

Universidad de **Cádiz**

Proyectos de fin de carrera de **Ingeniería Química**

Facultad: CIENCIAS

Titulación: INGENIERÍA QUÍMICA

Título: Definición y desarrollo de procedimientos de soldadura en tuberías de aceros inoxidables para un proyecto Offshore

Autora: Almudena CALZADA SÁNCHEZ

Fecha: Febrero 2008





Las actividades de las empresas offshore incluyen la fabricación de plataformas marinas fijas y flotantes, así como construcciones modulares. En muchas de estas estructuras, especialmente en los sistemas de tuberías se trabaja en ambiente marino y las temperaturas de operación suele ser muy altas o muy bajas por lo que suelen utilizarse aceros inoxidables austeníticos y austeno-ferríticos por su excelente resistencia a la corrosión en un amplio intervalo de temperaturas.

Las empresas offshore, dentro de su Sistema de Gestión y Aseguramiento de la Calidad, deben facilitar una información que verifique y proporcione la adecuada confianza de que la producción es llevada a cabo de un modo aceptable para el uso final del producto. Por ello, y considerando los procesos de soldeo como procesos especiales (su resultado no puede verificarse totalmente mediante posteriores inspecciones y ensayos de producto), uno de los requisitos generales de calidad es el desarrollo de especificaciones de procedimientos y su cualificación (entendiendo por cualificación del procedimiento el conjunto de acciones tendentes a comprobar que las uniones soldadas, realizadas por un determinado procedimiento pueden cumplir unas normas específicas).

El objetivo de este proyecto ha sido definir y desarrollar los procedimientos de soldadura para un rango de tuberías de acero inoxidable austenítico y austeno-ferrítico (duplex) que trabajarán en servicio químico en plataformas offshore.

Como base se ha considerado la norma europea UNE EN ISO 15607 que define las reglas para la cualificación de los procedimientos de soldeo antes de autorizar la especificación en producción.

Esta norma indica distintos métodos para la cualificación:

- Cualificación basada en ensayos del procedimiento de soldeo.
- Cualificación basada en consumibles de soldeo ensayados.
- Cualificación basada en experiencia previa de soldeo.
- Cualificación basada en un procedimiento de soldeo estándar.

La elevada exigencia de los proyectos offshore obliga a utilizar como método la cualificación mediante ensayos de procedimiento de soldeo. Este método especifica cómo un procedimiento de soldeo se puede cualificar mediante el soldeo y ensayo de un cupón de prueba normalizado.

Para la cualificación mediante ensayos de procedimiento de soldeo, la norma a aplicar será UNE EN ISO 15614-1. Tomando como base esta norma, los documentos sobre los que se asienta este proyecto son:

- Especificación de procedimiento de soldeo preliminar (pWPS): Documento que contiene las variables requeridas del procedimiento de soldeo que tiene que ser cualificado mediante uno de los métodos que se describen en la cláusula 6 de UNE EN ISO 15607.
- Especificación de procedimiento de soldeo (WPS): Documento que ha sido cualificado por uno de los métodos descritos en la cláusula 6 y que facilita las variables requeridas del procedimiento de soldeo para asegurar la repetibilidad durante el soldeo de producción.
- Registro de cualificación de procedimiento de soldeo (WPQR): Registro que comprende todos los datos necesarios para la cualificación de una especificación de procedimiento de soldeo preliminar.

En la Memoria Descriptiva se desarrollan las especificaciones preliminares (pWPS) necesarias para cualificar los procedimientos de soldeo. Estos pWPS se utilizarán como base para establecer los WPQR y WPS cualificados, ambos recogidos como anexos a la memoria.

Para el desarrollo de las especificaciones de procedimiento de soldeo preliminares (pWPS), la Memoria Descriptiva se ha estructurado en una serie de capítulos con el objeto de definir las siguientes variables esenciales:

- Material base: se identifican los materiales base de los procedimientos a definir durante el proyecto. Especificación, grado y dimensiones. También se definirán los rangos de espesores y diámetros.

- Proceso o procesos de soldeo: Se describen las pautas para la elección del proceso más adecuado para la soldadura de tubería de acero inoxidable. Una vez seleccionado el proceso o procesos de soldeo se definen las variables relacionadas con ellos.
- Metal de aporte: Se identifican los metales de aporte para los distintos materiales base, su especificación, clasificación y dimensiones.
- Otras variables de soldadura: Se definen el resto de condiciones de soldeo que requieren cualificación: tipo de unión, posición, precalentamiento, gas, características eléctricas, técnica, etc.

Una vez que se ha procedido a la identificación y definición de las variables esenciales, se redactan las Especificaciones de Soldeo Preliminares (pWPS).

Los últimos capítulos de la Memoria Descriptiva de este proyecto describen el diseño de los cupones de prueba, las condiciones recomendables para la ejecución de su soldadura y los ensayos para cualificar de los procedimientos de soldeo, en base a los procedimientos preliminares propuestos.

Respecto al Pliego de Condiciones de este proyecto, al no haber materialización de obra, no aplicaría el Pliego de Condiciones Generales ya que no intervienen ninguna de las partes que regula este pliego (facultativas, económicas y legales), aunque sí el Pliego de Condiciones Particulares, en el que se especifica tanto la normativa de aplicación como las etapas para el desarrollo e implantación del proyecto.

En cuanto al Presupuesto, ha sido dividido en dos partidas, los gastos generales, para el diseño del proyecto, y los gastos de cualificación de los procedimientos, considerados como los gastos del soldeo y ensayo de los cupones de prueba de acuerdo con los pWPS definidos.

<u>INDICE GENERAL</u>		Número total de Páginas
MEMORIA DESCRIPTIVA		157
		Página
CAPITULO 1 – TITULO		3
CAPITULO 2 – PETICIONARIO		4
CAPITULO 3 – OBJETO Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO		6
CAPITULO 4 – ANTECEDENTES		15
CAPITULO 5 – DESCRIPCIÓN DE LOS ACEROS INOXIDABLES		26
CAPITULO 6 – ELECCIÓN DEL PROCESO DE SOLDADURA		60
CAPITULO 7 – SELECCIÓN DEL MATERIAL DE APORTE		82
CAPITULO 8 – ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO		92
CAPITULO 9 – DISEÑO DEL CUPÓN DE PRUEBA		107
CAPITULO 10 – CONDICIONES DE EJECUCIÓN DEL SOLDEO DE ACEROS INOXIDABLES		120
CAPITULO 11 – ESPECIFICACIONES DE PROCEDIMIENTO DE SOLDEO PRELIMINARES (pWPS)		123
CAPITULO 12 – INSTALACIONES Y EQUIPOS AUXILIARES		136
CAPITULO 13 – SEGURIDAD E HIGIENE		143

	Número total de Páginas
ANEXOS	
ANEXO 1 – NORMAS, TÉRMINOS, DEFINICIONES Y TABLAS	31
ANEXO 2 – SOLDEO TIG	25
ANEXO 3 – SOLDEO SMAW	29
ANEXO 4 – GASES DE PROTECCIÓN EN SOLDADURA	35
ANEXO 5 – ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS	47
ANEXO 6 – ENSAYOS MECÁNICOS	16
ANEXO 7 – FORMATOS DE WPS Y WPQR	5
PLIEGO DE CONDICIONES	6
PRESUPUESTO	6
BIBLIOGRAFIA	2

FACULTAD DE CIENCIAS
TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO



PROYECTO FIN DE CARRERA

**DEFINICIÓN Y DESARROLLO DE PROCEDIMIENTOS DE
SOLDADURA EN TUBERÍAS DE ACEROS INOXIDABLES
PARA UN PROYECTO OFFSHORE**

MEMORIA DESCRIPTIVA

<u>INDICE</u>	Páginas
CAPITULO 1 – TITULO	3
CAPITULO 2 – PETICIONARIO	4
CAPITULO 3 – OBJETO Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	6
3.1. Objeto del Proyecto.....	6
3.2. Justificación del Proyecto.....	8
3.3. Normativa.....	14
CAPITULO 4 – ANTECEDENTES	15
4.1. Desarrollo y cualificación de los procedimientos de soldeo.....	16
CAPITULO 5 – DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES BASE	26
5.1. Introducción.....	26
5.2. Aceros Inoxidables.....	26
5.3. Precipitados y Fases Intermetálicas.....	29
5.4. Corrosión de los Aceros Inoxidables.....	31
5.5. Soldabilidad de los Aceros Inoxidables.....	33
5.6. Propiedades Físicas.....	48
5.7. Propiedades Mecánicas.....	48
5.8. Selección de un Acero Inoxidable.....	52
5.9. Descripción de los Materiales.....	55
5.10. Definición del Rango de Aceros Inoxidables.....	58
CAPITULO 6 – ELECCIÓN DEL PROCESO DE SOLDADURA	60
6.1. Pautas para la elección sistemática de procesos de soldeo.....	60
6.2. Soldadura por Arco con Protección Gaseosa y Electrodo de Tungsteno no Consumible (GTAW).....	70
6.3. Soldadura por Arco con Electrodo Revestidos (SMAW).....	72
6.4. Soldadura por Arco bajo Gas Protector con Electrodo Consumible (GMAW)	75
6.5. Soldadura por Arco con Alambre Tubular (FCAW).....	78
6.6. Conclusiones.....	80
CAPITULO 7 – SELECCIÓN DEL MATERIAL DE APORTE	82
7.1. Productos de Aporte para la Soldadura GTAW.....	82

7.2. Electrodos no Consumibles para la Soldadura GTAW.....	83
7.3. Electrodos para la Soldadura SMAW.....	85
7.4. Selección de Consumibles.....	87
CAPITULO 8 – ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO.....	92
8.1. Introducción.....	92
8.2. Descripción de las Variables de los Procedimientos.....	96
CAPITULO 9 – DISEÑO DEL CUPÓN DE PRUEBA.....	107
9.1. Prueba del Procedimiento de soldeo.....	107
9.2. Cupón de Prueba.....	107
9.3. Exámenes y Ensayos.....	110
CAPITULO 10 – CONDICIONES DE EJECUCIÓN DEL SOLDEO DE ACEROS INOXIDABLES.....	120
CAPITULO 11 – ESPECIFICACIONES DE PROCEDIMIENTO DE SOLDEO PRELIMINARES (pWPS)	123
CAPITULO 12 – INSTALACIONES Y EQUIPOS AUXILIARES.....	136
12.1. Equipos Auxiliares.....	136
12.2. Equipos de Soldeo.....	138
12.3. Extracción de Humos.....	140
12.4. Almacenamiento y Manipulación de Materiales de Aportación....	140
12.5. Dispositivo de Purgado y Tapones Hinchables.....	141
12.6. Herramientas Auxiliares.....	142
12.7. Equipo de Pre calentamiento y Control de la Temperatura.....	142
CAPITULO 13 – SEGURIDAD E HIGIENE.....	143
13.1. Introducción.....	143
13.2. Análisis de Riesgos.....	143
13.3. Medidas de Prevención.....	146

CAPITULO 1. - TITULO

Almudena Calzada Sánchez redacta el siguiente proyecto que tiene por título “Definición y desarrollo de procedimientos de soldadura en tuberías de aceros inoxidables para un proyecto Offshore”, como Proyecto Fin de Carrera de la titulación de Ingeniería Química en la Facultad de Ciencias (Universidad de Cádiz), siendo los tutores del mismo el Dr. D. Sergio Molina Rubio y el Dr. D. David González Robledo.

CAPITULO 2. - PETICIONARIO

El documento de propuesta del Proyecto Fin de Carrera, que contiene las especificaciones del mismo, se encuentra adjunto en la página siguiente.



PROPUESTA PROYECTO FIN DE CARRERA

DEPARTAMENTO : Departamento de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica y Química Orgánica.

TÍTULO :

“Diseño y desarrollo de un procedimiento de soldadura para un rango de aceros inoxidables en tuberías de un proyecto OffShore”

TUTOR(ES) : Sergio Molina Rubio

David González Robledo

DESCRIPCIÓN (breve información sobre el objetivo del PFC):

El proyecto consiste en el diseño y desarrollo de un procedimiento para determinar la soldabilidad y el comportamiento corrosivo de un rango de aceros inoxidables que se utilizarán en una atmósfera corrosiva.

El rango de aceros es el siguiente:

1. ASTM A318 TP 316.
2. ASTM A312 UNS S31254 (6Mo).
3. ASTM A790 UNS S31803 (Duplex).

Se diseñará el procedimiento de acuerdo al estudio de los parámetros de soldadura correspondientes, teniendo en cuenta las necesidades de cada material (precalentamiento, velocidad de soldeo, aporte térmico,...), así como sus propiedades mecánicas, composición química y su influencia en un ambiente corrosivo.

REQUISITOS :

Se empleará corriente continua para establecer el arco eléctrico entre el electrodo y la pieza a soldar.

Las tuberías de acero inoxidable empleadas en el diseño del procedimiento de soldadura presentan diámetros en un rango de 2 a 20 pulgadas.

OTRAS ESPECIFICACIONES (normativa, legislación, ...):

Cumplimiento de la Normativa que regula los procedimientos de soldadura (ASME IX, EN-288).

CAPITULO 3. – OBJETO Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

3.1 OBJETO DEL PROYECTO

Cualquier empresa que desarrolle sus actividades en un mercado competitivo debe necesariamente presentar y vender sus productos o servicios, obteniendo un beneficio económico que permita su continuidad como tal. Con este objetivo la empresa debe ofrecer un producto o servicio a un precio competitivo, en un plazo de entrega razonable y, sobre todo, con la calidad que demanda el mercado.

Los clientes de las empresas Offshore han sido y son la mayoría de las grandes petrolíferas y contratistas del sector de la construcción offshore. Las actividades de este tipo de empresas incluyen:

- OFFSHORE:
 - Plataformas fijas: jackets, trípodes, pilotes, antorchas, deck y módulos de todo tipo (servicios, producción, compresión, proceso y acomodación, perforación, etc).
 - Plataformas e Instalaciones Flotantes: Cascos y Decks para Plataformas Semisumergibles, Módulos y Turrets para barco tipo FPSO, Sistemas de amarre, Boyas, etc.

- ONSHORE:
 - Construcciones Modulares: refinarias, terminales de carga/descarga y proceso, y componentes estructurales.
 - Bienes de equipo: grúas portuarias, compuertas de presas y esclusas, recipientes, tanques, etc.



Los materiales utilizados en muchos de estos tipos de estructuras, especialmente en los sistemas de tubería, deben trabajar a temperaturas criogénicas, manteniendo su ductilidad y resistencia al agrietamiento con altos niveles de seguridad.



Los aceros inoxidables austeníticos son especialmente adecuados por su excelente resistencia a la corrosión, y son los más utilizados para este tipo de aplicaciones, aunque el uso de aleaciones duplex va en aumento.

El presente proyecto, tiene por objeto la definición y desarrollo de procedimientos de soldadura para un rango de tuberías de acero inoxidable austenítico y austenoferrítico (duplex), que trabajarán en servicio químico en plataformas offshore.

3.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO: La necesidad de desarrollar procedimientos de soldadura.

Un fabricante debe, en muchos casos, facilitar una información que verifique o proporcione la adecuada confianza de que la producción es llevada a cabo de un modo que es aceptable para el uso final del producto y, a menudo que es aceptable también para terceras partes. Esto incluye un número de actividades como:

- Planificación sistemática y documentada de la producción.
- Inspección y ensayos.
- Especificación de procedimientos y su cualificación.
- Cualificación de soldadores y coordinadores de soldadura.
- Cualificación de inspectores y E.N.D.

Todas estas actividades son elementos de un Sistema para la Gestión y el Aseguramiento de la Calidad.

