diversos materiales se eligen según las propiedades mecánicas y el ambiente de trabajo requeridas para la aplicación industrial:

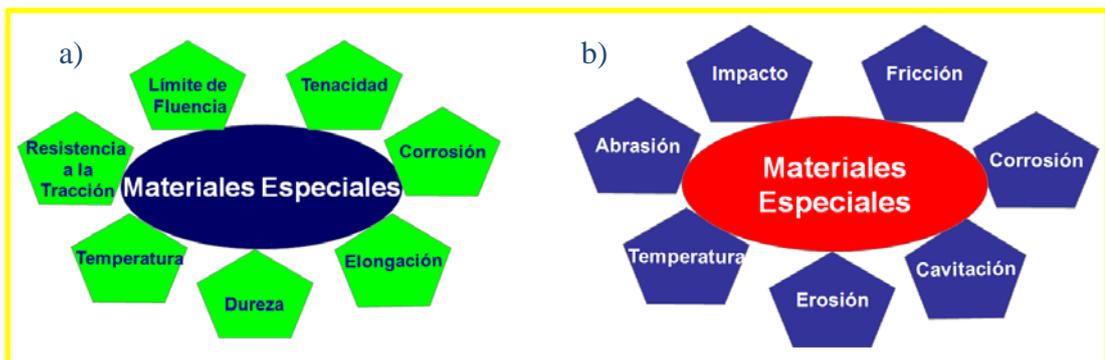


Figura 2.1 a). Propiedades Mecánicas b). Agentes de desgaste

La globalización y la reducción de costos operativos, demanda el empleo de materiales con características especiales. Los fabricantes de acero desarrollan productos acordes a los nuevos requerimientos de los usuarios. Materiales que tienen como finalidad incrementar la vida útil de las piezas.

Es importante entonces conocer la gama de Materiales Especiales que hay en el mercado para establecer el correcto procedimiento de soldadura a aplicar.

En algunos casos para la reparación ó unión mediante soldadura podemos recurrir al catalogo del fabricante, para la identificación del material base: ferroso o no ferroso, entre los más usuales tenemos:

Ferrosos:

- **Aceros al carbono:** A36, St-52, A633, A355, etc.
- **Aceros de baja aleación:** HSLA, A514, T1, HB 400, etc.
- **Aceros de alta aleación:** Ac. Inoxidables, Ac. Mn, etc.
- **Fierros fundidos:** FeFdo. Blanco, Fe Fdo. Nodular.

No Ferrosos:

- **Aluminio y aleaciones:** AA5652, AA5086.
- **Níquel y aleaciones:** Monel 400, Inconel 600, Hastelloy X.
- **Cobre y aleaciones:** Bronces, Cupro aluminios, Cupro níquel con Al y Mg.
- **Titanio y aleaciones:** Aleaciones a, aleaciones b, Ti 5 Al-2,5 Sn.
- **Cobalto y aleaciones:** Stellite.

En caso no se pueda identificar de manera directa el material base, se podrá identificar mediante los métodos:

- **Composición Química:** El tiempo en los grandes proyectos es vital, y en la actualidad existen equipos (Figura 2.2) de análisis químico que permiten reducir tiempos mediante el análisis de la viruta del material.

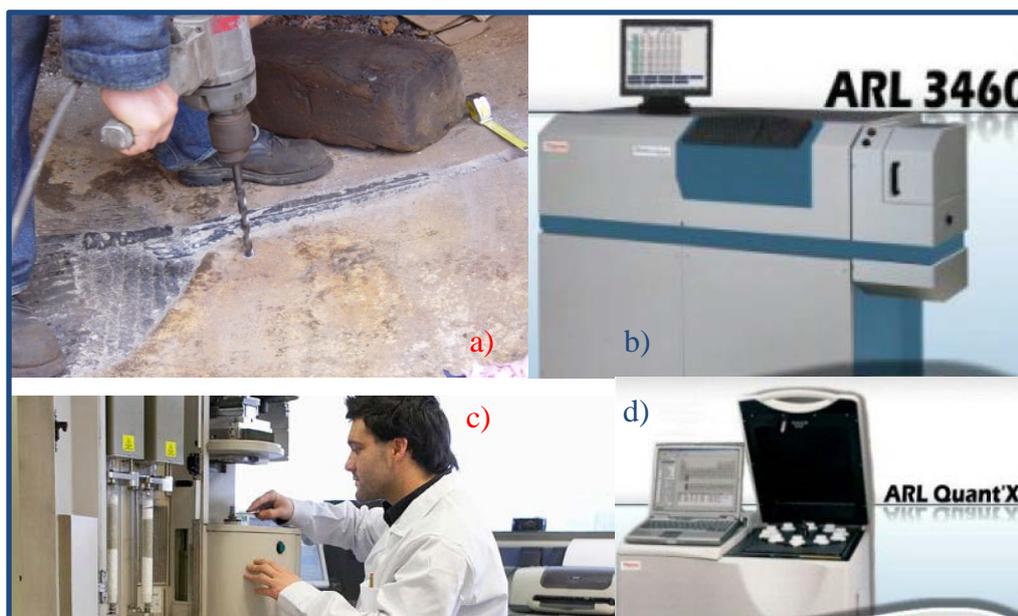


Figura 2.2 a). Extracción de viruta.

b). y c). Espectrómetros de Chispa por emisión Óptica.

d). Espectrómetros de Fluorescencia de Rayos X.

- **Características Mecánicas:** Mediante ensayos mecánicos, de tracción, impacto y dureza.

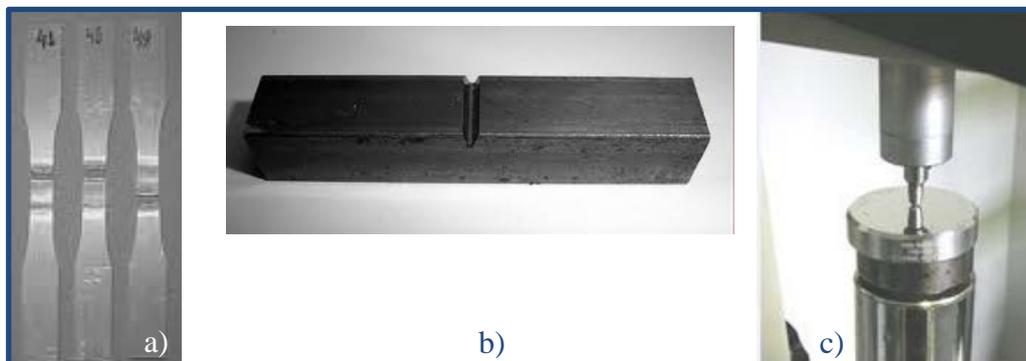


Figura 2.3 a). Probeta del ensayo de tracción b). Probeta del ensayo Impacto
c). Ensayo de dureza

- **Tratamiento Térmico:** Se identifica mediante la metalografía.



Figura 2.4 a) y b) Identificación mediante metalografía de las fases presentes y de los tratamientos térmicos que ha sufrido el metal base.

- **Curvas de Revenido:** Para identificar el tipo de tratamiento y microestructura presente en el material base.

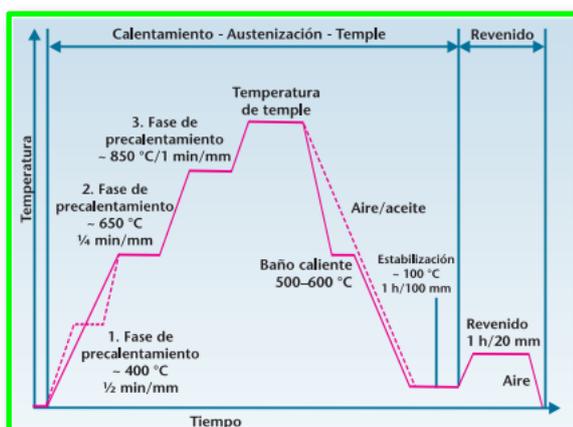


Figura 2.5 Curva de revenido

Dimensiones y Formas:

Las formas de los materiales base a soldar pueden ser variadas: Planchas, Tuberías, Barras, y es importante conocer los espesores para determinar la cantidad de soldadura a emplear según el proceso que se elija. Hay normas estándares de fabricación para tuberías de aceros al carbono y aceros inoxidable como por ejemplo: ASME/ANSI B36.10/19, donde se especifican las dimensiones de tubería, diámetros interiores y exteriores, schedules (40, 80, etc), momento de inercia, área transversal.



Figura 2.6 Dimensiones y formas

El material base puede unirse en diferentes posiciones según lo que demande la aplicación, así podemos tener las posiciones:

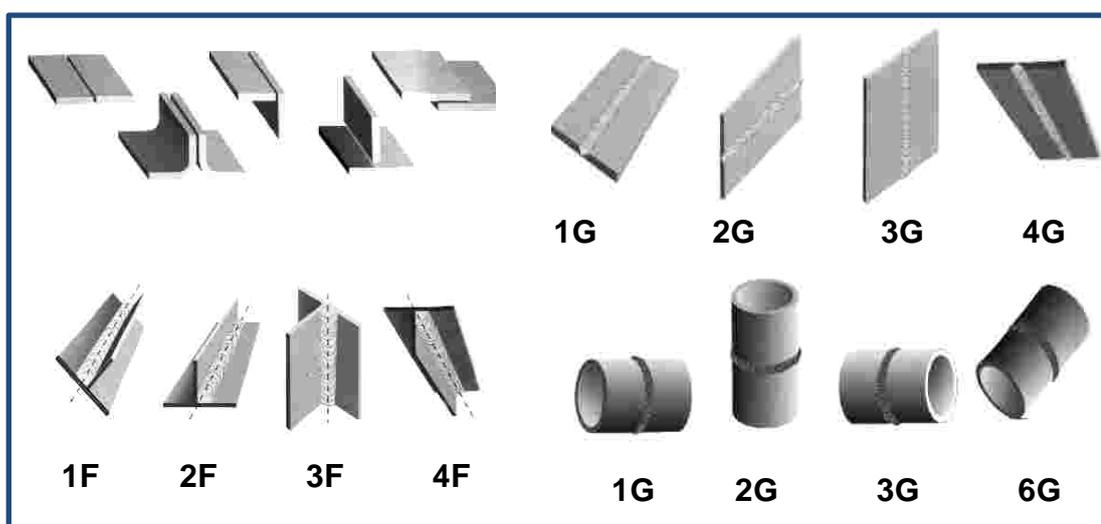


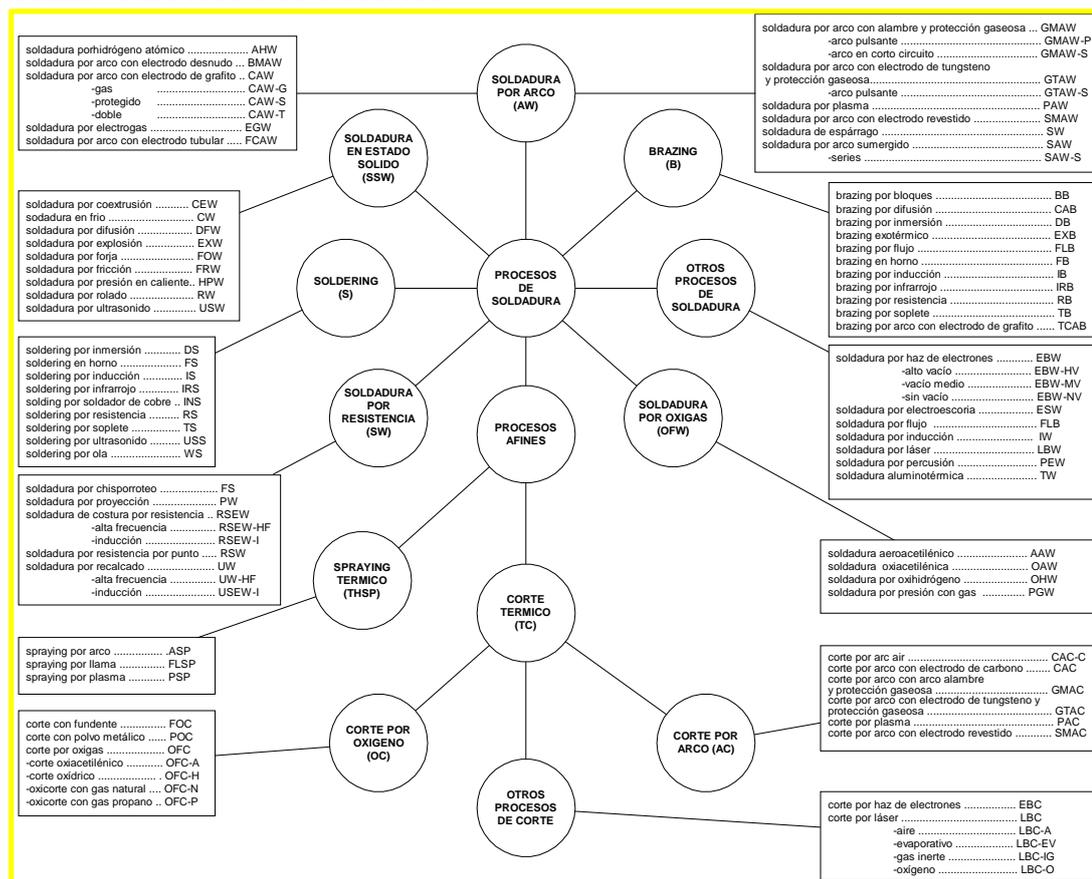
Figura 2.7 Posiciones de Soldadura

CAPITULO III

SELECCION DEL PROCESO DE SOLDADURA

A nivel mundial existen varios procesos de soldadura, que se resumen:

Cuadro 3.1 Proceso de soldadura



La selección de un proceso u otro depende de la aplicación, la capacidad de inversión en el proyecto, y la productividad que se requiere. Para ello es necesario conocer las ventajas y desventajas de los procesos, las cuales a continuación se detallarán para los principales procesos de soldadura usados en la industria peruana:

3.1. PROCESO SMAW (SHIELDED METAL ARC WELDING):

Es uno de los procesos de mayor utilización, especialmente en soldaduras de producción cortas, trabajos de mantenimiento y reparación así como en construcciones en campo. La mayor parte de las aplicaciones con este proceso se dan con espesores comprendidos entre 3 y 38mm.

El proceso es aplicable a aceros al carbono, aceros aleados, inoxidable, fundiciones y metales no féreos como aluminio, cobre, níquel y sus aleaciones. Los sectores de mayor aplicación, son la construcción naval, de maquinas, estructuras, tanques y esferas de almacenamiento, puentes, recipientes a presión y calderas, refinerías de petróleo, oleoductos y gasoductos y en cualquier otro tipo de trabajo similar.

Se puede emplear en combinación con otros procesos de soldeo, realizando bien la pasada de raíz o las de relleno, en tuberías se suele emplear con combinación con el proceso GTAW. La raíz se realiza con GTAW completándose la unión mediante soldeo SMAW.

A pesar de las desventajas que tiene el proceso como baja productividad, cuidado especial de los electrodos antes de su uso y el volumen de gases generados durante el proceso, lo cual ha llevado en el Perú a que grandes metalmecánicas hayan remplazado progresivamente este proceso por otros de mayor productividad como GMAW, FCAW y SAW. Aun mantienen su gran uso en la industria por el bajo costo de operación, equipamiento necesario y simple; por su gran versatilidad, para el apuntalado, soldadura de tuberías y posiciones forzadas, y la posibilidad de uso en locales de difícil acceso sujetos a vientos. Ventajas que no se consiguen con los procesos automáticos.

A continuación se visualiza un esquema del proceso y el equipo que usa que en esta etapa del proceso de selección también se debe elegir, según el ciclo de trabajo de la maquina que se busque ó que bien puede ser portátil para trabajos en altura ó bien motosoldadoras para trabajos en donde no hay fluido eléctrico.

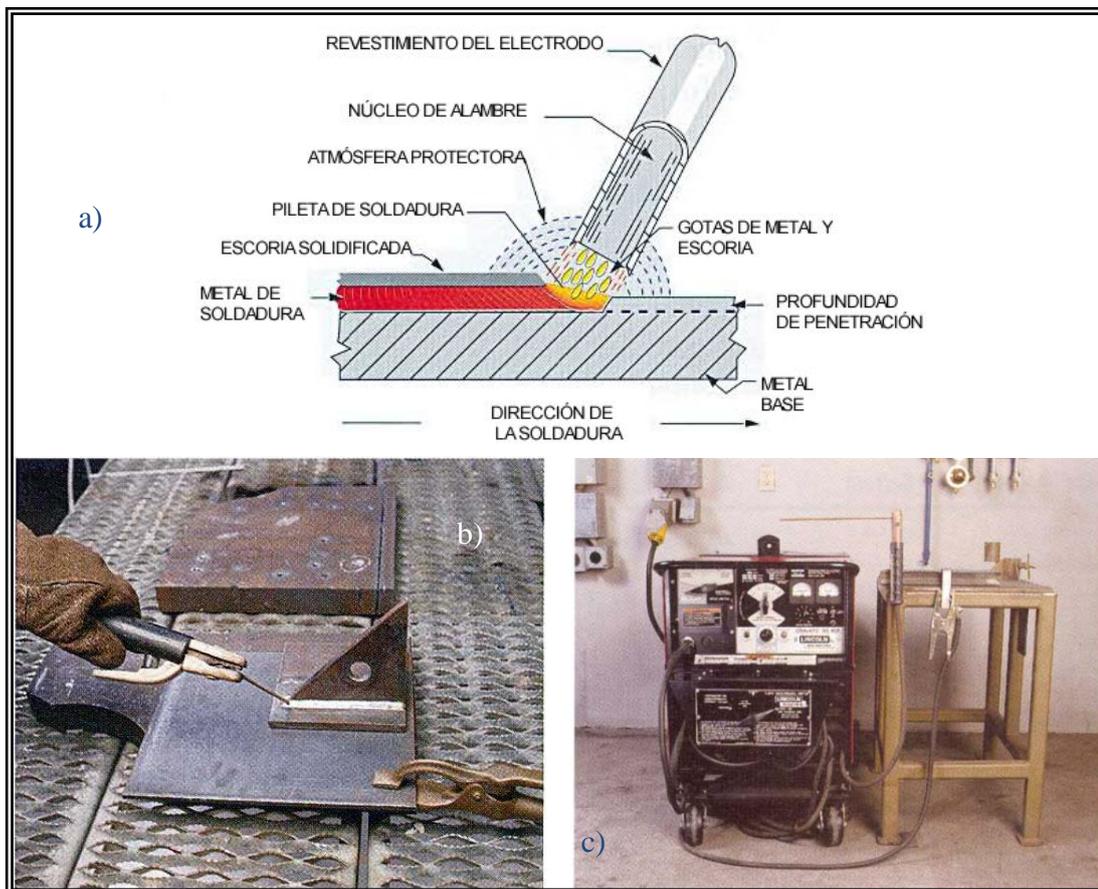


Figura 3.1: a), b) Soldadura por arco con electrodo revestido. c) Equipo SMAW

3.2 PROCESO GMAW (GAS METAL ARC WELDING):

La principal ventaja del proceso GMAW sobre el SMAW con quien más compite, es la mayor velocidad dada principalmente por:

- Alimentación continua del alambre, reduciendo el tiempo de cambio de electrodo.
- Ausencia de escoria, que no hay que eliminar entre pasadas, que trae un beneficio adicional que se relaciona con la visibilidad del proceso, el soldador puede ver mejor la acción del arco y de la pileta líquida para mejorar el control.
- Mayor velocidad de deposición, por utilizar mayores densidades de corriente.
- El uso de esta técnica produce depósitos con bajo contenido en hidrógeno. La capacidad para producir soldaduras con buena penetración permite la construcción con soldaduras en ángulo menores. Además de soldar correctamente espesores delgados, si bien en este caso puede ser superada por el proceso GTAW.

Las desventajas, en comparación con el proceso SMAW son:

- Requerimiento de un equipo más complejo y por ello más caro y difícil de trasladar. La pistola debe estar cerca del equipo con lo cual es difícil soldar en zonas poco accesibles, incrementando la posibilidad de problemas mecánicos que causen problemas de calidad. Cuestiones como guías de pistolas y conectores de tubos desgastados pueden alterar las características eléctricas al punto de producir soldaduras defectuosas.
- Al no haber escoria, la soldadura se enfría más rápidamente, lo cual puede producir agrietamiento en ciertos aceros y además debido a que la escoria es la principal forma en que el metal fundido es protegido y limpiado durante la soldadura. Si el metal base está excesivamente contaminado, el gas de protección sólo puede no ser suficiente para prevenir la aparición de porosidad.
- No se puede soldar en presencia de corrientes de aire que puedan arrastrar al gas de protección.

3.2.2 Equipo para Soldadura GMAW.

- La fuente de potencia usada en GMAW es muy distinta al de SMAW. En lugar de una fuente de corriente constante, en GMAW se usa una fuente del tipo de las conocidas como de Tensión Constante, o Potencial Constante. Esto es, la soldadura se lleva a cabo usando un valor preseteado de tensión sobre un rango de corrientes de soldadura.
- La soldadura con GMAW normalmente se realiza con corriente continua, electrodo positivo (DCEP). Cuando este tipo de fuente de potencia se combina con un alimentador de alambre, el resultado es un proceso de soldadura que puede ser tanto semiautomático, mecanizado, o totalmente automatizado.
- Un equipo típico incluye una fuente de potencia, alimentador de alambre, fuente de gas, y pistola de soldar fijada al alimentador por un cable flexible a través del cual pasan el gas y el alambre. En el alimentador el juego de rodillos.

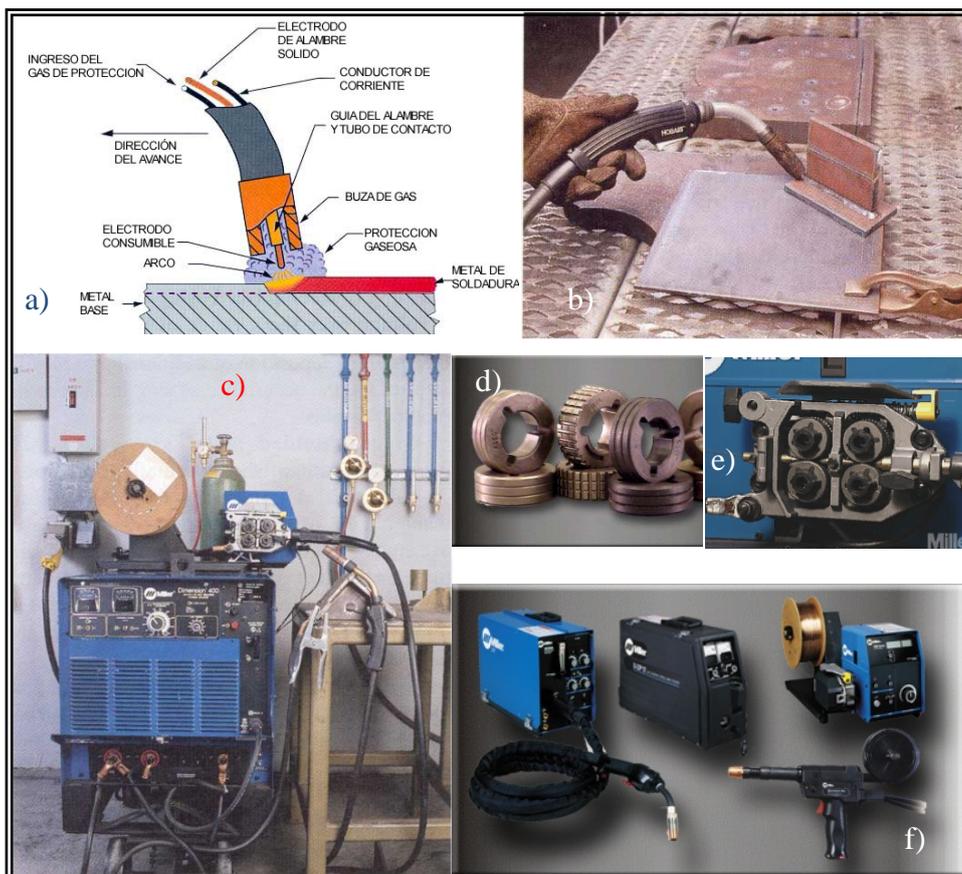


Figura 3.2 a), b) Proceso GMAW, c) Equipo GMAW, d), e) Partes de alimentador (rodillos), f) Maquinas portátiles y pistola Spoolgun para aplicaciones de mayor productividad y precisión por ejemplo aluminio.

El verdadero problema de GMAW es la fusión incompleta, especialmente cuando se usa transferencia en corto circuito, debido en parte al hecho de ser un proceso de arco abierto, al no usar fundente. Sin esta capa de protección del arco, el incremento de la intensidad del calor puede llevar al soldador a creer que hay una tremenda cantidad de calor en el metal base. Esta sensación puede ser errónea, y el soldador debe estar al tanto de esta condición y asegurar que el arco está siendo dirigido para garantizar la fusión del metal base.

3.3 PROCESO FCAW (FLUX CORED ARC WELDING):

En FCAW, puede haber o no protección gaseosa, dependiendo en que tipo de electrodo se use. Algunos electrodos son designados como proveyendo toda la protección necesaria del fundente interno, y se los conoce como “auto protegidos”. Otros electrodos requieren protección adicional de un gas de protección adicional.

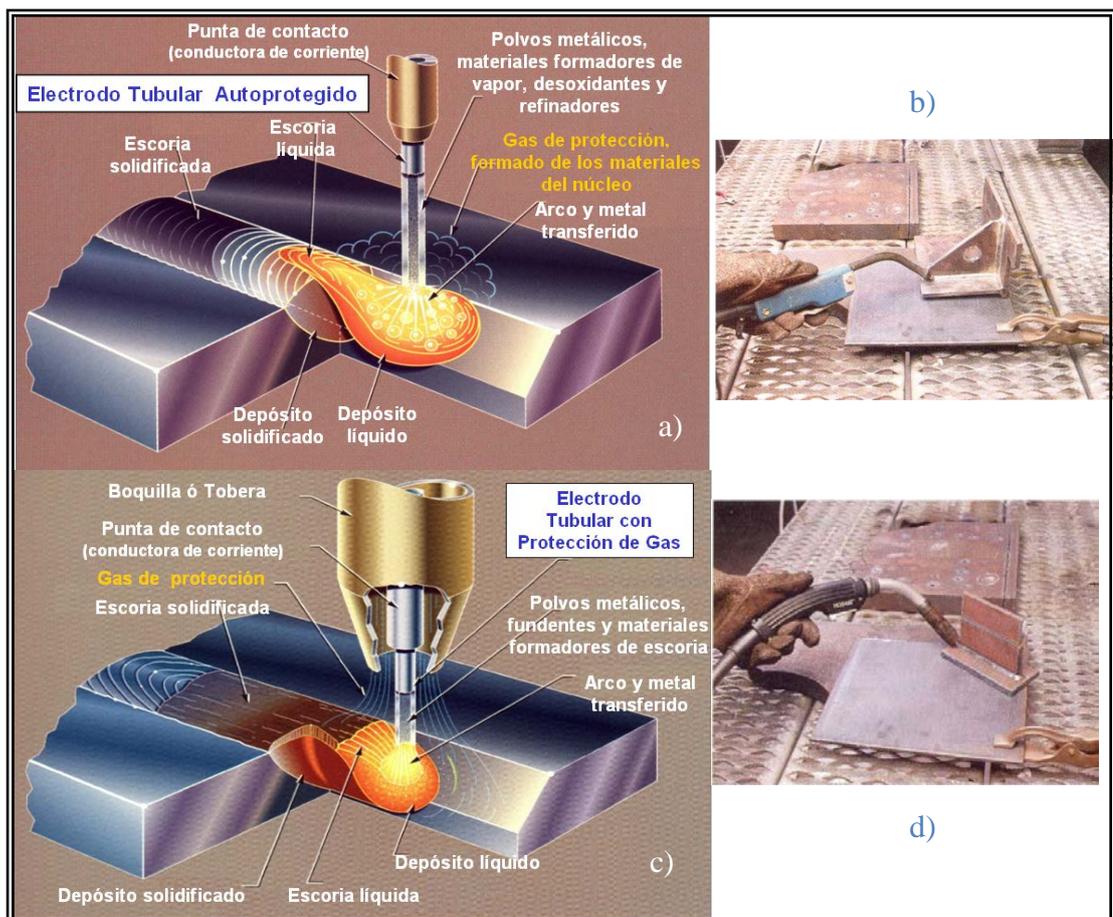


Figura 3.3 Proceso FCAW, a), b) FCAW, con alambre tubular autoprotegido, c), d) FCAW, con alambre tubular que requiere protección gaseosa.

3.3.1 Equipo de Soldadura con Alambre Tubular:

El equipo utilizado para FCAW es esencialmente idéntico a aquel de GMAW, como se muestra en la Figura 3.4

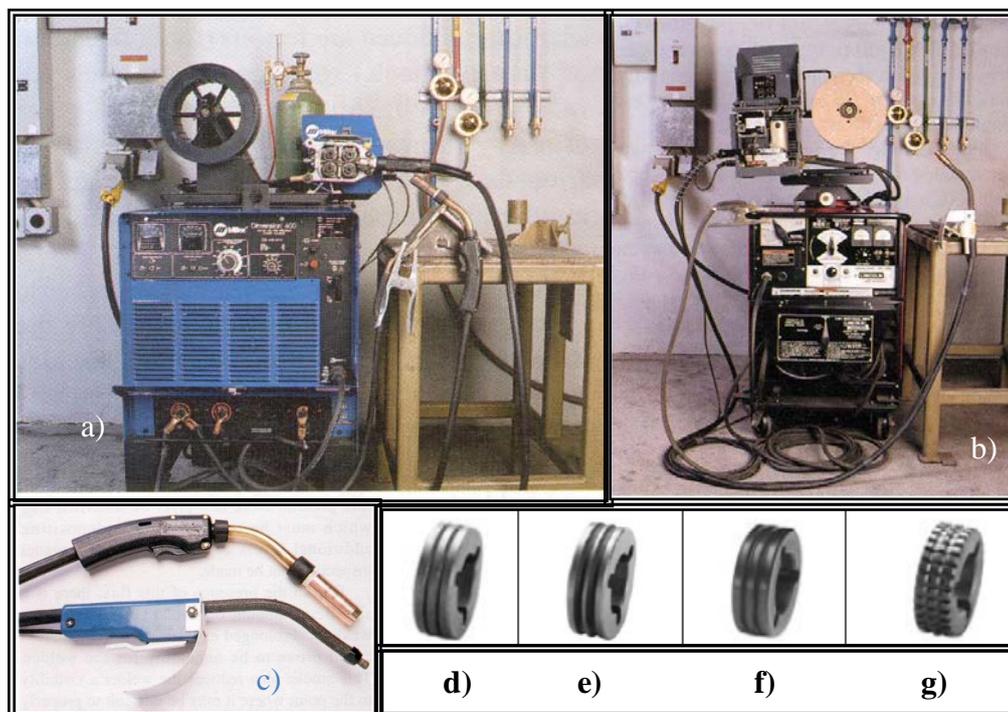


Figura 3.4: Maquinas FCAW. a) Para Alambre Tubular con Protección Gaseosa, b) Para alambre tubular autoprotegido, c) En la parte superior: Pistola para alambre tubular con protección gaseosa, y en la parte inferior: Pistola para alambre tubular autoprotegido.

Tipos de rodillos: d). Ranura en “V” para alambre duro, e) Ranura en “U” para alambre tubular blando, f) Moleteado en “V” para alambre tubular duro, g) Dentado en “U” para alambre tubular blando.

Algunas diferencias pueden ser pistolas con capacidad para corrientes mayores y fuentes de potencia mayores, la ausencia del equipo de gas para electrodos autoprotegidos, rollos de alimentación de alambre bobinado. Como GMAW, FCAW usa un suministro de energía de tensión constante y corriente continua. Dependiendo del tipo de electrodo, la operación puede ser, DCEP (1, 2, 3, 4, 5, 6 y 8) o DCEN (7).

El proceso FCAW está ganando rápidamente aceptación como una alternativa de proceso de soldadura en algunas industrias. Sus relativamente buenos resultados en superficies contaminadas, y sus velocidades de deposición incrementadas, ayudaron a FCAW a reemplazar a SMAW y a GMAW en muchas aplicaciones. El proceso es usado en muchas industrias donde los materiales predominantes son ferrosos. Puede ser usado con resultados satisfactorios tanto en aplicaciones de taller como de campo. A pesar de que la mayor parte de los alambres tubulares producidos son ferrosos (tanto para aceros al carbono como inoxidable), se consiguen también algunos no ferrosos. Algunos del tipo de los de acero inoxidable usan realmente una vaina de acero al carbono que rodea el fundente interno que contiene los elementos aleantes granulares tales como cromo y níquel.

Las Ventajas del proceso FCAW por lo cual ganó una gran aceptación debido a la gran cantidad de ventajas que ofrece. Probablemente la ventaja más significativa es que provee una alta productividad en términos de la cantidad de metal de soldadura que puede ser depositado en un período de tiempo dado. Es de las más altas para un proceso manual. Esto se ve favorecido por el hecho que el electrodo viene en rollos continuos lo cual incrementa el “tiempo de arco”, como con soldadura por arco con alambre y protección gaseosa. El proceso se caracteriza también por un arco agresivo, de penetración profunda, el cual tiende a reducir la posibilidad de discontinuidades del tipo de los problemas de fusión. Debido a que es usado normalmente como un proceso semiautomático, la habilidad requerida para la operación es algo menor que en el caso de ser un proceso manual. Con la presencia de fundente, tanto asistida por una protección gaseosa o no, FCAW es capaz de tolerar un mayor grado de contaminación del metal base que en el caso de GMAW. Por esta misma razón, FCAW se ubica bien para situaciones de campo donde la pérdida del gas de protección debido a los vientos afectaría negativamente la calidad de GMAW.

Las desventajas de FCAW, las cuales el inspector tiene que conocer. Primero, debido a que hay presente un fundente, hay una capa de escoria solidificada que se debe

quitar previo a depositar pasadas de soldadura adicionales o de que se pueda realizar una inspección visual.

Debido a la presencia de este fundente, durante la soldadura se genera una cantidad significativa de humo. Una exposición prolongada en áreas no ventiladas puede provocar un efecto nocivo a la salud del soldador. Este humo también reduce la visibilidad al punto donde puede hacer difícil manipular apropiadamente el arco en la junta. A pesar de que se dispone de sistemas extractores de humo, tienden a aumentar el tamaño de la pistola, que aumenta el peso y disminuye la visibilidad. También puede perturbar la protección si se está usando un gas protector.

A pesar de que FCAW se considera como un proceso que genera humo, no es tan malo como es SMAW, en función de la cantidad de humo generado por la cantidad de metal de soldadura depositado. El equipo requerido para FCAW es más complejo que el correspondiente a SMAW, entonces el costo inicial y la posibilidad de problemas de maquinaria pueden limitar su aceptabilidad para algunas situaciones.