Los requisitos generales de calidad, universalmente aceptados, se establecen en la serie de Normas Internacionales ISO 9000, adoptadas como Normas Nacionales serie UNE - EN - ISO 9000. Esta serie de Normas son independientes del producto, estructura de la empresa, proceso de fabricación, etc., lo que las hace de aplicación general.

Según la serie de normas UNE-EN-ISO 9000, un **proceso especial es aquél cuyo resultado no puede verificarse totalmente mediante posteriores inspecciones y ensayos del producto y cuando, por ejemplo, las deficiencias del proceso pueden ponerse de manifiesto solamente durante la utilización del producto. Consecuentemente, es requerido que estos procesos se lleven a cabo por personal cualificado o bien una supervisión y control continuo de los parámetros del proceso para asegurar la conformidad del producto con los requisitos especificados.**

Los procesos de soldeo están clasificados como procesos especiales, debido a las dificultades que se presentan durante la verificación de las propiedades de los materiales a soldar, del metal de soldadura y de la zona afectada térmicamente (sin ensayarse destructivamente), por lo que les aplica el ser controlado de forma continua.

El nivel del control de calidad necesario dependerá, fundamentalmente, de la complejidad de la operación de soldeo y de las consecuencias que conllevaría un posible fallo de las soldaduras.

En el Comité Técnico de Normalización CEN/TC-121 “Soldadura” se pensó que la existencia de unas normas para el control de calidad de las fabricaciones soldadas, definiendo un número razonable de requisitos de calidad, podría ser adecuada para ser referenciadas en los diferentes Códigos. Dicho de otra forma: los capítulos de los Códigos sobre fabricación podrían reducirse considerablemente si se hace referencia a uno o más requisitos de control de calidad establecidos en una norma del CEN/TC-121.

El Subcomité 4 del Comité Técnico de Normalización CEN/TC-121 “Soldadura” fue el encargado de preparar una serie de normas sobre Requisitos de Calidad de los productos soldados, afrontando un asunto difícil, pero importante, al considerarse vital disponer de un sistema lógico y eficaz de normas relativas a la calidad de las soldaduras.

El resultado final fue la elaboración y publicación de la serie de normas UNE- EN 729 partes 1 a 4 (en la actualidad EN ISO 3834), donde se establecen los requisitos específicos de la calidad para el soldeo a tres niveles en función de la responsabilidad de las soldaduras ante un posible fallo.

- **Norma UNE-EN 729-1** "Requisitos de Calidad para el Soldeo. Soldeo por Fusión de Materiales Metálicos. Parte 1: Directrices para su Selección y Utilización".
- **Norma UNE-EN 729-2** "Requisitos de Calidad para el Soldeo. Soldeo por Fusión de Materiales Metálicos. Parte 2: Requisitos de Calidad Completos".
- **Norma UNE-EN 729-3** "Requisitos de Calidad para el Soldeo. Soldeo por Fusión de Materiales Metálicos. Parte 3: Requisitos de Calidad Estándar".
- **Norma UNE-EN 729-4** "Requisitos de Calidad para el Soldeo. Soldeo por Fusión de Materiales Metálicos. Parte 4: Requisitos de Calidad Elementales".

En la siguiente tabla podemos ver un resumen comparativo de los requisitos de calidad del soldeo en relación con EN 729-2, EN 729-3 y EN 729-4.

Partes de EN 729 Elementos	EN 729-2 (Requisitos de Calidad Completos)	EN 729-3 (Requisitos de Calidad Estándar)	EN 729-4 (Requisitos de Calidad elementales)
Revisión del Contrato	Revisión documentada total	Revisión menos extensa	Establece que se dispone de la capacidad y de la información
Revisión del diseño	Se requiere la confirmación del diseño del soldeo		
Subcontratista	Igual tratamiento que a un fabricante principal		Debe cumplir con la norma
Soldadores/Operadores	Cualificados según EN 287		
Coordinación del soldeo	Personal coordinador del Soldero con el adecuado conocimiento teórico según EN 719, o personas con conocimiento similar		No se pide, siendo responsabilidad personal del fabricante
Personal de inspección	Se dispondrá de personal competente y suficiente		Competente y suficiente, acceso a terceras partes según sea necesario
Equipos de producción	Requerido para preparar, cortar, soldar, transportar y elevar, así como equipos de seguridad y ropas de protección		Sin requisitos específicos
Mantenimiento de los equipos	Tiene que llevarse a cabo Plan de mantenimiento necesario	Sin requisitos específicos, será el adecuado	Sin requisitos
Plan de producción	Necesario	Se necesita un plan más simplificado	Si requisitos

(continuación)

Especificación de procedimiento de Soldeo (WPS)	Las instrucciones estarán a disposición del soldador (EN 288-2) ⁽¹⁾		Sin requisitos
Cualificación del procedimiento de Soldeo	Según la serie EN 288, cualificado según las normas de aplicación o requisitos del contrato		Sin requisitos específicos
Instrucciones de trabajo	La especificación de soldeo (WPS) o las instrucciones oportunas estarán disponibles		Sin requisitos
Documentación	Necesaria	No se especifica	Sin requisitos
Ensayo de consumibles por lotes	Sólo si se especifica en el contrato	No se especifica	Sin requisitos
Manipulación y almacenaje de los consumibles de soldeo	Como mínimo se seguirán las recomendaciones del suministrador		
Almacenaje de materiales base	Se requiere protección de la influencia ambiental		Sin requisitos
Tratamiento térmico postsoldadura	Es necesario su especificación y registro completo	Se necesita confirmación de cumplimiento con la especificación	Sin requisitos
Inspección antes, durante y después del soldeo	Según se requiera para las operaciones especificadas		Las responsabilidades según estén especificadas en el contrato
No-conformidades	Los procedimientos estarán disponibles		
Calibración	Los procedimientos estarán disponibles	No se especifica	
Identificación	Requerida cuando sea apropiado	Requerida cuando sea necesario	No se especifica
Traceabilidad			No se especifica
Registros de calidad	Estarán disponibles para cumplir con las disposiciones legales del producto		Según se requiera en el contrato
	Se mantendrán durante cinco años como mínimo		

(1) La serie EN 288 ha sido anulada y sustituida por la serie EN 15614

NOTA: La serie EN 729 ha sido anulada y reemplazada por la serie EN 3834.

Respecto a la cualificación de procedimientos de soldeo la norma UNE-EN 729-2 dice en su párrafo 9.3: “Los procedimientos de soldeo se cualificarán con anterioridad a la producción de acuerdo con las normas de la serie EN 15614. El método de cualificación

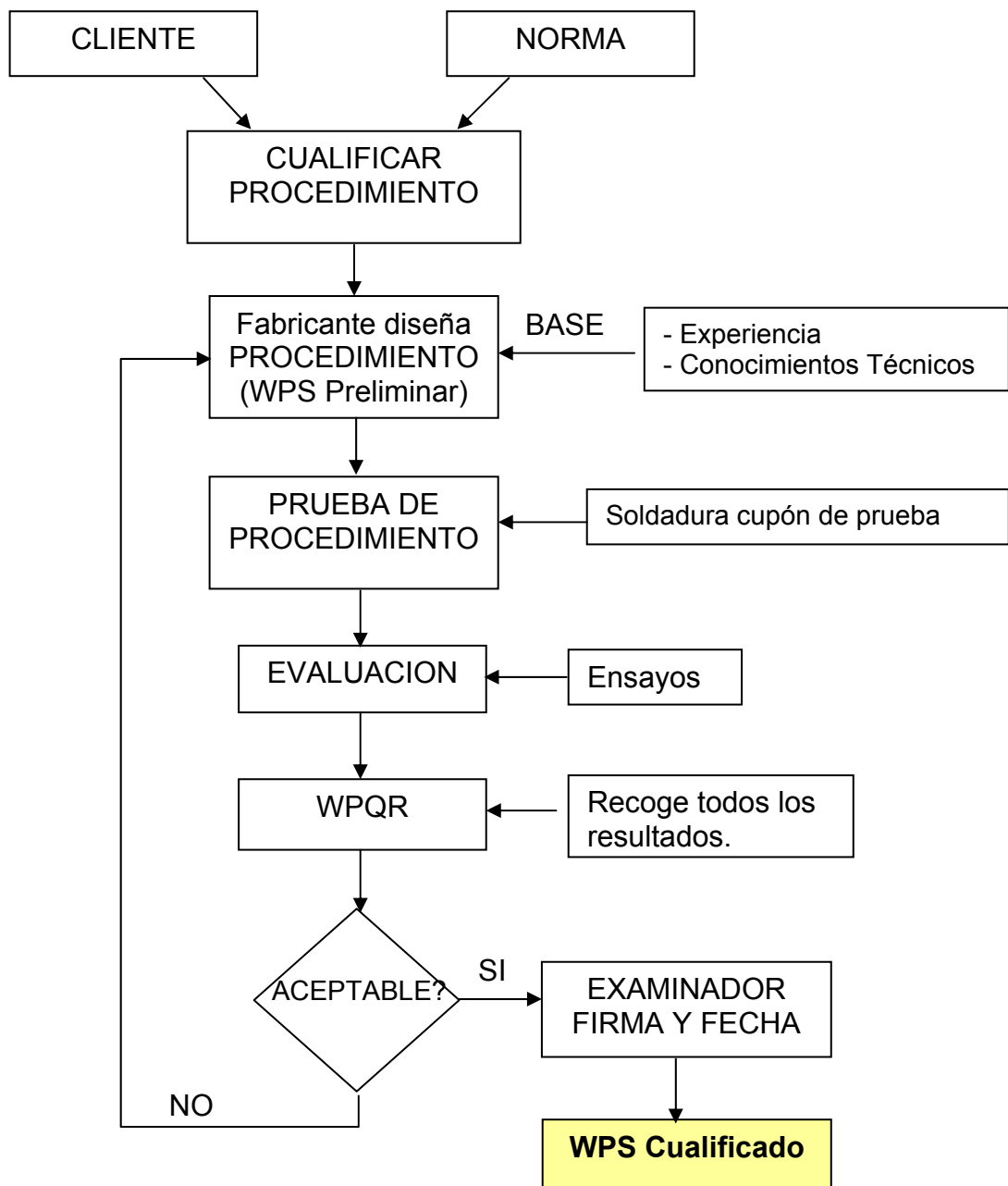
estará de acuerdo con las normas de aplicación relevantes, o como esté establecido en el contrato.”

En definitiva, al iniciar la fabricación de una construcción soldada es preciso disponer de las suficientes garantías sobre si soldando con el procedimiento y la técnica seleccionados, se va a lograr la continuidad metálica de la unión en el sentido indicado en el término soldabilidad.

Con objeto de avalar estas garantías, es necesario realizar previamente la cualificación del procedimiento que se va a emplear y que consta de las siguientes fases:

- Especificación del procedimiento: Un procedimiento de soldadura es una especificación de soldadura (WPS) cualificada con un Registro de Cualificación (WPQR). En dicha especificación deberán indicarse claramente todas las variables o parámetros de soldeo.
- Soldadura: esta fase consiste en soldar una probeta respetando lo indicado en la especificación del procedimiento.
- Ensayos: finalizado el proceso anterior, se realizan los ensayos requeridos por el código de diseño de la construcción soldada.

En el siguiente esquema aparecen representados los pasos a seguir:



3.3 NORMATIVA

Como ya se ha mencionado, el propósito de cualificar un WPS es determinar que la soldadura propuesta para la construcción es capaz de dar las propiedades requeridas para esa aplicación, suministrándose así una guía para realizar las soldaduras de producción de acuerdo con el código que se exija.

Los procedimientos de soldadura que se van a definir en este proyecto se diseñarán de acuerdo con las siguientes normas y/o códigos para actividades offshore:

- UNE-EN ISO 15607 – Especificación y cualificación de los procedimientos de soldeo para materiales metálicos. Reglas generales.
- UNE-EN ISO 15614-1 – Especificación y cualificación de procedimientos de soldeo para materiales metálicos. Ensayo del procedimiento de soldeo. Parte 1: Soldeo por arco y con gas de aceros y soldeo por arco de níquel y sus aleaciones.
- NORSOK STANDARD M-601, Rev. 2 (Nov.1997) – WELDING AND INSPECTION OF PIPING.

CAPITULO 4. – ANTECEDENTES

Las especificaciones de los procedimientos de soldeo son necesarias con el fin de proporcionar unas bases bien definidas para planificar las operaciones de soldeo, así como para su control de calidad. El soldeo se considera como proceso especial en la terminología de las normas sobre sistemas de calidad. Las normas sobre sistemas de calidad normalmente requieren que los procesos especiales sean llevados a cabo de acuerdo con especificaciones de procedimiento escritas.

La preparación de una especificación de procedimiento de soldeo facilita las bases necesarias, pero no es en sí misma garantía de que las soldaduras cumplan con los requisitos aplicables. Algunas desviaciones, especialmente imperfecciones y deformaciones, pueden evaluarse por métodos no destructivos en los productos terminados.

Sin embargo, las desviaciones metalúrgicas constituyen un problema especial, debido a la imposibilidad de evaluación de las propiedades mecánicas por métodos no destructivos con el nivel de conocimientos actuales en esta tecnología. Esto ha llevado a establecer una serie de reglas para la cualificación de los procedimientos de soldeo antes de autorizar la especificación para ser aplicada en producción. La Norma Europea UNE EN ISO 15607 “Especificación y Cualificación de los Procedimientos de Soldeo para los Materiales Metálicos - Reglas Generales” define tales reglas.

Esta norma define las reglas generales para la especificación y cualificación de los procedimientos de soldeo para los materiales metálicos. Esta norma toma además como referencia algunas otras en relación con reglas detalladas para aplicaciones específicas.

En el Anexo 1 (Normas, términos, definiciones y tablas) de este proyecto se muestran los distintos términos, que aplicaran a la definición de nuestros procedimientos según la Norma Europea UNE EN ISO 15607.

Esta norma es aplicable al soldeo manual, mecanizado y automático.

Los procedimientos de soldeo se cualifican de acuerdo con uno o varios registros de cualificación del procedimiento de soldeo (WPQR). El empleo de un determinado método de cualificación es, a menudo, un requisito de una norma de aplicación.

No se recomienda la cualificación de una Especificación de Procedimiento de Soldeo Preliminar (pWPS) por más de un método. Se supone que las especificaciones de procedimiento de soldeo son utilizadas en producción por soldadores competentes, cualificados de acuerdo con la parte correspondiente de EN 287 o EN ISO 9606, o por operadores competentes cualificados de acuerdo con EN 1418.

4.1 DESARROLLO Y CUALIFICACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE SOLDEO

4.1.1 General

La Norma Europea UNE EN ISO 15607 indica que la cualificación de los procedimientos de soldeo se realizará antes de soldar en producción.

El fabricante preparará una pWPS y se asegurará de que es aplicable durante la producción, en base a experiencias anteriores y al conocimiento general acumulado sobre tecnología del soldeo.

Cada pWPS se utilizará como base para establecer el WPQR cualificado de acuerdo con uno de los métodos relacionados en la Tabla 4.1.

Método basado en	Aplicación
Ensayo del procedimiento de soldeo	Siempre se puede aplicar, a menos que el ensayo del procedimiento no corresponda adecuadamente con la geometría de la unión, rigidez y accesibilidad de las soldaduras reales.
Consumibles de soldeo ensayados	Limitada a los procedimientos de soldeo que utilizan consumibles. El ensayo de los consumibles debe cubrir el material base utilizado en producción. Otras limitaciones relacionadas con materiales y otros parámetros se especifican en EN ISO 15610.
Experiencia previa de soldeo	Limitada a los procedimientos previamente utilizados para numerosas soldaduras en piezas, materiales y uniones comparables. Los requisitos están especificados en EN ISO 15611.
Procedimiento de soldeo estándar	Similar a los ensayo del procedimiento de soldeo, las limitaciones están especificadas en prEN ISO 15612.
Ensayos anteriores a la producción	En principio siempre se puede aplicar, pero requiere fabricar un cupón de prueba de acuerdo con las condiciones de producción. Adecuado para la fabricación en serie. Los requisitos están especificados en EN ISO 15613.
NOTA: Para la elección de un determinado método, véase la cláusula 1.	

Tabla 4.1- Métodos de cualificación

Si la cualificación supone el soldeo de cupones de prueba, estos se soldarán de acuerdo con la pWPS.

El WPQR contendrá todas las variables (esenciales y no esenciales), así como los rangos especificados de cualificación de acuerdo con la norma apropiada. En base al WPQR, la WPS para producción se elaborará bajo la responsabilidad del fabricante a no ser que se requiera otra cosa

A continuación se describen cada uno de estos métodos de cualificación:

4.1.2 Cualificación basada en ensayos del procedimiento de soldeo

Este método especifica como un procedimiento de soldeo se puede cualificar mediante el soldeo y ensayo de un cupón de prueba normalizado.

El ensayo del procedimiento de soldeo se puede requerir siempre que las propiedades del material en el metal de soldadura y en la zona afectada térmicamente sean críticas durante la aplicación.

Las diferentes partes de EN ISO 15614 definen los ensayos del procedimiento de soldeo para los siguientes procesos:

- soldeo por arco,
- soldeo oxigás,
- soldeo por haz de electrones,
- soldeo láser,
- soldeo por resistencia.

Ensayos de procedimiento de soldeo para otros procesos de soldeo, y para aplicaciones especiales, pueden estar recogidos en normas específicas, como por ejemplo:

- para soldeo de espárragos véase EN ISO 14555,
- para soldeo por fricción véase EN ISO 15620.

4.1.3 Cualificación basada en consumibles de soldeo ensayados

Este método especifica como un procedimiento de soldeo se puede cualificar utilizando consumibles de soldeo ensayados.

Algunos materiales no sufren un deterioro significativo en las zonas afectadas térmicamente. En estos casos, se puede emplear este método de cualificación.

En EN ISO 15610 se define el método de cualificación empleando consumibles de soldeo ensayados para los siguientes procesos de soldeo:

- soldeo por arco,
- soldeo oxigás,

La cualificación por este método para otros procesos de soldeo, y para aplicaciones especiales, pueden estar recogidos en normas específicas.

4.1.4 Cualificación basada en experiencia previa de soldeo

Este método especifica como un procedimiento de soldeo se puede cualificar demostrando de forma satisfactoria conocimientos previos de soldeo.

Un fabricante puede cualificar una pWPS remitiéndose a su experiencia previa con la condición de que pueda demostrar por medio de la documentación apropiada, auténtica, de naturaleza independiente, que ha soldado previamente de forma satisfactoria los tipos de unión y materiales en cuestión.

En tales casos solo se utilizarán procedimientos de soldeo de los que se tenga experiencia de que son fiables.

En EN ISO 15611 se define el método de cualificación mediante experiencia previa de soldeo para los siguientes procesos de soldeo:

- soldeo por arco,
- soldeo oxigás,
- soldeo por haz de electrones,

- soldeo láser,
- soldeo por resistencia.

La cualificación por este método para otros procesos de soldeo, y para aplicaciones especiales, pueden estar recogidos en normas específicas, como por ejemplo:

- para soldeo de espárragos véase EN ISO 14555,
- para soldeo por fricción véase EN ISO 15620.

4.1.5 Cualificación basada en un procedimiento de soldeo estándar

Este método especifica como un procedimiento de soldeo se puede cualificar empleando un procedimiento de soldeo estándar.

Una pWPS preparada por un fabricante está cualificada si los rangos para todas las variables están dentro del rango permitido por un procedimiento de soldeo estándar.

Los procedimientos de soldeo estándar se deben emitir como una especificación en el formato de una WPS o de un WPQR, basándose en la cualificación según la parte relevante de prEN ISO 15614 para ensayo de los procedimientos de soldeo. La emisión y modificación de los procedimientos de soldeo estándar se efectuará por la persona u organismo examinador que tenga la responsabilidad de la cualificación inicial.

La aplicación de un procedimiento de soldeo estándar está también sometida a las condiciones que tenga que satisfacer el usuario.

En EN ISO 15612 se define el método de cualificación mediante el empleo de un procedimiento de soldeo estándar para los siguientes procesos de soldeo:

- soldeo por arco,
- soldeo oxigás,
- soldeo por haz de electrones,
- soldeo láser,
- soldeo por resistencia.

La cualificación por este método para otros procesos de soldeo, y para aplicaciones especiales, pueden estar recogidos en normas específicas.

4.1.6 Cualificación basada en pruebas de soldeo anterior a la producción

Este método especifica como un procedimiento de soldeo se puede cualificar mediante pruebas de soldeo anteriores a la producción.

Este método de cualificación es el único fiable para algunos procedimientos de soldeo, cuando las propiedades resultantes de la soldadura dependen directamente de ciertas condiciones tales como: componente, rigidez especial, disipación del calor, etc., que no pueden ser reproducidas con cupones de prueba normalizados.

Puede emplearse la cualificación mediante pruebas de soldeo anterior a la producción cuando la forma y dimensiones de los cupones de prueba normalizados no representen adecuadamente la unión a soldar, como es el caso de piezas soldadas a tubos de pared delgada. En estos casos, se deben realizar uno o más cupones de prueba especiales simulando la unión de producción en todas sus características esenciales. Las pruebas se deben llevar a cabo con anterioridad y en las condiciones normales de producción.

La inspección y pruebas de los cupones de prueba se deben llevar a cabo de acuerdo con la norma apropiada para ensayos de procedimiento, pero estas pruebas pueden necesitar ser suplementadas o sustituidas por otras especiales de acuerdo con la naturaleza de la unión en cuestión.

En EN ISO 15613 se define el método de cualificación mediante pruebas de soldeo anteriores a la producción para los siguientes procesos de soldeo:

- soldeo por arco,
- soldeo oxigás,
- soldeo por haz de electrones,
- soldeo láser,
- soldeo por resistencia.

La cualificación por este método para otros procesos de soldeo, y para aplicaciones especiales, pueden estar recogidos en normas específicas.

4.1.7 Elección del método de cualificación

La elevada exigencia de los proyectos offshore obliga a utilizar como método la cualificación mediante ensayos de procedimientos de soldeo.

La Norma Europea EN ISO 15607 forma parte de una serie de normas como se detalla en la Tabla 4.2 (basada en el Anexo A de UNE EN ISO 15607). Para la cualificación mediante ensayos de procedimiento de soldeo por arco la norma a aplicar será UNE EN 15614 Parte 1.

Tabla 4.2 - Detalles de las normas relacionadas con la especificación y cualificación de procedimientos de soldeo

Proceso	Soldo por arco	Soldo oxigás	Soldo por haz de electrones	Soldo láser	Soldo por resistencia	Soldo de espárragos	Soldo por fricción
Reglas generales	EN ISO 15607						
Guía para un sistema de agrupación	CR ISO/TR 15608			No aplicable		CR ISO/TR 15608	
WPS	EN ISO 15609-1	EN ISO 15609-2	EN ISO 15609-3	EN ISO 15609-4	EN ISO 15609-5	EN ISO 14555	EN ISO 15620
Consumibles ensayados	EN ISO 15610		No aplicable				
Experiencia previa en el soldeo	EN ISO 15611					EN ISO 15611	EN ISO 15611
						EN ISO 14555	EN ISO 15620
Procedimiento estándar	prEN ISO 15612				No aplicable		
Ensayos anteriores a la producción	EN ISO 15613					EN ISO 15613	EN ISO 15613
						EN ISO 14555	EN ISO 15620
Ensayo del procedimiento de soldeo	prEN ISO 15614 <u>Parte 1:</u> Acero/Niquel <u>Parte 2:</u> Aluminio <u>Parte 3:</u> Hierro fundido <u>Parte 4:</u> Reparación de las fundiciones de aluminio <u>Parte 5:</u> Titanio/circonio <u>Parte 6:</u> Cobre <u>Parte 7:</u> Recargue <u>Parte 8:</u> Tubo a placa tubular <u>Parte 9:</u> Húmedo hiperbárico <u>Parte 10:</u> Seco hiperbárico	prEN ISO 15614 <u>Parte 1:</u> Acero/Niquel <u>Parte 3:</u> Hierro fundido <u>Parte 6:</u> Cobre <u>Parte 7:</u> Recargue	prEN ISO 15614 <u>Parte 7:</u> Recargue <u>Parte 11:</u> Haz de electrones/láser		prEN ISO 15614 <u>Parte 12:</u> Punto, costura y proyección <u>Parte 13:</u> chisporroteo y resistencia a tope	EN ISO 14555	EN ISO 15620

En la tabla 4.3 se detallan las distintas fases de la cualificación de los procedimientos de soldeo (según el Anexo B de UNE EN ISO 15607) y en la figura 4.1 se muestra el diagrama de flujo para el desarrollo y cualificación de una WPS (según el Anexo C de UNE EN ISO 15607).

Tabla 4.3 - Diferentes fases de la cualificación de los procedimientos de soldeo

Actividad	Resultado	Parte involucrada
Desarrollo del procedimiento	pWPS	Fabricante
Método de cualificación	WPQR incluyendo el rango de validez en base a la norma relevante de cualificación	Fabricante y, si procede, persona u organismo examinador
Finalización del procedimiento	WPS basada en este WPQR	Fabricante
Autorización para producción	Copia del WPS o instrucción de trabajo	Fabricante

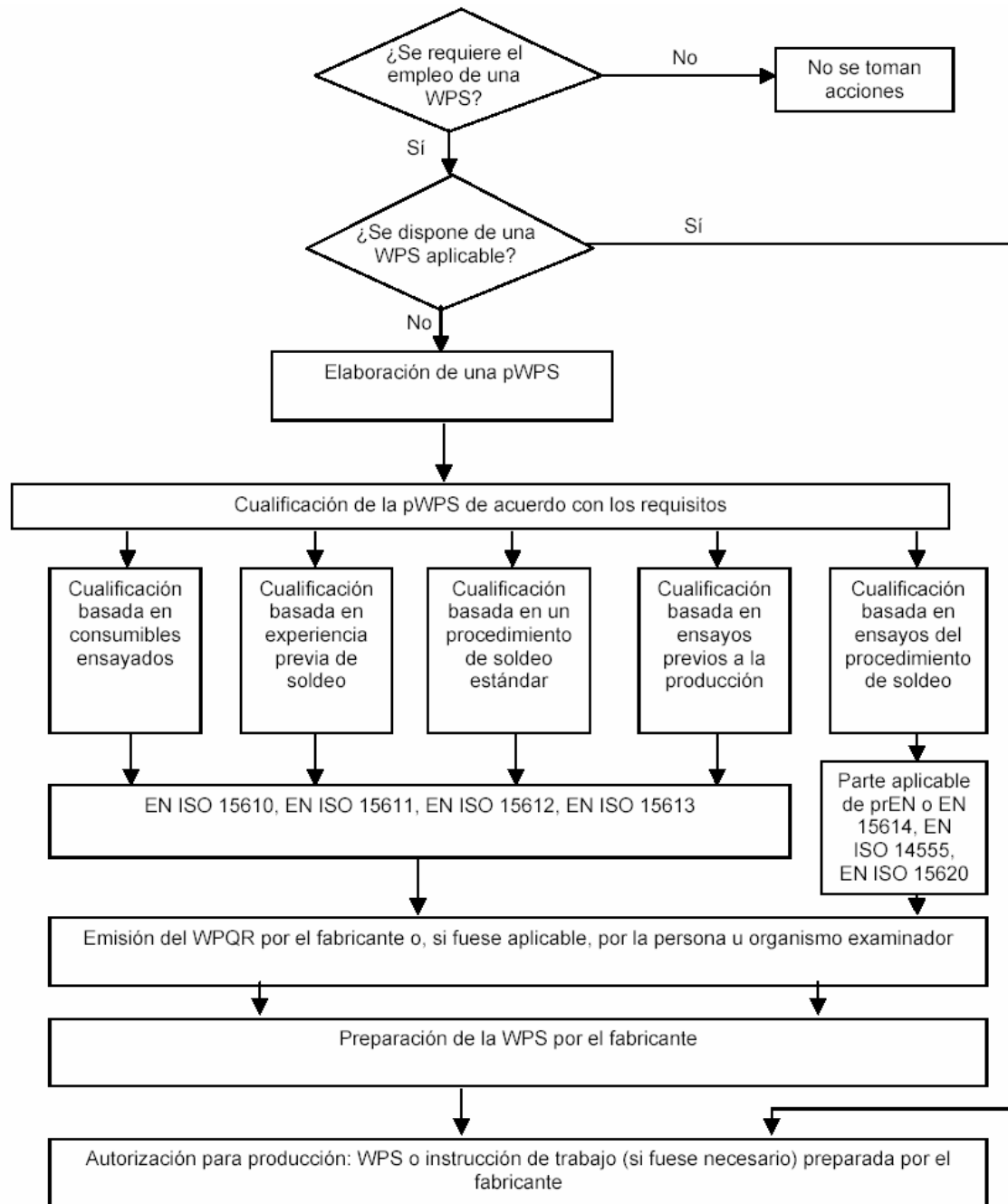
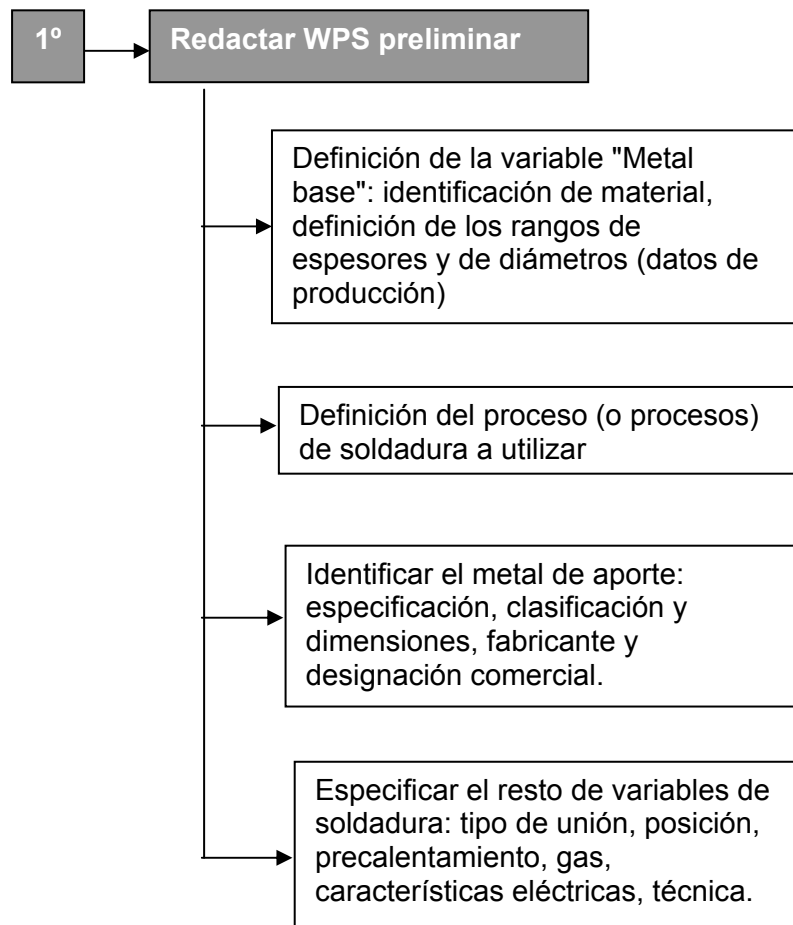
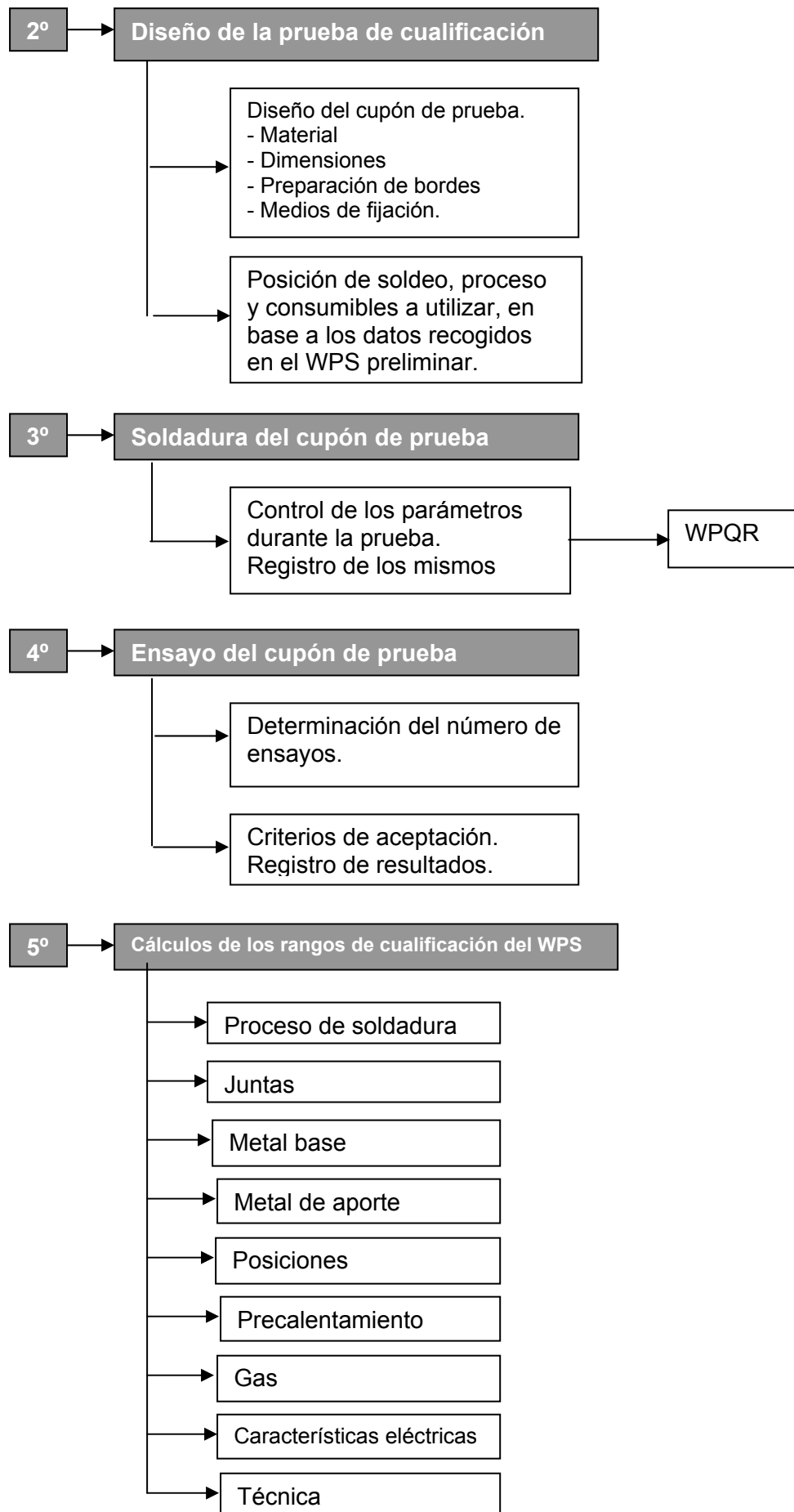