Como con cualquier proceso, FCAW tiene algunos problemas inherentes. El primero tiene que ver con el fundente. Debido a que no está presente, existe la posibilidad que en la soldadura final, quede atrapada escoria solidificada. Esto puede deberse tanto a una limpieza inadecuada entre pasadas o técnica inapropiada.

Con FCAW, es crítico que la velocidad de avance sea suficientemente grande para mantener el límite de avance, de la pileta líquida. Cuando la velocidad de avance es suficientemente lenta como para permitir que el arco vaya hacia el medio o a la parte de atrás de la pileta líquida, la escoria fundida puede adelantarse en la pileta y quedar atrapada. Otro problema inherente involucra el aparato de alimentación de alambre. Como en el caso de GMAW, la falta de mantenimiento puede afectar la calidad de la soldadura.

3.4 PROCESO GTAW (GAS TUNGSTEN ARC WELDING):

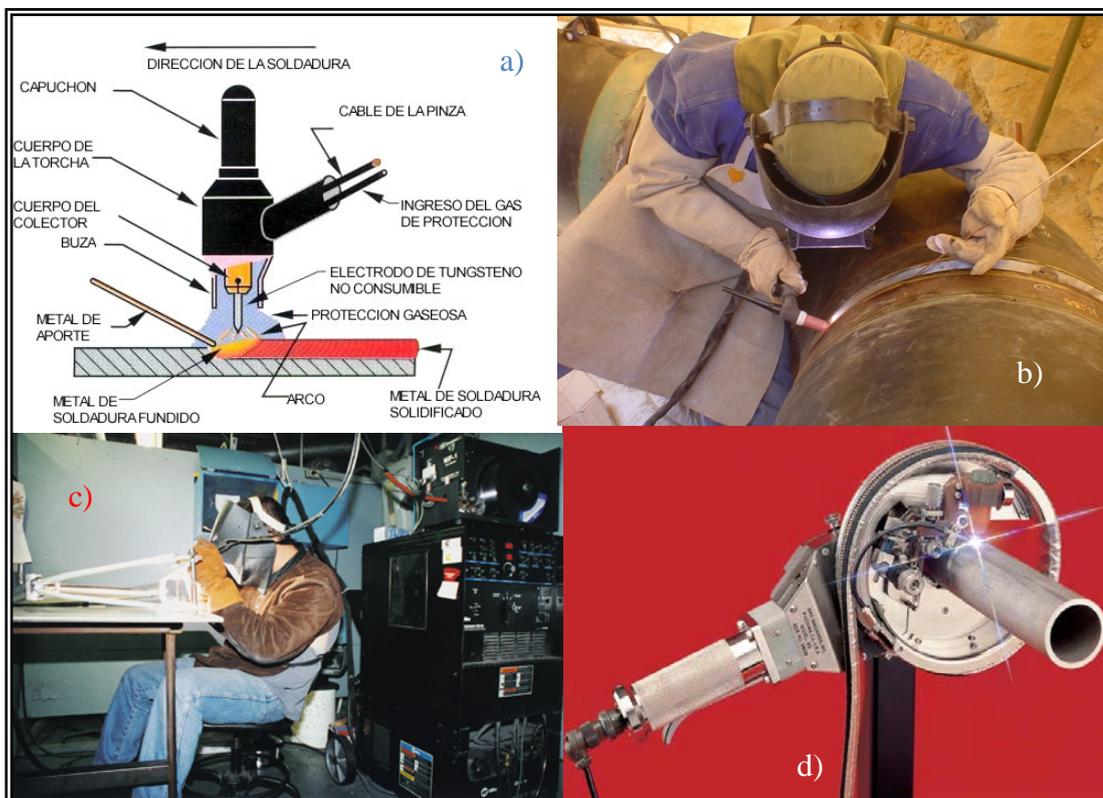


Figura 3.5 Proceso GTAW, a) Elementos básicos del proceso, b) GTAW manual, c) GTAW semiautomático, d) GTAW automático orbital.

Hay numerosas aplicaciones de GTAW en muchas industrias. Puede ser operado con el pie, o controlado por algún dispositivo montado en la misma torcha. Este es capaz de soldar virtualmente todos los materiales, porque el electrodo no se funde durante la operación de soldadura. Su capacidad de soldar con corrientes extremadamente bajas, hace del proceso de soldadura por arco con electrodo de tungsteno y protección gaseosa adecuado para el uso con los materiales más delgados (hasta 0.005 in., o 0,0127 mm). Su operación típicamente limpia y controlable lo hace la opción perfecta para aplicaciones extremadamente críticas tales como aquellas encontradas en la industria aeroespacial, alimentos, procesamiento de medicinas, petroquímicas, cañerías de presión.

La principal ventaja de GTAW se basa en el hecho que pueden producir soldaduras de excelente calidad y excelente apariencia visual. También, debido a que no se usa

fundente, el proceso es muy limpio y no hay que remover escoria luego de la soldadura. Como se mencionó antes, pueden soldarse secciones de muy bajo espesor. Debido a la naturaleza de su operación, es adecuado para soldar la mayoría de los metales, muchos de los cuales no son fácilmente soldables usando otros procesos de soldadura. Si lo permite el diseño de la junta, se pueden soldar los materiales sin uso de metal de aporte adicional.

Cuando se requiere, existen numerosos tipos de metal de aporte en forma de alambre para un amplio rango de aleaciones metálicas. En el caso donde no se encuentre alambre disponible comercialmente para una aleación metálica particular, es posible producir un metal de aporte adecuado simplemente cortando una pieza idéntica al metal base para producir una pieza delgada y puede ser manipulado dentro de la zona de soldadura como si fuera un alambre.

La principal desventaja de GTAW, es la lentitud, está entre los procesos de soldadura más lentos. Produce un depósito de soldadura limpio, pero también se caracteriza por tener baja tolerancia a la contaminación. Por esto, los metales de aporte y base, deben estar extremadamente limpios previo a la soldadura. Para GTAW manual se requiere alto nivel de habilidad; el soldador debe coordinar el arco con una mano mientras que alimenta el metal de aporte con la otra. GTAW se selecciona normalmente en situaciones donde la necesidad de muy alta calidad garantiza el costo adicional de superar dichas limitaciones.

Uno de los problemas inherentes asociados a GTAW se relaciona a la incapacidad de tolerar contaminación. Si se encuentra contaminación o humedad, tanto del metal base, metal de aporte o gas de protección, el resultado puede ser porosidad en la soldadura depositada. Cuando se nota porosidad, es signo que el proceso está fuera de control y se necesitan medidas preventivas. Deben hacerse verificaciones para determinar la fuente de la contaminación para poder eliminarla. Otro problema inherente que está totalmente confinado al proceso de GTAW es el de las inclusiones de tungsteno. Como el nombre lo implica, estas discontinuidades ocurren cuando partes del electrodo de tungsteno se incluyen en el depósito de soldadura.

Razones para las Inclusiones de Tungsteno:

- Contacto de metal de aporte con la punta caliente del electrodo;
- Contaminación de la punta del electrodo con salpicaduras;
- La corriente que excede el límite para un dado diámetro o tipo de electrodo;
- Extensión del electrodo más allá de las distancias normales de la boquilla, resultando en un sobrecalentamiento del electrodo;
- Ajuste inadecuado de la boquilla;
- Velocidades inadecuadas de flujo de gas de protección o excesivas ráfagas de viento que hacen oxidar la punta del electrodo;
- Defectos tales como rajaduras o fisuras en el electrodo;
- Usando gases de protección inadecuados; y
- Amolado inapropiado de la punta.

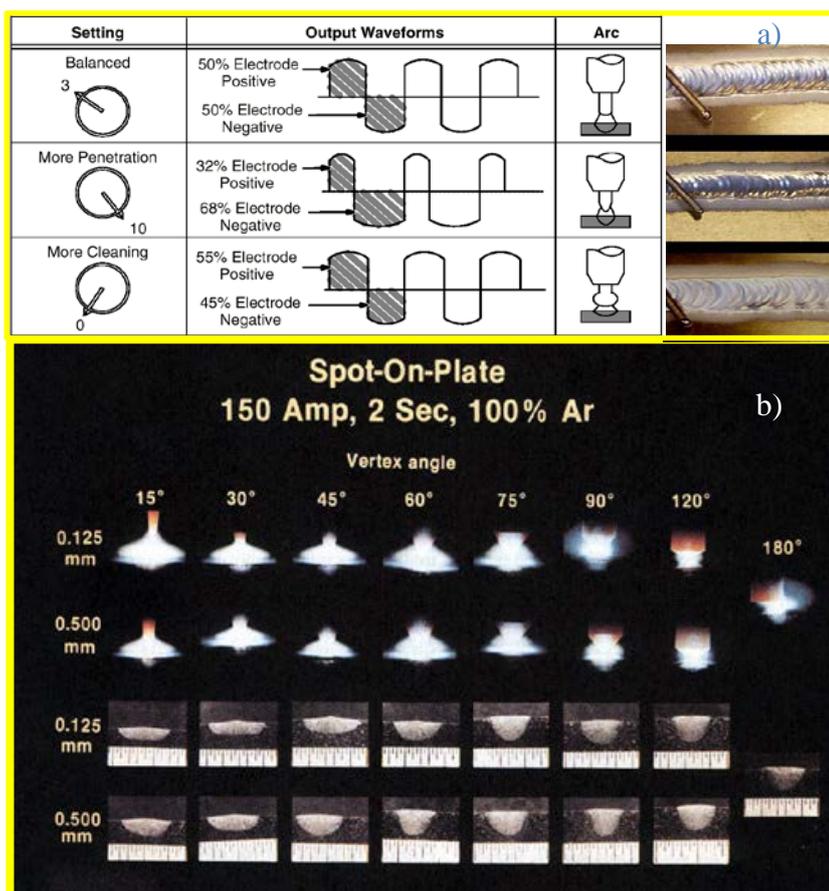


Figura 3.6 a) Efecto de la forma de onda cuadrada balanceada AC en el acabado. b) Formas de la punta y su efecto en: La penetración del cordón, el perfil del cordón, y las dimensiones generales del cordón.

3.4.2. Equipo para Soldadura con el Proceso GTAW.

Tiene como elemento principal una fuente de potencia como la utilizada para SMAW, esto es, del tipo de corriente constante. Debido a que hay un gas presente, ahora es muy necesario tener un aparato para su control y transmisión. La Figura 3.6 muestra una configuración típica de soldadura por arco con electrodo de tungsteno y protección gaseosa.

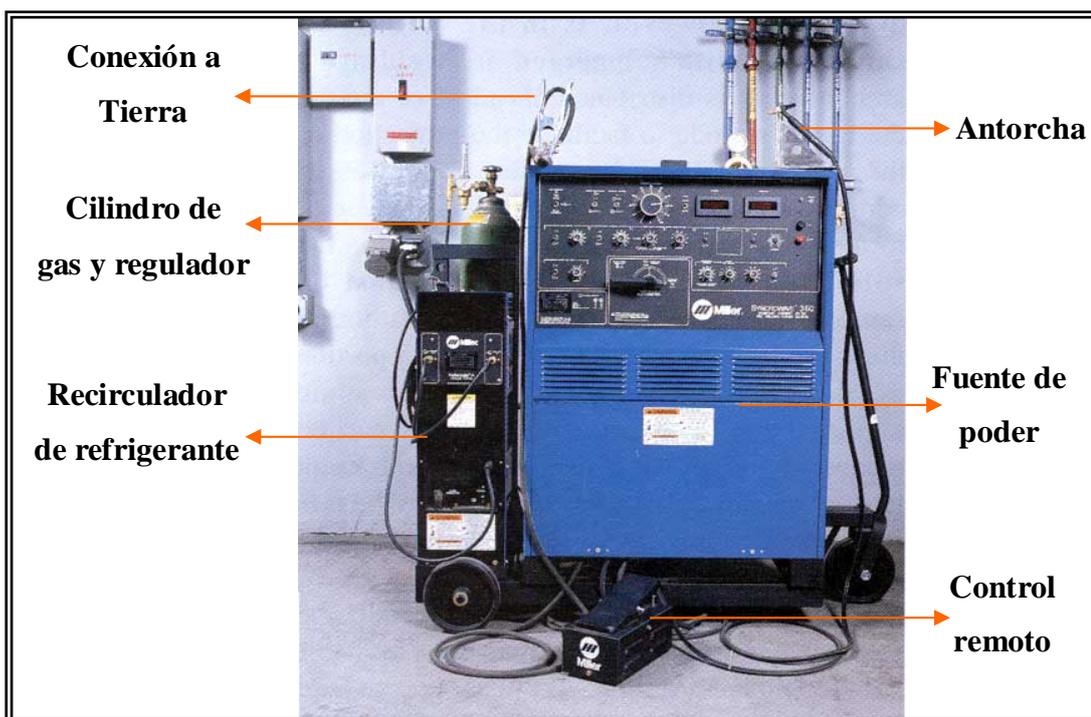


Figura 3.7 Elementos del equipo GTAW.

Una característica agregada a este sistema de soldadura, que no se muestra, es un generador de alta frecuencia que ayuda a la iniciación del arco de soldadura. En orden a alterar el calentamiento durante la operación de soldadura, también se le puede fijar un sistema de control de corriente remoto. Puede ser operado mediante el pie, o controlado por algún dispositivo fijado en la misma torcha. Esto es particularmente útil para soldar poco espesor o juntas en tubos con abertura de raíz, donde se necesita un control instantáneo.

3.5 PROCESO SAW (SUBMERGED ARC WELDING).

Este proceso se elige cuando se busca una alta productividad, es decir una alta deposición de metal de soldadura. La Figura 3.8 muestra como se produce una soldadura usando dicho proceso.

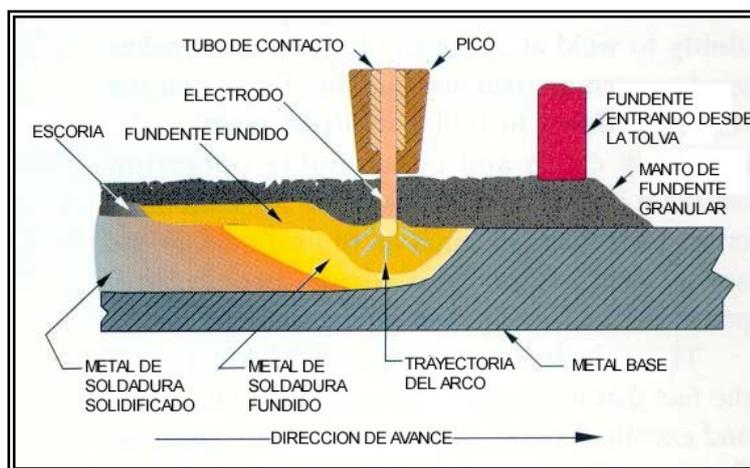


Figura 3.8 Proceso SAW, elementos básicos

La gran ventaja del proceso SAW es su alta relación de deposición. Normalmente puede depositar metal de soldadura más eficientemente que cualquier otro proceso común. El proceso SAW tiene gran atractivo para el operador, porque debido a la falta de arco visible permite al operador controlar la soldadura sin la necesidad de lentes filtrantes y otra ropa de protección pesada. Además genera menos humos que algunos de los otros procesos. Y posee una gran capacidad de penetración que lo hace deseable para muchas aplicaciones.

La mayor desventaja del Proceso SAW es que sólo se puede realizar en una posición donde el fundente pueda mantenerse en la junta. Al soldar en una posición distinta de la bajo mano normalmente usada, se requiere algún dispositivo para mantener el fundente en su lugar para que se pueda realizar el trabajo. Y, como en otros procesos automatizados, puede existir la necesidad de equipamiento para posicionar y presentar. Siendo necesario también remover la capa de escoria solidificada de la soldadura terminada.

Si los parámetros de soldadura son inapropiados, los contornos de la soldadura serán tales que ese trabajo de remoción de la escoria sea aún más dificultoso. La última desventaja se relaciona con el fundente que cubre el arco durante la soldadura. Ya que si bien protege al soldador de los efectos del arco, también impide al soldador ver exactamente donde se posiciona el arco con respecto a la junta. Con un ajuste automatizado, es aconsejable realizar la longitud total de la junta sin una verificación de la alineación del fundente o del arco. Si el arco no es dirigido adecuadamente, puede haber fusión incompleta.

Hay algunos problemas inherentes a la SAW. El primero tiene que ver con el fundente granular. Igual que los electrodos de bajo hidrógeno para SMAW, es necesario proteger el fundente de soldadura por arco sumergido de la humedad. Puede ser necesario almacenar el fundente en contenedores calentados antes de su uso. Si el fundente se humedece, puede aparecer porosidad y fisuración en frío.

Otro problema característico de SAW es la fisuración por solidificación. Esto ocurre cuando las condiciones de soldadura proveen un cordón de soldadura que tiene una relación ancho profundidad extrema. Esto es si el ancho del cordón es mucho mayor que su profundidad o viceversa, puede aparecer una fisuración por contracciones en la línea de centros durante la solidificación.

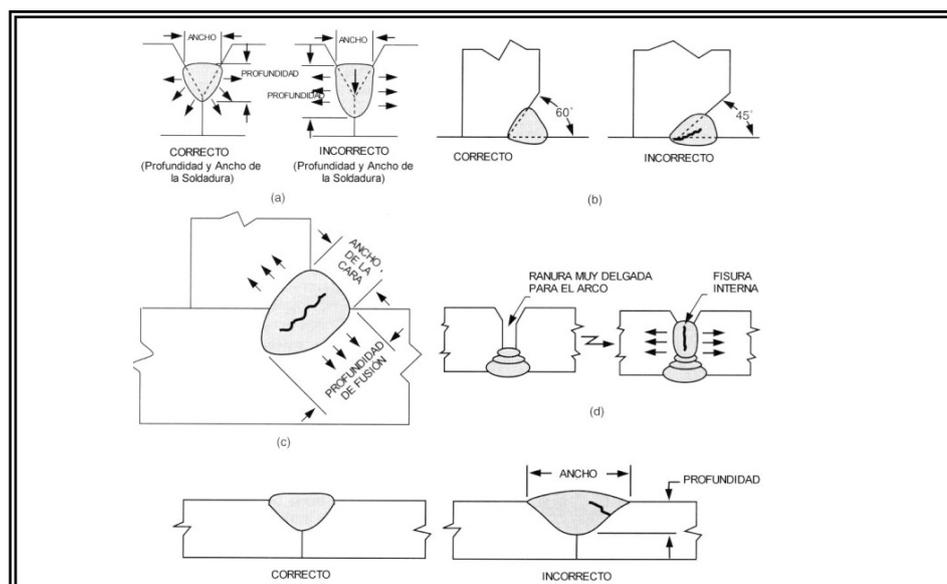


Figura 3.9 Fisura de Solidificación debido al Perfil de la Soldadura

3.5.2 Equipo para Soldadura SAW:

El equipo usado para soldadura por arco sumergido consiste en distintos componentes, como se muestra en la Figura 3.10. Debido a que este proceso puede utilizarse totalmente mecanizado o método semiautomático, el equipo usado para cada uno es ligeramente diferente. En cada caso, sin embargo, se requiere una fuente de potencia. A pesar que la mayor parte de la soldadura por arco sumergido se realiza con una fuente de potencia de tensión constante, hay algunas aplicaciones donde se prefiere una de tipo de corriente constante. Como en el caso de la soldadura por arco con alambre tubular, un alimentador de alambre fuerza al alambre a través del cable guía hasta la torcha de soldadura.



Figura 3.10 Equipo de Arco Sumergido

En los sistemas mecánicos se debe mover el fundente a la zona de soldadura. El fundente generalmente se ubica en una tolva arriba del cabezal de soldadura y se alimenta por gravedad, de manera que se distribuye tanto ligeramente adelante del arco o alrededor del arco desde un pico que rodea la punta de contacto. En el caso de soldadura por arco sumergido semiautomática, se fuerza al fundente dentro de la pistola usando aire comprimido que ‘fluidiza’ el fundente granular, haciendo que fluya con facilidad, o hay una tolva conectada directamente a la empuñadura de la pistola.

Otra variante del equipo es la posibilidad de corriente alterna o continua de cualquier polaridad. El tipo de corriente de soldadura afectará tanto a la penetración como al

contorno del cordón de soldadura. Para algunas aplicaciones, pueden usarse electrodos múltiples. Los electrodos pueden energizarse por una sola fuente de potencia, o pueden ser necesarias varias fuentes de potencia. El uso de electrodos múltiples provee aún mayor versatilidad al proceso.

El proceso de soldadura por arco sumergido se encontró aceptable en muchas industrias, y se puede realizar en muchos metales. Debido a la alta relación de deposición, se mostró muy efectivo para recubrimiento o revestimiento de superficie del material. En situaciones donde la superficie necesita mejorar la resistencia a la corrosión o al desgaste, es más económico cubrir un metal base susceptible con una capa de soldadura resistente. Si se puede automatizar esta operación, la soldadura por arco sumergido es una posibilidad excelente.

3.6 PROCESO OAW:

Es el proceso de soldadura oxiacetilénica es el más sencillo usado para aplicaciones con bajo punto de fusión.

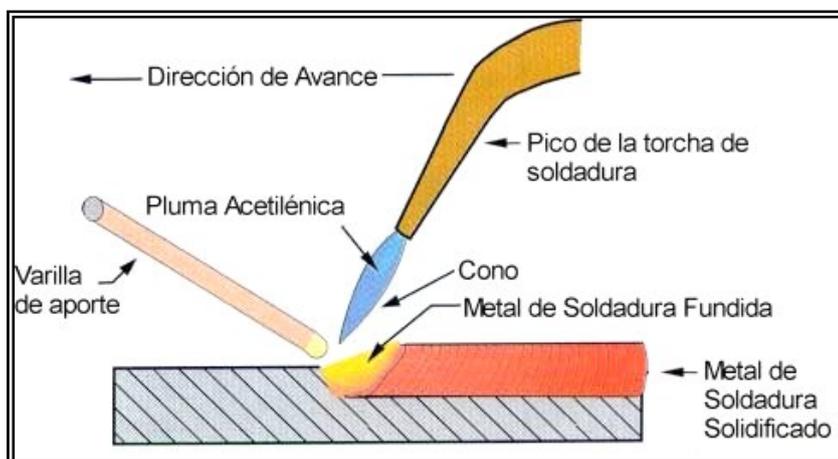


Figura 3.11 Soldadura Oxiacetilénica

3.6.1 Equipo para Soldadura Oxiacetilénica.

El equipo para soldadura oxiacetilénica es relativamente simple. En la Figura 3.12 (a) se muestra un equipo típico. Este consiste en varias partes: tanque de oxígeno, tanque de acetileno, reguladores de presión, torcha, mangueras de conexión.

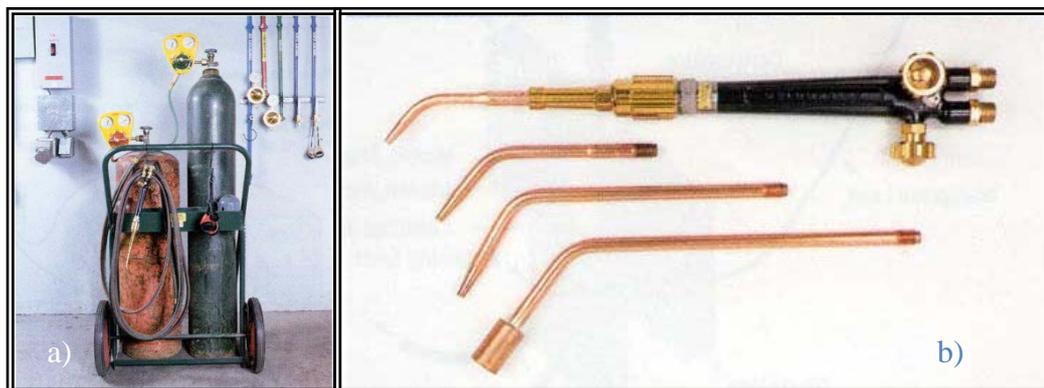


Figura 3.12 a) Equipo de Soldadura Oxiacetilénica, b) Tipos de antorcha

Las ventajas de OAW, incluyen algunas características deseables en el mismo equipo. Primero es relativamente barato y puede ser hecho muy portátil. La portabilidad se relaciona no sólo por su tamaño compacto, sino debido a la inexistencia de una fuente de alimentación eléctrica. Debe tenerse precaución cuando se mueve el equipo de manera que no se dañen las válvulas principales de los cilindros. Si se rompen, un cilindro puede transformarse en un misil letal. Entonces, cuando se transportan, los reguladores deben quitarse y las válvulas deben ser cubiertas con capuchones roscados especiales para la protección contra impacto.

Las desventajas de OAW, por un lado, la llama no provee una fuente de calor tan concentrada como puede ser alcanzada por un arco. Entonces si se está realizando una soldadura con bisel, la preparación de la junta debe exhibir un filo delgado para asegurar que se obtenga la fusión completa hasta la raíz de la junta. Esta baja concentración de calor también resulta en un proceso relativamente lento, entonces se considera típicamente a OAW como adecuada para secciones de bajo espesor. La alimentación manual en OAW requiere un nivel de habilidad para buenos resultados.

Hay ciertos problemas inherentes en OAW, relacionados principalmente tanto a una manipulación inapropiada o al ajuste de la llama. Debido a que la fuente de calor no está concentrada, debe tenerse cuidado de dirigir la llama correctamente para asegurar la fusión adecuada. Al ajustar y producir una llama oxidante o carburante, puede generarse una degradación de las propiedades del metal de soldadura, entonces es importante tener un equipo capaz de producir un flujo de gas uniforme.

CAPITULO IV

SELECCIÓN DEL MATERIAL DE APORTE

Una vez seleccionado el proceso de soldadura y el respectivo equipo de soldar, se debe seleccionar el material de aporte adecuado para la aplicación de soldadura.

En caso no se conozca la especificación AWS del material de aporte a emplear, los criterios generales a tomar en cuenta para la selección son:

1. Composición química: El material de aporte debe tener una composición igual al material base ó una composición que se especifique o demuestre que si es compatible con el material base ó entre las uniones disimiles que se requieran.
2. Propiedades mecánicas: La resistencia a la tracción, impacto, del material de aporte seleccionado deben ser superiores al material base a soldar.
3. Hidrógeno difusible: Es una característica adicional que se exigen en determinadas aplicaciones y es muy importante que el material de aporte cumpla esta característica.
4. Posición de soldadura: Dependiendo de la aplicación se seleccionara el material de aporte que cumpla la posición de soldadura a trabajar.
5. Dimensiones: El diámetro es la característica a seleccionar según el espesor a soldar. A cada diámetro le corresponde un determinado parámetro de tensión,

intensidad de corriente, velocidad de avance, que se debe aplicar para obtener una buena soldabilidad.

6. Almacenamiento: Es importante para conservar los materiales de aporte y estos puedan ser usados sin transferir hidrogeno por absorción de humedad al baño fundido.
7. Ambiente de trabajo: Es importante conocer a que agentes estará expuesto la unión soldada:
 - a. Corrosión: Picaduras, Rendijas.
 - a. Desgaste: Abrasión, Impacto, Fricción metal- metal, Corrosión, Altas Temperaturas, erosión, cavitación.
 - b. Durante la soldadura: Si el ambiente esta expuesto a corrientes de aire, la aplicación de materiales de aporte del proceso GMAW ó FCAW con protección gaseosa no es la mejor opción pues se pueden obtener cordones con porosidades por el desplazamiento del gas. Para estos casos es conveniente seleccionar alambres tubulares autoprotegidos.

Una vez que se tienen claros los parámetros necesarios para la aplicación de soldadura cumpliendo los criterios anteriores se busca el material de aporte en la documentación AWS, que se resume en la siguiente tabla 4.1:

Tabla 4.1: Documentación AWS según el proceso de soldadura y tipo de material base.

Material	OFW	SMAW	GTAW GMAW PAW	FCAW	SAW	ESW	EGW	Brazing	Termal Spraying
Acero al Carbono	A5.2	A5.1	A5.18/ A5.18M	A5.20	A5.17/ A5.17M	A5.25/ A5.25M	A5.26/ A5.26M	A5.8 A5.31	C2.25
Acero de baja aleación	A5.2	A5.5	A5.28	A5.29	A5.23/ A5.23M	A5.25/ A5.25M	A5.26/ A5.26M	A5.8 A5.31	C2.25
Acero inoxidable		A5.4	A5.9, A5.22M	A5.22	A5.9	A5.9	A5.9	A5.8 A5.31	C2.25
Hierro Fundido		A5.15	A5.15	A5.15				A5.8 A5.31	C2.25
Aleaciones de níquel		A5.11 / A5.11M	A5.14 / A5.14M		A5.14 / A5.14M			A5.8 A5.31	C2.25
Aleaciones de Aluminio		A5.3 / A5.3M	A5.10 / A5.10M					A5.8 A5.31	C2.25
Aleaciones de Cobre		A5.6	A5.7					A5.8 A5.31	C2.25
Aleaciones de Titanio			A5.16					A5.8 A5.31	
Aleaciones de zirconium			A5.24					A5.8 A5.31	
Aleaciones de magnesio			A5.19					A5.8 A5.31	
Electrodos de tungsteno			A5.12 / A5.12M						
Aleaciones y flujos para Brazing								A5.8 A5.31	
Recubrimientos Aleados	A5.21	A5.13	A5.21	A5.21	A5.21				C2.25
Consumibles			A5.30						
Gases de Protección			A5.32/ A5.32M	A5.32/ A5.32M			A5.32/ A5.32M		
Cerámicos									C2.25

Es más sencillo ubicar el material de aporte si ya se tiene el procedimiento de soldadura con la especificación del material de aporte, si no se conoce es necesario su selección conociendo la nomenclatura de los materiales de aporte.

A continuación se explicara las diferentes nomenclaturas de los procesos de mayor aplicación en la industria peruana ya vistos en el Capítulo III.

4.1 IDENTIFICACION DE LOS ELECTRODOS PARA EL PROCESO

SMAW: Los electrodos revestidos se identifican según el tipo de material:

4.1.1 Aceros al Carbono y Baja Aleación: Se resumen en el cuadro 4.1:

Cuadro 4.1: Identificación de electrodos revestidos para aceros al carbono y baja aleación.

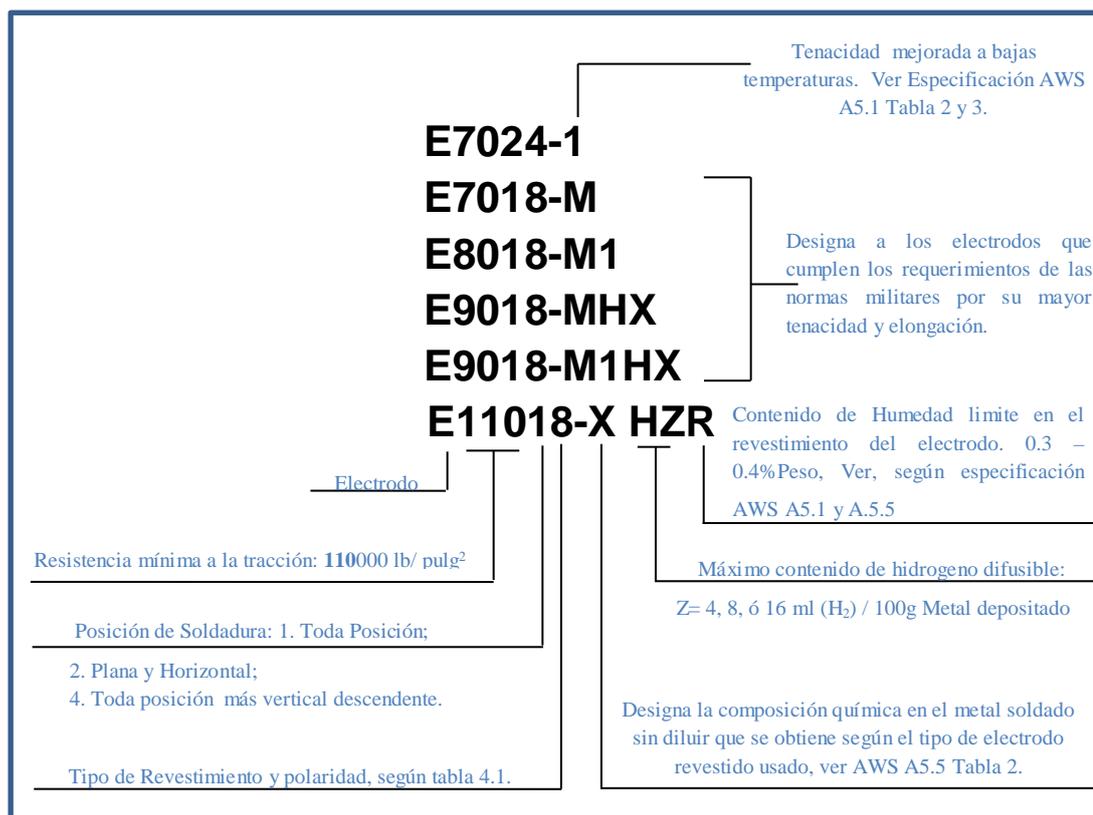


Tabla 4.2: Tipo de Corriente y Revestimientos de los Electrodos Revestidos.

Clasificación	Corriente	Arco	Penetración	Revestimiento y Escoria	Polvo de Hierro
F3 EXX10	DCEP	Enérgico	Profunda	Celulosa - sodio	0 -10 %
F3 EXXX1	AC y DCEP	Enérgico	Profunda	Celulosa - potasio	0%
F2 EXXX2	AC y DCEN	Medio	Media	Rutílico - sodio	0 -10 %
F2 EXXX3	AC y DC	Suave	Baja	Rutílico - potasio	0 -10 %
F2 EXXX4	AC y DC	Suave	Baja	Rutílico - polvo de hierro	25 - 40 %
F4 EXXX5	DCEP	Medio	Media	Bajo hidrógeno - sodio	0 -10 %
F4 EXXX6	AC o DCEP	Medio	Media	Bajo hidrógeno - potasio	0%
F4 EXXX8	AC o DCEP	Medio	Media	Bajo hidrógeno - polvo de hierro	25 - 45 %
F1 EXX20	AC o DC	Medio	Media	Oxido de hierro - sodio	0%
F1 EXX24	AC o DC	Suave	Baja	Rutílico - polvo de hierro	50%
F1 EXX27	AC o DC	Medio	Media	Oxido de hierro - polvo de hierro	50%
F1 EXX28	AC o DCEP	Medio	Media	Bajo hidrógeno - polvo de hierro	50%

Nota: El porcentaje de polvo de hierro está basado en el peso del revestimiento.

4.1.2 Acero Inoxidable: Su documentación se encuentra en la AWS A5.4, para este caso su identificación se puede resumir en:

Electrodo —
EXXXY – Z

Tabla 4.3: Identificación de los electrodos revestidos de acero inoxidable.