Figura 4.1 - Diagrama de flujo para el desarrollo y cualificación de una WPS.

A continuación, se describirán esquemáticamente las operaciones que se deben llevar a cabo para la cualificación de los procedimientos de soldadura que se van a diseñar:





CAPITULO 5. – DESCRIPCIÓN DE LOS ACEROS INOXIDABLES

5.1 INTRODUCCIÓN

En la primera parte de este capítulo, se realiza una descripción general de los aceros inoxidables (tanto de sus características metalúrgicas como de su soldabilidad, propiedades químicas y mecánicas), mostrándose los principales tipos de corrosión que pueden afectarles en un proyecto offshore, para pasar después a seleccionar aquellos grupos de materiales cuyo procedimiento de soldadura vamos a definir.

En la parte final del capítulo, una vez seleccionados los materiales y como primer paso para definir el WPS preliminar, se describen sus propiedades químicas y mecánicas.

La definición de los rangos de espesores y de diámetros de los materiales se realizará en un capítulo posterior cuando el diseño del procedimiento se encuentre más avanzado.

5.2 ACEROS INOXIDABLES

Los aceros inoxidables son aleaciones de hierro, carbono, cromo y otros elementos, principalmente: níquel, molibdeno, titanio, niobio, silicio, manganeso, entre otros. Naturalmente, la influencia de los diversos elementos produce diversas variaciones en las características y propiedades de los aceros inoxidables.

Para que un acero sea inoxidable debe tener un contenido en cromo mínimo del 10.5%.

La formación en la superficie del metal de una capa de óxido de cromo es lo que hace que el acero sea inoxidable, esta película o capa se denomina capa pasivante. Es una capa de óxido que no se desprende y protege al acero de la oxidación. Se puede comprender por tanto que cuanto mayor es el contenido en cromo, mayor es la resistencia a la corrosión.

Los aceros inoxidables se clasifican según su estructura microscópica, esta estructura depende de la composición química del acero y del tratamiento térmico.

Los grandes grupos en que se dividen los aceros inoxidables son:

- Martensíticos.
- Ferríticos.
- Austeníticos.
- Austeno-ferríticos o aceros inoxidables dúplex.

La estructura microscópica que hemos señalado podrá ser: ferrita, austenita o martensita.

La ferrita y la austenita son constituyentes del acero, su presencia depende de los elementos de aleación; por ejemplo, el níquel favorece la presencia de la austenita. La martensita es un constituyente que aparece al templar un acero.

La ferrita en general es blanda y con baja resistencia mecánica, la austenita se caracteriza por su gran tenacidad y la martensita por su dureza y resistencia mecánica, así como por su fragilidad

Los aceros ferríticos tendrán propiedades parecidas a la ferrita, los austeníticos similares a la austenita y lo mismo ocurrirá con los martensíticos en la que respecta a la martensita.

En la siguiente tabla, se representan las cuatro familias de aceros inoxidables mencionadas, comparando los contenidos de los elementos más importantes.

Acero	%C	%Cr	%Ni	Magnetismo	Estructura	Propiedades
Austenítico	0.03-0.2	De 17 a 27	6-20	No	Austenítica	Dúctiles, tenaces, buena resistencia a la corrosión y buena soldabilidad. Son los más utilizados y conocidos.
Ferrítico	De 0.1 a 0.3	De 15 a 30	--	Si	Ferrítica	Baja resistencia mecánica. Presentan fragilidad en la zona afectada térmicamente. Buena resistencia a la corrosión, sobre todo los de alto contenido en cromo.
Austeno-ferrítico	0.05-0.08	De 18 a 29	3-8	Si	Duplex (Austeno-ferrítica)	Excelente resistencia a la corrosión. Buenas propiedades mecánicas y buena soldabilidad.
Martensítico	De 0.1 a 1.2	De 13 a 18	--	Si	Martensítica	Resistentes y duras. Peor resistencia a la corrosión. Mala soldabilidad y tenacidad.

5.2.1 Influencia de la composición química sobre la estructura.

Todos los aceros inoxidables contienen básicamente hierro, carbono y cromo. Los dos primeros porque son elementos intrínsecos de cualquier acero y el Cr porque, como ya se ha mencionado, es el elemento que, por encima de un 10.5%, les proporciona pasividad frente a medios oxidantes a través de la formación de una película estable de óxido de cromo. Como se ha indicado, también pueden incluir una serie de elementos de aleación como Si, Mn, P, S, Ni, Mo, Cu, Ti, Nb, N, B, W, Se Te, sobre todo los inoxidables austeníticos.

Ahora bien, todos estos elementos de aleación tienen una influencia más o menos acentuada sobre cada una de las fases cristalinas que nos van a determinar la estructura metalúrgica y, por consiguiente, el tipo de acero inoxidable. Es fundamental que la mezcla de elementos de aleación del material base y del aportado se realice en las proporciones adecuadas para conseguir la estructura deseada, pues sin un apropiado equilibrio de elementos de aleación es imposible llegar a resultados satisfactorios.

Los elementos de aleación presentan una subdivisión básica:

- Los formadores de ferrita, es decir, generadores de fase α , también denominados alfégenos o ferritizantes, son los siguientes:

Hierro (Fe), Cromo (Cr), Silicio (Si), Titanio (Ti), Niobio (Nb), Molibdeno (Mo), Manganeso.

- Los formadores de austenita, es decir, generadores de fase γ , también denominados gammágenos o austenitizantes son los siguientes:

Carbono (C), Niquel (Ni), Nitrógeno (N), Manganeso (Mn).

Como se observa, el Mn está incluido en los dos grupos. La razón estriba en que este elemento juega un papel doble y contradictorio: por un lado es formador de ferrita especialmente cuando su contenido es alto y, por otro, es un estabilizador de la austenita.

5.3 PRECIPITADOS Y FASES INTERMETÁLICAS

Durante el soldeo, una cierta zona del conjunto permanece durante un tiempo más o menos prolongado en un intervalo de temperaturas dentro del cual pueden producirse dos tipos de mecanismos estructurales que van a influir sobre su comportamiento en servicio. Se trata de:

- Precipitación de compuestos de elementos intersticiales.
- Formación de fases intermetálicas.

5.3.1 Precipitación de compuestos de elementos intersticiales.

Ciertos elementos como Cr, Ti y Nb, se combinan ávidamente con elementos intersticiales como C y N, situados entre los átomos metálicos de la malla cristalina. La combinación da lugar a precipitados de carburos, carbonitruros y nitruros, que se localizan preferentemente en los bordes de grano. La precipitación tiene lugar cuando el material inoxidable permanece durante cierto tiempo en la gama de temperatura comprendida entre 500 y 800° C, a causa, por ejemplo, de la operación de soldadura.

Estos precipitados en los bordes de grano, que se producen sobre todo en el metal de base a cierta distancia del cordón de soldadura y precisamente en la zona que ha

permanecido entre 500 y 800° C, provocan un empobrecimiento en Cr en las zonas vecinas en los contornos de grano, al combinarse aquel con el C para formar carburos de cromo, $Cr_{23}C_6$. Cuando esto ocurre, se dice que el material se encuentra "sensibilizado".

La formación de carburos de cromo y subsiguiente empobrecimiento de la matriz adyacente en este elemento ocasiona:

- Disminución de la resistencia a la corrosión en general, por picaduras y aireación diferencial.
- Aparición de corrosión intergranular.
- Disminución de la ductilidad.
- Disminución de la tenacidad y, como consecuencia, incremento de la fragilidad.

5.3.2 Formación de fases intermetálicas.

La prolongada permanencia del material en el rango de temperaturas comprendido entre 550 y 900° C provoca otro fenómeno en los aceros inoxidable: la formación de fases intermetálicas siendo la más conocida y frecuente la **fase sigma** (σ).

La fase σ es un compuesto cristalográfico, duro y frágil, que se forma lentamente en el citado intervalo de temperaturas. Todos los elementos ferritizantes favorecen su aparición.

Es básicamente una fase Fe-Cr, pero a menudo también contiene Mo. Se forma en el acero a partir de un contenido de Cr de aproximadamente el 17% y, con mucha mayor facilidad, a partir de la ferrita δ . La cantidad de fase σ formada es tanto mayor, cuanto más dilatada sea la permanencia en el rango de temperaturas citado y cuanto mayores sean los contenidos de Cr y Mo del metal de base y del metal de soldadura y de ferrita δ , en este último.

Debido a su lenta velocidad de formación, la fase σ no suele precipitar durante la soldadura aunque se suelden aceros de estructura duplex austenita-ferrita, que son los más susceptibles a este fenómeno.

Por tanto su aparición sólo es posible durante dilatados tratamientos térmicos o cuando la soldadura opere en servicio dentro del intervalo crítico de temperaturas.

Los principales perjuicios de la existencia de fase σ en el metal de aporte, son los siguientes:

- Disminución de la resistencia a la corrosión por picaduras y por aireación diferencial.
- Aparición de corrosión intergranular en medios nítricos concentrados y calientes.
- Incremento considerable de la fragilidad, por tratarse de una fase mucho más dura que la estructura base y, como consecuencia, disminución de la ductilidad del material.

5.4 CORROSIÓN DE LOS ACEROS INOXIDABLES

Corrosión es la destrucción de un material por agentes químicos o físico-químicos. La destrucción comienza en la superficie (zona en contacto con el medio corrosivo) y se propaga hacia el interior del metal.

Los tipos de corrosión pueden clasificarse convenientemente de acuerdo con la apariencia del metal corroído. La identificación puede realizarse de muchas formas, pero todas ellas se encuentran interrelacionadas en alguna manera.

Los materiales cuyo procedimiento de soldadura vamos a definir, van a trabajar en servicio químico, por lo que se van a ver influenciados por una serie de complejos factores:

- Las temperaturas de operación pueden ser muy elevadas (superiores a los 800°C) o muy bajas (operando en servicio criogénico a temperaturas que van en algunos casos hasta los -196°C).
- El gas caliente es corrosivo y la atmósfera marina presenta su propia problemática.
- Otros importantes factores medioambientales a considerar son los gases ácidos disueltos en la fase líquida (CO_2 y H_2S), los iones cloruro de las sales o del agua salada, la temperatura y la presión.

Estarán por tanto sometidos a una importante corrosión medioambiental, que degradará al material de cuatro formas generales:

1. **Corrosión por picadura:** La corrosión por picaduras es un ataque corrosivo localizado concentrado en áreas muy reducidas, suele presentarse en materiales reactivos que deben su estabilidad a la existencia de una película de óxido pasiva superficialmente. Las picaduras se inician en puntos de discontinuidad de las capas de óxido, imperfecciones o daños sufridos en la película, o cuando las condiciones del medio ambiente son propicias al fenómeno, presencia de elementos inestabilizadores como los iones cloruro o presencia de depósitos, materia orgánica u otra circunstancia que pueda producir condiciones de heterogeneidad ambiental como la aireación diferencial. Este tipo de corrosión es muy destructivo para las estructuras de ingeniería si provoca perforación del metal. Generalmente requiere un periodo de iniciación, pero una vez comenzada, las picaduras crecen a gran velocidad. Las picaduras empiezan en aquellos lugares donde se produce un aumento local de las velocidades de corrosión. Inclusiones, otras heterogeneidades estructurales y heterogeneidades en la composición sobre la superficie del metal son lugares comunes donde se inicia el agujero. Las diferencias entre las concentraciones de iones y oxígeno crean celdas de concentración que también pueden ser el origen de las perforaciones. Los aceros inoxidables sufren un fuerte picado, en presencia de cloruros en soluciones aireadas, asociado a una pérdida localizada de la pasividad. En condiciones de desaireación no aparecen picaduras, pero puede producirse un fuerte ataque generalizado en toda su superficie.
2. **Corrosión en resquicios:** Es una forma de corrosión electroquímicamente localizada que puede presentarse en hendiduras y bajo superficies protegidas, donde pueden existir soluciones estancadas. La corrosión en resquicios es otro tipo de ataque localizado que se produce cuando pequeñas cantidades de electrolito permanecen en condiciones estacionarias en contacto con la superficie metálica sin que se produzca la renovación del mismo con el resto del medio circundante. Tales circunstancias pueden producirse en uniones remachadas o soldadas por puntos a solape, rincones con mala circulación, zonas bajo depósitos, grietas en el material, etc. Ciertas uniones soldadas tubo-placa tubular en algunos medios. El ataque tiene lugar al producirse el agotamiento del oxígeno en el líquido situado en el resquicio, que al tener un pequeño

volumen y estar mal comunicado con el exterior no puede renovarse, desarrollándose un proceso de heterogeneidad ambiental, conducente a una acidificación de la zona que provocará la aparición de un ataque al material dentro del resquicio. El proceso de corrosión en resquicios a diferencia del ataque por picaduras no depende de la microestructura del material, ni requiere necesariamente la presencia de iones agresivos, como los cloruros, para producirse, su origen es fundamentalmente arquitectónico. La mejor manera de evitar este tipo de corrosión es pues, la optimización del diseño de los componentes y de los sistemas de circulación de fluidos, de manera que se eviten zonas de movimiento nulo del fluido o de posible concentración de líquido que puedan ser motivo de un proceso posterior de ataque.

3. **Corrosión por esfuerzo:** La rotura por corrosión por esfuerzo (stress-corrosión cracking SCC) se refiere a la rotura originada por la combinación de efectos de tensiones intensas y corrosión específica que actúa en el entorno del metal. Durante la SCC el ataque que recibe la superficie del metal es generalmente muy pequeño mientras que las grietas aparecen claramente localizadas y se propagan a lo largo de la sección del metal.
4. **Corrosión intergranular:** La corrosión intergranular es un deterioro por corrosión localizada y/o adyacente a los límites de grano de una aleación. Bajo condiciones ordinarias, si un metal se corroe uniformemente, los límites de grano serán sólo ligeramente más reactivos que la matriz. Sin embargo, bajo otras condiciones, las regiones de límite de grano pueden ser muy reactivas, resultando una corrosión intergranular que origina pérdida en la resistencia a la aleación e incluso la desintegración de los bordes de grano. En el caso particular de los aceros inoxidables, la corrosión intergranular está directamente relacionada con un mecanismo de precipitación de compuestos de elementos intersticiales que describiremos más detenidamente en el siguiente apartado.

5.5 SOLDABILIDAD DE LOS ACEROS INOXIDABLES

Se considera que la mayoría de los aceros inoxidables tienen buena soldabilidad y pueden soldarse por varios procesos de soldadura.

El coeficiente de expansión térmica para los tipos austeníticos es el 50% más grande que el del acero al carbono y debe tenerse en cuenta para minimizar la distorsión. La baja conductividad térmica y eléctrica de los aceros inoxidable austeníticos es, en general, beneficiosa. Se requiere menos calor de soldadura para hacer una soldadura debido a que el calor en la unión no se disipa tan rápidamente como en el acero al carbono.

5.5.1 Aceros inoxidables ferríticos.

Los aceros inoxidables ferríticos contienen de 10.5 a 30% de Cr, hasta un 0.20% de C y algunas veces estabilizadores de ferrita como el Al, Nb, Ti y Mo. Son ferríticos a todas las temperaturas y, por tanto, no se transforman en austenita y no son endurecibles por tratamiento térmico. Este grupo incluye los tipos más comunes como 405, 409, 430, 442 y 446. La tabla 5.1 lista la composición nominal de un número de aceros inoxidables ferríticos normales y varios no habituales. Se caracterizan por un crecimiento de grano en la soldadura y en la ZAT (zona afectada térmicamente) que da por resultado baja tenacidad de las soldaduras.

Para soldar los aceros inoxidables ferríticos deben emplearse metales de aportación que igualen o superen el contenido de Cromo de la aleación base. Para minimizar el crecimiento de grano, debe limitarse el aporte térmico en la soldadura. El precalentamiento debe limitarse a 150-230°C y usarlo solo para aceros ferríticos de más alto carbono. Muchas de los aceros inoxidables ferríticos altamente aleados están solo disponibles en forma de plancha y tubo y, en general, se sueldan por el proceso TIG sin metal de aportación.

Tabla 5.1 – Composición Nominal de los Aceros Inoxidables Ferríticos

Tipo	Numero UNS	Composición – Porcentaje*							Otros
		C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	
405	S40500	0.08	1.00	1.00	11.5-14.5		0.04	0.03	Al: 0.10-0.30
409	S40900	0.08	1.00	1.00	10.5-11.75		0.045	0.045	Ti: min 6x%C
429	S42900	0.12	1.00	1.00	14.0-16.0		0.04	0.03	
430	S43000	0.12	1.00	1.00	16.0-18.0		0.04	0.03	
430F**	S43020	0.12	1.25	1.00	16.0-18.0		0.06	>0.15	Mo: 0.06
430FSe**	S43023	0.12	1.25	1.00	16.0-18.0		0.06	0.06	Se: min. 0.15
430Ti	S43036	0.10	1.00	1.00	16.0-19.5	0.75	0.04	0.03	Ti: min 5x%C
434	S43400	0.12	1.00	1.00	16.0-18.0		0.04	0.03	Mo: 0.75-1.25
436	S43600	0.12	1.00	1.00	16.0-18.0		0.04	0.03	Mo: 0.75-1.25 Nb+Ta: min 5x%C
442	S44200	0.20	1.00	1.00	18.0-23.0		0.04	0.03	
444	S44400	0.025	1.00	1.00	17.5-19.5	1.00	0.04	0.03	Mo: 0.75-1.25; N: 0.035 Ti+Nb: 0.2+4(%C+%N)
446	S44600	0.20	1.50	1.00	23.0-27.0		0.04	0.03	N: 0.25
18-2FM**	S18200	0.08	2.50	1.00	17.5-19.5		0.04	>0.15	
18SR		0.04	0.3	1.00	18.0		0.04		Al: 2.0; Ti: 0.4
26-1 (E-Brite)	S44625	0.01	0.40	0.40	25.0-27.5	0.50	0.02	0.02	Mo: 0.75-1.5; N: 0.04 Cu: 0.2; Ni+Cu: 0.5
26-1Ti	S44626	0.06	0.75	0.75	25.0-27.0	0.5	0.04	0.02	Mo: 0.75-1.5; N: 0.04 Cu: 0.2; Ti: 0.2-1.0
29-4	S44700	0.01	0.30	0.20	28.0-30.0	0.15	0.025	0.02	Mo: 3.5-4.2
29-4-2	S44800	0.01	0.30	0.20	28.0-30.0	2.0-2.5	0.025	0.02	Mo: 3.5-4.2
Monit	S44635	0.25	1.00	0.75	24.5-26.0	3.5-4.5	0.04	0.03	Mo: 3.5-4.5 Ti+Nb: 0.3-0.6
Sea-cure/ Sc-1	S44660	0.025	1.00	0.75	25.0-27.0	1.5-3.5	0.04	0.03	Mo: 2.5-3.5 Ti+Nb: 0.2+4(%C+%N)

*Valores únicos son máximos

**Estos grados son considerados, en general, no soldables.

(del ASM Metal Handbook, Novena Edición, Volumen 3)

5.5.2 Aceros inoxidables martensíticos.

Los aceros inoxidables martensíticos contienen de 11 a 18% de Cromo, hasta un 1.20% de Carbono y pequeñas cantidades de Manganeso y Níquel y, algunas veces, Molibdeno. Estos aceros se transformarán en austenita por calentamiento y, por tanto, pueden endurecerse por formación de martensita al enfriarse. Este grupo incluye los tipos 403, 410, 414, 416, 420, 422, 431 y 440. Tanto los normales como los no habituales están listados en la Tabla 5.2. Si se forma martensita dura y frágil aparece en ellos una tendencia a la fisuración de la soldadura durante el enfriamiento.

Tabla 5.2 – Composición Nominal de los Acero Inoxidables Martensíticos

Tipo	Numero UNS	Composición – Porcentaje*							Otros
		C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	
403	S40300	0.15	1.00	0.50	11.5-13.0		0.04	0.03	
410	S41000	0.15	1.00	1.00	11.5-13.0		0.04	0.03	
410Cb	S41040	0.18	1.00	1.00	11.5-13.5		0.04	0.03	Nb: 0.05-0.3
410S	S41008	0.08	1.00	1.00	11.5-13.5	0.6	0.04	0.03	
414	S41400	0.15	1.00	1.00	11.5-13.5	1.25-2.50	0.04	0.03	
414L		0.06	0.50	0.15	12.5-13.0	2.5-3.0	0.04	0.03	Mo: 0.5; Al: 0.03
416	S41600	0.15	1.25	1.00	12.0-14.0		0.04	0.03	Mo: 0.06
416Se**	S41623	0.15	1.25	1.00	12.0-14.0		0.06	0.06	Se: 0.15 min
416 Plus X**	S41610	0.15	1.5-2.5	1.00	12.0-14.0		0.06	>0.15	Mo: 0.6
420	S42000	>0.15	1.00	1.00	12.0-14.0		0.04	0.03	
420F**	S42020	>0.15	1.25	1.00	12.0-14.0		0.06	>0.15	Mo: 0.6
422	S42200	0.20-0.25	1.00	0.75	11.0-13.0	0.5-1.0	0.025	0.025	Mo: 0.75-1.25 W: 0.75-1.25 V: 0.15-0.3
431	S43100	0.20	1.00	1.00	15.0-17.0	1.25-250	0.04	>0.15	
440A	S44002	0.60-0.75	1.00	1.00	16.0-18.0		0.04	0.03	Mo: 0.75
440B	S44003	0.75-0.95	1.00	1.00	16.0-18.0		0.04	0.03	Mo: 0.75
440C	S44004	0.95-1.20	1.00	1.00	16.0-18.0		0.04	0.03	Mo: 0.75
*Valores únicos son máximos			**Estos grados son considerados, en general, no soldables.						

(del ASM Metal Handbook, Novena Edicion, Volumen 3)

El contenido de Cromo y Carbono del material de aportación debería, normalmente, igualar los contenidos en el metal base. Se recomienda un rango de precalentamiento y de temperatura entrepasadas de 204 a 316°C para la mayoría de los aceros inoxidables martensíticos. Los aceros con mas de 0.20%C requieren a menudo un tratamiento térmico posterior a la soldadura para recocer y endurecer la soldadura.

5.5.3 Acero inoxidables austeníticos

Los aceros inoxidables austeníticos contienen 16-26% de Cromo, 10-24% de Níquel+Manganeso, hasta un 0.40 de Carbono y pequeñas cantidades de otros elementos tales como Molibdeno, Titanio, Niobio y Tántalo. La proporción entre el Cr y el Ni+Mn está ajustada normalmente para proporcionar una microestructura del 90-100% austenita. Estas aleaciones se caracterizan por una buena resistencia y alta tenacidad en un ancho rango de temperaturas, y resistencia a la oxidación por encima de los 538°C. Este grupo incluye los 302, 304, 310, 316, 321 y 347. La composición nominal de estos y otros aceros inoxidables austeníticos están listados en la Tabla 5.3.

Tabla 5.3 – Composición Nominal de Aceros Inoxidables Austeníticos

Tipo	Numero UNS	Composición – Porcentaje*							Otros
		C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	
201	S20100	0.15	5.5-7.5	1.00	16.0-18.0	3.5-5.5	0.06	0.03	N: 0.25
202	S20200	0.15	7.5-10.0	1.00	17.0-19.0	4.0-6.0	0.06	0.03	N: 0.25
205	S20500	0.12-0.25	14.0-15.5	1.00	16.5-18.0	1.0-1.75	0.06	0.03	N: 0.32-0.40
216	S21600	0.08	7.5-9.0	1.00	17.5-22.0	5.0-7.0	0.045	0.03	Mo: 2.0-3.0 N: 0.25-0.50
301	S30100	0.15	2.00	1.00	16.0-18.0	6.0-8.0	0.045	0.03	
302	S30200	0.15	2.00	1.00	17.0-19.0	8.0-10.0	0.045	0.03	
302B	S30215	0.15	2.00	2.0-3.0	17.0-19.0	8.0-10.0	0.045	0.03	
303**	S30300	0.15	2.00	1.00	17.0-19.0	8.0-10.0	0.20	>0.15	Mo: 0.6
303Se**	S30323	0.15	2.00	1.00	17.0-19.0	8.0-10.0	0.20	0.06	Se: 0.15 min
304	S30400	0.08	2.00	1.00	18.0-20.0	8.0-10.5	0.045	0.03	
304H	S30409	0.04-0.10	2.00	1.00	18.0-20.0	8.0-10.5	0.045	0.03	
304L	S30403	0.03	2.00	1.00	18.0-20.0	8.0-12.0	0.045	0.03	
304LN	S30453	0.03	2.00	1.00	18.0-20.0	8.0-10.5	0.045	0.03	N: 0.10-0.15
S30430	S30430	0.08	2.00	1.00	17.0-19.0	8.0-10.0	0.045	0.03	Cu: 3.0-4.0
304N	S30451	0.08	2.00	1.00	18.0-20.0	8.0-10.5	0.045	0.03	N: 0.10-0.16
304HN	S30452	0.04-0.10	2.00	1.00	18.0-20.0	8.0-10.5	0.045	0.03	N: 0.10-0.16
305	S30500	0.12	2.00	1.00	17.0-19.0	10.5-13.0	0.045	0.03	
308	S30800	0.08	2.00	1.00	19.0-21.0	10.0-12.0	0.045	0.03	
308L		0.03	2.00	1.00	19.0-21.0	10.0-12.0	0.045	0.03	
309	S30900	0.20	2.00	1.00	22.0-24.0	12.0-15.0	0.045	0.03	
309S	S30908	0.08	2.00	1.00	22.0-24.0	12.0-15.0	0.045	0.03	
309S Cb	S30940	0.08	2.00	1.00	22.0-24.0	12.0-15.0	0.045	0.03	Nb: 8x%C
309 Cb+Ta		0.08	2.00	1.00	22.0-24.0	12.0-15.0	0.045	0.03	Nb+Ta: 8x%C
310	S31000	0.25	2.00	1.00	24.0-26.0	19.0-22.0	0.045	0.03	
310S	S31008	0.08	2.00	1.00	24.0-26.0	19.0-22.0	0.045	0.03	
312		0.15	2.00	1.00	30.0	9.0	0.045	0.03	
254SMo	S31254	0.020	1.00	0.80	19.5-20.5	17.50-18.5	0.03	0.010	Mo: 6.0-6.50; N: 0.18-0.22; Cu: 0.5-1.0
314	S31400	0.25	2.00	1.5-3.0	23.0-26.0	19.0-22.0	0.045	0.03	
316	S31600	0.08	2.00	1.00	16.0-18.0	10.0-14.0	0.045	0.03	Mo: 2.0-3.0
316F**	S31620	0.08	2.00	1.00	16.0-18.0	10.0-14.0	0.20	>0.10	Mo: 1.75-2.5
316H	S31609	0.04-0.10	2.00	1.00	16.0-18.0	10.0-14.0	0.045	0.03	Mo: 2.0-3.0
316L	S31603	0.03	2.00	1.00	16.0-18.0	10.0-14.0	0.045	0.03	Mo: 2.0-3.0
316LN	S31653	0.03	2.00	1.00	16.0-18.0	10.0-14.0	0.045	0.03	Mo: 2.0-3.0; N: 0.10-0.30
316N	S31651	0.08	2.00	1.00	16.0-18.0	10.0-14.0	0.045	0.03	Mo: 2.0-3.0; N: 0.10-0.16
317	S31700	0.08	2.00	1.00	18.0-20.0	11.0-15.0	0.045	0.03	Mo: 3.0-4.0
317L	S31703	0.03	2.00	1.00	18.0-20.0	11.0-15.0	0.045	0.03	Mo: 3.0-4.0
317M	S31725	0.03	2.00	1.00	18.0-20.0	12.0-16.0	0.045	0.03	Mo: 4.0-5.0
321	S32100	0.08	2.00	1.00	17.0-19.0	9.0-12.0	0.045	0.03	Ti: 5x%C min
321H	S32109	0.04-0.10	2.00	1.00	17.0-19.0	9.0-12.0	0.045	0.03	Ti: 5x%C min
329	S32900	0.010	2.00	1.00	25.0-30.0	3.0-6.0	0.045	0.03	Mo: 1.0-2.0
330	N08330	0.08	2.00	0.75-1.5	17.0-20.0	34.0-37.0	0.04	0.03	