Variable	Descripción de Nomenclatura
XXX	<p>2XX: Aceros inoxidables austeníticos de la familia cromo-manganeso-nitrógeno.</p> <p>3XX: Aceros inoxidables austeníticos de la familia cromo-manganeso.</p> <p>4XX: Aceros inoxidables Martensíticos.</p> <p>2209 / 2553: Aceros inoxidables Dúplex.</p>
Y	<p>H: Contenido de Carbono restringido de 0.4 – 0.8% para aumentar la resistencia al Creep.</p> <p>L: Low Carbon, Cuando se requiere mayor resistencia a la corrosión intergranular, el contenido máximo de carbono es de 0.4%.</p> <p>MoL: La adición de Molibdeno permite aplicaciones sobre fundiciones de aceros inoxidables y también productos forjados.</p> <p>Cb: El contenido de Columbio permite reducir la precipitación de Carburos y se incrementa la resistencia a la corrosión intergranular a altas temperaturas. Ideal para aplicaciones sobre piezas de fundición resistentes al calor, aceros refractarios.</p> <p>NiMo: Para aplicaciones en altas temperaturas, de aceros martensíticos.</p> <p>LR: Rangos estrechos de C, Si, S, P, para reducir la fisuración y corrosión en Aceros inoxidables austeníticos.</p>
Z	<p>Se indica, “Toda posición” para electrodos de diámetros $\leq 4.00\text{mm}$.</p> <p>15: Corriente continua DCEP (electrodo positivo). Toda Posición.</p> <p>25: DCEP, Posición plana y Horizontal.</p> <p>16: Revestimiento del electrodo con elementos ionizantes que lo hacen aplicable para corriente Alterna (AC) y DCEP. Toda posición.</p> <p>17: Mejor acabado y maniobrabilidad que -16, especialmente en posición horizontal y filete. AC, DCEP, Toda posición.</p> <p>26: AC, DCEP, Posición plana y Horizontal.</p>

4.1.3 Hierro Fundido: Su documentación se encuentra en la AWS A5.15. A excepción de la fundición blanca, las demás fundiciones son soldables siempre precalentando la zona a soldar. Los materiales de aporte mas usados son:

ENi-CI: El contenido de níquel esta en el rango de 85 – 99 %, a mayor contenido de níquel mejor, sus depósitos son maquinables, libres de porosidades y fisuras. Deposita un material de alta ductibilidad, mayor a la de los fierros fundidos. Para obtener soldaduras de óptima calidad es necesario limpiar la superficie a soldar, para que esté exenta de pintura, grasa, aceite, etc. Para unir o rellenar piezas de hierro fundido gris, nodular o maleable. Para soldar carcazas, pelentes de bombas, compresoras, válvulas, cajas de reductores, para recuperar bases de maquinaria, soportes, elementos de máquina, cárters, bancadas, culatas, engranajes, ruedas dentadas, matrices de fundición, defectos y rajaduras en piezas de fundición, etc. Recomendable para unir aceros estructurales o aceros fundidos con piezas de hierro fundido.

ENiFe-CI: Para la soldadura de unión en frío o caliente del hierro fundido gris, nodular y maleable, incluso para fierros fundidos con alto contenido de fósforo. Para la soldaduras de unión entre hierro fundido gris con acero. Para soldadura de mantenimiento y reparación de partes de maquinaria como: carcazas y tapas de bombas, chancadoras, motores eléctricos, etc.; monoblocks, bastidores de máquinas herramientas, mazas de trapiche, tambores de trefilación, ejes, etc.

Recomendados para soldar hierros fundidos gris según DIN 1691: GG-12, GG-14, GG-18, GG-22, GG-26, GG-30, nodular según DIN 1693: GGG-38, GGG-42, GGG-45, GGG-50, GGG-60, GGG-70, y maleable según DIN 1692: GTS-35, GTS-45, GTS-55, GTS-65, GTS-70.

4.1.4 Aleaciones de níquel: Su documentación se encuentra en la AWS A5.11:

ENiCu – 7: Soldadura de monel, libre de poros, aporte estable frente a productos químicos, agua de mar, calor. Recomendable para aplicaciones de trabajo entre –196 a 450 °C.

ENiCrFe – 3: Excelente para la soldadura de aleaciones de alto cromo Incoloy 800 a níquel-cobre Monel 400 o base níquel Alloy 200. Excelente para la soldadura de Inconel 600 a sí mismo o con aceros al carbono o acero inoxidable. También se utiliza para la unión de materiales base de níquel Alloy 200 con acero inoxidable o base de níquel-cobre Monel 400 con acero al carbono.

ENiCrMo-3: Electrodo de Ni/Cr/Mo resistente a la acción de agua de mar, a la corrosión en medios ácidos y alcalinos, corrosión intergranular, bajo tensión, por picaduras, bajo rendijas y altas temperaturas. Para unir y recubrir aceros resistentes a la temperatura. Especialmente utilizado para plantas químicas por su resistencia a la corrosión y para protección de agua de mar.

ENiCrMo-4: Electrodo de Hastelloy, el depósito es resistente a la corrosión y oxidación, libre de fisuras y poros. Matrices de estampado en caliente, bombas impelentes, válvulas. Soldadura de elementos sujetos a influencias térmicas y químicas, así como a la abrasión y corrosión. Mantiene propiedades ante variaciones cíclicas de temperatura.

4.1.5 Aleaciones de aluminio: En la AWS A5.3, tenemos 3 tipos de electrodos:

E1100: Para aluminio puro.

E3003: Para aleación de aluminio al manganeso tiene buena capacidad para ser deformada, combinada con buena resistencia a la corrosión y buena soldabilidad. Principalmente usado en la unión de recipientes de almacenamiento, pasillos y puentes en plantas industriales.

E4043: Considerado como electrodo universal para soldadura de unión y relleno de aluminio puro, aleaciones de aluminio al silicio y aleaciones de Al-Si-Mg con o sin adición de cobre ya sea en estado fundido, extruido, forjado ó laminado como: Al-Mg-Si y Al-Mg con 2,5%Mg y Al-Mn-Cu. Para construir cabinas y cámaras de refrigeración, intercambiadores de calor y tanques en la industria de alimentos. En la

fabricación de enseres domésticos. Para reparación de piezas de aluminio en motores, culatas, carcazas, porongos para la industria lechera, etc.

4.1.6 Aleaciones de cobre: En la AWS A5.6, los materiales de aporte de mayor aplicación son:

ECu: Electrodo de Cobre electrolítico. Aplicaciones en soldaduras de unión y recargue en Cobre libre de oxígeno, industria eléctrica, conectores, ideal para la recuperación de los porta electrodos, en la industria del acero, resane de las piezas de cobre, etc.

ECuSn-A: Apropriado para unir o recubrir piezas de cobre o bronce, muy usado para unir metales o aleaciones disímiles, aun cuando difieran en espesor, en especial hierro fundido y aceros. Para soldar tuberías, válvulas, hélices, tanques, moldes, ideal para la reparación de cojinetes, impulsores, chumaceras, bocinas y pines, usado en trabajos ornamentales, etc.

ECuSn-C: En general se emplea para unir o reparar cobre, latón y bronce al níquel. Excelente para unir cobre o aleaciones a fundiciones o aceros. Puede usarse también para unión o recargue de fundición gris o aceros de cualquier composición. Para recubrir partes de bombas (cuerpos, cojinetes y ejes), pines y bocinas. Para recuperar piezas, donde se desea obtener alta resistencia al desgaste por fricción metal - metal. Usado en reparaciones de cucharas y agujas de bronce en centrales hidroeléctricas.

ECuAl-A2: Usado para soldar, rellenar y reconstruir piezas de bronce al aluminio. Es el electrodo con mejores características para unir cobre y sus aleaciones a metales ferrosos, inclusive aceros inoxidable. Por su alta tenacidad es ideal para unir bronce entre sí, aún en diferentes espesores. Para soldar ejes, hélices y otras piezas o partes de máquinas de bronce al aluminio. Muy usado para reconstruir ejes, hélices y otras piezas o partes de máquinas que sufren desgaste originado por agua marina.

4.1.7 Recubrimientos duros: En la AWS A5.13, se especifican los diversos recubrimientos duros.

El depósito de soldadura de los recubrimientos duros alcanza una dureza determinada en función a lo elementos aleantes presentes, los cuales según su dureza los podemos resumir en la siguiente tabla 4.4:

Tabla 4.4: Dureza de materiales más usados.

Material	Formula	Hardness HV
Ferrite	Alpha-Fe	70 – 200
Pearlite (nonalloyed)	Alpha Fe + Fe ₃ C	250 – 320
Pearlite (alloyed)	Alpha Fe + Fe ₃ C	300 – 460
Austenite Cr- alloyed	Gamma- Fe	300 – 600
Austenite low alloyed	Gamma- Fe	250 – 350
Nickel	Ni	560
Bainite	Alpha Fe + Fe ₃ C	250 – 450
Martensite	Alpha Fe + Fe ₃ C	500 – 1010
Cementite	Fe ₃ C	840 – 1100
Chromium Carbide	Cr _x C _y	1330 – 1700
Titanium Nitride	TiN	1800
Tungsten Carbide	WC	1900 – 2000
Vanadium Carbide	VC	2300
Titanium Carbide	TiC	2500
Boron Carbide	B ₄ C	2800

La aplicación de uno de los tipos de recubrimiento duro dependerá del metal base a recubrir, y la aplicación donde se identifica el tipo de desgaste al que esta sometido la pieza a recubrir. Así tenemos:

Raspadura de bajo esfuerzo: El material abrasivo se desliza sobre el metal base
Ocurre en: implementos agrícolas, clasificadores, chutes, lanzadores de arena, etc.
Aleación recomendada: aleación conteniendo carburos de cromo.

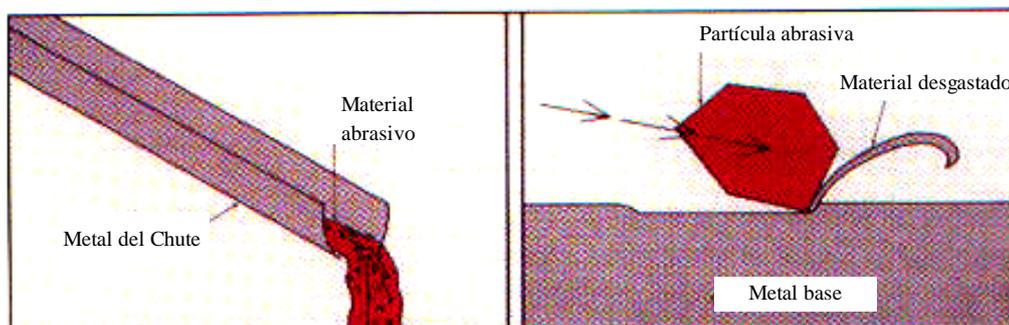


Figura 4.1: Comportamiento de la partícula abrasiva en raspadura de bajo esfuerzo

Raspadura de alto esfuerzo: Pequeñas partículas abrasivas son forzadas contra el metal base con tal fuerza que la partícula se rompe.

Aleaciones recomendadas: acero al manganeso, aleaciones con carburos pequeños (Carburos de titanio).

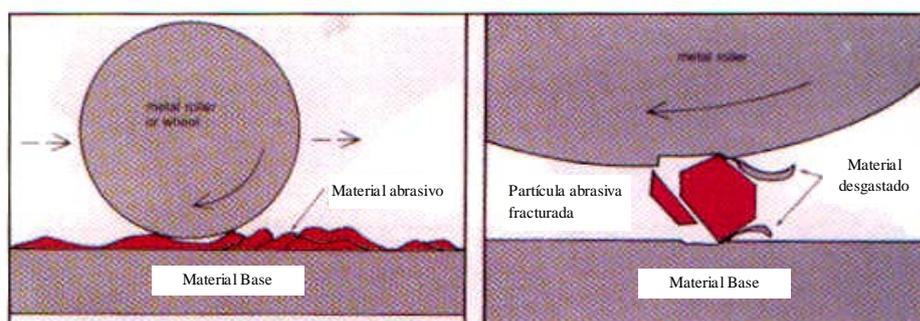


Figura 4.2: Comportamiento de la partícula abrasiva en raspadura de alto esfuerzo

Abrasión con impacto: Objetos pesados son forzados contra la superficie de un metal. Aleaciones recomendadas: acero al manganeso, aleaciones de carburos soportadas por una base tenaz como el acero al manganeso.

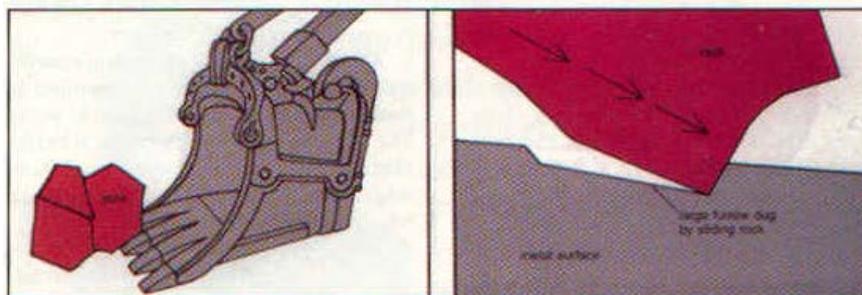


Figura 4.3: Comportamiento de la partícula abrasiva en abrasión con impacto

Impacto: Altos esfuerzos mecánicos momentáneos son aplicados sobre una pieza por una carga compresiva. Aleaciones recomendables: Aceros al manganeso, aceros martensíticos (pero tienen menor performance).



Figura 4.4: Comportamiento de la partícula abrasiva en desgaste por impacto

Adhesión: Todo metal tiene irregularidades microscópicas es decir áreas altas y bajas. Cuando dos metales entran en contacto no lubricado, las áreas altas son rotas en fragmentos pequeños. El área más dura desgastará al área más blanda. Aleaciones recomendadas: Aleaciones martensíticas, aceros al manganeso, aleaciones de cobalto.

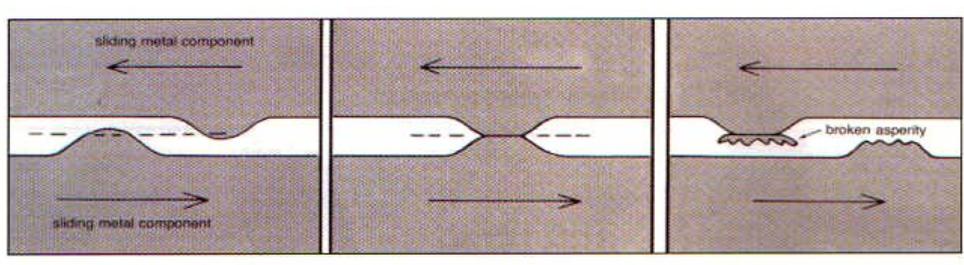


Figura 4.5: Comportamiento de la partícula abrasiva en desgaste por adhesión

Alta temperatura: Cuando un material trabaja a alta temperatura ocurre un deterioro continuo de propiedades mecánicas debido al revenido. El continuo calentamiento y enfriamiento (fatiga térmica) puede causar fisuras.

Aleaciones recomendadas: Aceros martensíticos (5 a 12%Cr). Carburos de cromo por debajo de 650°C. Por encima aleaciones no ferrosas.

- ◆ Consumibles con Carburos de Cr°
- ◆ AWS E Fe Cr-Al hasta T° de 1000°C
- ◆ Aleaciones Inoxidables
- ◆ AWS E308 (300°C)
- ◆ AWS E307 (800°C)
- ◆ AWS E347 (800°C)
- ◆ AWS E310 (1,200°C)
- ◆ Aleaciones de base de cobalto.

Elección del consumible resistente al desgaste por corrosión

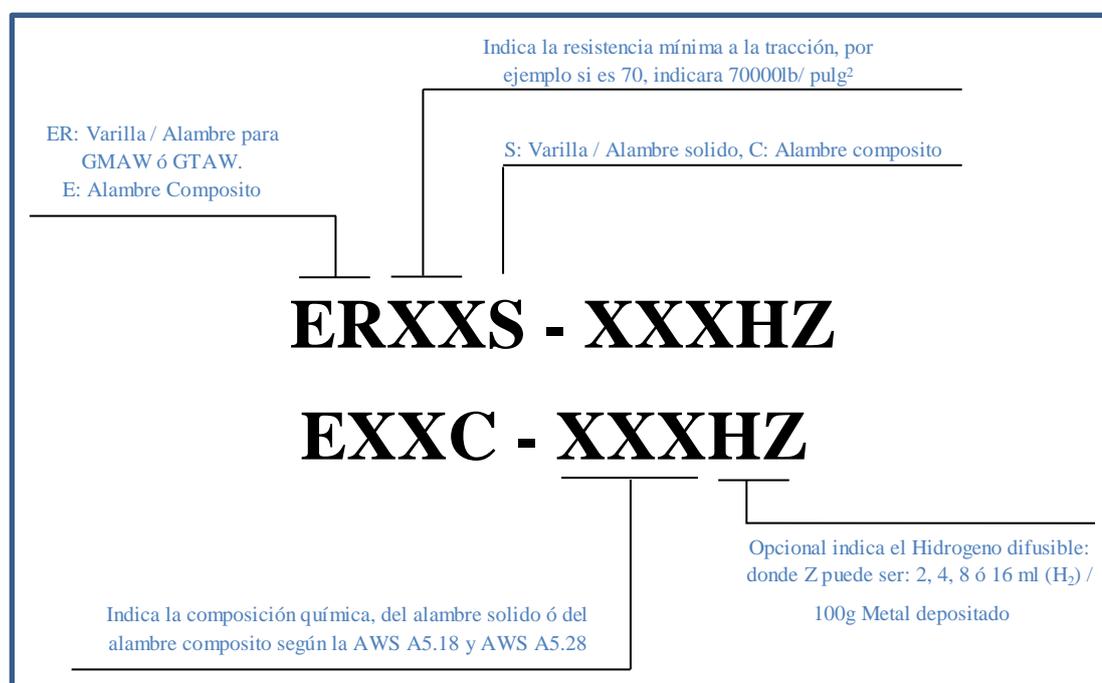
- Consumibles con Carburos de Cr AWS E Fe Cr-Al
- Aceros Inoxidable : AWS E 309, AWS E 316L, AWS E 312
 AWS E 347, Aleaciones de Cu, AWS E Cu Sn A

En el proceso SMAW, los diámetros más comerciales son 1.60mm, 2.00mm, 2.40mm, 3.20mm, 4.00mm, 5.00mm y 6.30mm. Su elección dependerá del espesor a soldar.

4.2 IDENTIFICACIÓN DEL APORTE EN PROCESO GMAW Y GTAW:

4.2.1 Aceros al Carbono y Baja Aleación: La identificación de los materiales de aporte del proceso GMAW y GTAW, indicados en la AWS A5.18 y A5.28, se pueden resumir en la siguiente nomenclatura:

Cuadro 4.2: Identificación de alambres en proceso GMAW y varillas en proceso GTAW.



4.2.2 Acero Inoxidable: Similar a lo ya visto en la sección 4.1.2, con la diferencia vista en 4.2.1 de agregar la nomenclatura “ER”, así por ejemplo, si nos piden usar un material de aporte ER2209 2.40mm, veremos en la especificación AWS A5.9 que se trata de un material de aporte para acero inoxidable dúplex, y por el diámetro es para GTAW.

A pesar que el alambre no tiene un fundente de recubrimiento, es importante almacenar adecuadamente el material cuando este no se usa. El factor más crítico es que el alambre debe conservarse limpio. Si se permite que permanezca fuera a la intemperie, puede contaminarse con herrumbre, aceite, humedad, partículas de polvo,

u otros materiales presentes en el ambiente del taller de soldadura. Por esto, cuando no se usa, el alambre debe conservarse en su envase plástico original, y/o contenedor de transporte. Incluso cuando un rollo de alambre está ubicado en el alimentador, debe estar cubierto con alguna protección cuando no se usa por períodos prolongados.

Los diámetros más usuales en alambre GMAW van desde 0.80mm hasta 1.60mm.

Los diámetros para GTAW van desde 1.60mm, hasta 3.20mm.

Para el proceso GTAW, aparte de la selección del material de aporte se debe seleccionar el electrodo de Tungsteno, los cuales se resumen en la siguiente tabla 4.5:

Tabla 4.5: Clasificación de Electrodo de Tungsteno AWS

Clase	Aleante	Color
EWP	Tungsteno Puro	Verde
EWCe-2	1.8-2.2 % Cerio	Naranja
EWLa-1	1% Óxido de Lantano	Negro
EWTh-1	0.8-1.2% torio	Amarillo
EWTh-2	1.7-2.2% torio	Rojo
EWZr	0.15-0.40% Circonio	Marrón

La presencia de torio y circonio ayuda en mejorar las características eléctricas, haciendo al tungsteno ligeramente más emisor. Esto significa únicamente que es más fácil iniciar el arco con estos electrodos con torio y circonio que en los casos de electrodos de tungsteno puro. El tungsteno puro es más frecuentemente usado para soldar aluminio, debido a su habilidad para formar una terminación con forma esférica en el extremo cuando es calentado. Con una terminación esférica en lugar de aguda, hay una concentración más baja de corriente que reduce la posibilidad de dañar el tungsteno. El tipo EWTh-2 es el más comúnmente usado para la unión de materiales ferrosos.

La característica más importante de GTAW es que el electrodo usado no se consume durante la operación de soldadura. Está hecho con tungsteno puro o aleado, que tiene

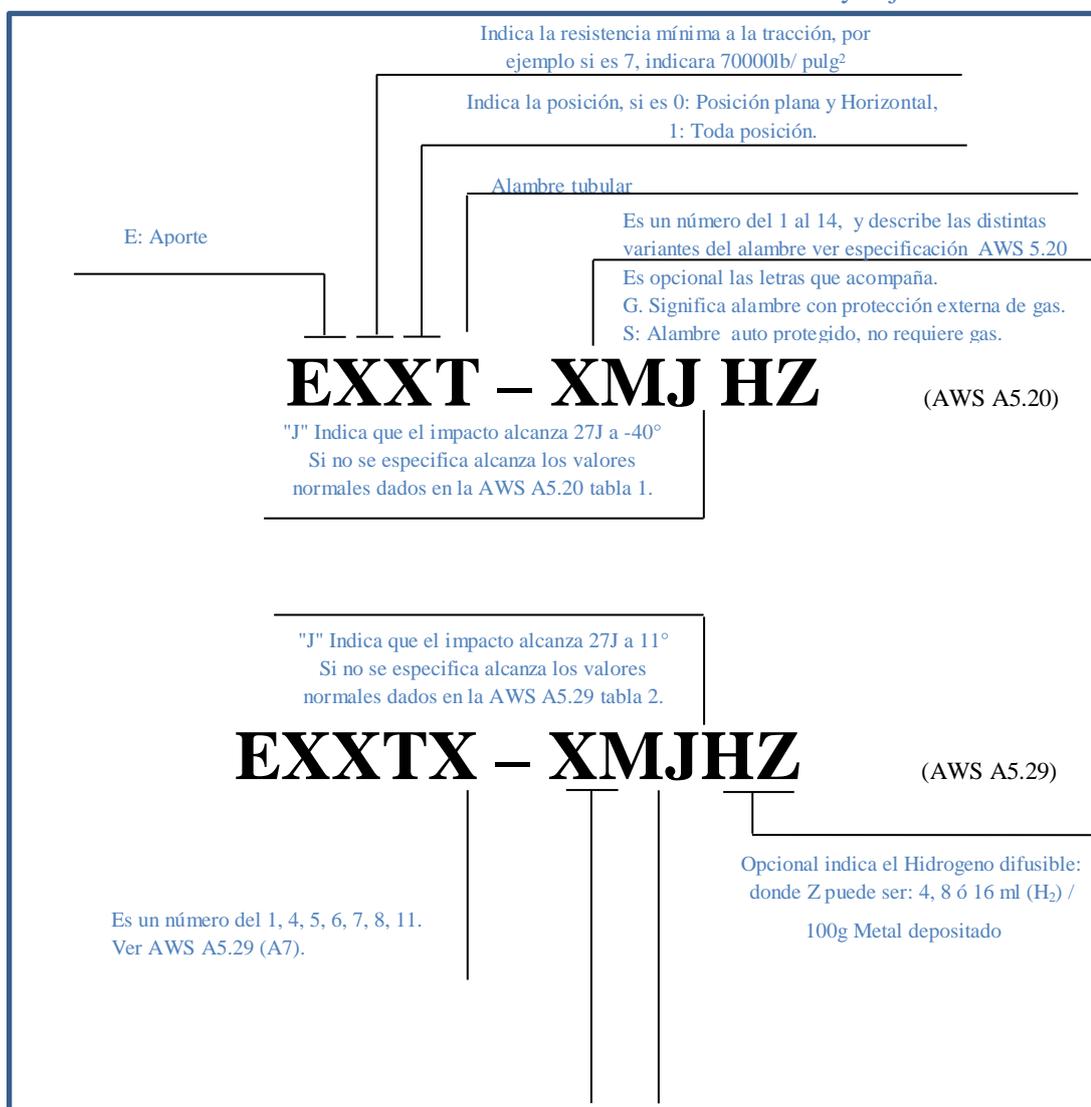
la capacidad de soportar temperaturas muy altas, incluso aquellas del arco de soldadura. Por esto, cuando pasa la corriente, se crea un arco entre el electrodo de tungsteno y la pieza.

Cuando se requiere metal de aporte, se debe agregar en forma externa, usualmente manual, o usando algún sistema de alimentación mecánica. La totalidad de la protección del arco y del metal se alcanza a través del uso de gases inertes que fluyen fuera de la buza rodeando al electrodo de tungsteno. El cordón de soldadura depositado no tiene escoria que quitar debido a que no se usa fundente.

4.3 IDENTIFICACIÓN DE ALAMBRE TUBULAR EN EL PROCESO FCAW:

4.3.1 Aceros al Carbono y Baja Aleación: La identificación de los materiales de aporte para acero al carbono y aceros de baja aleación del proceso FCAW, indicados en la AWS A5.20 y A5.29 respectivamente, se resumen en las nomenclaturas:

Cuadro 4.3: Identificación de alambres tubulares de acero al carbono y baja aleación.



Indica la composición química del metal depositado según AWS A5.29, Tabla 4.

Indica el gas de protección utilizado

“M”: Ar/CO₂ 80%/20%

“C” : 100% CO₂

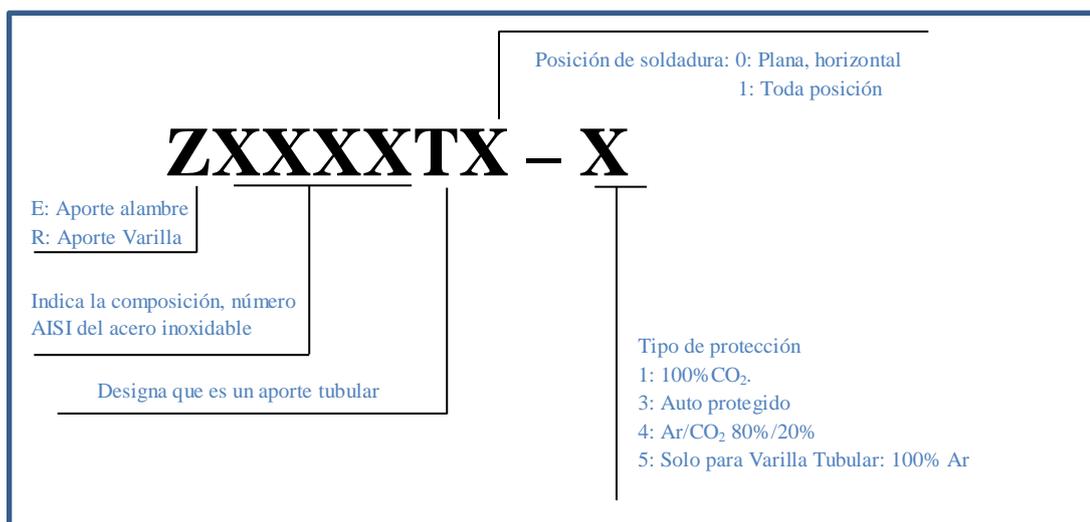
En autoprotegidos de deja en blanco.

Algunos alambres tubulares están formulados para ser usados sin ningún gas de protección adicional distinto al contenido dentro del electrodo. Estos tienen los números 3, 4, 6, 7, 8, 10 y 11. Mientras que los electrodos que tienen los sufijos 1, 2 y 5, requieren alguna protección externa para ayudar en la protección del metal fundido. Ambos tipos ofrecen ventajas, dependiendo de la aplicación. Adicionalmente los sufijos G y GS se refieren a pasadas múltiples y pasada única respectivamente. Por ejemplo los autoprotegidos se adecuan mejor para soldaduras de campo, donde el viento puede tener como consecuencia una pérdida de la protección gaseosa. Los electrodos del tipo de los de protección gaseosa, son usados cuando la necesidad de propiedades mejoradas del metal de soldadura justifica el costo adicional.

Los gases usados normalmente para soldadura por arco con alambre tubular son CO₂, o 75% Argón - 25 % CO₂, pero se dispone de otras combinaciones de gases.

4.3.2 Aceros inoxidables: La identificación de los materiales de aporte inoxidables del proceso FCAW, indicados en la AWS A5.22 se pueden resumir en la siguiente nomenclatura:

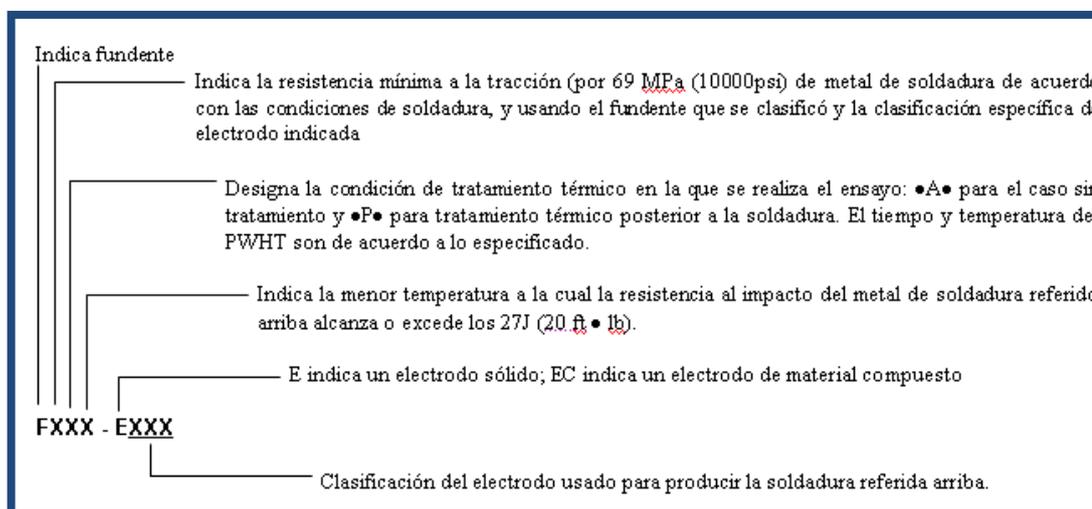
Cuadro 4.4: Identificación de alambres tubulares inoxidables.



4.4 Identificación de los Alambres y Flujos para Arco Sumergido:

Debido a que SAW usa el electrodo y el fundente separados, hay numerosas combinaciones posibles para aplicaciones específicas. Hay dos tipos generales de combinaciones que pueden usarse para proveer un depósito de soldadura aleado; un electrodo aleado con fundente neutro, o un electrodo de acero dulce con un fundente aleante. Por esto para describir apropiadamente el metal de aporte de SAW, el sistema de identificación de AWS consiste en denominaciones tanto para fundente como para metales. La siguiente nomenclatura muestra que significan realmente las distintas partes de la clasificación electrodo / fundente, con dos ejemplos reales.

Cuadro 4.5: Identificación de alambres y flujos para arco sumergido.



- F7A6-EM12K es una designación completa. Se refiere a un fundente que producirá un metal de soldadura con, en una condición sin tratamiento térmico posterior a la soldadura, tendrá una resistencia a la tracción no menor a 480 MPa (70000 psi) y una resistencia al impacto de Charpy con entallas en V de al menos

27J (20 ft • lb). a -51°C (-60°F) cuando se produce con un electrodo EM12K bajo las condiciones citadas en la especificación.

- F7A4-EC1 es una designación completa para un fundente cuando se usa el nombre comercial del electrodo en la clasificación. Se refiere a un fundente que producirá el metal de soldadura con tal electrodo, el que en la condición sin tratamiento posterior de soldadura, tendrá una resistencia a la tracción no menor que 480MPa (70000psi) y una resistencia al impacto de Charpy con entallas en V de al menos 27J (20 ft • lb). a -40°C (-40°F) bajo las condiciones citadas en la especificación.

4.5 Identificación de las varillas para OAW:

4.5.1: Aceros al carbono: El material de aporte usado por OAW en aceros tiene un sistema de identificación simple. Dos ejemplos son RG-45 y RG-60. La “R” lo designa como varilla, “G” indica el gas y los números 45 y 60 relaciona la mínima resistencia a la tracción del depósito en miles de libras por pulgadas cuadradas (psi). Entonces 45 designa el depósito de soldadura que tiene un depósito con una resistencia a la tracción de al menos 45000 psi.

A pesar que no es usado tan extensivamente como lo fue alguna vez, OAW todavía tiene algún uso. Su principal tarea incluye la soldadura de hojas de acero de poco espesor y cañerías de poco diámetro. También se aplica en muchas situaciones de mantenimiento.

4.5.3: Materiales no ferrosos: Las aleaciones de mayor uso son:

Aleaciones de plata: Para la industria de la refrigeración, sistemas contraincendios, con alto contenido de Ag para contactos eléctricos.

Aleaciones de estaño/ plomo: Para contactos eléctricos, reparaciones.

Aleaciones de cobre: Aplicación en unión y relleno de bronces, el contenido de níquel le otorga aplicaciones para resistencia al desgaste.

Aleaciones de Aluminio: Unión de aluminio estructural.

CAPITULO V

TÉCNICA DE SOLDADURA

La técnica de soldadura tiene como objetivo obtener una unión soldada de calidad (conforme), y para constatar su conformidad solo puede hacerse mediante la medición respecto a una especificación.

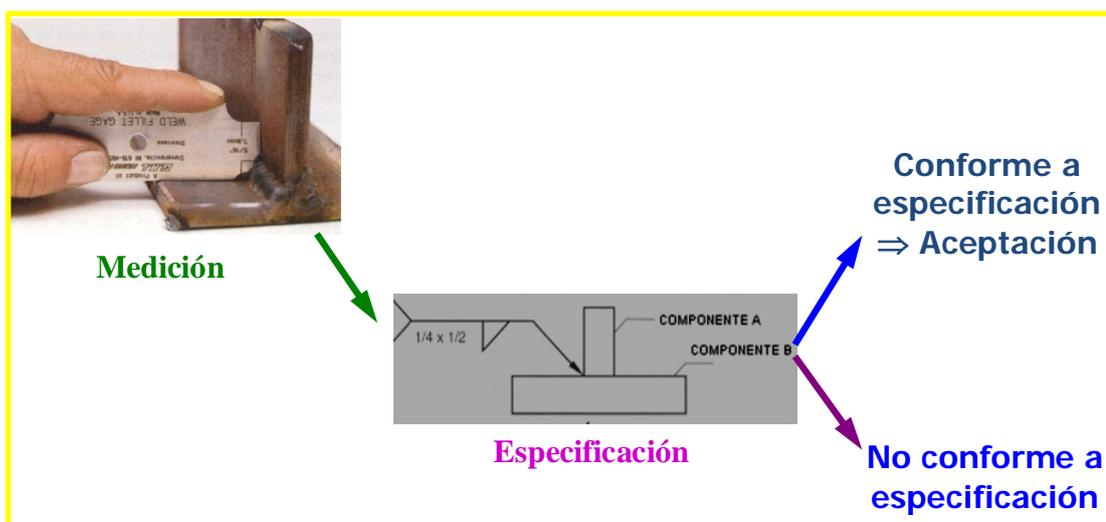


Figura 5.1: Pasos para la conformidad de una unión soldada

Hay tres elementos fundamentales:

A. Personal calificado :

El inspector debe estar familiarizado con:

- ✓ Procesos de soldadura
- ✓ Procedimientos de soldadura
- ✓ Calificación de soldadores
- ✓ Materiales
- ✓ Métodos de ensayo
- ✓ Leer dibujos, planos
- ✓ Preparar y mantener formatos.
 - Que sepa qué medir y cómo medirlo
 - Que sepa leer una especificación
 - Que sepa cómo comparar lo medido con lo establecido en la especificación.
 - Que sepa tomar decisiones basadas sólo en estos principios
- ✓ Emitir juicios responsables.

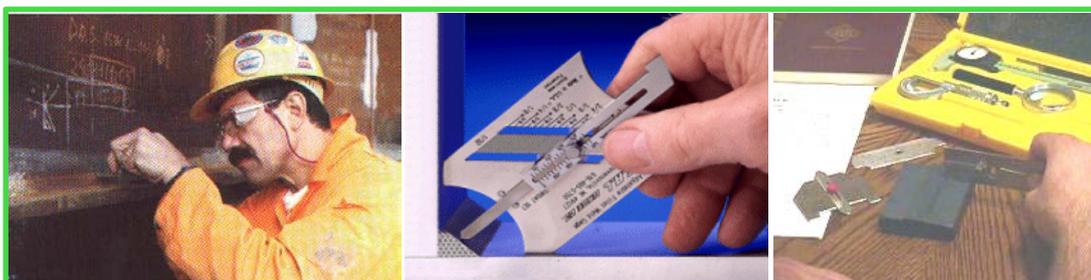


Figura 5.2 Personal calificado medición de parámetros respecto a especificación.

Todas las actividades realizadas deben ser consistentes con los requerimientos y principios técnicos y éticos.

B. Herramientas de medición:

- Que sean las adecuadas
- Que se encuentren adecuadamente verificadas
- Que sean bien usadas o aplicadas



a)

Figura 5.3 Instrumentos a) Galgas, vernier, micrómetro b) Pirómetro, c) Hi-Lo gage

C. Especificaciones:

Para esto es importante que el ingeniero supervisor tenga dominio de las especificaciones de fabricación ASME, AWS, API. Con el fin de poder supervisar el procedimiento de soldadura antes, durante y después.

C.1 Documentación ASME: Se tienen:

- ASME Sección IX Qualification std. for welding and brazing procedures brazers and welding and brazers operators (Calificación de procedimientos de soldadura y soldadores).
- ASME Sección VIII-DIV. I Rules for Construcción of pressure vessels, División I, 1992 (Reglas para construcción de recipientes a presión, División I).
- ASME-ANSI-B31.3 Process Piping 2002 (Tubería de Proceso, 2002).

A continuación un resumen de la sección QW (Welding) de la ASME sección IX, que se usara para la calificación de procedimientos y el uso de los formatos de calificación, y los artículos que la conforman:

ASME IX

QW (WELDING)

ARTICULO I: Requerimientos generales de soldadura.

QW-100. Generalidades.

- QW-110. Orientación de soldeo.
- QW-120. Posición de prueba para soldadura a tope.
- QW-130. Posición de prueba para soldadura a filete.
- QW-140. Tipos y propósitos de pruebas y exámenes.

- QW-150. Prueba de tensión.
- QW-160. Prueba de plegado, guiada.
- QW-170. Prueba de dureza
- QW-180. Prueba de soldadura en filete.
- QW-190. Otras pruebas y revisiones.

ARTICULO II: Calificación de procedimiento de soldadura.

QW-200. Generalidades.

- QW-210. Preparación de cupón de prueba.
- QW-250. Variables de la soldadura.
- QW-290. Temperatura de pases en soldadura.

ARTICULO III: Calificación de rendimiento de soldador.

QW-300. Generalidades.

- QW-310. Calificación de cupón de prueba.
- QW-320. Repeticiones de pruebas y la renovación de la calificación.
- QW-350. Variables de soldadura para soldadores
- QW-360. Variables de soldadura para operadores de soldeo.
- QW-380. Procesos especiales.

ARTICULO IV: Datos de soldadura.

QW-400. Variables.

- QW-410. Técnicas.
- QW-420. Agrupación de materiales.
- QW-430. F-Numbers (agrupación de electrodos).
- QW-440. Composición química de los materiales de aporte.
- QW-450. Espécimen.
- QW-460. Gráficos.
- QW-470. Metalografía, procesos y reactivos.
- QW-490. Definiciones.

ARTICULO V: Estándares de calificaciones del procedimiento de soldadura (SWPSs).

QW-500. Generalidades.

- QW-510. Aprobación de SWPSs.
- QW-520. Uso SWPSs sin demostración discreta.
- QW-530. Formas.
- QW-540. Usos de SWPs en producción.

C.2 Documentación AWS:

En la AWS los documentos de consulta serán:

AWS D.1.1: Código de soldadura estructural – Acero: Este código cubre los requerimientos para cualquier tipo de estructura soldada realizada con acero al carbono y de baja aleación para construcción. Las primeras ocho secciones constituyen un conjunto de reglas para la regulación de soldaduras en la construcción con acero. Se incluyen anexos normativos, informativos y comentarios del código.

AWS D.1.2: Código de soldadura estructural – Aluminio: Cubre los requisitos de soldadura para cualquier tipo de estructura a partir de aleaciones estructurales de aluminio, con excepción de recipientes a presión de aluminio y líquido que soportan las líneas de tubería. Secciones 1-7 constituyen un conjunto de normas para la regulación de la soldadura en la construcción de aluminio. Incluye comentario.

AWS D.1.3: Código de soldadura estructural – Lamina de acero: Cubre los requisitos asociados con la soldadura de laminas de acero con un límite elástico mínimo especificado que no supere los 80 000 psi (550 MPa). Los requisitos de los códigos cubren cualquier unión soldada hecha de la calidad caliente de hoja utilizada estructural de bajo carbono laminado en frío y laminados en acero de la tira con o sin recubrimiento de zinc (galvanizado). Sección 1 incluye las disposiciones generales, la sección de diseño 2, sección 3 de precalificación, la sección 4 de cualificación, apartado 5, de fabricación de la sección 6 de inspección, y el artículo 7 de soldar.

AWS D.1.4: Código de soldadura estructural – Aceros de refuerzo: Cubre los requisitos para la soldadura de acero de refuerzo en la mayoría de las aplicaciones de hormigón armado. Contiene un conjunto de normas para reglamentar el acero de refuerzo de soldadura y da criterios de aceptación adecuados para dichas soldaduras.

AWS D.1.5: Código de soldadura de puentes: Cubre los requisitos de soldadura para AASHTO puentes carreteros soldadas de aceros de construcción de carbono y de baja aleación. Esta edición 2002 contiene medidas en unidades SI métricas y unidades de EE.UU. habituales. Secciones 1 a 7 constituyen un conjunto de normas para la regulación de la soldadura en la construcción de acero. Sección 9 de la edición anterior ha tenido sus disposiciones distribuidas en la edición de 2002. Secciones 8, 10 y 11, no contienen disposiciones, ya que sus análogos D1.1 secciones no son aplicables al Código D1.5. Sección 12 contiene los requisitos para la fabricación miembros críticos a de fractura.

AWS D.1.6: Código de soldadura estructural – Acero inoxidable: Cubre los requerimientos para soldadura de conjuntos estructurales de acero inoxidable.

C.3 Documentación API: En la documentación API se encontrara:

- **API 510** Pressure vessel inspection code: maintenance inspection, rating, repair, and alteration eighth edition; addendum 2 december 2000 (Código de inspección de vasijas a presión: mantenimiento, inspección, clasificación, reparación y modificación octava edición addendum 2 Diciembre 2000).
- **API STD 620** Design and construction of large, welded, low – pressure storage tanks (Diseño y construcción de tanques de almacenamiento soldados, de baja presión y gran volumen).
- **API 650** Welded Steel tanks for oil storage tenth edition; addendum 2, November 2001 (Tanques de acero soldado para almacenaje de hidrocarburos, Addendum 2 Noviembre 2001).

- **API 1104** Welding Of pipelines and related facilities, Edition XXI 2013 (Soldadura de ductos e instalaciones afines, Edición XXI 2013).

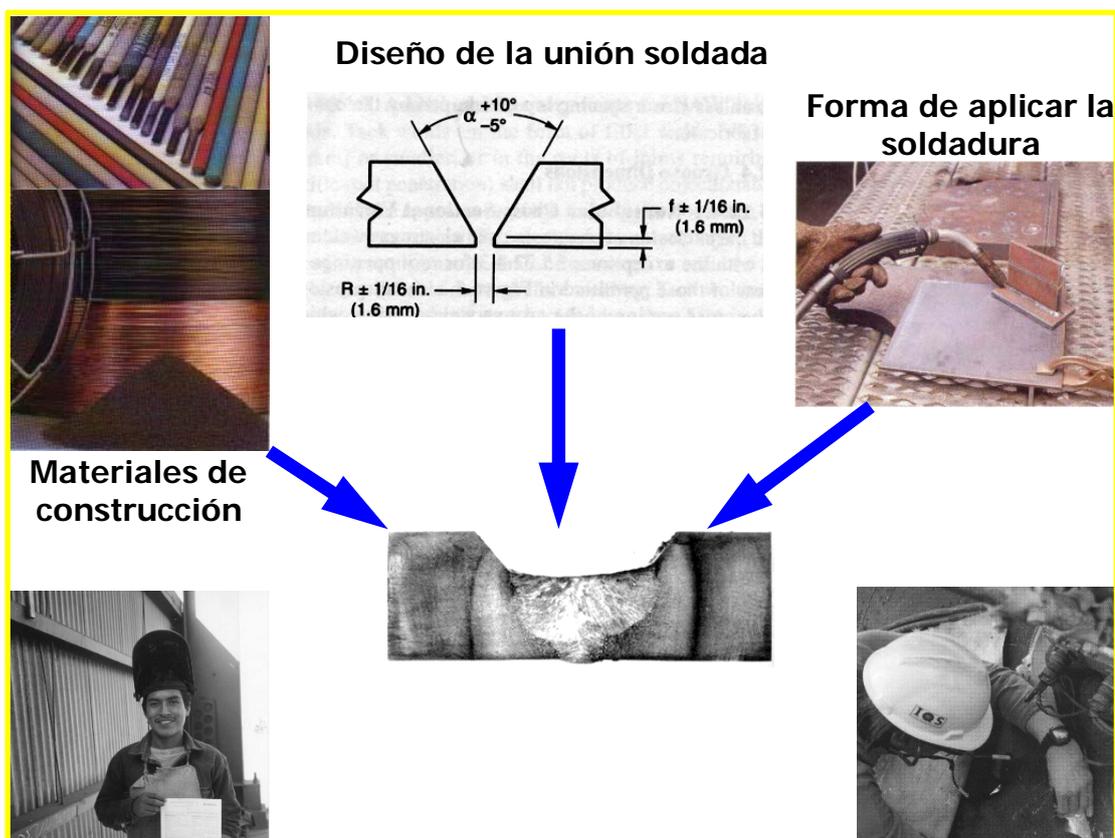
El inspector constatará que las especificaciones:

- ✓ Estén claramente establecidas
- ✓ Que sean las adecuadas.
- ✓ Que sean adecuadamente leídas.

Para todas las especificaciones la inspección visual será uno de los principales roles del inspector y no debe ser considerada como una actividad post – proceso, si no más bien debe ser considerada como una secuencia de operaciones en puntos específicos de la producción de una unión soldada. Realizada así, da un alto grado de certeza en cumplir las expectativas de calidad.

Si bien la soldadura es una ciencia compleja que exige la interacción de muchas disciplinas, sin embargo, la soldadura está sujeta a ciertas leyes físicas y químicas que permiten que esta sea controlada y que los resultados sean predecibles.

Por ello la calidad de una unión soldada es predecible mediante el control de sus variables que podemos resumir en:



JUNTA SOLDADA DE CALIDAD

Procedimiento de soldadura

Programa de Inspección

Figura 5.4 Variables para obtener una junta de calidad

5.1: Materiales de Unión:

La Interrelación entre materiales de construcción es muy importante:

Fase A: Verificar compatibilidad entre material base y material de aporte. Chequear estándares. Calificaciones de procedimiento

Fase B: Verificar que se cumplan los requerimientos del metal base y aporte.

Esto ya se vio en el proceso de selección, se debe elegir un material acorde al material base en composición química y las propiedades mecánicas. Adicionalmente se debe tener el cuidado con el almacenamiento de los materiales de aporte. Se cuentan con Hornos para electrodos, y también hornos para fundentes de arco sumergido.



Figura 5.5 Hornos

5.2: Diseño de la unión soldada:

Entre los factores para su selección tenemos:

- ✓ Acceso para soldadura e inspección
- ✓ Efecto costo óptimo
- ✓ Mínimos esfuerzos residuales.

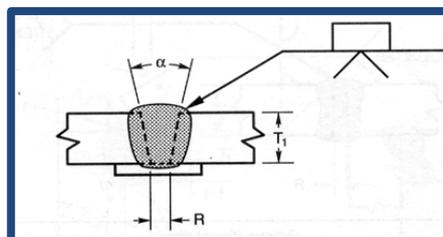


Figura 5.6 Junta Soldada

Idealmente el diseño de la unión soldada es propuesta por el fabricante y aprobada por el diseñador. Muchas veces pueden ser mal propuestas entonces el inspector puede tener un rol importante: **Detectar el problema**. Su control se realiza dentro de la Fase A y Fase B del programa de inspección visual.

- ✓ Fase A: Conformidad con criterio o estándar aplicable
- ✓ Fase B: Verificar forma y montaje

Se designa según la simbología estándar para un diseño de junta:

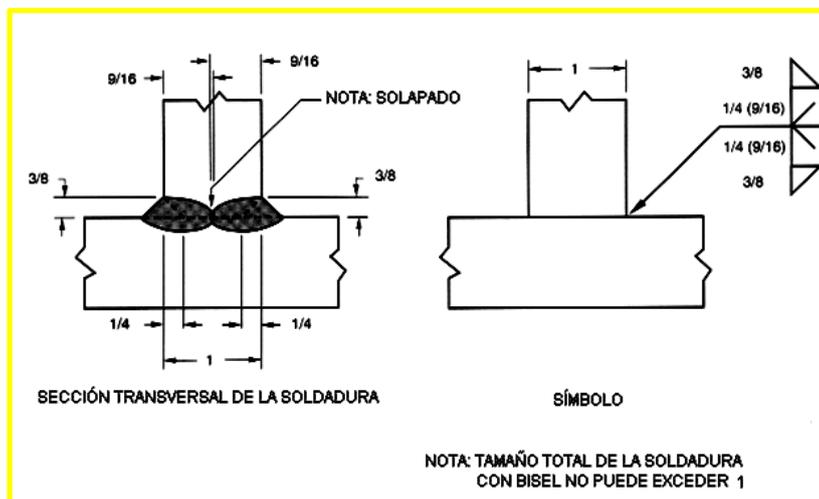


Figura 5.7: Simbología Junta Soldada

5.3 Procedimiento de soldadura: El WPS: Documento escrito que lista de todas las variables involucradas en el desarrollo de determinada unión soldada

- **Fase A:** Revisar los procedimientos de soldadura. Revisar calificaciones previas. Testificar nuevas calificaciones.
- **Fase B:** Verificar el cumplimiento del WPS

5.4 Forma de aplicar la soldadura: Los soldadores son responsables de la aplicación de soldadura. Los soldadores deben haber pasado una prueba de certificación para verificar sus habilidades en determinada configuración para determinados materiales y dentro de determinadas condiciones.

El inspector debe verificar:

- **Fase A :** Verificar que los soldadores están certificados para soldar los procedimientos soldados en producción (espesor, diámetro y posiciones)
- **Fase B:** Verificar condición de equipo de soldadura, precalentamiento, diseño y montaje de junta, etc.
- **Fase C:** verificar que el soldador mantenga su capacidad sino recalificación.

La calificación de soldadores es importante, tiene como objetivo medir la habilidad de una persona para realizar un tipo específico de unión soldada de acuerdo a requerimientos específicos. Para ello se prepara una probeta según al estándar requerido. La probeta dependerá de: Estándar; Forma (tubo, plancha, filete, etc); Espesor a usarse en aplicación; Diámetro a usarse en aplicación.

Plancha:

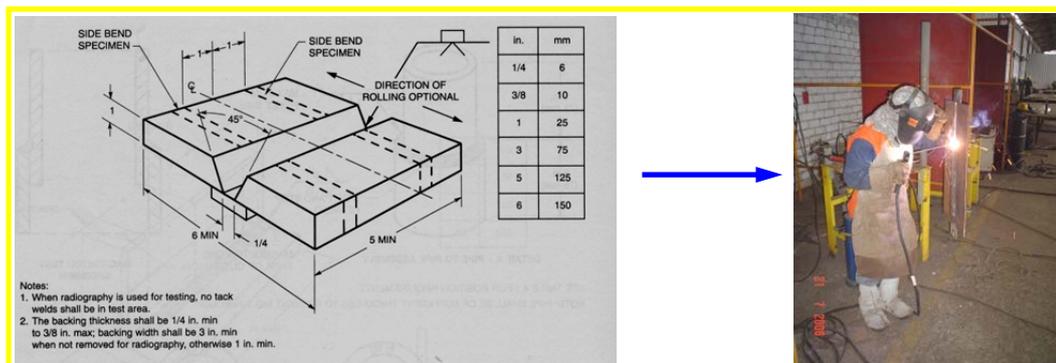


Figura 5.8 Plancha a) Probeta, b) Calificación 3G

Tubo:

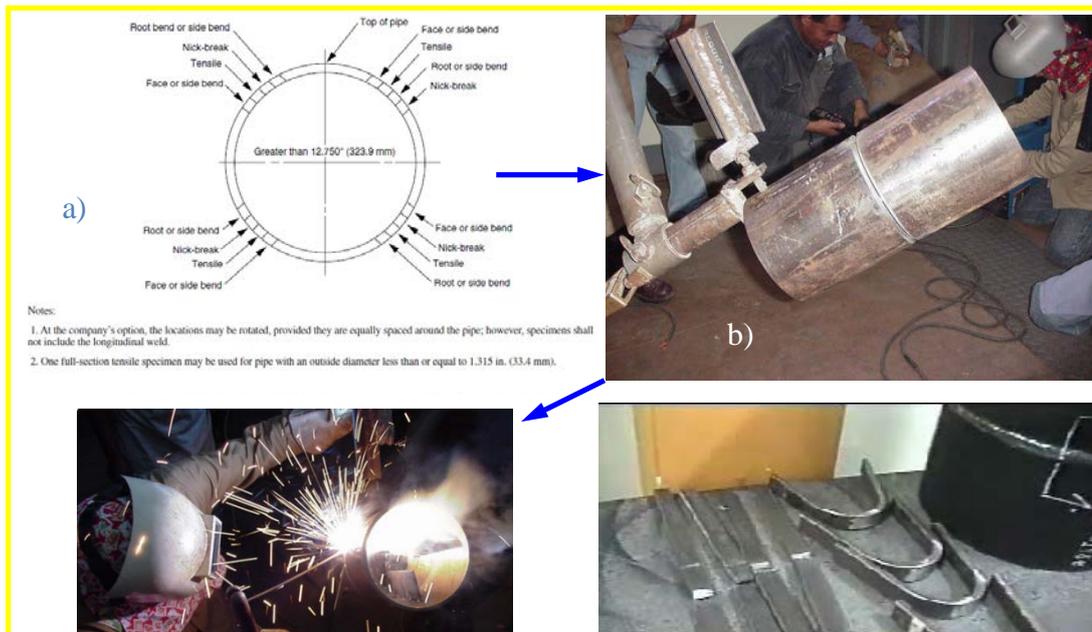


Figura 5.9 Tubo a) y b) Probeta, c) Calificación 6G, d) Ensayo de tracción y doblez

Estructura Tubular:

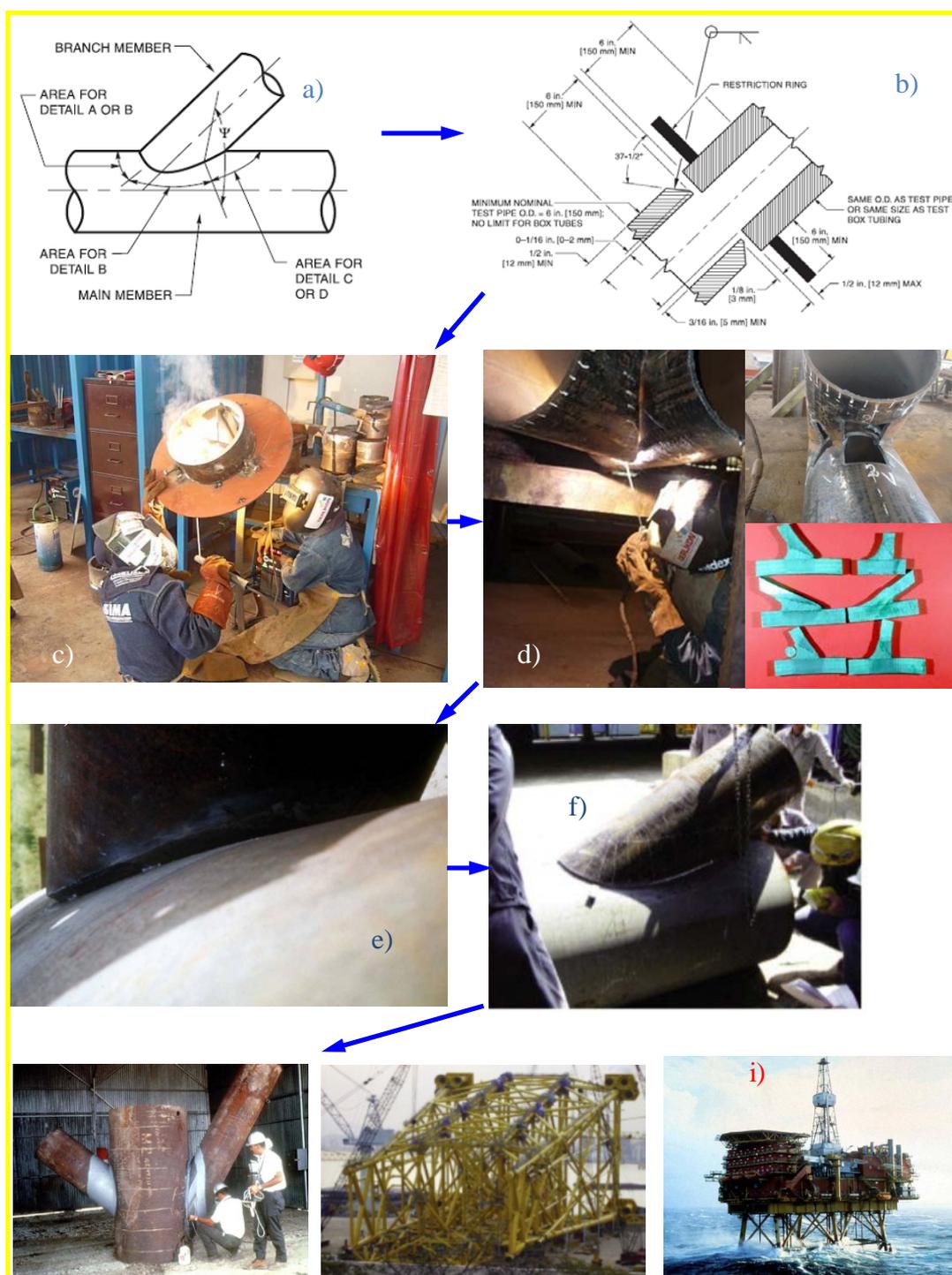




Figura 5.10 Estructura tubular: a) El Angulo Dihedral Según Anexo P – AWS D1.1 – 2008, b) Junta para calificación. C) Probeta 6GR, d) Procedimiento - Mock-up – Macrografías. Fabricación: e) Preparación de biseles, f) Inspección por zonas, g) END UTS, h) Alineamiento, i) Estructura en operación como base pozo petrolero.

5.5 Programa de Inspección:

- Fase A: Revisión inicial
 - ✓ Revisar orden de compra, códigos y dibujos
 - ✓ Desarrollar planes de inspección
 - ✓ Chequear WPS; chequear calificaciones de soldadores
 - ✓ Establecer un sistema de documentación de inspección
 - ✓ Crear un programa de acción correctiva
 - ✓ Publicar un sistema de identificación de productos no conformes
- Fase B: Chequeos pre - soldadura
 - ✓ Chequear condición de equipos y accesorios
 - ✓ Chequear conformidad de material base y material de aporte
 - ✓ Chequear posicionamiento de los miembros y de las juntas
 - ✓ Chequear preparación de la junta, alineamiento, limpieza
 - ✓ Chequear mantenimiento del alineamiento
 - ✓ Chequear temperatura de precalentamiento
- Fase C : Inspecciones en proceso
 - ✓ Verificar cumplimiento del WPS
 - ✓ Verificar calidad y ubicación de los pases de soldadura
 - ✓ Verificar secuencia de aplicación
 - ✓ Chequear temperaturas y limpieza interpase
 - ✓ Chequear aplicación de escarbado de raíz (backgouging)
 - ✓ Monitorear la aplicación de ensayos no destructivos (END)
- Fase D: Actividades post soldadura
 - ✓ Verificar apariencia y sanidad
 - ✓ Verificar dimensiones

- ✓ Verificar precisión dimensional
- ✓ Monitorear la aplicación de ensayos no destructivos (NDE)
- ✓ Monitorear la aplicación del tratamiento térmico post-soldadura
- ✓ Finalizar y ordenar la documentación

CAPITULO VI

APLICACIONES INDUSTRIALES

A continuación se detallaran aplicaciones industriales aplicando la metodología descrita en los capítulos anteriores.

6.1 REEMPLAZO DE MATERIAL DE APORTE DE ACERO INOXIDABLE:

En este caso se requiere unir de acero inoxidable austenítico de un equipo de Aker Kvaerner. Se requiere hacerlo en un plazo menor de 20 días para no incurrir en mayores penalidades por retraso en la entrega de la obra. Aplicando la metodología tenemos:

6.1.1 Identificación del Material Base: Del catalogo del fabricante se tiene:

Material base: ASTM 240 tipo AISI 304H

Ambiente de trabajo:

Temperaturas 200°C – 400°C

Exposición a concentración de ácido sulfúrico hasta el 7%.

Tabla 6.1 Composición química y propiedades mecánicas del ASTM 240 Tipo AISI 304H:

Composición	%C	%Mn	%Si	%Cr	%Ni	%Mo	%P	%S
Química	0.04 – 0.1	2	0.75	18 - 20	8 – 10.5	0.097	0.045	0.03
Propiedades	St (min)		Sy			e		
Mecánicas	515MPa		205MPa			40%		

6.1.2 Selección del Proceso de Soldadura.

Para la fabricación y soldadura se tiene la siguiente documentación:

Especificaciones Aker Kvaerner:

- 4-SPC-7540 Converter Shop Fabrication.
- 4-SPC-0061 Equipment Welding Austenitic Stainless Steel.
- 4-SPC-0040 Shop Fabricated Metallic Vessels and Metallic Vessel Components.

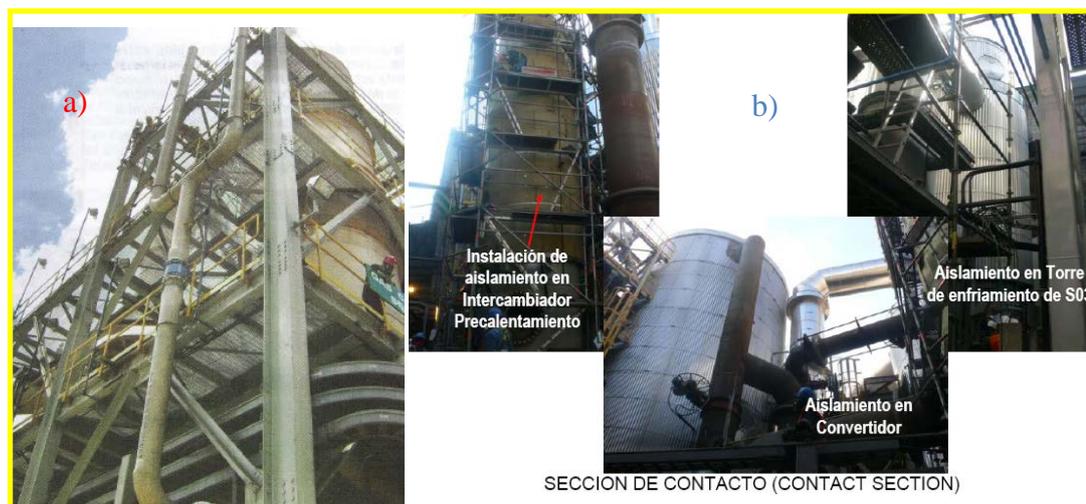


Figura 6.1: a) y b) Instalaciones de la planta de ácido sulfúrico

Por la dificultad que se tendrá durante la soldadura al trabajar en lugares altos y en posiciones forzadas, el proceso de soldadura elegido será el proceso de electrodo revestido SMAW.

6.1.3 Selección del Material de Aporte.

En la especificación: 4-SPC-0061 Equipment Welding Austenitic Stainless Steel, se tiene la siguiente tabla 6.2:

Tabla 6.2: Material de aporte recomendado para el respectivo material de acero inoxidable.

Stainless Steel Grade	Filler Metal
304L	308L/308/309
304	308/309
304H/High Carbon 304	308H
316L	309MoL

Se hace mención a que cualquier cambio debe consultarse con el fabricante Aker Kvaerner.

En la tabla 6.2 ya podemos identificar que para el material base AISI 304H, el material de aporte recomendado y según el proceso seleccionado tendría que cumplir la especificación AWS A5.4 308H.

Entonces ya se tiene identificado el material de aporte, pero se tiene la restricción que no es un material comercial, y que su fabricación es bajo pedido y tardaría en tenerse disponible al menos 45 días.

Es aquí que el tiempo de entrega se convierte en un limitante, y evaluando los sobrecostos, se plantea la alternativa de buscar un reemplazo al material de aporte sugerido por el fabricante, dentro del plazo de 20 días estipulado para la entrega del proyecto.

Para ubicar el posible reemplazo debemos tener en cuenta que necesitamos de un material de similar composición química al material de aporte recomendado que a su vez ofrezca una buena resistencia a la corrosión al medio al que estará expuesto, concentración del medio agresivo, y alta temperatura. De lo ya visto en el capítulo III, tenemos que un posible candidato es el material de aporte estabilizado con Niobio: E347-16, que en primera instancia puede ser la solución puesto que también contiene Niobio, que es un estabilizante que ayuda a obtener una buena resistencia a la corrosión.

Para validar el reemplazo se comparara el numero PREN (Pitting Resistance Equivalent Number), indica un número que permite ordenar los aceros inoxidable de acuerdo a su resistencia a la corrosión por picadura o pitting, causada por cloruros. La resistencia al pitting de un acero inoxidable está determinada por su contenido de cromo, Molibdeno y nitrógeno. Se ha encontrado que el efecto no es parejo sino que el molibdeno (Mo) es 3.3 veces más efectivo y el nitrógeno(N) es 30 veces más efectivo que el cromo (Cr). Por esta razón el número PREN se calcula por la fórmula:

$$\text{PREN} = \text{Cr}\% + 3.3\text{Mo}\% + 30\text{N}\%$$

Así tenemos:

Tabla 6.3: Calculo del numero PREN del material base y los materiales de aporte

Material	% C	% Mn	% Si	% Cr	% Ni	%Mo	% P	% S	% Nb	PREN
304H	0.04 – 0.1	2	0.75	18-20	8 -10.5	0.097	0.045	0.03	-	19.32
E308H-15	0.06	1.14	-	19.9	9.78	0.1	0.01	0.01	-	20.23
E347-16	0.06	0.8	0.7	19	9	-	-	-	0.8	19

El número PREN no permite hacer predicción sobre la velocidad de corrosión por picadura de un acero inoxidable. Pero si nos permite que ver que son similares.

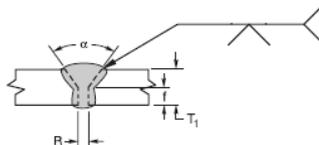
6.1.4 Técnica de Soldadura.

En la especificación 4-SPC-0061 Equipment Welding Austenitic Stainless Steel, se hacen las siguientes recomendaciones durante la soldadura.

- Bajos calores de aporte.
- No se requiere precalentamiento.
- Temperatura de Interfase máxima = 150°C.
- Pasivado debe cumplir con ASTM A380

Siguiendo con las especificaciones se procede a elaborar el siguiente procedimiento de soldadura.

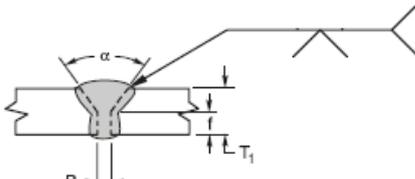
Cuadro 6.1: Procedimiento 1: Soldando con AWS E308H-15.