Al6-XN	N08367	0.030	2.00	1.00	20.0-22.0	23.5-25.5	0.04	0.03	Mo: 6.0-7.0; N: 0.18-0.25; Cu: 0.75
330HC		0.40	1.50	1.25	19.0	35.0			
332		0.04	1.00	0.50	21.5	32.0	0.045	0.03	
347	S34700	0.08	2.00	1.00	17.0-19.0	9.0-13.0	0.045	0.03	Nb+Ta>10x%C
347H	S34709	0.04-0.10	2.00	1.00	17.0-19.0	9.0-13.0	0.045	0.03	Nb+Ta>10x%C
348	S34800	0.08	2.00	1.00	17.0-19.0	9.0-13.0	0.045	0.03	Nb+Ta>10x%C; Cu: 0.2
348H	S34809	0.04-0.010	2.00	1.00	17.0-19.0	9.0-13.0	0.045	0.03	Nb+Ta>10x%C; Cu: 0.2
384	S38400	0.08	2.00	1.00	15.0-17.0	17.0-19.0	0.045	0.03	
Nitronic 32	S24100	0.10	12.0	0.50	1.6	1.6			N: 0.35
Nitronic 33	S24000	0.06	13.0	0.5	3.0	3.0			N: 0.30
Nitronic 40	S21900	0.08	8.0-10.00	1.00	5.0-7.0	5.0-7.0	0.06	0.03	N: 0.15-0.40
Nitronic 50	S20910	0.06	4.0-6.0	1.00	11.5-13.5	11.5-13.5	0.04	0.03	Mo: 1.5-3.0; N: 0.2-0.4 Nb: 0.1-0.3; V: 0.1-0.3
Nitronic 60	S21800	0.10	7.0-9.0	3.5-4.5	8.0-9.0	8.0-9.0	0.04	0.03	Mo: 1.5-3.0; N: 0.2-0.4
*Valores únicos son máximos			**Estos grados son considerados, en general, no soldables.						

(del ASM Metal Handbook, Novena Edición, Volumen 3)

Los materiales de aportación para estas aleaciones deben, normalmente, ser iguales al metal base, aunque, para la mayoría de las aleaciones, proporcionan una microestructura con algo de ferrita para evitar la fisuración en caliente como se discutirá mas adelante.

La soldabilidad de los aceros inoxidables austeníticos es buena, pues no presenta ninguna transformación de fase desde la temperatura de fusión hasta la temperatura ambiente, incluso en la mayoría de los casos hasta muy bajas temperaturas. Ahora bien, para realizar correctamente el soldeo, debe tenerse en cuenta la influencia de los puntos siguientes:

- Propiedades físicas.
- Elección del material de aporte y del proceso de soldeo.
- Agrietamiento en caliente del metal austenítico aportado.
- Precalentamiento y tratamiento térmico del conjunto soldado.

Propiedades físicas.

Cuando se sueldan aceros austeníticos es muy importante tener en cuenta sus particulares propiedades físicas. Los aceros inoxidables austeníticos tienen un coeficiente de dilatación aproximadamente un 50% más elevado que los aceros al carbono, mientras que la conductividad térmica es aproximadamente un 40% inferior.

La contracción de las juntas soldadas será, pues, considerablemente mayor, y la soldadura deberá realizarse prestando atención especial al riesgo de posibles distorsiones o deformaciones del conjunto soldado. Para amortiguar las tensiones es preciso tomar las precauciones siguientes:

- Realizar el soldeo con baja aportación de calor, para lo cual es indispensable seleccionar el método adecuado de soldadura.
- Distribuir el calor de forma equilibrada, lo que se consigue gracias a una planificación previa de las distintas etapas de soldadura y efectuándola lo más simétricamente posible.
- Procurar que el nivel de embridamiento del conjunto soldado sea el más bajo posible.

Por otra parte, y a la vista de la baja conductividad térmica, la zona afectada térmicamente (ZAT) será más estrecha que la resultante de la soldadura de otros tipos de aceros.

Elección del metal de aporte y del método de soldadura.

La elección, tanto del material de aporte como del proceso de soldeo, serán desarrollados en apartados posteriores. En general debe realizarse en base a criterios como aporte y distribución de calor, operatividad, velocidad de soldeo, inconvenientes desde el punto de vista de resistencia a la corrosión del metal depositado, disponibilidad comercial y coste.

Agrietamiento en caliente de las soldaduras austeníticas.

El agrietamiento en caliente es un inconveniente típico en la soldadura de los aceros inoxidables austeníticos. Las grietas en los cordones son debidas a una acumulación de impurezas debidas a las segregaciones en el metal de aporte último en solidificar. En tales zonas se forman superficies débiles, que pueden romperse y generar grietas bajo la influencia de la propia tensión de contracción de la soldadura.

Existen tres formas de eliminar el agrietamiento en caliente:

- a) Reducir las tensiones mecánicas: De la reducción de tensiones ya se ha hablado en el apartado de **Propiedades Físicas**.

- b) Eliminar las impurezas: Las principales impurezas implicadas en el agrietamiento en caliente son S y P, aunque existen otros elementos nocivos, como el Pb, Sn, Sb, Bi, Nb y en el metal de soldadura completamente austenítico, el Si. Como, en general, los metales aportados presentan contenidos menores de estos elementos residuales que los de base, es mejor realizar el soldeo con material de aporte que sin el. En todo caso, cuanto menor sea el contenido de estas impurezas, tanto menor será el riesgo de agrietamiento en caliente, sobre todo si se trata de ejecutar cordones de soldadura con una estructura completamente austenítica.
- c) Disminuir las segregaciones: La manera de disminuir las segregaciones consiste en disponer de una cierta cantidad de ferrita en la matriz austenítica del metal de soldadura. La razón de ello reside en que la ferrita es capaz de disolver elementos tales como azufre y fósforo, que de otro modo se segregarían. Además, la ferrita se distribuye a lo largo de los granos de austenita y forma una malla plástica que resiste al agrietamiento en caliente.

Por último, en el supuesto de que sea necesario un material de soldadura completamente austenítico o con un contenido mínimo de ferrita debido a las condiciones de trabajo del conjunto soldado, se puede solucionar el problema del agrietamiento en caliente del cordón completamente austenítico, utilizando un metal de aporte con mayor contenido de Mn (3 a 7%) y con contenidos bajísimos de S, P y Si.

Contenido en ferrita en el metal de soldadura.

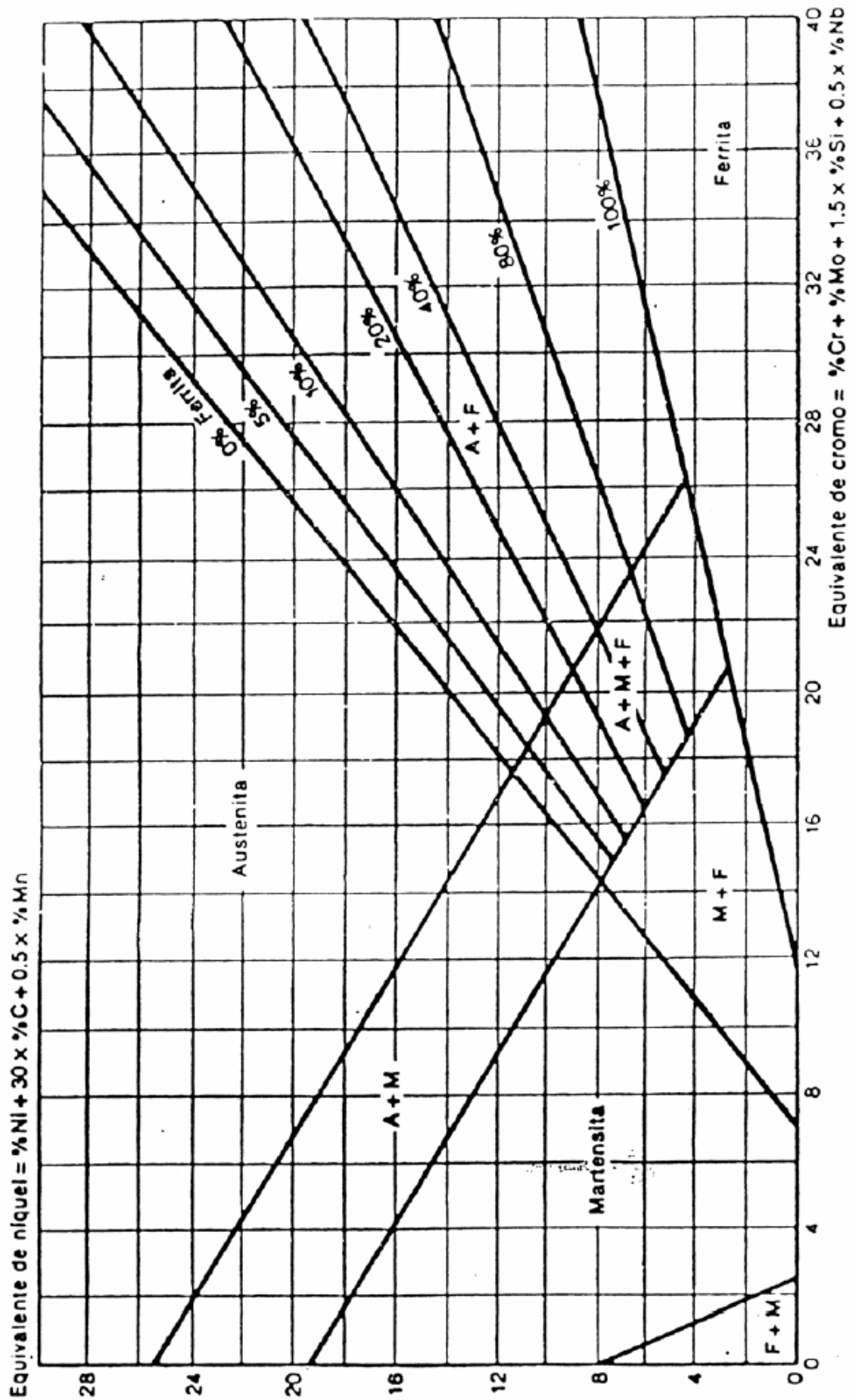
Como se acaba de ver, una cierta cantidad de ferrita en el metal aportado tiene una influencia favorable para combatir el agrietamiento en caliente. Su presencia también es positiva al incrementar las características del metal de soldadura, pero, al mismo tiempo, es desfavorable al disminuir la resistencia a la corrosión frente a ácidos oxidantes calientes y permitir la formación de fase σ , con los inconvenientes mecánicos y químicos que esto conlleva.

Por todo ello, es imprescindible disponer de un contenido adecuado de ferrita en el metal de soldadura. Cuando no se requiera un cordón completamente exento de ferrita, se considera que un contenido situado entre 5 y 10% es el idóneo para beneficiarse de las ventajas de su presencia y para que sus inconvenientes queden reducidos al mínimo. Este porcentaje ideal de ferrita se consigue seleccionando adecuadamente tanto el material de aportación como los parámetros y método de soldadura.

Normalmente un nivel de ferrita de FN 4 mínimo es el recomendado para evitar fisuración en caliente. La ferrita se determina mejor por la medición con un instrumento magnético calibrado según AWS A4.2 o ISO 8249. También puede estimarse a partir de la composición del material base y del material de aportación utilizando cualquiera de los varios diagramas de constitución. El más antiguo de éstos es el Diagrama de Schaeffler (ver figura 5.1), de 1948. El equivalente en Cromo ($\%Cr + \%Mo + 1.5 \times \%Si + 0.5 \times \%Nb$) se marca sobre el eje horizontal y el equivalente sobre el eje vertical. A pesar de su larga utilización, el Diagrama de Schaeffler ha quedado obsoleto porque no considera los efectos del Nitrógeno y porque no ha sido posible establecer concordancia entre varias medidas del porcentaje de ferrita en un metal depositado determinado.

Una mejora del Diagrama de Schaeffler es el Diagrama WRC-DeLong (Ver figura 5.2), de 1973, el cual puede usarse para estimar el nivel de ferrita. Las principales diferencias son que el Diagrama de DeLong incluye el Nitrógeno (N) en el equivalente en Níquel ($\%Ni + 30 \times \%C + 30 \times \%N + 0.5 \times \%Mn$) e indica los Números de Ferrita además del “Porcentaje de Ferrita”. Los “Números de Ferrita” a bajos niveles pueden aproximarse al “Porcentaje de Ferrita”. El diagrama más reciente, el Diagrama WRC-1992 (ver figura 5.3), está considerado como el diagrama de predicción más exacto hoy en día, y ha reemplazado al Diagrama WRC-DeLong en el Código ASME desde el año 1995. Su equivalente en Níquel ($\%Ni + 35 \times \%C + 20 \times \%N + 0.25 \times \%Cu$) y equivalente en Cromo ($\%Cr + \%Mo + 0.7 \times \%Nb$) difiere de los diagramas de Schaeffler y WRC-DeLong.