QW-482 – REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (PQR)			
Nombre de la compañía:	<u>METALMECANICA S.A</u>	Por:	<u>H. Carrera</u>
PQR N°:	<u>G7_PQR2</u>	Fecha:	<u>23-01-2009</u>
Para Calificar WPS N°:	<u>G7_WPS2</u>		
Proceso(s) de soldadura:	<u>SMAW</u>	Tipo:	<u>Manual</u>
JUNTA (QW-402)			
 <p style="text-align: center;">$R = 2.5\text{mm}$ $f = 2.5\text{mm}$ $\alpha = 60^\circ$</p>			
METAL BASE (QW-403)		TRATAMIENTO TERMICO POST-SOLDADURA (QW-407)	
Especificación material	<u>ASTM A240</u>	Temperatura	<u>---</u>
Tipo o grado	<u>304H</u>	Tiempo	<u>---</u>
P – No. <u>1</u>	a P – No. <u>1</u>	Otro	<u>---</u>
Espesor de probeta	<u>8.00mm</u>		
Diámetro de probeta	<u>---</u>		
Otro	<u>Soldado por ambos lados</u>		
	<u>Ranurado de la raíz con disco abrasivo</u>		
METAL DE APORTE (QW-404)		GAS (QW-408)	
Especificación SFA	<u>5.4</u>	Composición Porcentual	
Clasificación AWS	<u>E308H-15</u>	Gas	Mezcla
Metal de aporte F – No.	<u>5</u>	Flujo	---
Análisis de metal depositado A – No.	<u>8</u>	---	---
Tamaño de metal de aporte:	<u>2.5mm</u>	---	---
Otro	<u>---</u>	---	---
Espesor de metal de soldadura:	<u>8.00mm</u>	---	---
POSICION (QW-405)		CARACTERISTICAS ELECTRICAS (QW-409)	
Posición de ranura	<u>1G</u>	Corriente	<u>DC</u>
Progresión de soldadura (asc, desc)	<u>---</u>	Polaridad	<u>E (+)</u>
Otro	<u>---</u>	Amperaje	<u>Ver Tabla</u>
			<u>Voltaje</u>
			<u>Ver tabla</u>
		Electrodo de tungsteno:	<u>---</u>
PRECALENTAMIENTO (QW-406)		TECNICA (QW-410)	
Temperatura de precalentamiento	<u>10°C (mín)</u>	Velocidad de avance	<u>Ver Tabla</u>
Temperatura entre pases	<u>150°C (máx)</u>	Pasada ancha o angosta	<u>Angosta</u>
Otro	<u>:</u>	Oscilación	<u>Como sea requerida</u>
		Pase simple o múltiple	<u>Múltiple</u>
		Electrodo simple o múltiple	<u>Simple</u>
		Otro	<u>Pasivado : Con SOLDINOX</u>
		Longitud de alambre libre :	<u>---</u>

Continuación del Cuadro 6.1: Parámetros de soldadura y resultado de ensayos.

Pase	Proceso	Metal de Aporte		Corriente		Voltaje	Velocidad de Avance cm/min
		Clase	Diam (mm)	Tipo y polaridad	Amperaje		
1	SMAW	E308H-15	2.50mm	DC E (+)	60 -80	23 - 27	8 - 10
2	SMAW	E308H-15	2.50mm	DC E (+)	65 -85	23 - 27	9 -11
3	SMAW	E308H-15	2.50mm	DC E (+)	65 -85	23 - 27	9 -11
4	SMAW	E308H-15	2.50mm	DC E (+)	65 -85	23 - 27	9 -11
5	SMAW	E308H-15	2.50mm	DC E (+)	65 -85	23 - 27	9 -11
PRUEBAS DE TENSION							
Espécimen No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm ²)	Carga Máx. (KN)	Resistencia Máx.(MPa)	Ubicación de la rotura	
E308H-T-1	18.97	7.93	150.43	92.50	614.90	Cordón Soldadura	
E308H-T-2	19.06	7.85	149.62	91.10	608.87	Cordón Soldadura	
ENSAYOS DE DOBLEZ GUIADO							
Tipo y figura No.				Resultado			
CARA 1				ACEPTABLE			
CARA 2				ACEPTABLE			
RAIZ 3				ACEPTABLE			
RAIZ 4				ACEPTABLE			
PRUEBA DE IMPACTO							
Espécimen No.	Ubicación de muesca	Tamaño de espécimen	Temperatura de ensayo	Valores de impacto			Peso de rotura
				Fuerza	% corte	Mils	
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
PRUEBA EN SOLDADURA DE FILETE							
Resultado satisfactorio: Si ___ No ___ Penetración en metal origen: Si ___ No ___							
Resultados de macroataque: _____							
OTRAS PRUEBAS							
Tipo de prueba	-----						
Análisis de depósito	-----						
Otro	-----						
Nombre soldador	VERGARA GAMARRA, EDGAR			Estampa:	EVG		
Prueba conducida por:	Ing. Juan Guardia G.			Prueba de laboratorio No.	TC-2008-028 CTSol - LCH - D046 - 2008		
Nosotros certificamos que los datos en este registro son correctos y que las probetas fueron preparados, soldados y ensayados de acuerdo con los requerimientos de la Sección IX del Código ASME - 2007.							

Cuadro 6.2: Procedimiento 2: Soldando con AWS E347-16.

QW-482 – REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (PQR)			
Nombre de la compañía:	INGESOLD2008_G7	Por:	H. Carrera
PQR N°:	INGESOLD2008_G7_PQR1	Fecha:	23-01-2009
Para Calificar WPS N°:	INGESOLD2008_G7_WPS1		
Proceso(s) de soldadura:	SMAW	Tipo:	Manual
JUNTA (QW-402)			
 <p style="text-align: center;">$R = 2.5\text{mm}$ $f = 2.5\text{mm}$ $\alpha = 60^\circ$</p>			
METAL BASE (QW-403)		TRATAMIENTO TERMICO POST-SOLDADURA (QW-407)	
Especificación material	ASTM A240	Temperatura	---
Tipo o grado	304H	Tiempo	---
P – No.	1	a P – No.	1
Espesor de probeta	8.00mm	Otro	---
Diámetro de probeta	---	GAS (QW-408)	
Otro	Soldado por ambos lados	Composición Porcentual	
	Ranurado de la raíz con disco abrasivo	Gas(es)	Mezcla
		Flujo	Flujo
		---	---
		---	---
		---	---
METAL DE APORTE (QW-404)		CARACTERISTICAS ELECTRICAS (QW-409)	
Especificación SFA	5.4	Corriente	DC
Clasificación AWS	E347-16	Polaridad	E (+)
Metal de aporte F – No.	5	Amperaje	Ver Tabla
Análisis de metal depositado A – No.	8	Voltaje	Ver tabla
Tamaño de metal de aporte:	3.25mm	Electrodo de tungsteno:	---
Otro	---		---
Espesor de metal de soldadura:	8.00mm		---
POSICION (QW-405)		TECNICA (QW-410)	
Posición de ranura	1G	Velocidad de avance	Ver Tabla
Progresión de soldadura (asc, desc)	---	Pasada ancha o angosta	Angosta
Otro	---	Oscilación	Como sea requerida
		Pase simple o múltiple	Múltiple
		Electrodo simple o múltiple	Simple
		Otro	Pasivado : Con SOLDINOX
PRECALENTAMIENTO (QW-406)		Longitud de alambre libre :	---
Temperatura de precalentamiento	10°C (mín)		---
Temperatura entre pases	150°C (máx)		---
Otro			---

Continuación del Cuadro 6.2: Parámetros de soldadura y resultado de ensayos.

Pase	Proceso	Metal de Aporte		Corriente		Voltaje	Velocidad de Avance cm/min
		Clase	Diam (mm)	Tipo y polaridad	Amperaje		
1	SMAW	E347-16	3.25mm	DC E (+)	75 - 85	28 - 32	8 - 10
2	SMAW	E347-16	3.25mm	DC E (+)	75 - 95	28 - 32	8 - 11
3	SMAW	E347-16	3.25mm	DC E (+)	75 - 95	28 - 32	8 - 11
4	SMAW	E347-16	3.25mm	DC E (+)	75 - 95	28 - 32	8 - 11

PRUEBAS DE TENSION							
Espécimen No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm ²)	Carga Máx. (KN)	Resistencia Máx. (MPa)	Ubicación de la rotura	
E347-T-1	19.21	7.95	152.72	98.20	643.01	Cordón Soldadura	
E347-T-2	19.08	7.96	151.88	94.40	621.56	Cordón Soldadura	
ENSAYOS DE DOBLEZ GUIADO							
Tipo y figura No.				Resultado			
CARA 1				ACEPTABLE			
CARA 2				ACEPTABLE			
RAIZ 3				ACEPTABLE			
RAIZ 4				ACEPTABLE			
PRUEBA DE IMPACTO							
Espécimen No.	Ubicación de muesca	Tamaño de espécimen	Temperatura de ensayo	Valores de impacto			Peso de rotura
				Fuerza	% corte	Mils	
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
PRUEBA EN SOLDADURA DE FILETE							
Resultado satisfactorio: Si _____ No _____				Penetración en metal origen: Si ____ No ____			
Resultados de macroataque _____							
OTRAS PRUEBAS							
Tipo de prueba _____							
Análisis de depósito _____							
Otro _____							
Nombre soldador VERGARA GAMARRA, EDGAR				Estampa: EVG			
Prueba conducida por: Ing. Juan Guardia G.				Prueba de laboratorio No. TC-2008-028 CTSol - LCH - D045 - 2008			
Nosotros certificamos que los datos en este registro son correctos y que las probetas fueron preparados, soldados y ensayados de acuerdo con los requerimientos de la Sección IX del Código ASME - 2007.							

Finalmente el procedimiento sería el siguiente cuadro:

Cuadro 6.3 Procedimiento con material de aporte E347-16.

Nombre de la Compañía: METALMECANICA S.A.		Identificación N°: WPS --2008						
Proceso(s) de soldadura: SMAW		Revisión: 01			Fecha: 13-10-2008			
Soporte PQR N°(s): Por calificar		<i>Elaborado por: Grupo # X</i>						
DISEÑO DE LA JUNTA USADA		Tipo:		Manual : <input checked="" type="checkbox"/>	Semiautomático : <input type="checkbox"/>			
Tipo: Tope - Bisel 60°				Maquina : <input type="checkbox"/>	Automático : <input type="checkbox"/>			
Simple : <input checked="" type="checkbox"/>	Doble: <input type="checkbox"/>		POSICIÓN					
Respaldo: Si: <input type="checkbox"/>	No : <input checked="" type="checkbox"/>		Posición : PLANA					
Material de respaldo: ---		Progresión : ---						
Abertura de raíz (R) : 3 mm Tolerancia: +2, -0 mm		Dimensión cara raíz (f) : 3 mm		CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS				
Ángulo de bisel(α) : 60° Tolerancia: + 10°, -0°		Tolerancia: +2, -0 mm		Modo de transferencia (GMAW)				
Soldadura de respaldo	Sí: <input checked="" type="checkbox"/>	No : <input type="checkbox"/>		Globular : <input type="checkbox"/>	Pulverizado : <input type="checkbox"/>	Corto circuito: <input type="checkbox"/>		
Ranurado de la raíz <i>Disco Abrasivo</i>		Corriente:		CA : <input type="checkbox"/>	CCEP: <input checked="" type="checkbox"/>	CCEN : <input type="checkbox"/>	Pulsado: <input type="checkbox"/>	
METAL BASE		Otro:		---				
Especificación del material: ASTM A240		Electrodo de Tungsteno (GTAW): ---						
Tipo o Grado : 304H		Tamaño: ---		Tipo: ---				
Espesor (T1) : 6 – 10mm		Filete : ---		TÉCNICA				
Diámetro (tubo) : ---		Arrastre u oscilación: 1 ^{er} pase arrastre, resto con oscilación.						
METAL DE APORTE		Pasada simple o múltiple (por cara): Múltiple						
Especificación AWS: A 5.4		Número de electrodos : Uno						
Clasificación AWS : E347-16		Espaciado de electrodos: ---						
PROTECCIÓN		Longitudinal: ---						
Fundente: ---		Gas: ---		Ángulo: ---				
Composición del Gas : ---		Distancia de contacto del tubo a la pieza de trabajo: ---						
Fundente-electrodo (clase) : ---		Forjado : ---						
Ratio de alimentación : ---		Limpieza entre pasadas: 1 ^{er} pase esmerilado, resto escobillado.						
Tamaño de la copa : ---		Limpieza final: Pasivado Químico						
PRECALENTAMIENTO		TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA						
Temperatura de precalentamiento, mínima: No Aplica		Temperatura : ---						
Temperatura entre pases, máxima : 250°C		Tiempo : ---						
PROCEDIMIENTO								
Pase (s)	Proceso	Metal de aporte		Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de avance (cm/min)	Detalles de la Junta
		Clase	Diám. (mm)	Tipo y polaridad	Amperaje (A)			
1	SMAW	E347	3.2	DC(+)	75 – 85	28 – 32	8 – 10	
2-(n-1)	SMAW	E347	3.2	DC(+)	75 – 85	28 – 32	9 – 11	
n	SMAW	E347	3.2	DC(+)	90 - 95	28 - 32	9 – 11	
n = Pase de respaldo								

6.1.4.1 CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO: Se realizaron los siguientes ensayos:

6.1.4.1.1. INSPECCION VISUAL:

- Según ASME VIII Secciones UG, UW, UHA.
- Categorías de Uniones (UW-3): En general tenemos las siguientes categorías:
 - CATEGORIA A: Uniones Longitudinales.
 - CATEGORIA B: Uniones Circunferenciales.
 - CATEGORIA C: Uniones de bridas a tope.
 - CATEGORIA D: Uniones tipo “boca de pescado” a tope

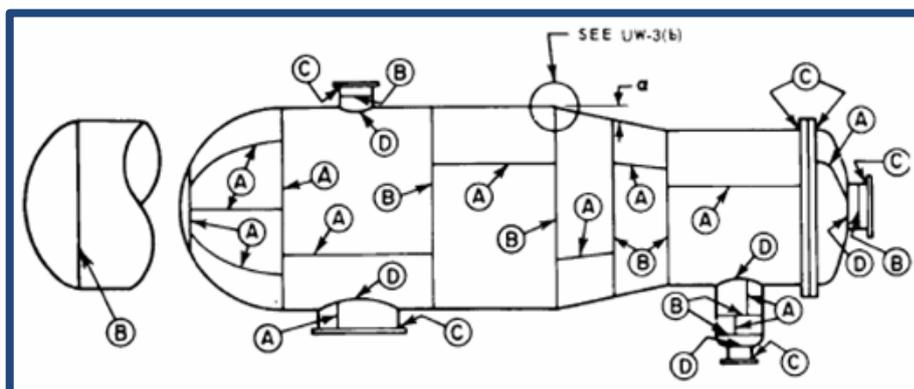


Figura 6.2 Categoría de uniones

- Criterio de Aceptación – Sobremonta - (UW -35 (d)).

Tabla 6.4: Criterio de Aceptación.

Espesores (mm)	MAXIMA SOBREMONTA(mm)	
	Uniones Categoría B y C , uniones a tope	Otras Categorías
$\leq 2,4$	2,4	0,8
$2,4 < t \leq 4,8$	3,2	1,6
$4,8 < t \leq 13,0$	4,0	2,4
$13,0 < t \leq 25,0$	4,8	2,4

- Criterio de Aceptación – Socavación - (UW -35 (b)-2)
 - Máximo permitido es 1,0mm ó 10% del espesor del material, el que sea menor.
- Otros tipo de requerimientos en la fabricación (UW-2 (a))
 - Inspección por RT al 100%, por almacenamiento de fluido venenoso.

6.1.4.2 ENSAYOS MECÁNICOS: Para la calificación del procedimiento es necesario obtener los cupones para su maquinado y así obtener las probetas para los ensayos mecánicos. La norma de fabricación contempla el código ASME sec. VIII, y la calificación del procedimiento se realizará bajo el código ASME sec. IX.

Se procederá al soldeo de 02 cupones, cada cupón tendrá un espesor de 8mm.

- 01 cupón se soldará con E308H-15.
- 01 cupón se soldará con E347-16

Los cupones tendrán las siguientes dimensiones:

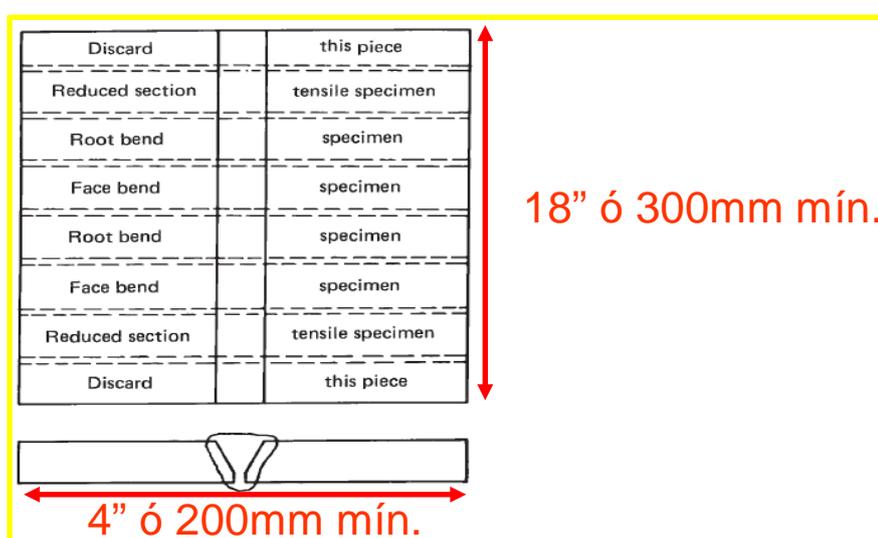


Figura 6.3 Cupon de soldadura

Para la calificación del procedimiento se requieren los siguientes ensayos mecánicos (por cada cupón soldado):

- 02 ensayos de tracción reducida,
- 02 ensayos de dobléz de cara,
- 02 ensayos de dobléz de raíz.

Esto es lo mínimo que exige el código ASME sec. IX, pero como se trata de un estudio de soldabilidad que tiene por objetivo ver la viabilidad de la sustitución de un E308H-15 por un E347-16. Se han contemplado las siguientes pruebas adicionales:

- 01 Ensayo de Corrosión, a condiciones de servicio: 350°C, en presencia de agente ácido (ácido sulfúrico al 40%).
- 01 Ensayo de Composición química del material de aporte.
- Ensayos metalográficos para ver la estructura final.

Estos ensayos son adicionales, y no se requieren para la calificación del procedimiento, pero deben realizarse para ver el correcto funcionamiento del material de aporte.

• **PROBETAS DE TRACCION:** Del cupón soldado se maquina la sección correspondiente al ensayo de tracción según la figura 6.4.

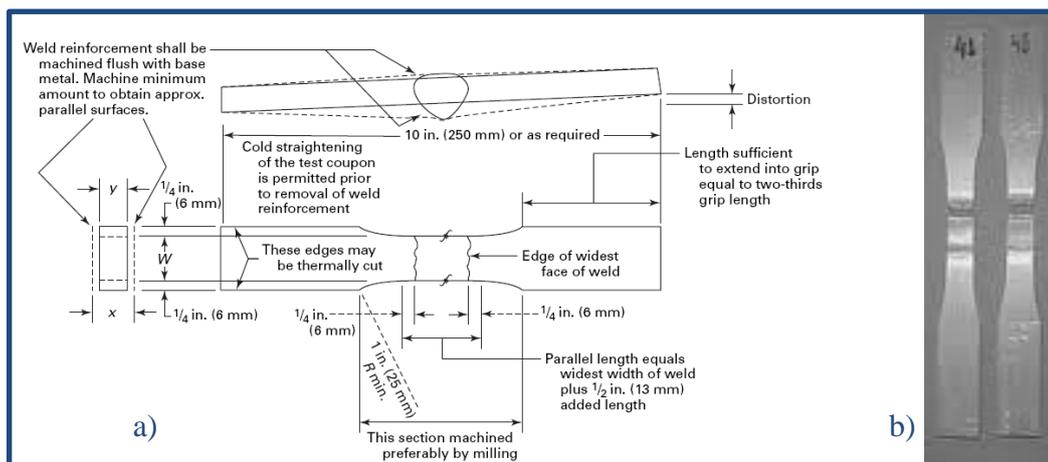


Figura 6.4: a) Dimensiones de probeta de tracción, b) Probeta maquinada.

Los resultados de laboratorio indicaron la rotura en el cordón de soldadura, pero a una tracción en el rango esperado, el aporte E347-16 tuvo mayor resistencia que el E308H.

Cuadro 6.4 Resultados de laboratorio del Ensayo de tracción.

Codigo		Sección Transversal		CARGAS		TENSIONES		Alargamiento	
N°	Ancho mm	Diámetro / Espesor mm	Area mm ²	Fluencia N	Máxima N	Fluencia MPa	Máxima MPa	% Lo	
E 308 H - T -1	18.97	7.93	150.43		92500		614.90		
E 308 H - T -2	19.06	7.85	149.62		91100		608.87		
E 347 - T -1	19.21	7.95	152.72		96200		643.01		
E 347 - T -2	19.08	7.96	151.88		94400		621.56		

OBSERVACIONES :

● **Rotura en Cordon de Soldadura**

Norma de Ensayo : ASTM E 8M -00b
 Norma Calificación :
 Equipo usado : TINIUS OLSEN SUPER L 120
 Código Interno : LAB-E-41
 Las muestras han sido suministrado por el solicitante

Ing. Responsable
 Ronald Requejo V
 CIP : 101024

• **PROBETAS DE DOBLEZ:** Del cupón soldado se maquina la sección correspondiente al ensayo de doblez según las siguientes dimensiones:

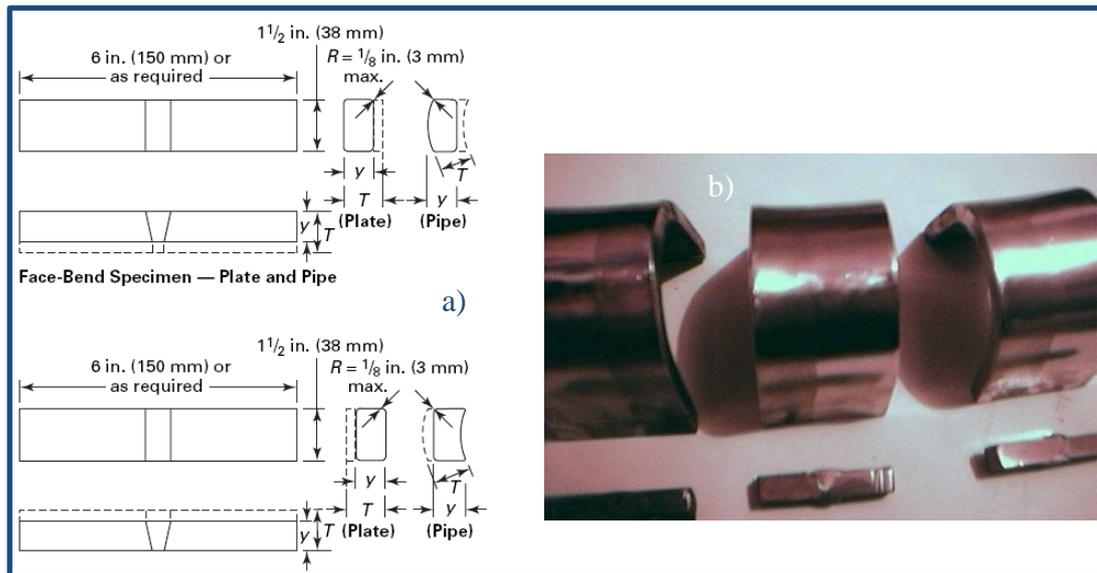


Figura 6.5: a) Dimensiones de probeta de doblez, b) Probetas dobladas.

Cuadro 6.5: Resultados conformes del ensayo de doblez del aporte E347-16

Soldexsa		INFORME TECNICO		Identificación																										
		ENSAYO DE DOBLEZ		CTSol-LGH-D04b-2009																										
CLIENTE: PRUEBAS INTERNAS LUGAR DE PRUEBA: Centro Tecnológico de Soldaduras SOLDEXSA REALIZADO POR: Ing. Juan Guardia. FECHA DE ENSAYO: 10 - 10 - 2008 MUESTRA: 04 probetas de doblez - E347				Revisión N° 1 10/10/2008																										
DIMENSIONES DE LAS PROBETAS <table border="1"> <thead> <tr> <th>N°</th> <th>PROBETA</th> <th>ANCHO</th> <th>ESPESOR</th> <th>LONGITUD</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>CARA - 1</td> <td>38,0</td> <td>8,0</td> <td>200,0</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>CARA - 2</td> <td>38,0</td> <td>7,9</td> <td>200,0</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>RAIZ - 1</td> <td>38,0</td> <td>8,0</td> <td>200,0</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>RAIZ - 2</td> <td>38,0</td> <td>8,0</td> <td>200,0</td> </tr> </tbody> </table> <p>* Medidas en milímetros</p>						N°	PROBETA	ANCHO	ESPESOR	LONGITUD	1	CARA - 1	38,0	8,0	200,0	2	CARA - 2	38,0	7,9	200,0	3	RAIZ - 1	38,0	8,0	200,0	4	RAIZ - 2	38,0	8,0	200,0
N°	PROBETA	ANCHO	ESPESOR	LONGITUD																										
1	CARA - 1	38,0	8,0	200,0																										
2	CARA - 2	38,0	7,9	200,0																										
3	RAIZ - 1	38,0	8,0	200,0																										
4	RAIZ - 2	38,0	8,0	200,0																										
RESULTADOS DE LA PRUEBA: <table border="1"> <thead> <tr> <th>PROBETA</th> <th>CARA</th> <th>RAIZ</th> <th>LADO</th> <th>DISCONTINUIDAD</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CARA - 1</td> <td>Conforme</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> <tr> <td>CARA - 2</td> <td>Conforme</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> <tr> <td>RAIZ - 1</td> <td>---</td> <td>Conforme</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> <tr> <td>RAIZ - 2</td> <td>---</td> <td>Conforme</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </tbody> </table>						PROBETA	CARA	RAIZ	LADO	DISCONTINUIDAD	CARA - 1	Conforme	---	---	---	CARA - 2	Conforme	---	---	---	RAIZ - 1	---	Conforme	---	---	RAIZ - 2	---	Conforme	---	---
PROBETA	CARA	RAIZ	LADO	DISCONTINUIDAD																										
CARA - 1	Conforme	---	---	---																										
CARA - 2	Conforme	---	---	---																										
RAIZ - 1	---	Conforme	---	---																										
RAIZ - 2	---	Conforme	---	---																										
OBSERVACIONES: 1. Norma Aplicada en el ensayo : ASME IX 2. Diámetro del punzon (mm) / separación de los rodillos (mm) : 32/52 3. Material Base : ASTM A240 Tipo 304H 4. La(s) muestra(s) ensayada(s) fue(ron) entregada(s) por : ---- 5. De acuerdo al cliente estas muestras pertenecen a los ensayos de dobles requeridos para la calificación WPS-01																														
*Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización de SOLDEXSA S.A.																														

Cuadro 6.6: Resultados conformes del ensayo de doblez del aporte E308H.

Soldexsa		INFORME TECNICO		Identificación																																														
		ENSAYO DE DOBLEZ		CTSol-LCH-0046-2008 Revisión N°: 1 10/10/2008																																														
CLIENTE: PRUEBAS INTERNAS LUGAR DE PRUEBA: Centro Tecnológico de Soldaduras SOLDEXSA REALIZADO POR: Ing. Juan Guardia FECHA DE ENSAYO: 10 - 10 - 2008 MUESTRA: 04 probetas de doblez - E308H																																																		
DIMENSIONES DE LAS PROBETAS <table border="1"> <thead> <tr> <th>N°</th> <th>PROBETA</th> <th>ANCHO</th> <th>ESPESOR</th> <th>LONGITUD</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>CARA - 1</td> <td>38,0</td> <td>8,0</td> <td>200,0</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>CARA - 2</td> <td>38,0</td> <td>8,0</td> <td>200,0</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>RAIZ - 1</td> <td>38,0</td> <td>7,8</td> <td>200,0</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>RAIZ - 2</td> <td>38,0</td> <td>8,0</td> <td>200,0</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>* Medidas en milímetros</p>						N°	PROBETA	ANCHO	ESPESOR	LONGITUD	1	CARA - 1	38,0	8,0	200,0	2	CARA - 2	38,0	8,0	200,0	3	RAIZ - 1	38,0	7,8	200,0	4	RAIZ - 2	38,0	8,0	200,0																				
N°	PROBETA	ANCHO	ESPESOR	LONGITUD																																														
1	CARA - 1	38,0	8,0	200,0																																														
2	CARA - 2	38,0	8,0	200,0																																														
3	RAIZ - 1	38,0	7,8	200,0																																														
4	RAIZ - 2	38,0	8,0	200,0																																														
RESULTADOS DE LA PRUEBA: <table border="1"> <thead> <tr> <th>PROBETA</th> <th>CARA</th> <th>RAIZ</th> <th>LADO</th> <th>DISCONTINUIDAD</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CARA - 1</td> <td>Conforme</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> <tr> <td>CARA - 2</td> <td>Conforme</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> <tr> <td>RAIZ - 1</td> <td>---</td> <td>Conforme</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> <tr> <td>RAIZ - 2</td> <td>---</td> <td>Conforme</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						PROBETA	CARA	RAIZ	LADO	DISCONTINUIDAD	CARA - 1	Conforme	---	---	---	CARA - 2	Conforme	---	---	---	RAIZ - 1	---	Conforme	---	---	RAIZ - 2	---	Conforme	---	---																				
PROBETA	CARA	RAIZ	LADO	DISCONTINUIDAD																																														
CARA - 1	Conforme	---	---	---																																														
CARA - 2	Conforme	---	---	---																																														
RAIZ - 1	---	Conforme	---	---																																														
RAIZ - 2	---	Conforme	---	---																																														
OBSERVACIONES: <ol style="list-style-type: none"> Norma Aplicada en el ensayo: ASME IX Diametro del punzon (mm) / separacion de los rodillos (mm): 32/52 Material Base: ASTM A240 Tipo 304H La(s) muestra(s) ensayada(s) fue(ron) entregada(s) por: --- De acuerdo al cliente estas muestras pertenecen a los ensayos de doblez requeridos para la calificación WPS-02 <p>*Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización de SOLDEXSA S.A.</p> <div style="text-align: center;">  </div>																																																		

6.1.4.3: ANÁLISIS QUÍMICO: Esta en el rango esperado para el material de aporte E347-16, donde el % de Cr, Ni permiten verificar el similar numero PREN, ya calculado cuando se selecciono el material de aporte.

Cuadro 6.7: Resultados del análisis químico

ENEA Soluciones		INFORME TECNICO		CCS - 045																																																																									
		ANÁLISIS QUÍMICO		Edición 01																																																																									
NOMBRE DE EMPRESA: SOLDEXA LUGAR DE PRUEBA: Laboratorios EXSA FECHA DEL ENSAYO: 2008-12-17 N° DE INFORME: CQ-EXSA-2008 -78																																																																													
RESULTADOS: <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Muestra N° 1: AW + CB</th> <th colspan="2">Muestra N° 2: E 308</th> <th colspan="2">Muestra N° 3:</th> </tr> <tr> <th>Elemento</th> <th>%</th> <th>Elemento</th> <th>%</th> <th>Elemento</th> <th>%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Carbono</td> <td>0.087</td> <td>Carbono</td> <td>0.066</td> <td>Carbono</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Silicio</td> <td>0.460</td> <td>Silicio</td> <td>0.630</td> <td>Silicio</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Manganeso</td> <td>1.060</td> <td>Manganeso</td> <td>1.270</td> <td>Manganeso</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Molibdeno</td> <td>0.020</td> <td>Molibdeno</td> <td>0.120</td> <td>Molibdeno</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Cromo</td> <td>18.360</td> <td>Cromo</td> <td>18.950</td> <td>Cromo</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Niquel</td> <td>9.750</td> <td>Niquel</td> <td>10.200</td> <td>Niquel</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Cobre</td> <td>-</td> <td>Cobre</td> <td>-</td> <td>Cobre</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Azufre</td> <td>0.021</td> <td>Azufre</td> <td>0.013</td> <td>Azufre</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						Muestra N° 1: AW + CB		Muestra N° 2: E 308		Muestra N° 3:		Elemento	%	Elemento	%	Elemento	%	Carbono	0.087	Carbono	0.066	Carbono		Silicio	0.460	Silicio	0.630	Silicio		Manganeso	1.060	Manganeso	1.270	Manganeso		Molibdeno	0.020	Molibdeno	0.120	Molibdeno		Cromo	18.360	Cromo	18.950	Cromo		Niquel	9.750	Niquel	10.200	Niquel		Cobre	-	Cobre	-	Cobre		Azufre	0.021	Azufre	0.013	Azufre													
Muestra N° 1: AW + CB		Muestra N° 2: E 308		Muestra N° 3:																																																																									
Elemento	%	Elemento	%	Elemento	%																																																																								
Carbono	0.087	Carbono	0.066	Carbono																																																																									
Silicio	0.460	Silicio	0.630	Silicio																																																																									
Manganeso	1.060	Manganeso	1.270	Manganeso																																																																									
Molibdeno	0.020	Molibdeno	0.120	Molibdeno																																																																									
Cromo	18.360	Cromo	18.950	Cromo																																																																									
Niquel	9.750	Niquel	10.200	Niquel																																																																									
Cobre	-	Cobre	-	Cobre																																																																									
Azufre	0.021	Azufre	0.013	Azufre																																																																									
OBSERVACIONES: <ol style="list-style-type: none"> Norma aplicada para el ensayo: AS 2134.1-1999 Recommended practice for chemical analysis by atomic absorption spectrometry - Flame atomic absorption spectrometry La muestra analizada fue entregada por el cliente 																																																																													

Luego de ejecutado el procedimiento de soldadura, la zona soldada queda con coloridos óxidos remanentes, y es importante retirarlos mediante el pasivado para que no sean punto de inicio de corrosión. Para esto se puede aplicar una combinación de ácido fluorhídrico y ácido nítrico, comercialmente conocida como Soldinox. En antes y el después se aprecian en la figura 6.6.

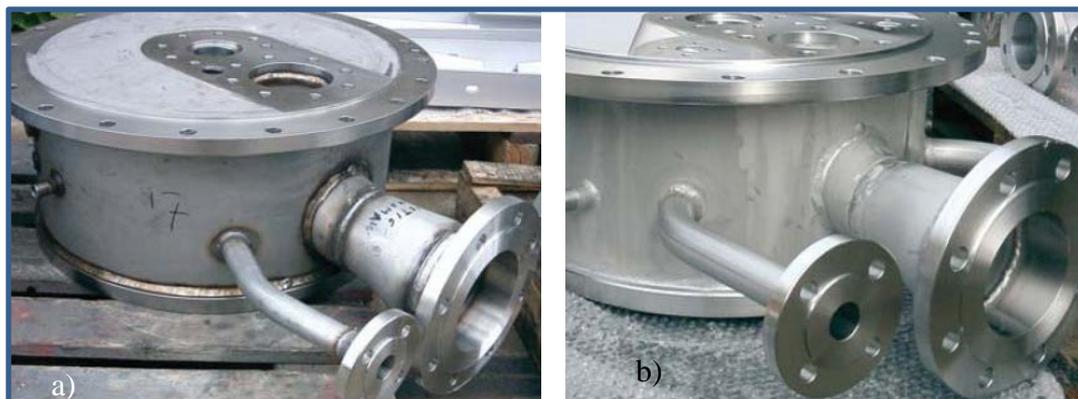


Figura 6.6 a) Pieza recién soldada, b) Pieza pasivada, se removió los rastros de oxidación

CONCLUSIONES

1. Las pruebas realizadas indican que si es posible la utilización del material de aporte E347-16 para soldar el material base AISI 304H.
2. Se ha demostrado técnicamente la posibilidad de buscar un reemplazo siendo importante para la determinación del procedimiento de soldadura y la calificación de soldadores seguir las especificaciones del fabricante donde se designa al código ASME.
3. Se ha logrado ahorrar dinero y tiempo al validar un reemplazo de un material de aporte.

6.2 CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA PORTUARIA:

A continuación se mostrara un resumen del proyecto de instalaciones para la construcción del muelle de Melchorita. Básicamente tiene tuvo dos partes metálicas importantes: un muelle caballete de 1350 metros de longitud que sale perpendicular a la costa y un atracadero perpendicular al muelle caballete de aproximadamente 800 metros.

Las dos obras juntas, implicaron la fabricación de:

1. 10 000 toneladas de estructuras, que fueron licitadas y construidas por Metalmecánicas locales.
2. 7000 toneladas de pilotes que serán construidos por el mismo consorcio del proyecto. Los pilotes tenían 48 pulgadas de diámetro, espesores variables entre 22 mm. y 48 mm, un largo entre 36 metros y 40 metros.

6.2.1 Soldadura de las estructuras: La calificación de los procedimientos de soldadura se han realizado bajo la norma AWS D1.1/D1.1 M: 2006 y no se permitió el uso de procedimientos precalificados.

6.2.2: Control de calidad: Es muy exigente, según lo establecido en el contrato del proyecto todas las soldaduras serán inspeccionadas con ensayos no destructivos incluyendo la estructura de la prueba de pilotes.

Tabla 6.5: Relación de END

Ensayo no destructivo (END)	Criterio de Aceptación
Inspección visual	AWS D1.1. § 6.9 & tabla 6.1
Líquidos Penetrantes	AWS D1.1. § 6.10
Partículas magnéticas	
Radiografía Industrial	AWS D1.1. § 6.12
Ultrasonido	AWS D1.1. § 6.13



Figura 6.7 Control de calidad

6.2.3 Fabricación de pilotes: Se prepararon los tubos mediante cortado, esmerilado, armado, luego pasan una etapa de soldadura manual logrando alcanzar una longitud de 24 a 36 metros, después son soldados con arco sumergido luego son inspeccionados por control de calidad. Luego se pintan para finalmente hincarlos.

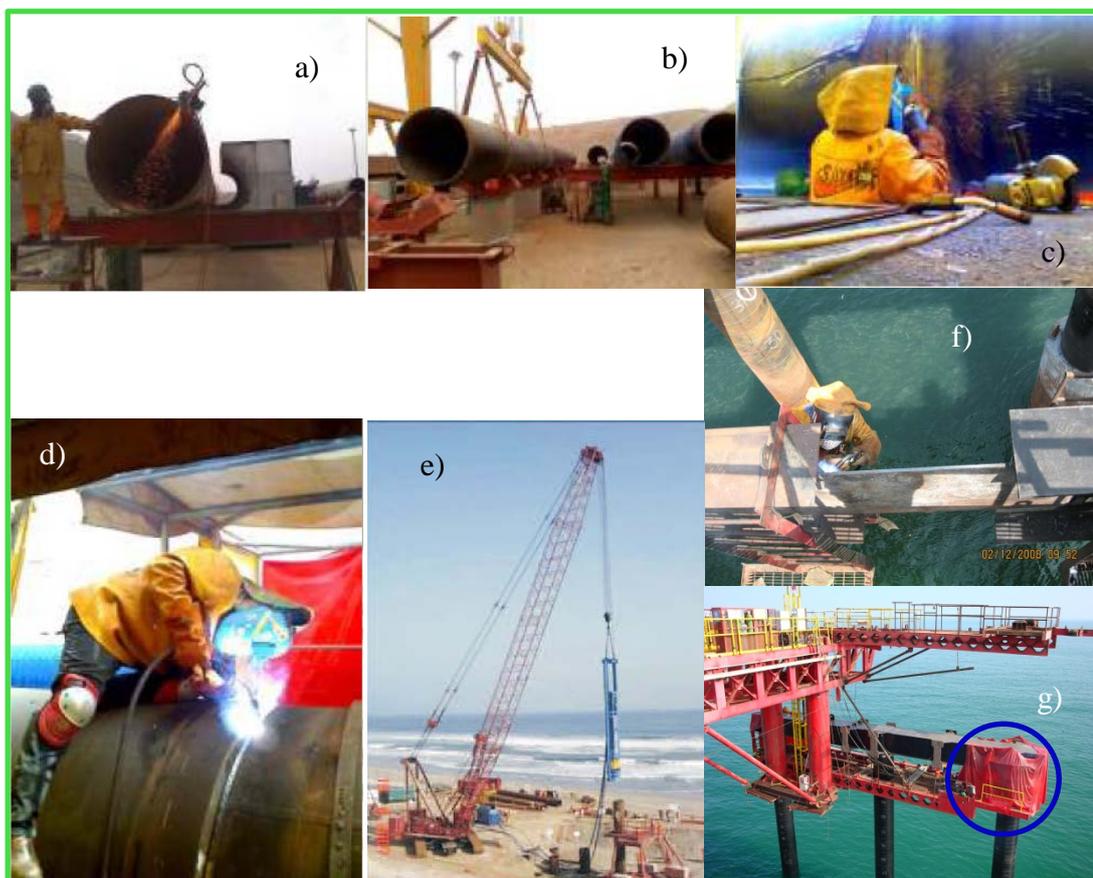
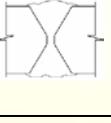
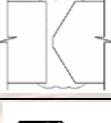
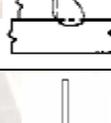
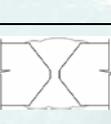
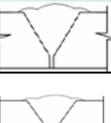
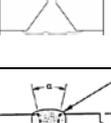
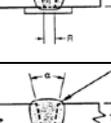
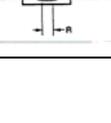
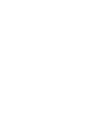


Figura 6.8 a), b), c) y d) Fabricación de pilotes, e) Hincamiento del pilote, f) Soldadura SMAW en posición forzada, g) Paradigma roto: Se montaron cabinas sobre el mar para soldar con FCAW con protección gaseosa, trabajando al máximo y con menos de 2% de fallas en todas las juntas.

En la siguiente tabla se muestran los diferentes materiales base, procesos y la relación de nuestros productos de soldadura que se han utilizado en este proyecto, y resume la metodología explicada para diferentes juntas:

1. Identificación del Material Base.
2. Selección del Proceso de Soldadura.
3. Selección del Material de Aporte.
4. Técnica de Soldadura.

Tabla 6.6: Resumen de juntas, procesos y soldadura utilizada en el proyecto.

Tipo de Junta	Metal Base		Proceso de Soldadura	Material de Aporte		
	Norma Técnica	Rango de Espesor WPS (mm)		Norma Técnica	Nombre Comercial	Diámetro (mm)
	ASTM A709 G345 / ASTM A572 Grade 50	3 a Ilimitado	FCAW + SAW	AWS A5.20 E71T-1 + AWS A5.17 F7 A2 – EM12K	EXATUB E71T-1 + OK FLUX 429 – SOLDAFIL EM12K	1.60 + 4.00
	ASTM A709 G345 / ASTM A572 Grade 50	3 a Ilimitado	SMAW	AWS A5.1 E7018	SUPERCITO	3.25 y 4.00
	ASTM A709 G345 / ASTM A572 Grade 50	3 a Ilimitado	SMAW	AWS A5.1 E7018	SUPERCITO	3.25 y 4.00
	ASTM A709 G345 / ASTM A572 Grade 50	3 a Ilimitado	FCAW + SAW	AWS A5.29 E81T1-Ni1 + AWS A5.17 F7 A2 – EM12K	EXATUB 81 Ni1 + OK FLUX 429 – SOLDAFIL EM12K	1.60 + 4.00
	ASTM A709 G345 / ASTM A572 Grade 50	3 a Ilimitado	FCAW	AWS A5.20 E71T-1	SOLDATUB E71T-1	1.60
	AISI 316L to ASTM A709 G345 / ASTM A572 Grade 50	3 a Ilimitado	SMAW	AWS A5.4 E309-16	INOX 309 ELC	2.50
	ASTM A709 G345 / ASTM A572 Grade 50	3 a Ilimitado	SAW	AWS A5.17 F7 A2 – EM12K	OK FLUX 429 – SOLDAFIL EM12K	3.15 y 4.00
	ASTM A709 G345 / ASTM A572 Grade 50	3 a 20	SMAW	AWS A5.1 E7018	SUPERCITO	3.25
	ASTM A709 G345 / ASTM A572 Grade 50	3 a 20	FCAW	AWS A5.20 E71T-1	SOLDATUB E71T-1	1.60
	ASTM A572 G50 / ASTM A572 Grade 50	3 a 16	SAW	AWS A5.17 F7 A2 – EM12K	OK FLUX 429 – SOLDAFIL EM12K	4.00
	ASTM 572 G50 / ASTM A572 Grade 50	3 a Ilimitado	FCAW	AWS A5.20 E71T-1	SOLDATUB E71T-1	1.60
	ASTM 572 G65 API 5X X65	3 a Ilimitado	SAW	AWS A5.23: F8A4 EA2-A2 / AWS A5.23:F8A6-F8P6 EA2	FLUJO POP 121 TT + OE S2 Mo / FLUJO POP 121 TT/W + OE S2 Mo	4.00
	ASTM 572 G65 API5L X65	3 a Ilimitado	SMAW	AWS A5.5 E7016-1 / AWS A5.5 E8018-C3	TENAX 56S / TENACITO 80	3.25

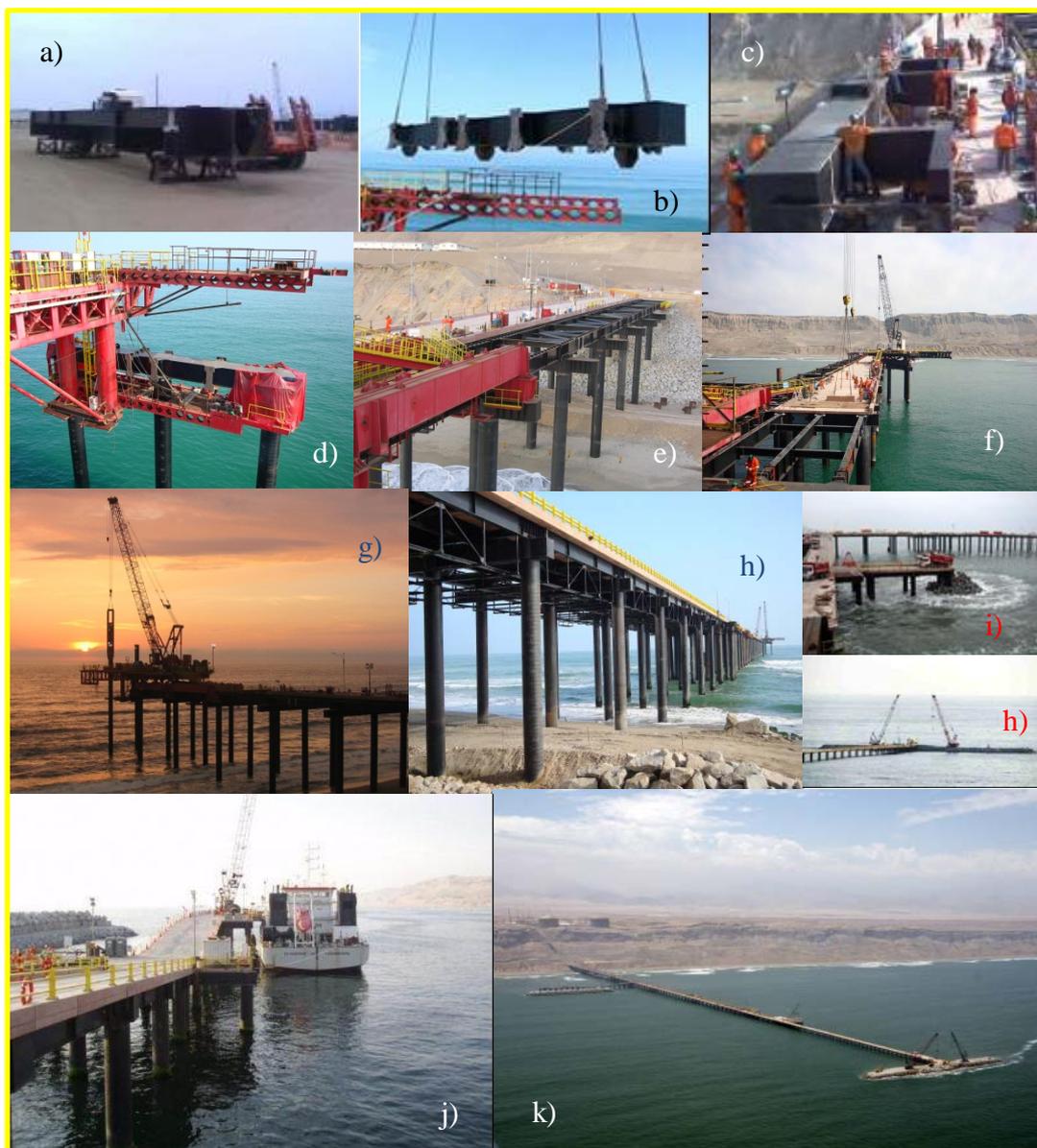


Figura 6.9 Resumen de la construcción del muelle; a), b), c), d), e), f) Instalación de las plataformas soldadas con SAW y transportadas desde Lima; g), h) Continúa el hincamiento de pilotes, i), h) Construcción del rompeolas, j) Instalación de las pasarelas, y fenders soldados con SMAW, k) Muelle terminado.

CONCLUSION:

1. Se ha mostrado un resumen de proyectos de gran magnitud, en el cual parte de su construcción ha involucrado la aplicación de todo un trabajo de ingeniería de soldadura, desde las primeras pruebas: selección del proceso de soldadura, selección de los materiales de aporte, calificación de los procedimientos de soldadura, ensayos mecánicos, ensayos no destructivos, control de calidad de uniones soldadas.

6.3 RECUPERACION DE TURBINAS PELTON:

La reparación por soldadura constituye una excelente alternativa técnica y económica en la recuperación de piezas gastadas; es por este motivo que en las centrales de generación eléctrica cada vez buscan mejorar las técnicas y procesos de recuperación y una de las mejores es la soldadura. Para el procedimiento de soldadura aplicamos la metodología propuesta:

6.3.1 Identificación del Material Base.

Del Catalogo del fabricante se sabe que el tipo de material de los rodets y componentes son de Acero Inoxidable martensítico CA-6NM (GX 5Cr Ni 13 4), de composición química nominal y sus valores mecánicos nominales que se resumen en la tabla 6.7:

Tabla 6.7 Composición química y propiedades mecánicas del GX 5Cr Ni 13 4:

Composición	%C	%Mn	%Si	%Cr	%Ni	%Mo
Química	0.08	0.05	0.05	12.5	3.8	0.5
Propiedades Mecánicas	Resistencia a la tracción		Limite elástico		Valores de impacto	
	80 a 90 Kg./mm ²		60 Kg./mm ²		>55 J	

6.3.2 Selección del Proceso de Soldadura:

La recuperación de ruedas Pelton se puede realizar con diferentes procesos de soldadura, se usaran lo siguientes procesos de manera complementaria.

SMAW: Se usara para el apuntalado y uniones de difícil acceso.

GMAW: Se usara para el relleno en posición plana.

GTAW: Se usara para el acabado en el relleno de poros o discontinuidades.

6.3.3 Selección del Material de Aporte:

Se seleccionan según el proceso a usar:

SMAW: Se selecciona el material de aporte AWS A5.4 E410NiMo-15. En el mercado existen dos tipos de electrodos uno con núcleo sintético de bajo costo, y uno con núcleo inoxidable de mayor precio.

La selección del material con núcleo sintético de menor precio tiene las siguientes desventajas: Soldabilidad inferior, mayor gasto de horas hombre y de esmeriles para el proceso de limpieza. Por ello la selección de un electrodo con núcleo de acero inoxidable es la más adecuada.

Los diámetros a usar tenemos de 3.25mm, 4.00mm y 5.00mm.

GMAW: Se selecciona el material AWS A5.9 ER410NiMo, para el espesor a usar seleccionamos para el relleno en el diámetro de 1.20mm.

- ✓ El alambre estará libre de elementos extraños. (Lubricantes, grasas, óxidos, tierra, etc.)
- ✓ El bobinado del alambre deberá estar de tal manera que no cause enredos durante la soldadura, se prefiere que sea bobinado hilo a hilo.

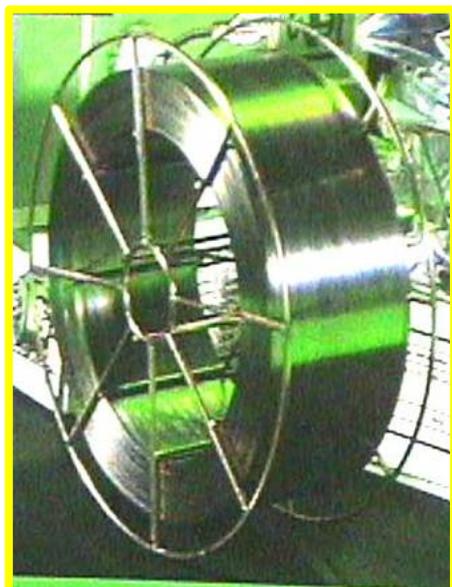


Figura 6.10 Rollo de ER410NiMo 1.20mm x 15kg
Nombre comercial: MIGFIL PS 134 1.20mm

GTAW: Se selecciona el material AWS A5.9 ER410NiMo, para el acabado donde se usara el diámetro más delgado es 1.60mm.

6.3.4 Técnica de Soldadura.

1. Marcación de puntos de referencia:

- ✓ Se marca puntos en los lados laterales de los cangilones, puntos que servirán de referencia y guía para controlar la deformación.
- ✓ Se usa plantillas para la marcación.



Figura 6.11 Cangilón del rodete Peltón

- #### 2. Pre calentamiento:
- El pre calentamiento se realiza con la finalidad de evitar cambios estructurales significativos en la zona de soldadura por enfriamiento rápido de esta zona. La temperatura de pre calentamiento esta establecido en 120 a 150°C para este tipo de material. La temperatura de pre calentamiento se puede obtener con, hornos eléctricos, pre calentamiento localizado (resistencia eléctrica) o con gas propano. Este último se aplica según se muestra en la figura 6.12.



Figura 6.12 Pre calentamiento

3. Equipo de soldadura:

- ✓ La máquina de soldar debe tener un alto porcentaje de ciclo de trabajo.
- ✓ Debe tener sistema de refrigeración con agua.
- ✓ Debe ser capaz de obtener una regulación fina de parámetros



Figura 6.13 Se aprecian la maquina GMAW, el alimentador, y la antorcha.

4. Selección del alambre: Ya vista en la selección del material de aporte. El diámetro del alambre estará de acuerdo a la cantidad de relleno de soldadura requerido, y al espesor de la zona a soldar: 1.20mm.

5. Selección del gas de protección :

- El gas de protección que se usa en el proceso GMAW para la recuperación de ruedas Pelton, es una mezcla de Argón /CO₂ ó una mezcla de Argón/ O₂
- Mezcla de gas:
 - 98% Ar + 2% O₂
 - 98% Ar + 2% CO₂ (usado actualmente)

6. Tipo de transferencia del metal de aporte: En la soldadura semiautomática MIG MAG en la reparación de ruedas Pelton generalmente se emplean transferencias tipo:

- SPRAY, es el más usado en este tipo de recuperación.
- Se obtiene un gran avance al ejecutar la soldadura (Spray)
- Esta transferencia es libre de crepitaciones.
- La zona de soldadura queda sin salpicaduras.
- Los acabados obtenidos con esta transferencia son muy buenos,
- Los cordones son lisos y muy bien formados



Figura 6.14 Arco de transferencia Spray

7. Regulación de parámetros: La regulación de parámetros es muy importante en el proceso de relleno de los cangilones de las ruedas Pelton. De la regulación dependerá el comportamiento del arco eléctrico, y por lo tanto los acabados de los cordones de soldadura. Muy importante es la habilidad del soldador, que tiene que adecuarse a la forma del cangilón.

Tabla 6.8: Parámetros de soldadura

Ø Alambre	Voltaje	Amperaje	Velocidad de Avance	Flujo de Gas
1.2 mm	27-29	180-280	~15 cm./minuto	15L/minuto

8. Equipo del soldador y área de trabajo: Es importante que el soldador use su equipo de protección personal para el trabajo, y tener limpia el área a trabajar, que el material inoxidable no este en contacto con material de acero al carbono para evitar contaminación y corrosión.



Figura 6.15 a) Soldador con su equipo de protección personal, b) Se usa mantas térmicas para aislar el cangilón del contacto con acero al carbono.

9. Predeformación del cangilón y refuerzo: Esta operación es realizada con la finalidad de contrarrestar la deformación, producto del relleno de la soldadura interna.



Figura 6.16 Cangilón predeformado

10. Secuencia de los cordones de soldadura: La soldadura se inicia en la base de la parte interior del cangilón primero en línea recta (2 cordones), luego se va soldando en forma circunferencial hasta cubrir toda la parte interior.



Figura 6.17 Inicio en la base.

- ✓ Aquí podemos observar cordones realizados en la parte interior del cangilón.



Figura 6.18 Cordones interiores

11. Temperatura de interpase: Es muy importante el control de la temperatura de interpase, de ello dependerá la calidad del depósito de soldadura y la estructura del metal base.

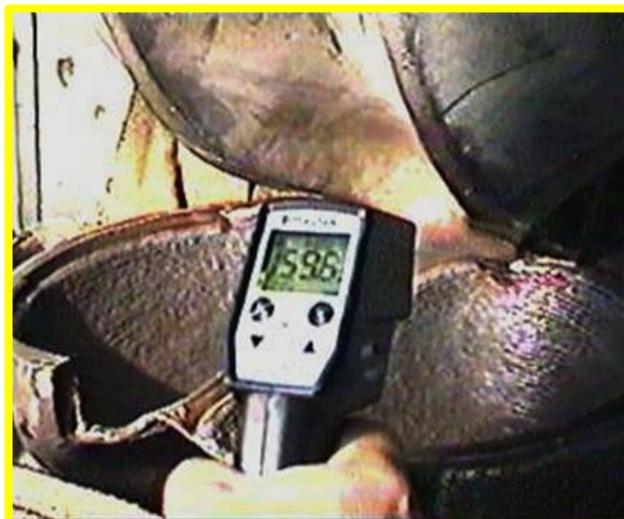


Figura 6.19: Medición de temperatura de interpase

12. Limpieza de los cordones de soldadura: La limpieza se debe hacer exhaustivamente para evitar que quede residuos de óxido en la superficie del cordón de soldadura.



Figura 6.20 Limpieza

13. Control de deformaciones:

- ✓ Las deformaciones se controlan con plantillas que se colocan en el borde del cangilón previamente marcadas.
- ✓ Las medidas de los puntos de referencia son controlados continuamente, para evitar deformaciones severas en el perfil de la cuchara.

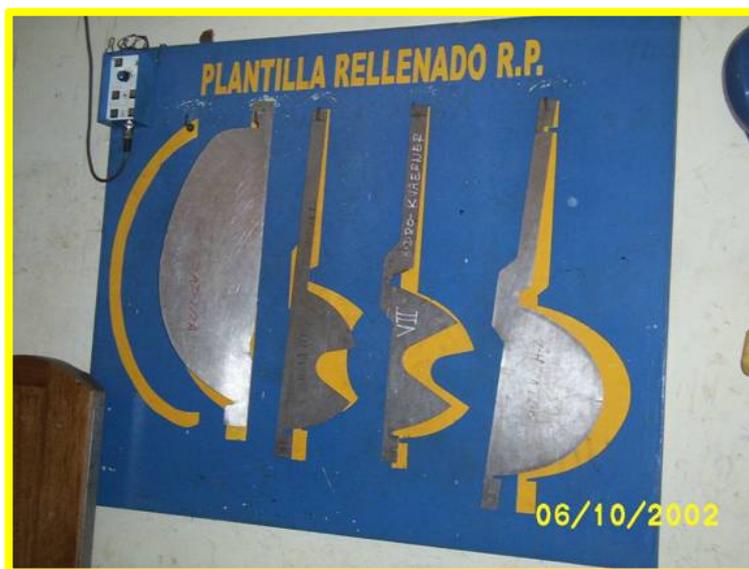


Figura 6.21 Plantillas para relleno

11. Control de sobre espesor de los cordones de soldadura:

- El sobre espesor en los cangilones son medidos con plantillas tomadas de una rueda nueva dando un sobre espesor de 3 mm. para esmerilado.
- El supervisor, controlará el sobre espesor en todos los puntos marcados como referencia en la parte superior del cangilón

12. Inspección visual:

- ✓ La inspección visual la realiza un supervisor en todo momento observando:
- ✓ Acabados de cordón
- ✓ Limpieza
- ✓ Temperatura de interpase

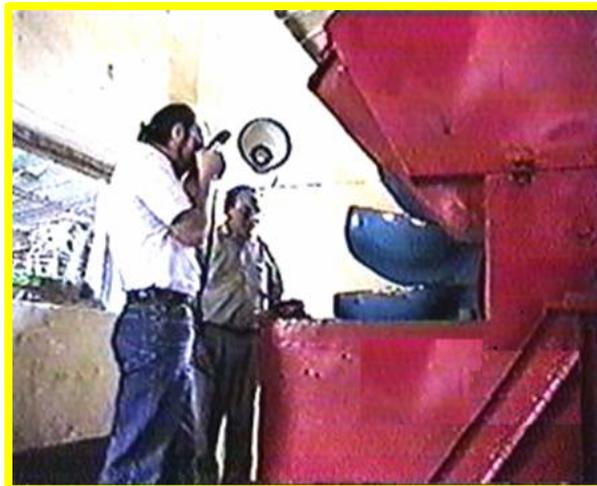


Figura 6.22 Inspección visual.

13. Esmerilado:

- ✓ El esmerilado se realiza en un taller especial con mucha ventilación.
- ✓ El uso de esmeriles neumáticos esta generalizado, las revoluciones estarán de acuerdo a las características de los abrasivos.
- ✓ Los abrasivos usados son: tipo bola, cónicos y disco; con variedades de grano: de desbaste hasta grano muy fino para acabado

14. Prueba De Líquidos Penetrantes: Terminado el esmerilado, se procede a realizar una inspección con líquidos penetrantes, para detectar posibles porosidades en la superficie rellenada. Para la Conformidad, la superficie tendrá que estar libre de porosidades, si hubiese poros en una cantidad mayor a 4 poros en un área de 10 cm², se procede a esmerilar la superficie hasta obtener una superficie aceptable.

15. Eliminación de poros: La eliminación de poros se realiza con:

- ✓ Abrasivos: Desbastando la zona de poros hasta desaparecerlos.
- ✓ GTAW: Este proceso se aplica en la zona del poro hasta que sea eliminado por fusión y se añade el metal de aporte ha visto en la selección: ER410NiMo 1.60mm.

16. Balanceo de la Rueda: Después del relleno y pulido de los cangilones, la rueda entra a un proceso de balanceo dinámico para lo que se usa una mesa especial con dos rieles colocados y anclados al piso debidamente nivelado, sobre el que colocará la rueda con su respectivo eje para efectuar el balance, se irá rellenando en los lugares faltantes hasta contrapesarlo.



Figura 6.23 Balanceo y acabado superficial final de la rueda

17. Tratamiento térmico: Se realiza según la siguiente curva:

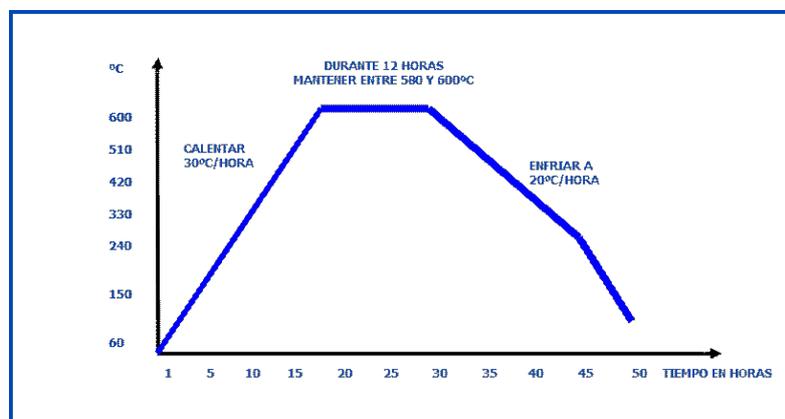


Figura 6.24 Curva de tratamiento térmico final

CONCLUSIONES:

1. La recuperación de ruedas con proceso semiautomático se basa principalmente en:
 - ✓ Tener un buen procedimiento
 - ✓ Seleccionar el metal de aporte
 - ✓ Tener un excelente equipo de soldar
 - ✓ Un buen soldador.
 - ✓ Y una supervisión constante.

2. Dentro del procedimiento la variación de parámetros influirá en obtener un buen acabado y la correcta deposición del material de aporte, para el proceso GMAW, para poner a punto la soldadura, el soldador ajustará el voltaje en la fuente de potencia y la velocidad del alimentador de alambre. Para reducir la posibilidad de porosidad, las partes deben ser limpiadas previo a la soldadura, y la zona de soldadura debe protegerse de un viento excesivo encerrándola o usando rompe vientos. Si la porosidad persiste, debe controlarse el suministro de gas para asegurar que no hay una excesiva presencia de humedad. Finalmente, el equipo debe estar bien mantenido para aliviar los problemas asociados con la alimentación del alambre. Cada vez que se reemplaza un rollo de alambre la guía debe ser limpiada sopleteándola con aire comprimido para quitar las partículas que pueden causar obstrucciones. Si persiste el problema, la guía debe reemplazarse. El tubo de contacto además, debe reemplazarse periódicamente.

6.4 UNION DE ACEROS DE DIFÍCIL SOLDABILIDAD:

A continuación una relación de los aceros de difícil soldabilidad de baja aleación de mayor aplicación en la industria:

Aceros enfriados por inmersión y templados: A508, A517, MIL S-16216 (HY80).

C: 0.10-0.3 Mn: 0.20-1.5 Ni: <3.4 Cr: <1.5 Mo: <0.5 V: <0.05; Nb:< 0.04

CE: 0.35-1.10

Aceros de baja aleación térmicamente tratados (HTLA) 4140,4340:

C: 0.30-0.5; Mn: 0.50-1.0; Ni: <3.0; Cr: 0.5-1.0; Mo: 0.15-0.25

CE: 0.55-1.20

Acero de alta resistencia y baja aleación (HSLA): A242, A572, A588

C: 0.10-0.25 Mn: 0.5-1.0 Ni y Cr: <0.75, Mo: <0.25 V: <0.05; Nb: <0.04

CE: 0.25-0.75

Aceros de elaboración con controles termo mecánico (TMCP) A841

C: 0.04-0.15 Mn: 0.70-1.5 Cr: <0.25 Mo: <0.05 V: <0.05; Nb: <0.03

CE: 0.20-0.50

Aceros al Cromo Molibdeno A217, A387

C: 0.10-0.20 Mn: 0.50-0.70 Cr: 0.5-9.0 Mo: 0.5-1.0

CE: 0.38-2.0

Para el objeto de este estudio se elegirá tres aceros HY80, 4140 y 4130, con una composición química específica.

6.4.1. Identificación del Material Base:

Tabla 6.9: Composición química y propiedades mecánicas de aceros en estudio.

Acero	% C	% Mn	% Si	% Cr	% Ni	% Mo	C.E.	R (N/mm ²)	ε (%)	Impacto Ch V (J)
HY80	0.18	0.25	0.20	1.40	2.65	0.4	0.792	670	20	62 (-80°C)
4340	0.38	0.50	0.30	1.50	1.50	0.2	0.953	730	11	>130(-20°C)
4140	0.41	0.70	0.30	1.10	-	0.2	0.873	774	9	>90(-20°C)

Usando el diagrama de B.A. Graville, podemos ubicar a estos aceros en la Zona III:



Figura 6.25 Diagrama de B.A. Graville

Así tenemos que la problemática en la soldabilidad de estos aceros radica en su alta sensibilidad a la fisuración en frío debido a:

- Formación de martensita en la ZAC: (C.Q, velocidad de enfriamiento en el ZAC, energía de arco, Temperatura inicial, espesor).
- Presencia de Hidrógeno (Elección y conservación correcta del electrodo).

- Grado de embridamiento (Limite de fluencia del M.B. geometría y secuencia de soldeo).

6.4.2. Selección del proceso de Soldadura:

Los procesos a utilizar, se pueden usar proceso SMAW, GMAW, FCAW, GTAW.

Para el caso de estudio se elegirá el proceso SMAW.

6.4.3 Selección del material de aporte:

Para ello vamos a ubicar los aceros en el diagrama de Schaeffler:

Según la composición química, vista en 6.4.2 tenemos las coordenadas (Creq, Nieq):

HY80 (2.1, 8.175); 4340 (2.15, 13.15); 4140 (1.75, 12.65)

Por la resistencia a la tracción, elongación y la composición química de los materiales base ubicamos los posibles materiales de aporte para proceso SMAW.

AWS A5.4 E312-16, nombre comercial EXA 106,

AWS A5.5 E11018MH4R, nombre comercial ATOM ARC T

Y resumimos sus características, para encontrar sus coordenadas y validar su aplicación con el diagrama de Schaeffler:

Tabla 6.10: Materiales de aporte

Aporte	%C	%Mn	%Si	%Cr	%Ni	%Mo	R (N/mm ²)	ε (%)	Creq	Nieq
EXA 106	0.10	1.00	0.90	29	9	-	740-840	22	30.4	12.5
ATOM ARCT	0.048	1.48	0.30	0.24	1.95	0.38	795	23	1.1	4.1

Para validar el uso se une las coordenadas del metal base y del material de aporte, y se marca el punto según la dilución del proceso elegido en este caso SMAW (30%), por lo que se marcara a un 30% del material de aporte.

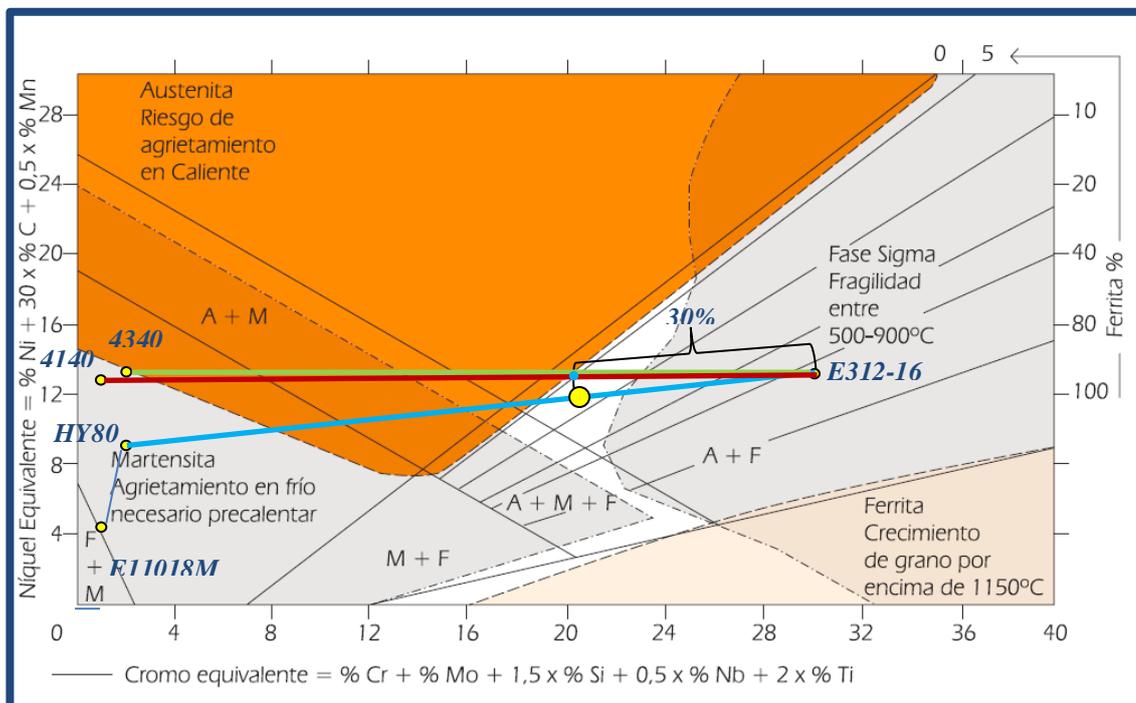


Figura 6.26 Diagrama de Schaeffler

El uso del E11018M se ve que el punto marcado caerá para los tres materiales base dentro de la zona de formación de martensita con el riesgo de agrietamiento en frío por lo que es necesario precalentar para reducir el riesgo si es que se elige este material de aporte.