FIGURA 5.1 - Diagrama de Schaeffler



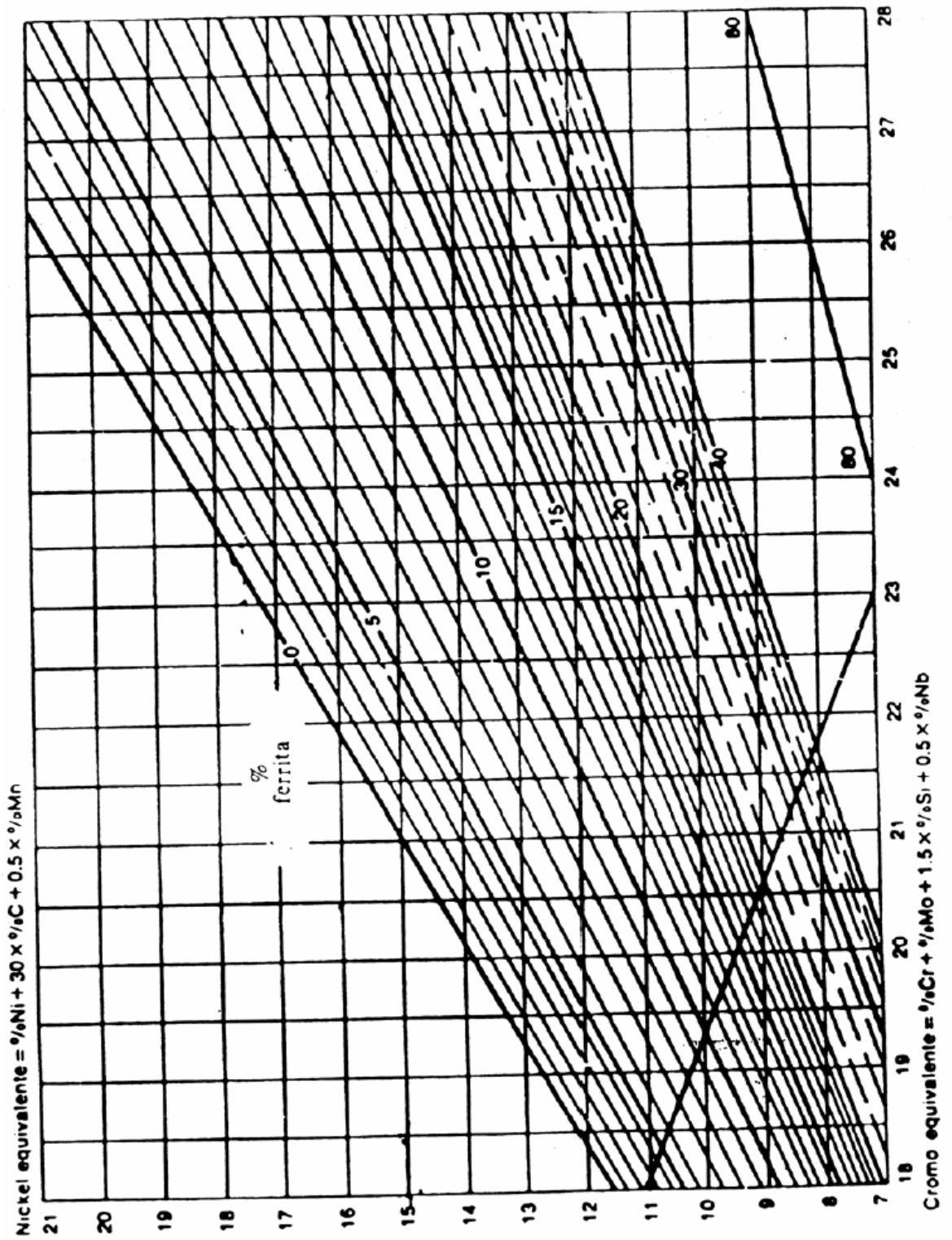


FIGURA 5.1 - Diagrama de Schaeffler

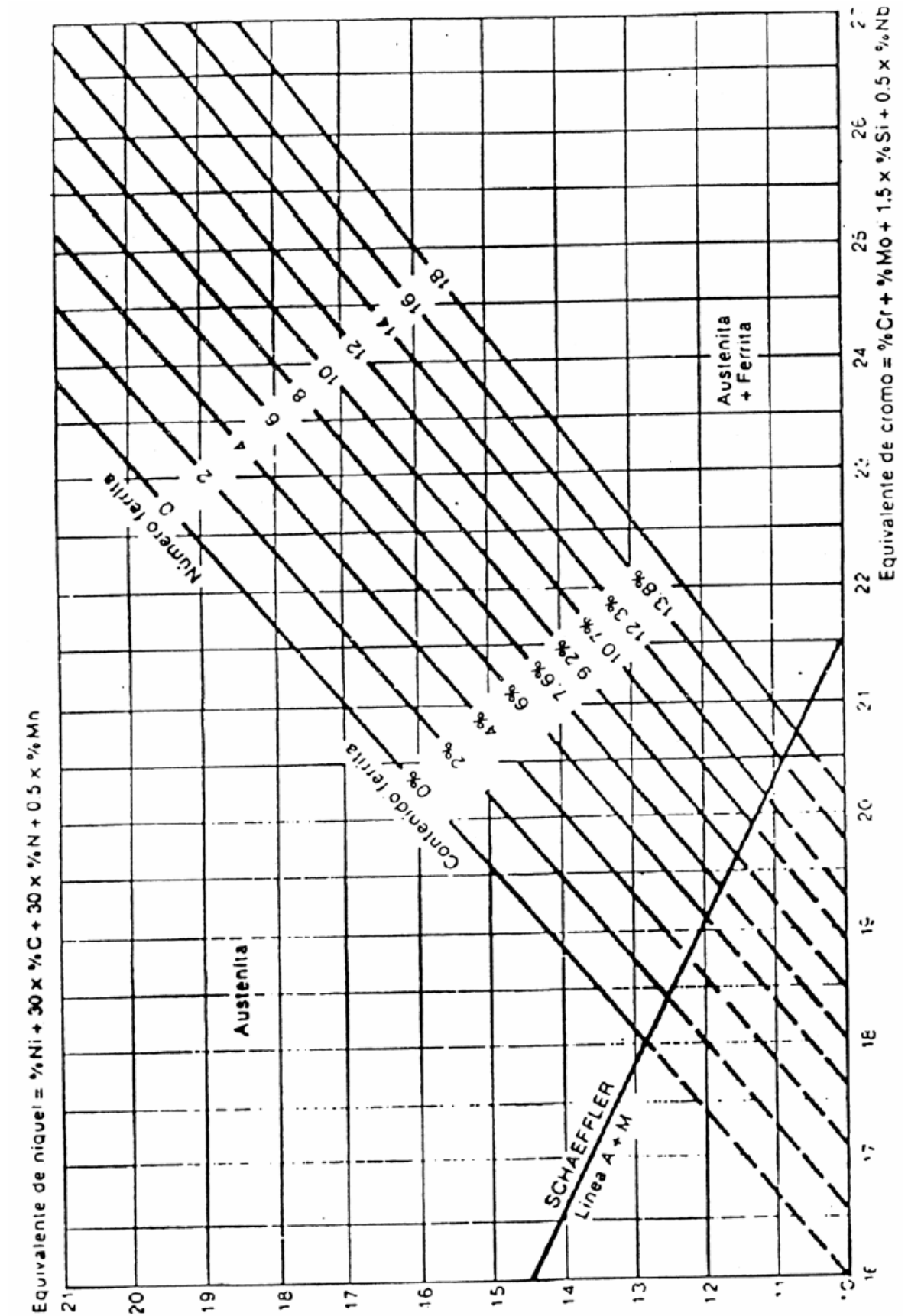


FIGURA 5.2 - Diagrama de DeLong

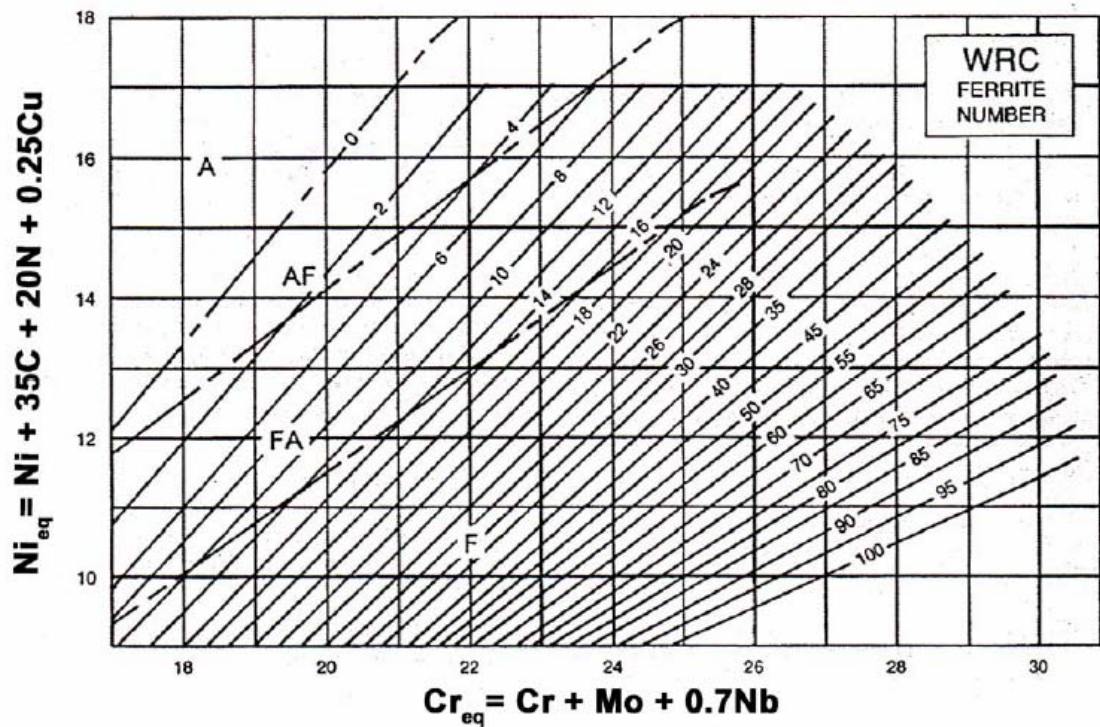


FIGURA 5.3 - Diagrama WRC

El Número de Ferrita puede calcularse trazando una línea horizontal que cruce el diagrama por el número del equivalente en níquel, y una línea vertical por el número del equivalente en cromo. El Número de Ferrita queda indicado por la línea diagonal que pasa por la intersección de las líneas horizontal y vertical.

Las predicciones por los Diagramas WRC-1992 y WRC-DeLong son similares para los grados comunes como el 308, pero el Diagrama WRC-1992 es, en general más exacto para aleaciones más altas y grados menos comunes como aceros inoxidables austeníticos al manganeso o ferrítico-austeníticos duplex.

La cantidad de ferrita no debe ser, normalmente, más grande que la necesaria para prevenir la fisuración en caliente con un margen de seguridad. La presencia de ferrita puede reducir la resistencia a la corrosión en ciertos medios y un exceso de ferrita puede deteriorar la ductilidad y la tenacidad.

Pre calentamiento y tratamiento térmico de los conjuntos soldados.

Se puede afirmar que ninguna operación de soldadura de aceros inoxidables austeníticos exige un pre calentamiento del material, ni el mantenimiento de la temperatura entre pasadas.

Tras la soldadura, en la mayoría de los casos, tampoco es necesario realizar ningún tratamiento térmico del conjunto soldado.

5.5.5 Aceros inoxidables duplex.

Los aceros inoxidables dúplex son el grupo de más reciente desarrollo en los aceros inoxidables y tienen una microestructura de cantidades de ferrita y de austenita aproximadamente iguales.

La composición nominal de estos aceros se indica en la tabla 5.4. Estos aceros tienen ventajas sobre los aceros inoxidables austeníticos convencionales y ferríticos ya que tienen un límite elástico superior y mayor resistencia a la corrosión bajo tensiones y resistencia a la fisuración. La microestructura duplex se alcanza en aceros conteniendo 21-25%Cr y 5-7%Ni por trabajo en caliente a 100-1050°C, seguido por enfriamiento rápido en agua.

Tabla 5.4 – Composición Nominal de los Aceros Inoxidables Duplex

Tipo	Numero UNS	Composición – Porcentaje*							Otros
		C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	
2205	S32205	0.03	2.0	1.0	22.0	5.5	0.03	0.02	Mo: 3.0; N: 0.18
2304	S32304	0.03	2.5	1.0	23.0	4.0			N: 0.1
255		0.04	1.5	1.0	25.5	5.5			Mo: 3.0; N: 0.17; Cu: 2.0
NU744LN		0.067	1.7	0.44	21.6	4.9			Mo: 2.4; N: 0.10; Cu: 0.2
2507	S32750	0.03	1.2	0.8	25	5.5	0.035	0.020	Mo: 4.0; N: 0.28

*Valores únicos son máximos

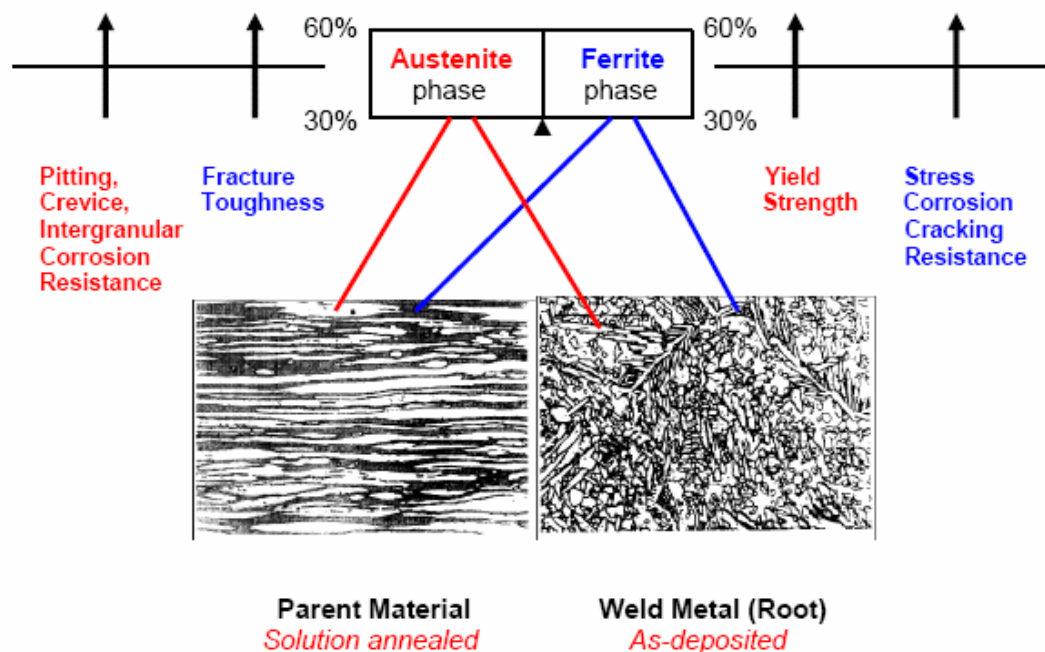
(del ASM Metal Handbook, Novena Edición, Volumen 3 y ASTM A638)

Como ya se ha indicado, y su denominación implica, los aceros inoxidables austeno-ferríticos presentan una estructura mixta austenita+ferrita y, consecuentemente, sus propiedades son una combinación de ambas.

Su soldabilidad también ocupa una posición intermedia entre ambos tipos de estructuras. Su punto débil es la zona afectada térmicamente (ZAT) y, hasta cierto punto, el metal de soldadura. En cambio, el agrietamiento en caliente no es un problema a causa de su elevado contenido en ferrita. El calentamiento a la temperatura de soldadura puede provocar precipitación, tanto de carburos como de fases frágiles, sobre todo fase σ . La precipitación de carburos dependerá de lo elevado que sea el contenido de carbono y de si el metal está o no estabilizado. La fase σ se formará entre 550-900° C y esto ocurrirá

en mayor cantidad y tanto más rápidamente, cuanto más elevados sean los contenidos de Cr, Mo y Nb. Si la composición química del material está adecuadamente equilibrada, posee algo de nitrógeno y su contenido de carbono es bajo, se reducen o eliminan los inconvenientes citados.

La fragilización de estos aceros viene determinada por el crecimiento de grano. El calor de soldadura incrementa el contenido de ferrita y el crecimiento de grano es especialmente acentuado en una estructura ferrítica. Cuando se enfría, la austenita sólo se reforma parcialmente y la zona de soldadura adquiere una estructura de grano bastante grueso con mayor contenido en ferrita que antes de realizar la misma. Por eso es fundamental buscar el equilibrio entre ambas fases.



La mayoría de estos aceros se sueldan sin precalentamiento. Cuando sea necesario, su temperatura debe ser entre 100-150° C.

La soldadura debe efectuarse con material de aportación, cuya composición puede ser similar a la del metal de base o austenítica. En este caso la composición debe ser tal que, después de su dilución con el metal de base, ofrezca un metal de soldadura con 15-50% de ferrita.

5.6 PROPIEDADES FÍSICAS

Las propiedades físicas medias de cada uno de los principales grupos de aceros inoxidables están indicadas en la Tabla 5.5.