El uso del E312-16 se ve que el punto marcado cae dentro de la zona de sanidad, y se puede aplicar con ello para soldar estos tres tipos de materiales.

6.4.4 Técnica de Soldadura: Para estos aceros de difícil soldabilidad es necesario:

6.4.4.1 Precalentamiento:

Objetivos:

- ✓ Disminuye el gradiente térmico entre el material base y aporte
- ✓ Disminuye la velocidad de enfriamiento.
- ✓ Mejora la ductilidad del material base.
- ✓ Mejora la distribución de las tensiones internas en un área mayor.

Recomendaciones:

- Es deseable los precalentamientos totales y uniformes.
- Mantener la temperatura durante el proceso.
- Necesariamente los enfriamientos deben ser lentos.

La temperatura de precalentamiento se puede calcular mediante:

Método de ITO - BESSYO

T.P. = 1440 Pf -392

Pf : “ Parámetro de fisuración” depende de:

$$Pf = (C + 1/30Si + 1/20(Mn + Cr + Cu) + 1/60Ni + 1/15Mn + 1/10V + 5B + 1/600(A \times t) + 1/60 H_2$$

H₂: Hidrógeno expresado en cm³/100 gr de metal depositado. Entre 1-5 cm³/100gr para los electrodos básicos.

A: Grado de embridamiento:

1. Para empalmes con libertad de tracción.
2. Para empalmes de embridamiento medio.
3. Para empalmes fuertemente embridados.

t: Espesor: 10-50mm

Método de Zeferian:

$$T_p = 350 \times \sqrt{c - 0.25}$$

Donde:

$$c = C_q + C_e$$

$$C_q = C + \frac{Mn}{9} + \frac{Cr}{18} + \frac{Ni}{18} + \frac{Mo}{13} \dots\dots\dots C. \text{ Químico}$$

$$C_e = 0.005 \times e \text{ (mm)} \times C_q \dots\dots\dots C. \text{ Espesor}$$

6.4.4.2 Temperatura de Interpase:

Se calcula mediante:

$$M_s = 550 - \{360\%C + 40 (\%Mn + \%Cr) + 20 \%Ni + 28\%Mo\}$$

Podemos resumir las temperaturas calculadas en la tabla 6.11:

Tabla 6.11: Valores de temperaturas de interpase

Material	Ms	T. Interpase (°C) (Recomendación)	T. Pre calentamiento (°C)
HY80	355	250	210 *
4340	297	260	257 **
4140	325	250	236 **

* Ito – Bessyo , ** Zeferian

6.4.4.3 Post-Calentamiento: Tiene como objetivo aliviar las tensiones residuales internas acumuladas por contracciones y dilataciones durante el proceso de soldadura para uniformizar las estructuras finales.

Recomendaciones:

De ser posible totales y uniformes.

Los enfriamientos siempre deben ser lo más lentos, usando Cal, Arena ó Asbesto.

Una aplicación práctica la podemos encontrar en la reparación de piñones de acero 4140.



Figura 6.27 Piñón de acero 4140

Identificamos que el tipo de desgaste al que está sometido el piñón es desgaste por fricción metal-metal.

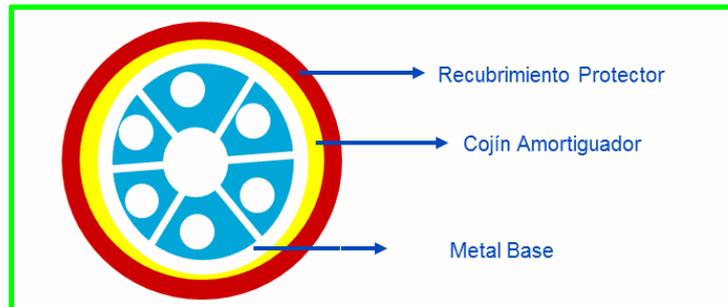


Figura 6.28 Esquema de aplicación de capas sobre el metal base

Para recuperar las dimensiones se usa el material de aporte ya seleccionado: E312-16, que además por ser un acero inoxidable servirá como cojín amortiguador. Para la reconstrucción se debe precalentar según lo ya visto a una temperatura de precalentamiento de 230°C, y una temperatura de interpase recomendada de 250°C.

Para el recubrimiento protector se seleccionará un material de aporte autoendurecible como el AWS A5.4 E307-16, que es un electrodo austenítico de tipo 18/8 con 4% Mn. El contenido de Mn le confiere la capacidad de autoendurecerse en trabajo hasta 50 HRC. Tiene excelentes propiedades mecánicas (alta tenacidad) y alta resistencia al fisuramiento. Así mismo, posee alta resistencia a los desgastes combinados de impacto, fricción metal - metal, abrasión, corrosión y altas temperaturas. El depósito es libre de fisuras y poros, y presenta muy buen acabado, sin chisporroteo y con pocas pérdidas por salpicaduras.

Puede soldarse con cordones rectos y gruesos (balancear el electrodo)



Figura 6.29 Acabado superficial del piñón

Finalmente se realiza un tratamiento térmico postsoldadura con enfriamiento lento con cal.

6.4.4.4 Tratamiento térmico post soldadura de acero AISI 4140

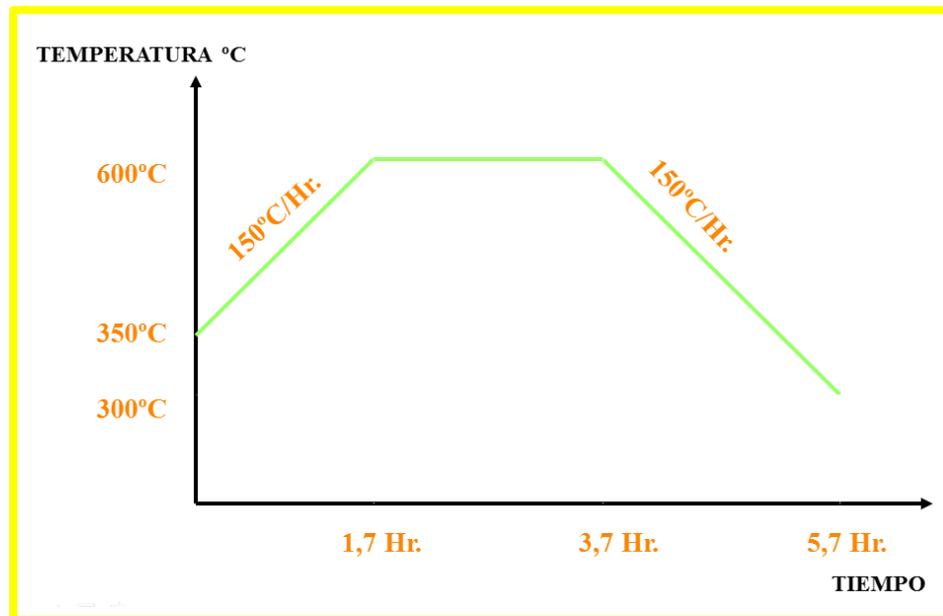


Figura 6.30 Curva de tratamiento térmico

CONCLUSIONES

1. En los aceros de difícil soldabilidad es importante conocer %C/ CE para definir su soldabilidad.
2. Es importante conocer el historial térmico.
3. Es sumamente importante definir un procedimiento de soldadura para un control adecuado: Antes, Durante y después del proceso de soldadura.
4. Todos estos materiales requieren un control de la temperatura y un tratamiento térmico posterior.

CONCLUSIONES GENERALES

1. La metodología detallada tiene como objetivo la obtención de una unión soldada de calidad, que logre trabajar según su diseño por el tiempo de vida de la estructura. Y se ha visto en la técnica de soldadura que la labor del inspector es de gran importancia.
2. Durante una inspección visual, confinada a superficies expuestas el inspector compara la dimensión real o existente con la dimensión especificada.
3. Toda variable debe ser medible.

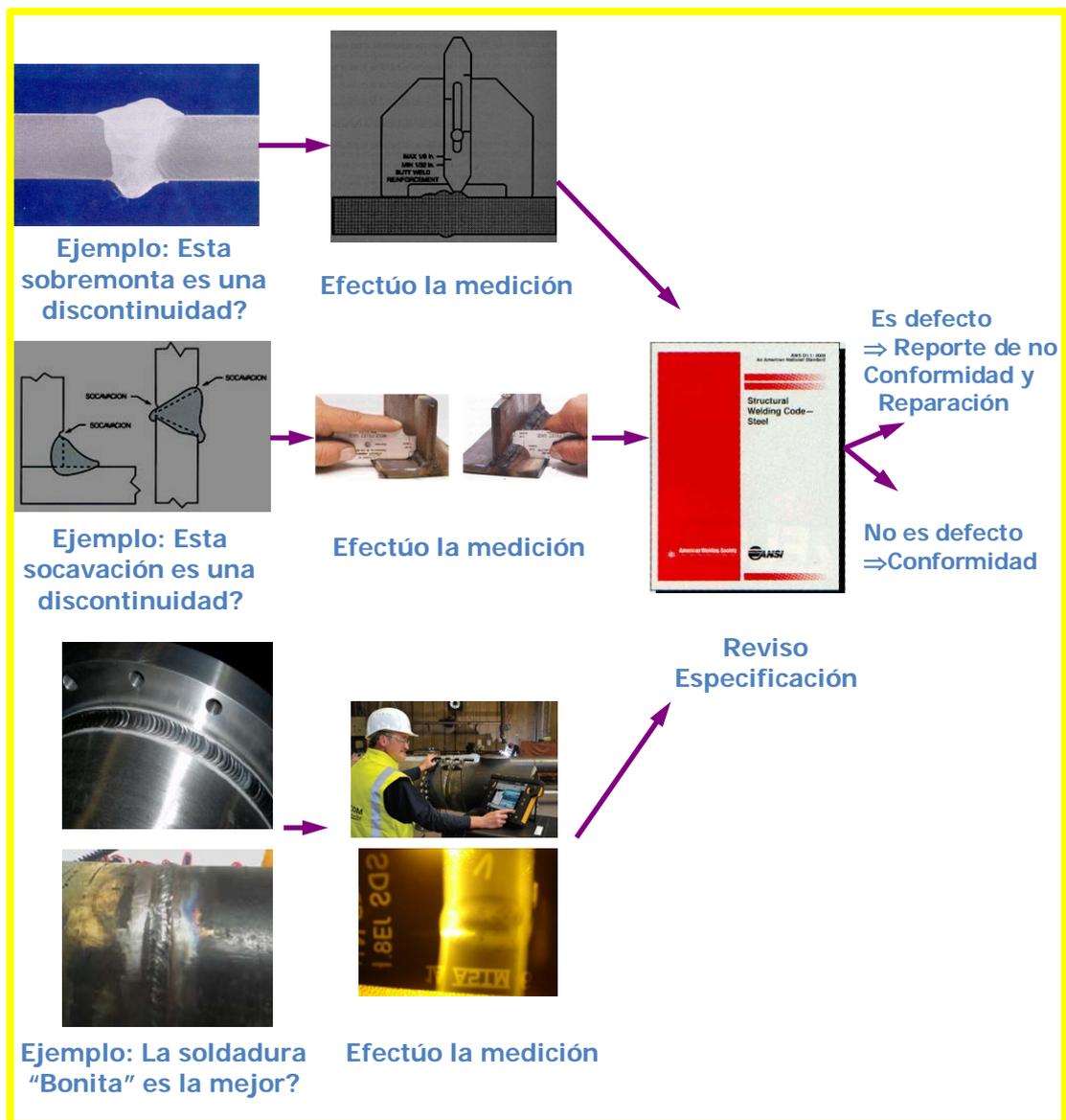


Figura 6.31 Determinación de conformidad de una variable de soldadura

En la medición de variables se deben tener claros dos conceptos: a). La Discontinuidad, como la interrupción en la estructura típica de un material tal como una falta de homogeneidad en sus características mecánicas, metalúrgicas o físicas, y b). El defecto, como una discontinuidad o discontinuidades que por su naturaleza o efecto acumulado vuelven a una parte o producto no apto para para cumplir con los mínimos estándares o especificaciones.

La detección del defecto que no cumple con los criterios de aceptación de la especificación con la que se esta trabajando implica la generación de reporte de no conformidad y reparación.

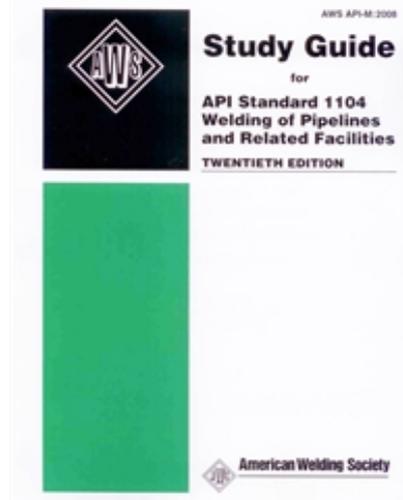
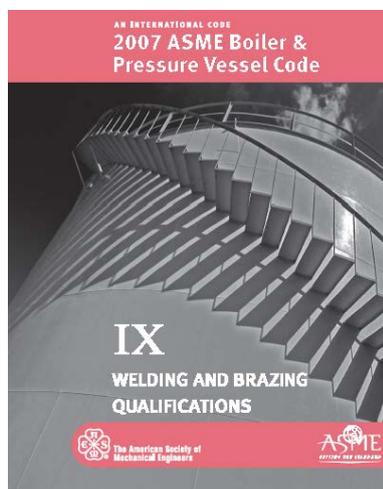
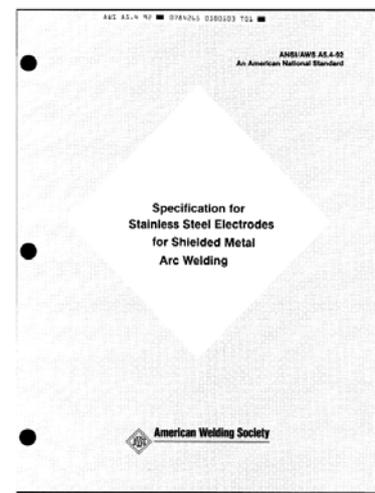
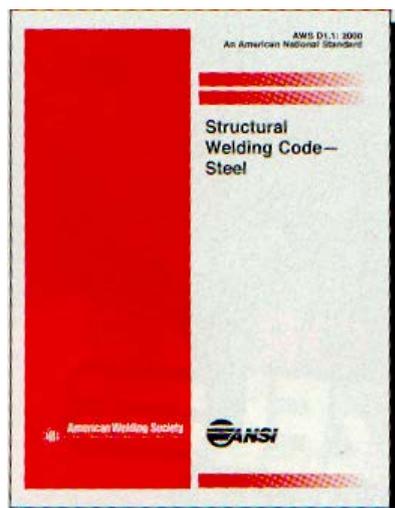
Así podemos concluir que todo defecto es discontinuidad y sólo algunas discontinuidades son defecto.

4. La apariencia por sí sola raramente determina la calidad de un producto. ¡No existen soldaduras feas ni soldaduras bonitas!, una soldadura de buena apariencia es generalmente una buena soldadura. Una soldadura de mala apariencia puede o no puede ser una mala soldadura.
5. En la metodología estudiada se ha visto que en ningún plan de inspección va a dar una seguridad absoluta de que la unión soldada cumplirá su objetivo de trabajo con seguridad. Sin embargo un adecuado plan de inspección se puede tener un alto grado de confianza en ello.
6. Los ensayos no destructivos son un complemento y no un sustituto de la inspección visual.

BIBLIOGRAFIA

1. American Welding Society (AWS) D1 Committee on Structural Welding, Structural Welding Code – Steel 21nd Edition, International Standard Book, Año 2008.
2. American Welding Society (AWS) D1 Committee on Structural Welding, Structural Welding Code – Steel 22nd Edition, International Standard Book, Año 2010.
3. American Society of Mechanical Engineers Boiler and Pressure Vessel Committee on Welding and Brazing, 2007ASME Boiler & Pressure Vessel Code, Section: IX Qualification Standard for welding and brazing procedures, welders, brazers and welding and brazers operators, IHS, Año 2007.
4. American Society of Mechanical Engineers Boiler and Pressure Vessel Committee on Welding and Brazing, 2010 ASME Boiler & Pressure Vessel Code, Section: IX Qualification Standard for welding and brazing procedures, welders, brazers and welding and brazers operators, IHS, Año 2010.
5. American Welding Society Education Services, API 1104 Welding Of pipelines and related facilities, Edition XX, International Standard Book, Año: 2008.
6. AWS Committee on Filler Metal, Specification for Carbon Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding ANSI/AWS A5.1-91, International Standard Book, Año 1991.
7. AWS Committee on Filler Metal, Specification for Low-Alloy Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding ANSI/AWS A5.1-96, International Standard Book, Año 1996.

8. AWS Committee on Filler Metal, Specification for Stainless Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding ANSI/AWS A5.4-92, International Standard Book, Año 1992.
9. AWS Committee on Filler Metal, Specification for Solid Surfacing Welding Rods and Electrodes ANSI/AWS A5.13-80, International Standard Book, Año 1980.
10. Venegas Sergio, Boletín Técnico de Soldadura N° 111: Soldaduras en Estructuras Portuarias en el Perú, Lebal Perú, Año 2010.
11. Departamento Técnico, Manual de Soldadura & Catalogo de Productos 7^{ma} edición, Lebal Perú, Año 2012.



ANEXOS

ANEXO 1: Normas de Soldadura

La documentación de normas de soldadura es bastante extensa, se nombrara las especificaciones de materiales de aporte, en el CD se encontrara mayor información de consulta.

AWS A5.1: Specification for Carbon Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding.

AWS A5.2: Specification for Carbon and Low Alloy Steel Rods for Oxyfuel Gas Welding.

AWS A5.3: Specification for Aluminum and Aluminumalloy Electrodes for Shielded Metal Arc Welding.

AWS A5.4: Specification for Stainless Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding.

AWS A5.5: Specification for Low-Alloy Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding.

AWS A5.6: Specification for Covered Copper and Copper Alloy Arc Welding Electrodes.

AWS A5.7: Specification for Copper And Copper Alloy Bare Welding Rods And Electrodes.

AWS A5.8: Specification for Filler Metals for Brazing and Braze Welding.

AWS A5.9: Specification for Bare Stainless Steel Welding Electrodes and Rods

AWS A5.10: Specification for Bare Aluminum and Aluminum-Alloy Welding Electrodes and Rods.

AWS A5.11: Specification for Nickel and Nickel-Alloy Welding Electrodes for Shielded Metal Arc Welding.

AWS A5.12: Specification for Tungsten and Tungstenalloy Electrodes for Arc Welding and Cutting.

AWS A5.13: Specification for Tungsten and Tungstenalloy Electrodes for Arc Welding and Cutting.

AWS A5.14: Specification for Solid Surfacing Welding Rods And Electrodes.

AWS A5.15: Specification for Nickel And Nickel-Alloy Bare Welding Electrodes And Rods.

AWS A5.16: Specification for Welding Electrodes and Rods for Cast Iron.

AWS A5.17: Specification for Titanium and Titanium Alloy Welding Electrodes and Rods.

AWS A5.18: Specification for Carbon Steel Electrodes and Fluxes for Submerged Arc Welding.

AWS A5.19: Specification for Carbon Steel Electrodes and Rods for Gas Shielded Arc Welding.

AWS A5.20: Specification for Carbon Steel Electrodes for Flux Cored Arc Welding.

AWS A5.21: Specification for Composite Surfacing Welding Rods and Electrodes

AWS A5.22: Specification for Stainless Steel Electrodes for Flux Cored Arc Welding and Stainless Steel Flux Cored Rods for Gas Tungsten Arc Welding.

AWS A5.23: Specification for Low-Alloy Steel Electrodes and Fluxes for Submerged Arc Welding.

AWS A5.24: Specification for Zirconium and Zirconium Alloy Welding Electrodes and Rods.

AWS A5.25: Specification For Carbon And Low-Alloy Steel Electrodes And Fluxes for Electroslag Welding.

AWS A5.26: Specification For Carbon And Low-Alloy Steel Electrodes For Electrogas Welding.

AWS A5.27: Specification For Low-Alloy Steel Electrodes And Rods For Gas Shielded Arc Welding.

AWS A5.28: Specification for Low-Alloy Steel Electrodes for Flux Cored Arc Welding.

AWS A5.29: Specification for Consumable Inserts.

AWS A5.30: Specification for Fluxes for Brazing and Braze Welding

AWS A5.31: Specification for Welding Shielding Gases.

En los siguientes anexos se mostrara las principales características químicas, y mecánicas de los electrodos revestidos para aceros al carbono, aceros de baja aleación y acero inoxidable.

Anexo 2: Tipos de revestimientos, posiciones de soldadura y corriente:

TABLE 1
ELECTRODE CLASSIFICATION

AWS Classification	Type of Covering	Welding Position ^a	Type of Current ^b
E6010	High cellulose sodium	F, V, OH, H	dcep
E6011	High cellulose potassium	F, V, OH, H	ac or dcep
E6012	High titania sodium	F, V, OH, H	ac or dcen
E6013	High titania potassium	F, V, OH, H	ac, dcep or dcen
E6019	Iron oxide titania potassium	F, V, OH, H	ac, dcep or dcen
E6020	High iron oxide	{ H-fillets F	ac or dcen ac, dcep or dcen
E6022 ^c	High iron oxide	F, H	ac or dcen
E6027	High iron oxide, iron powder	{ H-fillets F	ac or dcen ac, dcep or dcen
E7014	Iron powder, titania	F, V, OH, H	ac, dcep or dcen
E7015 ^d	Low hydrogen sodium	F, V, OH, H	dcep
E7016 ^d	Low hydrogen potassium	F, V, OH, H	ac or dcep
E7018 ^d	Low hydrogen potassium, iron powder	F, V, OH, H	ac or dcep
E7018M	Low hydrogen iron powder	F, V, OH, H	dcep
E7024 ^d	Iron powder, titania	H-fillets, F	ac, dcep or dcen
E7027	High iron oxide, iron powder	{ H-fillets F	ac or dcen ac, dcep or dcen
E7028 ^d	Low hydrogen potassium, iron powder	H-fillets, F	ac or dcep
E7048 ^d	Low hydrogen potassium, iron powder	F, V, OH, H, V-down	ac or dcep

Notes:

a. The abbreviations indicate the welding positions as follows:

F = Flat

H = Horizontal

H-fillets = Horizontal fillets

V-down = Vertical with downward progression

V = Vertical } { For electrodes $\frac{3}{16}$ in. (4.8 mm) and under, except $\frac{5}{32}$ in. (4.0 mm)
OH = Overhead } { and under for classifications E7014, E7015, E7016, E7018, and E7018M.

b. The term "dcep" refers to direct current electrode positive (dc, reverse polarity). The term "dcen" refers to direct current electrode negative (dc, straight polarity).

c. Electrodes of the E6022 classification are intended for single-pass welds only.

d. Electrodes with supplemental elongation, notch toughness, absorbed moisture, and diffusible hydrogen requirements may be further identified as shown in Tables 2, 3, 10, and 11.

TABLE 1
ELECTRODE CLASSIFICATION

AWS Classification ^a	Type of Covering	Welding Positions for Classification ^b	Type of Current ^c
E7010-X	High-cellulose sodium	F, V, OH, H	DCEP
E7011-X	High-cellulose potassium	F, V, OH, H	ac or DCEP
E7015-X ^{d,e}	Low-hydrogen sodium	F, V, OH, H	DCEP
E7016-X ^{d,e}	Low-hydrogen potassium	F, V, OH, H	ac or DCEP
E7018-X ^{d,e}	Low-hydrogen potassium, iron powder	F, V, OH, H	ac or DCEP
E7020-X	High-iron oxide	{ H-fillets F	ac or DCEN ac, DCEP or DCEN
E7027-X	High-iron oxide, iron powder	{ H-fillets F	ac or DCEN ac, DCEP or DCEN
E8010-X	High-cellulose sodium	F, V, OH, H	DCEP
E8011-G	High-cellulose potassium	F, V, OH, H	ac or DCEP
E8013-G	High-titania potassium	F, V, OH, H	ac, DCEP or DCEN
E8015-X ^{d,e}	Low-hydrogen sodium	F, V, OH, H	DCEP
E8016-X ^{d,e}	Low-hydrogen potassium	F, V, OH, H	ac or DCEP
E8018-X ^{d,e}	Low-hydrogen potassium, iron powder	F, V, OH, H	ac or DCEP
E9010-G	High-cellulose sodium	F, V, OH, H	DCEP
E9011-G	High-cellulose potassium	F, V, OH, H	ac or DCEP
E9013-G	High-titania potassium	F, V, OH, H	ac, DCEP or DCEN
E9015-X ^{d,e}	Low-hydrogen sodium	F, V, OH, H	DCEP
E9016-X ^{d,e}	Low-hydrogen potassium	F, V, OH, H	ac or DCEP
E9018-X ^{d,e}	Low-hydrogen potassium, iron powder	F, V, OH, H	ac or DCEP
E9018M ^{d,e}	Iron-powder, low hydrogen	F, V, OH, H	DCEP
E10010-G	High-cellulose sodium	F, V, OH, H	DCEP
E10011-G	High-cellulose potassium	F, V, OH, H	ac or DCEP
E10013-G	High-titania potassium	F, V, OH, H	ac, DCEP or DCEN
E10015-X ^{d,e}	Low-hydrogen sodium	F, V, OH, H	DCEP
E10016-X ^{d,e}	Low-hydrogen potassium	F, V, OH, H	ac or DCEP
E10018-X ^{d,e}	Low-hydrogen potassium, iron powder	F, V, OH, H	ac or DCEP
E10018M ^{d,e}	Iron-powder, low hydrogen	F, V, OH, H	DCEP
E11010-G	High-cellulose sodium	F, V, OH, H	DCEP
E11011-G	High-cellulose potassium	F, V, OH, H	ac or DCEP
E11013-G	High-titania potassium	F, V, OH, H	ac, DCEP or DCEN
E11015-G ^{d,e}	Low-hydrogen sodium	F, V, OH, H	DCEP
E11016-G ^{d,e}	Low-hydrogen potassium	F, V, OH, H	ac or DCEP
E11018-G ^{d,e}	Low-hydrogen potassium, iron powder	F, V, OH, H	ac or DCEP
E11018M ^{d,e}	Iron-powder, low hydrogen	F, V, OH, H	DCEP
E12010-G	High-cellulose sodium	F, V, OH, H	DCEP
E12011-G	High-cellulose potassium	F, V, OH, H	ac or DCEP
E12013-G	High-titania potassium	F, V, OH, H	ac, DCEP or DCEN
E12015-G ^{d,e}	Low-hydrogen sodium	F, V, OH, H	DCEP
E12016-G ^{d,e}	Low-hydrogen potassium	F, V, OH, H	ac or DCEP
E12018-G ^{d,e}	Low-hydrogen potassium, iron powder	F, V, OH, H	ac or DCEP
E12018M ^{d,e}	Iron-powder, low hydrogen	F, V, OH, H	DCEP
E12018M1 ^{d,e}	Iron-powder, low hydrogen	F, V, OH, H	DCEP

NOTES:

- The letter suffix "X" as used in this table stands for the suffixes A1, B1, B3, etc. (see Table 2) and designates the chemical composition of the weld metal. See A2.2.3 for more information on "G" classification.
- The abbreviations, F, V, OH, H, and H-fillets indicate the welding position as follows:
F = Flat
H = Horizontal
H-fillets = Horizontal fillets
V = Vertical (For electrodes $\frac{3}{16}$ in. (4.8 mm) and under, except $\frac{5}{32}$ in. (4.0 mm) and under for classifications EXX15-X, EXX16-X, EXX18-X)
OH = Overhead (For electrodes $\frac{3}{16}$ in. (4.8 mm) and under, except $\frac{5}{32}$ in. (4.0 mm) and under for classifications EXX15-X, EXX16-X, EXX18-X).
- The term "DCEP" refers to direct current, electrode positive (dc, reverse polarity). The term "DCEN" refers to direct current, electrode negative (dc, straight polarity).
- Electrodes classified as EXX15-X, EXX16-X, EXX18-X, or EXX18M(1) which meet supplemental absorbed moisture requirements in Table 11 may be further identified as shown in Table 11 and Figure 12.
- Electrodes classified as EXX15-X, EXX16-X, EXX18-X, or EXX18M(1) which produce weld metal that meets the maximum average level of diffusible hydrogen in Table 12 may be further identified as specified in Table 12 and Figure 12.

Anexo 3: Composición química del metal depositado por electrodos revestidos:

TABLE 7
CHEMICAL COMPOSITION REQUIREMENTS FOR WELD METAL

AWS Classification	UNS ^a Number	Weight, Percent ^b										Combined Limit for Mn + Ni + Cr + Mo + V				
		C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	V						
E6010	W06010															
E6011	W06011															
E6012	W06012															
E6013	W06013															
E6019	W06019															
E6020	W06020															
E6022	W06022															
E6027	W06027															
E7016	W07016															
E7018	W07018	Not Specified	1.60	0.75	Not Specified	Not Specified	0.30	0.20	0.30	0.08						1.75
E7027	W07027															
E7014	W07014															
E7015	W07015	Not Specified	1.25	0.90	Not Specified	Not Specified	0.30	0.20	0.30	0.08						1.50
E7024	W07024															
E7028	W07028															
E7048	W07048	Not Specified	1.60	0.90	Not Specified	Not Specified	0.30	0.20	0.30	0.08						1.75
E7018M	W07018	0.12	0.40 to 1.60	0.80	0.030	0.020	0.25	0.15	0.35	0.05						Not Specified

NOTES:

a. SAE/ASTM Unified Numbering System for Metals and Alloys.

b. Single values are maximum.

TABLE 2
CHEMICAL COMPOSITION REQUIREMENTS FOR UNDILUTED WELD METAL

AWS Classification ^c	UNS Number ^d	Wt. Percent ^{a,b}										Additional Elements		
		C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	Type	Amt.			
Carbon-Molybdenum Steel Electrodes														
E7010-A1	W17010	0.12	0.60	0.40	0.03	0.03	—	—	—	0.40–0.65	—	—	—	
E7011-A1	W17011	0.12	0.60	0.40	0.03	0.03	—	—	—	0.40–0.65	—	—	—	
E7015-A1	W17015	0.12	0.90	0.60	0.03	0.03	—	—	—	0.40–0.65	—	—	—	
E7016-A1	W17016	0.12	0.90	0.60	0.03	0.03	—	—	—	0.40–0.65	—	—	—	
E7018-A1	W17018	0.12	0.90	0.80	0.03	0.03	—	—	—	0.40–0.65	—	—	—	
E7020-A1	W17020	0.12	0.60	0.40	0.03	0.03	—	—	—	0.40–0.65	—	—	—	
E7027-A1	W17027	0.12	1.00	0.40	0.03	0.03	—	—	—	0.40–0.65	—	—	—	
Chromium-Molybdenum Steel Electrodes														
E8016-B1	W51016	0.05–0.12	0.90	0.60	0.03	0.03	—	0.40–0.65	—	0.40–0.65	—	—	—	
E8018-B1	W51018	0.05–0.12	0.90	0.80	0.03	0.03	—	0.40–0.65	—	0.40–0.65	—	—	—	
E8016-B2	W52016	0.05–0.12	0.90	0.60	0.03	0.03	—	1.00–1.50	—	0.40–0.65	—	—	—	
E8018-B2	W52018	0.05–0.12	0.90	0.80	0.03	0.03	—	1.00–1.50	—	0.40–0.65	—	—	—	
E7015-B2L	W52115	0.05	0.90	1.00	0.03	0.03	—	1.00–1.50	—	0.40–0.65	—	—	—	
E7016-B2L	W52116	0.05	0.90	0.60	0.03	0.03	—	1.00–1.50	—	0.40–0.65	—	—	—	
E7018-B2L	W52118	0.05	0.90	0.80	0.03	0.03	—	1.00–1.50	—	0.40–0.65	—	—	—	
E9015-B3	W53015	0.05–0.12	0.90	1.00	0.03	0.03	—	2.00–2.50	—	0.90–1.20	—	—	—	
E9016-B3	W53016	0.05–0.12	0.90	0.60	0.03	0.03	—	2.00–2.50	—	0.90–1.20	—	—	—	
E9018-B3	W53018	0.05–0.12	0.90	0.80	0.03	0.03	—	2.00–2.50	—	0.90–1.20	—	—	—	
E8015-B3L	W53115	0.05	0.90	1.00	0.03	0.03	—	2.00–2.50	—	0.90–1.20	—	—	—	
E8018-B3L	W53118	0.05	0.90	0.80	0.03	0.03	—	2.00–2.50	—	0.90–1.20	—	—	—	
E8015-B4L	W53415	0.05	0.90	1.00	0.03	0.03	—	1.75–2.25	—	0.40–0.65	—	—	—	
E8016-B5	W51316	0.07–0.15	0.40–0.70	0.30–0.60	0.03	0.03	—	0.40–0.60	—	1.00–1.25	V	0.05	—	
E8015-B6 ^e	W50215	0.05–0.10	1.0	0.90	0.03	0.03	0.40	4.0–6.0	—	0.45–0.65	—	—	—	
E8016-B6 ^e	W50216	0.05–0.10	1.0	0.90	0.03	0.03	0.40	4.0–6.0	—	0.45–0.65	—	—	—	
E8018-B6 ^e	W50218	0.05–0.10	1.0	0.90	0.03	0.03	0.40	4.0–6.0	—	0.45–0.65	—	—	—	
E8015-B6L ^e	W50205	0.05	1.0	0.90	0.03	0.03	0.40	4.0–6.0	—	0.45–0.65	—	—	—	

(continued)

TABLE 2 (CONT'D)
CHEMICAL COMPOSITION REQUIREMENTS FOR UNDILUTED WELD METAL

AWS Classification ^f	UNS Number ^d	Wt. Percent ^{a,b}										Additional Elements	
		C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	Type	Amt.		
Chromium-Molybdenum Steel Electrodes (continued)													
E8016-B6L ^e	W50206	0.05	1.0	0.90	0.03	0.03	0.40	4.0-6.0	0.45-0.65	—	—		
E8018-B6L ^e	W50208	0.05	1.0	0.90	0.03	0.03	0.40	4.0-6.0	0.45-0.65	—	—		
E8015-B7 ^e	W50315	0.05-0.10	1.0	0.90	0.03	0.03	0.40	6.0-8.0	0.45-0.65	—	—		
E8016-B7 ^e	W50316	0.05-0.10	1.0	0.90	0.03	0.03	0.40	6.0-8.0	0.45-0.65	—	—		
E8018-B7 ^e	W50318	0.05-0.10	1.0	0.90	0.03	0.03	0.40	6.0-8.0	0.45-0.65	—	—		
E8015-B7L ^e	W50305	0.05	1.0	0.90	0.03	0.03	0.40	6.0-8.0	0.45-0.65	—	—		
E8016-B7L ^e	W50306	0.05	1.0	0.90	0.03	0.03	0.40	6.0-8.0	0.45-0.65	—	—		
E8018-B7L ^e	W50308	0.05	1.0	0.90	0.03	0.03	0.40	6.0-8.0	0.45-0.65	—	—		
E8015-B8 ^e	W50415	0.05-0.10	1.0	0.90	0.03	0.03	0.40	8.0-10.5	0.85-1.20	—	—		
E8016-B8 ^e	W50416	0.05-0.10	1.0	0.90	0.03	0.03	0.40	8.0-10.5	0.85-1.20	—	—		
E8018-B8 ^e	W50418	0.05-0.10	1.0	0.90	0.03	0.03	0.40	8.0-10.5	0.85-1.20	—	—		
E8015-B8L ^e	W50405	0.05	1.0	0.90	0.03	0.03	0.40	8.0-10.5	0.85-1.20	—	—		
E8016-B8L ^e	W50406	0.05	1.0	0.90	0.03	0.03	0.40	8.0-10.5	0.85-1.20	—	—		
E8018-B8L ^e	W50408	0.05	1.0	0.90	0.03	0.03	0.40	8.0-10.5	0.85-1.20	—	—		
E9015-B9	W50425	0.08-0.13	1.25	0.30	0.01	0.01	1.0	8.0-10.5	0.85-1.20	V	0.15-0.30		
										Cu	0.25		
										Al	0.04		
										Nb(Cb)	0.02-0.10		
										N	0.02-0.07		
E9016-B9	W50426	0.08-0.13	1.25	0.30	0.01	0.01	1.0	8.0-10.5	0.85-1.20	V	0.15-0.30		
										Cu	0.25		
										Al	0.04		
										Nb(Cb)	0.02-0.10		
										N	0.02-0.07		
E9018-B9	W50428	0.08-0.13	1.25	0.30	0.01	0.01	1.0	8.0-10.5	0.85-1.20	V	0.15-0.30		
										Cu	0.25		
										Al	0.04		
										Nb(Cb)	0.02-0.10		
										N	0.02-0.07		
										Cu	0.25		
										Al	0.04		
										Nb(Cb)	0.02-0.10		
										N	0.02-0.07		

(continued)

TABLE 2 (CONT'D)
CHEMICAL COMPOSITION REQUIREMENTS FOR UNDILUTED WELD METAL

AWS Classification ^c	UNS Number ^d	Wt. Percent ^{a,b}										Additional Elements		
		C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	Type	Amt.			
Nickel Steel Electrodes														
E8016-C1	W22016	0.12	1.25	0.60	0.03	0.03	2.00-2.75	—	—	—	—	—	—	
E8018-C1	W22018	0.12	1.25	0.80	0.03	0.03	2.00-2.75	—	—	—	—	—	—	
E7015-C1L	W22115	0.05	1.25	0.50	0.03	0.03	2.00-2.75	—	—	—	—	—	—	
E7016-C1L	W22116	0.05	1.25	0.50	0.03	0.03	2.00-2.75	—	—	—	—	—	—	
E7018-C1L	W22118	0.05	1.25	0.50	0.03	0.03	2.00-2.75	—	—	—	—	—	—	
E8016-C2	W23016	0.12	1.25	0.60	0.03	0.03	3.00-3.75	—	—	—	—	—	—	
E8018-C2	W23018	0.12	1.25	0.80	0.03	0.03	3.00-3.75	—	—	—	—	—	—	
E7015-C2L	W23115	0.05	1.25	0.50	0.03	0.03	3.00-3.75	—	—	—	—	—	—	
E7016-C2L	W23116	0.05	1.25	0.50	0.03	0.03	3.00-3.75	—	—	—	—	—	—	
E7018-C2L	W23118	0.05	1.25	0.50	0.03	0.03	3.00-3.75	—	—	—	—	—	—	
E8016-C3	W21016	0.12	0.40-1.25	0.80	0.03	0.03	0.80-1.10	0.15	0.35	—	—	V	0.05	
E8018-C3 ⁱ	W21018	0.12	0.40-1.25	0.80	0.03	0.03	0.80-1.10	0.15	0.35	—	—	V	0.05	
E7018-C3L	W20918	0.08	0.40-1.40	0.50	0.03	0.03	0.80-1.10	0.15	0.35	—	—	V	0.05	
E8016-C4	W21916	0.10	1.25	0.60	0.03	0.03	1.10-2.00	—	—	—	—	—	—	
E8018-C4	W21918	0.10	1.25	0.80	0.03	0.03	1.10-2.00	—	—	—	—	—	—	
E9015-C5L	W25018	0.05	0.40-1.00	0.50	0.03	0.03	6.00-7.25	—	—	—	—	—	—	
Nickel-Molybdenum Steel Electrodes														
E8018-NM1	W21118	0.10	0.80-1.25	0.60	0.02	0.02	0.80-1.10	0.10	0.40-0.65	—	—	V	0.02	
E8018-D1	W18118	0.12	1.00-1.75	0.80	0.03	0.03	0.90	—	0.25-0.45	—	—	Cu	0.10	
E9015-D1	W19015	0.12	1.00-1.75	0.60	0.03	0.03	0.90	—	0.25-0.45	—	—	Al	0.05	
E9018-D1	W19018	0.12	1.00-1.75	0.80	0.03	0.03	0.90	—	0.25-0.45	—	—	—	—	
Manganese-Molybdenum Steel Electrodes														

(continued)

TABLE 2 (CONT'D)
CHEMICAL COMPOSITION REQUIREMENTS FOR UNDILUTED WELD METAL

AWS Classification ^c	UNS Number ^d	Wt. Percent ^{a,b}											Additional Elements	
		C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	Type	Amt.			
E10015-D2	W10015	0.15	1.65-2.00	0.60	0.03	0.03	0.90	—	0.25-0.45	—	—	—	—	
E10016-D2	W10016	0.15	1.65-2.00	0.60	0.03	0.03	0.90	—	0.25-0.45	—	—	—	—	
E10018-D2	W10018	0.15	1.65-2.00	0.80	0.03	0.03	0.90	—	0.25-0.45	—	—	—	—	
E8016-D3	W18016	0.12	1.00-1.80	0.60	0.03	0.03	0.90	—	0.40-0.65	—	—	—	—	
E8018-D3	W18018	0.12	1.00-1.80	0.80	0.03	0.03	0.90	—	0.40-0.65	—	—	—	—	
E9018-D3	W19118	0.12	1.00-1.80	0.80	0.03	0.03	0.90	—	0.40-0.65	—	—	—	—	
General Low-Alloy Steel Electrodes														
EXX10-G ^g	—	—	1.00 ^h min	0.80 ^h min	—	—	0.50 ^h min	0.30 ^h min	0.20 ^h min	—	—	—	0.10 ^h min	
EXX11-G ^g	—	—	1.00 ^h min	0.80 ^h min	—	—	0.50 ^h min	0.30 ^h min	0.20 ^h min	—	—	—	0.20 ^h min	
EXX13-G ^f	—	—	1.00 ^h min	0.80 ^h min	—	—	0.50 ^h min	0.30 ^h min	0.20 ^h min	—	—	—	0.10 ^h min	
EXX15-G ^g	—	—	1.00 ^h min	0.80 ^h min	—	—	0.50 ^h min	0.30 ^h min	0.20 ^h min	—	—	—	0.20 ^h min	
EXX16-G ^g	—	—	1.00 ^h min	0.80 ^h min	—	—	0.50 ^h min	0.30 ^h min	0.20 ^h min	—	—	—	0.10 ^h min	
EXX18-G ^g	—	—	1.00 ^h min	0.80 ^h min	—	—	0.50 ^h min	0.30 ^h min	0.20 ^h min	—	—	—	0.20 ^h min	
E7020-G	—	—	1.00 ^h min	0.80 ^h min	—	—	0.50 ^h min	0.30 ^h min	0.20 ^h min	—	—	—	0.10 ^h min	
E7027-G	—	—	1.00 ^h min	0.80 ^h min	—	—	0.50 ^h min	0.30 ^h min	0.20 ^h min	—	—	—	0.20 ^h min	
Military-Similar Electrodes														
E9018M ⁱ	W21218	0.10	0.60-1.25	0.80	0.030	0.030	1.40-1.80	0.15	0.35	—	—	—	0.05	
E10018M ⁱ	W21318	0.10	0.75-1.70	0.60	0.030	0.030	1.40-2.10	0.35	0.25-0.50	—	—	—	0.05	
E11018M ⁱ	W21418	0.10	1.30-1.80	0.60	0.030	0.030	1.25-2.50	0.40	0.25-0.50	—	—	—	0.05	
E12018M ⁱ	W22218	0.10	1.30-2.25	0.60	0.030	0.030	1.75-2.50	0.30-1.50	0.30-0.55	—	—	—	0.05	
E12018M1 ⁱ	W23218	0.10	0.80-1.60	0.65	0.015	0.012	3.00-3.80	0.65	0.20-0.30	—	—	—	0.05	

(continued)

TABLE 2 (CONT'D)
CHEMICAL COMPOSITION REQUIREMENTS FOR UNDILUTED WELD METAL

AWS Classification ^c	UNS Number ^d	Wt. Percent ^{a,b}										Additional Elements	
		C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	Type	Amt.		
E7010-P1	W17110	0.20	1.20	0.60	0.03	0.03	1.00	0.30	0.50	V	0.10		
E8010-P1	W18110	0.20	1.20	0.60	0.03	0.03	1.00	0.30	0.50	V	0.10		
E7018-W1 ^j	W20018	0.12	0.40-0.70	0.40-0.70	0.025	0.025	0.20-0.40	0.15-0.30	—	V	0.08		
E8018-W2 ^j	W20118	0.12	0.50-1.30	0.35-0.80	0.03	0.03	0.40-0.80	0.45-0.70	—	Cu	0.30-0.60		

NOTES:

- Single values are maximum, except where specified otherwise.
- Weld metal shall be analyzed for those elements for which specific values are shown. Other elements listed without specified values shall be reported, if intentionally added. The total of these latter unspecified elements and all other elements not intentionally added shall not exceed 0.50%.
- The suffixes A1, B3, C3, etc. designate the chemical composition of the electrode classification.
- SAE/ASTM Unified Numbering System for Metals and Alloys.
- The E8015-B6 and E8015-B6L electrodes were formerly classified as E502-15 in AWS A5.4-81, *Specification for Covered Corrosion-Resisting Chromium and Chromium Nickel Steel Welding Electrodes*. The E8016-B6 and E8016-B6L were formerly classified as E502-16 in A5.4-81. The E8018-B6 and E8018-B6L were not formerly classified but were produced to the E502 composition ranges in A5.4-81 but with the EXX18 covering of this specification. Similarly, the E80XX-B7(L) classifications were formerly classified as E7Cr-XX in A5.4-81; and the E80XX-B8(L) classifications were formerly classified as E505-XX in A5.4-81.
- The letters "XX" used in the classification designation for EXX13-G in this table stand for various tensile-strength levels (80, 90, 100, 110, and 120 ksi) of weld metal.
- The letters "XX" used in the classification designations for all electrodes except EXX13-G in this table stand for the various tensile-strength levels (70, 80, 90, 100, 110, and 120 ksi) of electrodes.
- In order to meet the alloy requirements of the "G" group, the undiluted weld metal shall have the minimum of at least one of the elements listed in this table. Additional chemical requirements may be agreed to between supplier and purchaser.
- These classifications are intended to be similar to types of electrodes covered by MIL-E-22200/1 and MIL-E-22200/10.
- In AWS A5.5-81, E7018-W1 was designated E7018-W, and E8018-W2 was designated E8018-W.

TABLE 1
CHEMICAL COMPOSITION REQUIREMENTS FOR UNDILUTED WELD METAL

AWS Classification ^c	UNS Number ^d	Weight Percent ^{a,b}										
		C	Cr	Ni	Mo	Cb (Nb) plus Ta	Mn	Si	P	S	N	Cu
E209-XX ^e	W32210	0.06	20.5-24.0	9.5-12.0	1.5-3.0	—	4.0-7.0	0.90	0.04	0.03	0.10-0.30	0.75
E219-XX	W32310	0.06	19.0-21.5	5.5-7.0	0.75	—	8.0-10.0	1.00	0.04	0.03	0.10-0.30	0.75
E240-XX	W32410	0.06	17.0-19.0	4.0-6.0	0.75	—	10.5-13.5	1.00	0.04	0.03	0.10-0.30	0.75
E307-XX	W30710	0.04-0.14	18.0-21.5	9.0-10.7	0.5-1.5	—	3.30-4.75	0.90	0.04	0.03	—	0.75
E308-XX	W30810	0.08	18.0-21.0	9.0-11.0	0.75	—	0.5-2.5	0.90	0.04	0.03	—	0.75
E308H-XX	W30810	0.04-0.08	18.0-21.0	9.0-11.0	0.75	—	0.5-2.5	0.90	0.04	0.03	—	0.75
E308L-XX	W30813	0.04	18.0-21.0	9.0-11.0	0.75	—	0.5-2.5	0.90	0.04	0.03	—	0.75
E308Mo-XX	W30820	0.08	18.0-21.0	9.0-12.0	2.0-3.0	—	0.5-2.5	0.90	0.04	0.03	—	0.75
E308MoL-XX	W30823	0.04	18.0-21.0	9.0-12.0	2.0-3.0	—	0.5-2.5	0.90	0.04	0.03	—	0.75
E309-XX	W30910	0.15	22.0-25.0	12.0-14.0	0.75	—	0.5-2.5	0.90	0.04	0.03	—	0.75
E309L-XX	W30913	0.04	22.0-25.0	12.0-14.0	0.75	—	0.5-2.5	0.90	0.04	0.03	—	0.75
E309Cb-XX	W30917	0.12	22.0-25.0	12.0-14.0	0.75	0.70-1.00	0.5-2.5	0.90	0.04	0.03	—	0.75
E309Mo-XX	W30920	0.12	22.0-25.0	12.0-14.0	2.0-3.0	—	0.5-2.5	0.90	0.04	0.03	—	0.75
E309MoL-XX	W30923	0.04	22.0-25.0	12.0-14.0	2.0-3.0	—	0.5-2.5	0.90	0.04	0.03	—	0.75
E310-XX	W31010	0.08-0.20	25.0-28.0	20.0-22.5	0.75	—	1.0-2.5	0.75	0.03	0.03	—	0.75
E310H-XX	W31015	0.35-0.45	25.0-28.0	20.0-22.5	0.75	—	1.0-2.5	0.75	0.03	0.03	—	0.75
E310Cb-XX	W31017	0.12	25.0-28.0	20.0-22.0	0.75	0.70-1.00	1.0-2.5	0.75	0.03	0.03	—	0.75
E310Mo-XX	W31020	0.12	25.0-28.0	20.0-22.0	2.0-3.0	—	1.0-2.5	0.75	0.03	0.03	—	0.75
E312-XX	W31310	0.15	28.0-32.0	8.0-10.5	0.75	—	0.5-2.5	0.90	0.04	0.03	—	0.75
E316-XX	W31610	0.08	17.0-20.0	11.0-14.0	2.0-3.0	—	0.5-2.5	0.90	0.04	0.03	—	0.75
E316H-XX	W31610	0.04-0.08	17.0-20.0	11.0-14.0	2.0-3.0	—	0.5-2.5	0.90	0.04	0.03	—	0.75
E316L-XX	W31613	0.04	17.0-20.0	11.0-14.0	2.0-3.0	—	0.5-2.5	0.90	0.04	0.03	—	0.75
E317-XX	W31710	0.08	18.0-21.0	12.0-14.0	3.0-4.0	—	0.5-2.5	0.90	0.04	0.03	—	0.75
E317L-XX	W31713	0.04	18.0-21.0	12.0-14.0	3.0-4.0	—	0.5-2.5	0.90	0.04	0.03	—	0.75
E318-XX	W31910	0.08	17.0-20.0	11.0-14.0	2.0-3.0	6 ± C, min to 1.00 max	0.5-2.5	0.90	0.04	0.03	—	0.75
E320-XX	W88021	0.07	19.0-21.0	32.0-36.0	2.0-3.0	8 ± C, min to 1.00 max	0.5-2.5	0.60	0.04	0.03	—	3.0-4.0

(Continued)

TABLE 1 (CONT'D)
CHEMICAL COMPOSITION REQUIREMENTS FOR UNDILUTED WELD METAL

AWS Classification ^c	UNS Number ^d	Weight Percent ^{a,b}										
		C	Cr	Ni	Mo	Cb (Nb) plus Ta	Mn	Si	P	S	N	Cu
E320LR-XX	W88022	0.03	19.0–21.0	32.0–36.0	2.0–3.0	8 † C, min to 0.40 max	1.50–2.50	0.30	0.020	0.015	—	3.0–4.0
E330-XX	W88331	0.18–0.25	14.0–17.0	33.0–37.0	0.75	—	1.0–2.5	0.90	0.04	0.03	—	0.75
E330H-XX	W88335	0.35–0.45	14.0–17.0	33.0–37.0	0.75	—	1.0–2.5	0.90	0.04	0.03	—	0.75
E347-XX	W34710	0.08	18.0–21.0	9.0–11.0	0.75	8 † C, min to 1.00 max	0.5–2.5	0.90	0.04	0.03	—	0.75
E349-XX ^{e,f,g}	W34910	0.13	18.0–21.0	8.0–10.0	0.35–0.65	0.75–1.20	0.5–2.5	0.90	0.04	0.03	—	0.75
E383-XX	W88028	0.03	26.5–29.0	30.0–33.0	3.2–4.2	—	0.5–2.5	0.90	0.02	0.02	—	0.6–1.5
E385-XX	W88904	0.03	19.5–21.5	24.0–26.0	4.2–5.2	—	1.0–2.5	0.75	0.03	0.02	—	1.2–2.0
E410-XX	W41010	0.12	11.0–13.5	0.7	0.75	—	1.0	0.90	0.04	0.03	—	0.75
E410NiMo-XX	W41016	0.06	11.0–12.5	4.0–5.0	0.40–0.70	—	1.0	0.90	0.04	0.03	—	0.75
E430-XX	W43010	0.10	15.0–18.0	0.6	0.75	—	1.0	0.90	0.04	0.03	—	0.75
E502-XX ^h	W50210	0.10	4.0–6.0	0.4	0.45–0.65	—	1.0	0.90	0.04	0.03	—	0.75
E505-XX ^h	W50410	0.10	8.0–10.5	0.4	0.85–1.20	—	1.0	0.90	0.04	0.03	—	0.75
E630-XX	W37410	0.05	16.00–16.75	4.5–5.0	0.75	0.15–0.30	0.25–0.75	0.75	0.04	0.03	—	3.25–4.00
E16-8-2-XX	W36810	0.10	14.5–16.5	7.5–9.5	1.0–2.0	—	0.5–2.5	0.60	0.03	0.03	—	0.75
E7Cr-XX ^h	W50310	0.10	6.0–8.0	0.4	0.45–0.65	—	1.0	0.90	0.04	0.03	—	0.75
E2209-XX	W39209	0.04	21.5–23.5	8.5–10.5	2.5–3.5	—	0.5–2.0	0.90	0.04	0.03	0.08–0.20	0.75
E2553-XX	W39553	0.06	24.0–27.0	6.5–8.5	2.9–3.9	—	0.5–1.5	1.0	0.04	0.03	0.10–0.25	1.5–2.5

NOTES

- Analysis shall be made for the elements for which specific values are shown in the table. If, however, the presence of other elements is indicated in the course of routine analysis, further analysis shall be made to determine that the total of these other elements, except iron, is not present in excess of 0.50 percent.
- Single values are maximum percentages.
- Classification suffix -XX may be -15, -16, -17, -25, or -26. See Section A8 of the Appendix for an explanation.
- SAE/ASTM Unified Number System for Metals and Alloys.
- Vanadium shall be 0.10 to 0.30 percent.
- Titanium shall be 0.15 percent max.
- Tungsten shall be from 1.25 to 1.75 percent.
- This grade also will appear in the next revision of AWS A5.5, *Specification for Low Alloy Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding*. It will be deleted from A5.4 at the first revision of A5.4 following publication of the revised A5.5.

Anexo 4: Tabla de propiedades mecánicas de electrodos revestidos.

TABLE 2
TENSION TEST REQUIREMENTS^{a,b,c}

AWS Classification	Tensile Strength		Yield Strength at 0.2% Offset		Elongation in 2 in. (50.8 mm) Percent
	ksi	MPa	ksi	MPA	
E6010	60	414	48	331	22
E6011	60	414	48	331	22
E6012	60	414	48	331	17
E6013	60	414	48	331	17
E6019	60	414	48	331	22
E6020	60	414	48	331	22
E6022 ^d	60	414		not specified	not specified
E6027	60	414	48	331	22
E7014	70	482	58	399	17
E7015	70	482	58	399	22
E7016	70	482	58	399	22
E7018	70	482	58	399	22
E7024	70	482	58	399	17 ^e
E7027	70	482	58	399	22
E7028	70	482	58	399	22
E7048	70	482	58	399	22
E7018M	note g	482	53–72 ^f	365–496 ^f	24

Notes:

- See Table 4 for sizes to be tested.
- Requirements are in the as-welded condition with aging as specified in 11.3.
- Single values are minimum.
- A transverse tension test, as specified in 11.2 and Figure 9 and a longitudinal guided bend test, as specified in Section 12, Bend Test, and Figure 10, are required.
- Weld metal from electrodes identified as E7024-1 shall have elongation of 22% minimum.
- For $\frac{3}{32}$ in. (2.4 mm) electrodes, the maximum for the yield strength shall be 77 ksi (531 MPa).
- Tensile strength of this weld metal is a nominal 70 ksi (482 MPa).

TABLE 3
TENSION TEST REQUIREMENTS^{a,b}

AWS Classification ^c	Tensile Strength		Yield Strength, at 0.2% Offset		Elongation Percent	Postweld Condition ^d
	ksi	MPa	ksi	MPa		
E7010-P1	70	480	60	415	22	AW
E7010-A1	70	480	57	390	22	PWHT
E7010-G	70	480	57	390	22	AW or PWHT
E7011-A1	70	480	57	390	22	PWHT
E7011-G	70	480	57	390	22	AW or PWHT
E7015-X	70	480	57	390	25	PWHT
E7015-B2L	75	520	57	390	19	PWHT
E7015-G	70	480	57	390	25	AW or PWHT
E7016-X	70	480	57	390	25	PWHT
E7016-B2L	75	520	57	390	19	PWHT
E7016-G	70	480	57	390	25	AW or PWHT
E7018-X	70	480	57	390	25	PWHT
E7018-B2L	75	520	57	390	19	PWHT
E7018-C3L	70	480	57	390	25	AW
E7018-W1	70	480	60	415	25	AW
E7018-G	70	480	57	390	25	AW or PWHT
E7020-A1	70	480	57	390	25	PWHT
E7020-G	70	480	57	390	25	AW or PWHT
E7027-A1	70	480	57	390	25	PWHT
E7027-G	70	480	57	390	25	AW or PWHT
E8010-P1	80	550	67	460	19	AW
E8010-G	80	550	67	460	19	AW or PWHT
E8011-G	80	550	67	460	19	AW or PWHT
E8013-G	80	550	67	460	16	AW or PWHT
E8015-X	80	550	67	460	19	PWHT
E8015-B3L	80	550	67	460	17	PWHT
E8015-G	80	550	67	460	19	AW or PWHT
E8016-X	80	550	67	460	19	PWHT
E8016-C3	80	550	68 to 80 ^e	470 to 550 ^e	24	AW
E8016-C4	80	550	67	460	19	AW
E8016-G	80	550	67	460	19	AW or PWHT
E8018-X	80	550	67	460	19	PWHT
E8018-B3L	80	550	67	460	17	PWHT
E8018-C3	80	550	68 to 80 ^e	470 to 550 ^e	24	AW
E8018-C4	80	550	67	460	19	AW
E8018-NM1	80	550	67	460	19	AW
E8018-W2	80	550	67	460	19	AW
E8018-G	80	550	67	460	19	AW or PWHT
E9010-G	90	620	77	530	17	AW or PWHT
E9011-G	90	620	77	530	17	AW or PWHT
E9013-G	90	620	77	530	14	AW or PWHT
E9015-X	90	620	77	530	17	PWHT
E9015-G	90	620	77	530	17	AW or PWHT
E9016-X	90	620	77	530	17	PWHT
E9016-G	90	620	77	530	17	AW or PWHT
E9018M	90	620	78 to 90 ^e	540 to 620 ^e	24	AW
E9018-X	90	620	77	530	17	PWHT
E9018-G	90	620	77	530	17	AW or PWHT

TABLE 3 (CONT'D)
TENSION TEST REQUIREMENTS^{a,b}

AWS Classification ^c	Tensile Strength		Yield Strength, at 0.2% Offset		Elongation Percent	Postweld Condition ^d
	ksi	MPa	ksi	MPa		
E10010-G	100	690	87	600	16	AW or PWHT
E10011-G	100	690	87	600	16	AW or PWHT
E10013-G	100	690	87	600	13	AW or PWHT
E10015-X	100	690	87	600	16	PWHT
E10015-G	100	690	87	600	16	AW or PWHT
E10016-X	100	690	87	600	16	PWHT
E10016-G	100	690	87	600	16	AW or PWHT
E10018M	100	690	88 to 100	610 to 690 ^e	20	AW
E10018-X	100	690	87	600	16	PWHT
E10018-G	100	690	87	600	16	AW or PWHT
E11010-G	110	760	97	670	15	AW or PWHT
E11011-G	110	760	97	670	15	AW or PWHT
E11013-G	110	760	97	670	13	AW or PWHT
E11015-G	110	760	97	670	15	AW or PWHT
E11016-G	110	760	97	670	15	AW or PWHT
E11018-G	110	760	97	670	15	AW or PWHT
E11018M	110	760	98 to 110	680 to 760 ^e	20	AW
E12010-G	120	830	107	740	14	AW or PWHT
E12011-G	120	830	107	740	14	AW or PWHT
E12013-G	120	830	107	740	11	AW or PWHT
E12015-G	120	830	107	740	14	AW or PWHT
E12016-G	120	830	107	740	14	AW or PWHT
E12018-G	120	830	107	740	14	AW or PWHT
E12018M	120	830	108 to 120	745 to 830 ^e	18	AW
E12018M1	120	830	108 to 120	745 to 830 ^e	18	AW

NOTES:

- See Table 5 for sizes to be tested.
- Single values are minimum, except as otherwise specified.
- The letter suffix "X" as used in this table represents the suffixes (A1, B1, B2, etc.) except for those classifications which are tested in the as-welded condition.
- "AW" signifies as-welded with aging when it is specified in 11.2, "PWHT" signifies postweld heat treated as specified in 8.4.2 and in Table 7, except that the "G" designated classifications, marked as "AW or PWHT" in this table, may have weld metal tested with or without PWHT as agreed between the supplier and purchaser.
- For $\frac{3}{32}$ in. (2.4 mm) electrodes, the upper value for the yield strength may be 5 ksi (35 MPa) higher than the indicated value.

TABLE 5
ALL-WELD-METAL MECHANICAL PROPERTY REQUIREMENTS

AWS Classification	Tensile Strength, min		Elongation min Percent	Heat Treatment
	ksi	MPa		
E209-XX	100	690	15	None
E219-XX	90	620	15	None
E240-XX	100	690	15	None
E307-XX	85	590	30	None
E308-XX	80	550	35	None
E308H-XX	80	550	35	None
E308L-XX	75	520	35	None
E308Mo-XX	80	550	35	None
E308MoL-XX	75	520	35	None
E309-XX	80	550	30	None
E309L-XX	75	520	30	None
E309Cb-XX	80	550	30	None
E309Mo-XX	80	550	30	None
E309MoL-XX	75	520	30	None
E310-XX	80	550	30	None
E310H-XX	90	620	10	None
E310Cb-XX	80	550	25	None
E310Mo-XX	80	550	30	None
E312-XX	95	660	22	None
E316-XX	75	520	30	None
E316H-XX	75	520	30	None
E316L-XX	70	490	30	None
E317-XX	80	550	30	None
E317L-XX	75	520	30	None
E318-XX	80	550	25	None
E320-XX	80	550	30	None
E320LR-XX	75	520	30	None
E330-XX	75	520	25	None
E330H-XX	90	620	10	None
E347-XX	75	520	30	None
E349-XX	100	690	25	None
E383-XX	75	520	30	None
E385-XX	75	520	30	None
E410-XX	75	450	20	a
E410NiMo-XX	110	760	15	c
E430-XX	65	450	20	d
E502-XX	60	420	20	b
E505-XX	60	420	20	b
E630-XX	135	930	7	e
E16-8-2-XX	80	550	35	None
E7Cr-XX	60	420	20	b
E2209-XX	100	690	20	None
E2553-XX	110	760	15	None

NOTES:

- a. Heat to 1350 to 1400°F (730 to 760°C), hold for one hour, furnace cool at a rate of 100°F (60°C) per hour to 600°F (315°C) and air cool to ambient.
- b. Heat to 1550 to 1600°F (840 to 870°C), hold for two hours, furnace cool at a rate not exceeding 100°F (55°C) per hour to 1100°F (595°C) and air cool to ambient.
- c. Heat to 1100 to 1150°F (595 to 620°C), hold for one hour, and air cool to ambient.
- d. Heat to 1400 to 1450°F (760 to 790°C), hold for two hours, furnace cool at a rate not exceeding 100°F (55°C) per hour to 1100°F (595°C) and air cool to ambient.
- e. Heat to 1875 to 1925°F (1025 to 1050°C), hold for one hour, and air cool to ambient, and then precipitation harden at 1135 to 1165°F (610 to 630°C), hold for four hours, and air cool to ambient.

TABLE 3
CHARPY V-NOTCH IMPACT REQUIREMENTS

AWS Classification	Limits for 3 out of 5 Specimens ^a	
	Average, Min.	Single Value, Min.
E6010, E6011, E6027, E7015, E7016 ^b , E7018 ^b , E7027, E70488	20 ft-lb at -20°F (27 J at -29°C)	15 ft-lb at -20°F (20 J at -29°C)
E6019 E7028	20 ft-lb at 0°F (27 J at -18°C)	15 ft-lb at 0°F (20 J at -18°C)
E6012, E6013, E6020, E6022, E7014, E7024 ^b	Not Specified	Not Specified
	Limits for 5 out of 5 Specimens ^c	
	Average, Min.	Single Value, Min.
E7018M	50 ft-lb at -20°F (67 J at -29°C)	40 ft-lb at -20°F (54 J at -29°C)

NOTES:

a. Both the highest and lowest test values obtained shall be disregarded in computing the average. Two of these remaining three values shall equal or exceed 20 ft-lb (27 J).

b. Electrodes with the following optional supplemental designations shall meet the lower temperature impact requirements specified below.

		Charpy V-Notch Impact Requirements, Limits for 3 out of 5 specimens (Refer to Note a above)	
AWS Classification	Electrode Designation	Average, Min.	Single Value, Min.
E7016 E7018	E7016-1 } E7018-1 }	20 ft-lb at -50°F (27 J at -46°C)	15 ft-lb at -50°F (20 J at -46°C)
E7024	E7024-1	20 ft-lb at 0°F (27 J at -18°C)	15 ft-lb at 0°F (20 J at -18°C)

c. All five values obtained shall be used in computing the average. Four of the five values shall equal, or exceed, 50 ft-lb (67 J).

TABLE 4
CHARPY V-NOTCH IMPACT REQUIREMENTS

AWS Classification	Limits for 3 out of 5 Specimens ^c	
	Average, min. ^b	Single Value, min. ^b
E7018-W1 E8018-W2	20 ft·lbf at 0°F (27J at -18°C)	15 ft·lbf at 0°F (20J at -18°C)
E12018M1	50 ft·lbf at 0°F (67J at -18°C)	40 ft·lbf at 0°F (54J at -18°C)
E7010-P1 E8010-P1	20 ft·lbf at -20°F (27J at -29°C)	15 ft·lbf at -20°F (20J at -29°C)
E8018-NM1 E8016-C3 E8018-C3	20 ft·lbf at -40°F (27J at -40°C)	15 ft·lbf at -40°F (20J at -40°C)
E8016-D3, E8018-D1 E8018-D3, E9015-D1 E9018-D1, E9018-D3 E10015-D2, E10016-D2 E10018-D2	20 ft·lbf at -60°F ^a (27J at -51°C)	15 ft·lbf at -60°F ^a (20J at -51°C)
E7018-C3L E8016-C4, E8018-Cr E9018M, E10018M E11018M, E12018M	20 ft·lbf at -60°F (27J at -51°C)	15 ft·lbf at -60°F (20J at -51°C)
E8016-C1 E8018-C1	20 ft·lbf at -75°F ^a (27J at -59°C)	15 ft·lbf at -75°F ^a (20J at -59°C)
E7015-C1L E7016-C1L E7018-C1L E8016-C2 E8018-C2	20 ft·lbf at -100°F ^a (27J at -73°C)	15 ft·lbf at 100°F ^a (20J at -73°C)
E7015-C2L E7016-C2L E7018-C2L	20 ft·lbf at -150°F ^a (27J at -101°C)	15 ft·lbf at -150°F ^a (20J at -101°C)
E9015-C5L	20 ft·lbf at -175°F ^a (27J at -115°C)	15 ft·lbf at -175°F ^a (20J at -115°C)
EXXXX-A1 EXXXX-BX EXXXX-BXL EXXXX-G	Not specified	

NOTES:

- These classifications are tested in the postweld heat treated condition. No thermal treatment shall be performed on the test specimens of all other classifications.
- Impact test values shall be recorded to "nearest whole unit" of energy absorbed in foot-pounds in accordance with the rounding-off method specified in 5.2.
- Both the highest and the lowest test values obtained shall be disregarded in computing the average value. Two of these three remaining values shall equal or exceed the minimum average value listed; one of these three remaining values may be lower than minimum average value, but shall not be less than the minimum single value listed. The average of the three remaining values shall not be less than the minimum average value listed.