Tabla 5.5 – Propiedades Físicas de los grupos de Aceros Inoxidables

Propiedad	Tipos Austeníticos	Tipos Ferríticos	Tipos Martensíticos
Módulo de Elasticidad (Gpa)	195	200	200
Densidad (g/cm ³)	8.0	7.8	7.8
Coefficiente de Expansión Térmica (m/m °C)	16.6	10.4	10.3
Conductividad Térmica (w/m °C)	15.7	25.1	22.3
Calor específico (J/K °C)	500	460	460
Resistividad Eléctrica (cm)	74	61	80
Permeabilidad Magnética	1.02	660-1100	95
Rango de Fusión (°C)	1375-1450	1425-1530	1400-1440

5.7 PROPIEDADES MECÁNICAS

Las propiedades mecánicas nominales de los aceros inoxidables austeníticos y ferríticos, en estado recocido, se indican en la Tabla 5.6 y 5.7 respectivamente. Los aceros inoxidables austeníticos tienen, en general, resistencias a la tracción y alargamientos superiores que los aceros inoxidables ferríticos, pero límites elásticos más bajos. La estricción (reducción de área) es similar en ambos grupos.

Tabla 5.6- Propiedades Mecánicas Nominales de los Acero Inoxidables Austeníticos

Tipo	Estado	Resistencia tracción MPa	Límite elástico aparente, 0.2% MPa	Alargamiento %	Estricción %	Dureza Rockwell
201	Recocido	793	379	55		HRb 90
201	Endurecido	1275	965	4		HRb 41
202	Recocido	724	379	55		HRb 90
301	Recocido	758	276	60		HRb 85
301	Endurecido	1275	965	8		HRb 41
302	Recocido	620	255	55	65	HRb 82
302B	Recocido	655	276	50	65	HRb 85
303	Recocido	620	241	50	55	HRb 84
304	Recocido	586	241	55	65	HRb 80
304L	Recocido	552	207	55	65	HRb 76
304N	Recocido	586	241	30		
304LN	Recocido	552	207			
305	Recocido	586	255	55	70	HRb 82
308	Recocido	586	241	55	65	HRb 80
308L	Recocido	551	207	55	65	HRb 76
309	Recocido	620	276	45	65	HRb 85
310	Recocido	655	276	45	65	HRb 87
312	Recocido	655		20		
314	Recocido	689	345	45	60	HRb 87
316	Recocido	586	241	55	70	HRb 80
316L	Recocido	538	207	55	65	HRb 76
316F	Recocido	586	241	55	70	HRb 80
317	Recocido	620	276	50	55	HRb 85
317L	Recocido	586	241	50	55	HRb 80
321	Recocido	599	241	55	65	HRb 80
347/348	Recocido	634	241	50	65	HRb 84
329	Recocido	724	552	25	50	HRb 98
330	Recocido	550	241	30		HRb 80
330HC	Recocido	586	290	45	65	
332	Recocido	552	241	45	70	
384	Recocido	550				

(del ASM Metals Handbook, Volumen 1 & 3, y normas ASTM)

Tabla 5.7 – Propiedades Mecánicas Nominales de los Aceros Inoxidables Ferríticos

Tipo	Estado	Resistencia tracción MPa	Límite elástico aparente, 0.2% MPa	Alargamiento %	Estricción %	Dureza Rockwell
405	Recocido	480	275	30	60	HRb 80
409	Recocido	450	240	25		HRb <75
429	Recocido	490	310	30	65	HRb <88
430	Recocido	515	310	30	60	HRb 82
430F	Recocido	550	380	25	60	HRb 86
430Ti	Recocido	515	310	30	65	
434	Recocido	530	365	23		HRb <83
436	Recocido	530	365	23		HRb <83
442	Recocido	550	310	25	50	HRb 85
44	Recocido	415	275	20	50	HRb <95
446	Recocido	550	345	23		HRb 86
26-1 E Brite	Recocido	450	275	22		HRb <90
26-1 Ti	Recocido	470	310	20		HRb <95
29-4	Recocido	550	415	20		HRb <98
29-4-2	Recocido	550	415	20		HRb <98
18SR	Recocido	620	450	25		HRb 90
Monit	Recocido	550	550	20		HRb <100
SC-1	Recocido		380	20		HRb <100

(del ASM Metals Handbook, Volumen 1 & 3, y normas ASTM)

Las propiedades mecánicas nominales de los aceros inoxidables martensíticos, tanto en estado recocido como templado, se indican en la Tabla 5.8. El estado templado comporta calentamiento para austenitizar, enfriamiento para formar martensita y calentamiento de nuevo a la temperatura indicada para aumentar la tenacidad.

Tabla 5.8 – Propiedades Mecánicas Nominales de los Aceros Inoxidables Martensíticos

Tipo	Estado	Resistencia tracción MPa	Límite elástico aparente, 0.2% MPa	Alargamiento %	Estricción %	Dureza Rockwell
403	Recocido	517	276	30	65	HRb 82
403	Temple* 427°C	1344	1034	17	55	HRb 41
410	Recocido	517	276	30	65	HRb 82
410	Temple* 427°C	1344	1034	17	55	HRb 41
410S	Recocido	414	207	22		HRb <50
410Cb	Recocido	483	276	13	45	
410Cb	Temple* (Int)	862	689	13	45	
414	Recocido	827	655	17	55	HRc 22
414	Temple* 427°C	1379	1034	16	58	HRc 43
414L	Recocido	793	552	20	60	
416 Plus X	Recocido	517	276	30	60	
420	Recocido	655	345	25	55	HRb 92
420	Temple* 315°C	1586	1344	8	25	HRb 50
422	Temple* 315°C	965	758	13	30	
431	Recocido	862	655	20	60	HRb 24
431	Temple* 427°C	1413	1069	15	60	HRb 43
440 ^a	Recocido	724	414	20	45	HRb 95
440 ^a	Temple* 315°C	1793	1655	5	20	HRb 51
440B	Recocido	738	427	18	35	HRb 96
440B	Temple* 315°C	1931	1862	3	15	HRc 55
440C	Recocido	758	448	13	25	HRb 97
440C	Temple* 315°C	1965	1896	2	10	HRc 57

(del ASM Metals Handbook, Volumen 1 & 3, y normas ASTM)

*Templado después de austenización y enfriamiento a temperatura ambiente

Int: Temple intermedio acabado en caliente.

La Tabla 5.9 indica las propiedades mecánicas de los aceros inoxidables duplex.

Tabla 5.9 – Propiedades Mecánicas Nominales de los Aceros Inoxidables Duplex

Tipo	Estado	Resistencia tracción MPa	Límite elástico aparente, 0.2% MPa	Alargamiento %	Estricción %	Dureza Rockwell
2205		827	448	25		
2304		458	414	25		
255		758	552	15		
2507		800	550	15		

(del ASM Metals Handbook, Volumen 1 & 3, y normas ASTM)

5.8 SELECCION DE UN ACERO INOXIDABLE

La selección de un tipo particular de acero inoxidable dependerá de lo que se requiera en su aplicación. En la mayoría de los casos, la primera consideración es la resistencia a la corrosión, resistencia a la decoloración superficial o resistencia a la oxidación a elevada temperatura. Además de estos requerimientos, el acero inoxidable seleccionado debe tener unas mínimas propiedades mecánicas, como resistencia, tenacidad, ductilidad y resistencia a la fatiga. Varios tipos y grados de aceros inoxidables pueden proporcionar la resistencia a la corrosión y las propiedades mecánicas requeridas. En este caso la selección final se hará sobre la base del coste más bajo de la aleación disponible que cumpla con los requisitos del servicio. En general, la selección del tipo de acero inoxidable está hecha por el proyectista del equipo sobre la base de su conocimiento, experiencia y datos del comportamiento a la corrosión de varias aleaciones en el medio de su influencia. La responsabilidad del ingeniero de soldadura no incluye normalmente la selección de la aleación base, sólo la elección del material de aporte, proceso de soldadura y procedimiento de soldeo idóneos.

La selección de aleaciones resistentes a la corrosión (Corrosion Resistant Alloys, CRAs) para producir y transportar petróleo y gas corrosivo puede ser un proceso complejo que, si se lleva a cabo de forma incorrecta puede dar lugar a errores de aplicación y malentendidos sobre la función de una CRA en un medio corrosivo.

Hay una gran variedad de formas de seleccionar CRAs. Las compañías con grandes recursos de investigación normalmente inician un programa de ensayos que incluyen, por ejemplo simulación del medio a estudiar.

La forma más rápida y menos cara de seleccionar una aleación es simplemente revisar la bibliografía (material publicado) y la información existente sobre el material y

similares, y hacer una selección. Debe tenerse cuidado cuando se utilice esta propuesta porque, por ejemplo, la resistencia a la corrosión de muchas CRAs a una temperatura no es necesariamente indicativa de su resistencia a la corrosión a otras temperaturas. Asimismo, cambios en componentes en medios críticos, como azufre elemental, pueden tener un profundo impacto en la corrosión bajo tensión SCC, otro importante factor a tener en cuenta en la selección de la aleación.

Para ayudar en la selección de un material base, la Tabla 5.10 indica la resistencia a la corrosión de varios tipos normales de aceros inoxidables para unos medios corrosivos. En ella se indica que los tipos austeníticos y tipos con cromo más alto son, en general más resistentes a la corrosión que los tipos martensíticos y ferríticos de cromo más bajo.

Tabla 5.10 – Resistencia a la Corrosión de Aceros Inoxidables en varios ambientes

Aceros Inoxidables	Atmósfera				Agua Dulce	Agua Salada	Tierra	Productos Químicos
	Industrial	Marina	Urbana	Rural				
Tipos Austeníticos								
201	5	2	1	1	1		3	7
202	5	2	1	1	1		3	7
205	5	2	1	1	1		3	7
301	5	2	1	1	1		3	7
302	5	2	1	1	1		3	7
302B	5	2	1	1	1		3	7
303	5	2	1	1	1		3	7
303Se	5	2	1	1	1		3	7
304	5	2	1	1	1	3	3	7
304H	5	2	1	1	1	3	3	7
304L	5	2	1	1	1	3	3	7
304N	5	2	1	1	1	3	3	7
305	5	2	1	1	1		3	7
308	5	2	1	1	1		3	7
309	5	2	1	1	1	3	3	7
309S	5	2	1	1	1	3	3	7
310	5	2	1	1	1	3	3	7
310S	5	2	1	1	1	3	3	7
314	5	2	1	1	1			7
316	3	1	1	1	1	3	1	7
316F	3	1	1	1	1	3	1	7
316H	3	1	1	1	1	3	1	7
316L	3	1	1	1	1	3	1	7
316N	3	1	1	1	1	3	1	7
317	3	1	1	1	1	3	1	7
317L	3	1	1	1	1	3	1	7
321	5	2	1	1	1	3	3	7
321H	5	2	1	1	1	3	3	7

329	5	2	1	1	1	1	3	7
330	5	1	1	1	1		3	7
347	5	2	1	1	1	3	3	7
347H	5	2	1	1	1	3	3	7
348	5	2	1	1	1	3	3	7
348H	5	2	1	1	1	3	3	7
384		2	1	1	1		3	7
Tipos ferríticos								
405	6	4	2	1	3	6	6	7
409	6	4	2	1	3	6	6	7
429	3	4	2	1	1	6	6	7
430	3	4	1	1	1	6	6	7
430f	3	4	1	1	1	6	6	7
430fse	3	4	1	1	1	6	6	7
434	3	4	1	1	1			7
436	3	4	1	1	1			7
442	3	2	1	1	1			7
446	3	2	1	1	1	3		7
Tipos Martensíticos								
403	66	4	2	1	3	6	6	7
410	6	4	2	1	3	6	6	7
414	6	4	2	1	3	6	6	7
416	6	4	2	1	3	6	6	7
416Se	6	4	2	1	3	6	6	7
420	6	4	2	1	3	6	6	7

Códigos: 1- Sin oxidación, coloración, picado
 2 – Ligera oxidación o coloración, sin picado.
 3 – Ligera oxidación o coloración, ligero picado.
 4 – Oxidación superficial o coloración.
 5 – Oxidación superficial y picado.
 6 – Oxidación y fuerte picado.
 7 – La corrosión y picado en medios químicos varía con el medio, concentración, temperatura y agitación. Consultar literatura y manuales para datos sobre una aplicación específica.

Otros factores que deben considerarse en la selección de un acero inoxidable son la resistencia al picado, corrosión por ataque localizado y ataque intergranular. El ataque intergranular es causado por la precipitación de carburos en las zonas de soldadura afectadas térmicamente. Si la aplicación comporta servicio a temperaturas elevadas, deben tenerse en cuenta las propiedades mecánicas a temperatura elevada, como la resistencia a la fluencia, resistencia a la carga de rotura y resistencia a la oxidación.

En conclusión, con los datos de los ensayos de corrosión y oxidación derivados de los manuales y otras referencias, se puede seleccionar un acero inoxidable u otra aleación para una aplicación particular. Para el caso específico del desarrollo de procedimientos de soldadura, el material viene previamente definido por la ingeniería de cada proyecto offshore en particular. Para este proyecto se han seleccionado tres tipos de

aceros inoxidables muy utilizados para este tipo de proyectos por su elevada resistencia a la corrosión:

- Acero inoxidable austenítico tipo 316L. El cromo y el níquel son los dos elementos de aleación fundamentales, siendo el primero formador de ferrita y el segundo de austenita. La adición de níquel estabiliza la fase austenítica mejorando la resistencia a la corrosión. Se diferencia del grado más universal 304 por la adición de molibdeno (en torno al 2.5%) que aumenta más la resistencia a la corrosión. Además el empleo de bajo carbono mejora las características de dureza y resistencia por lo que dota a este material de una importante resistencia a la corrosión en medio acuoso, evitando la corrosión intergranular después del soldeo.

- Acero Inoxidable Austenítico, tipo 6Mo. Los elementos de aleación básicos que definen este material son los mismos que en el caso del inoxidable austenítico tipo 316L, pero aquí se muestran incrementos mayores en cromo, níquel y molibdeno, tratándose por lo tanto de un acero inoxidable enteramente austenítico con una mayor resistencia a la corrosión. La combinación de contenidos altos en nitrógeno y molibdeno aumenta la resistencia a la corrosión por picadura y grieta, por eso este material pertenece a la nueva generación de los denominados superausteníticos.

- Acero Inoxidable Austenítico/Ferrítico, tipo Duplex 22Cr. Es el más popular de los aceros duplex. La presencia del cromo y de pequeñas cantidades de níquel en este material hace que presente una estructura ferrítica-austenítica y al mismo tiempo mejora la resistencia a la corrosión.

5.9 DESCRIPCION DE LOS MATERIALES

Los materiales a utilizar en los procedimientos de soldadura estarán de acuerdo con la Norma Europea EN 10088-1 que especifica:

- la composición química de los aceros inoxidables,
- los datos de referencia relativos a algunas propiedades físicas.

El material elegido para cada procedimiento se describe a continuación:

MATERIAL	Designación del acero		UNS
	Simbólica	Numérica	
Inoxidable austenítico tipo 316L	X2CrNiMo17-12-2	1.4404	S31603
Inoxidable austenítico tipo 254SMo (6 MOLIBDENO)	X1CrNiMoCuN20-18-7	1.4547	S31254
Inoxidable austeno-ferrítico Tipo 2205 (DUPLEX 22Cr)	X2CrNiMoN22-5-3	1.4462	S31803

Las siguientes tablas muestran los tipos de acero inoxidable con los que vamos a trabajar, con su composición química y características físicas:

Composición química (análisis de colada) de acero inoxidable austeníticos													
Designación del acero		% en masa											
Simbólica	Numérica	C	Si	Mn	P max	S	N	Cr	Cu	Mo	Nb	Ni	Ti
X2CrNiMo17-12-2	1.4404	≤ 0.030	≤ 1.00	≤ 2.00	0.045	≤ 0.015	≤ 0.11	16.50 a 18.50	-	2.00 a 2.50	-	10.00 a 13.00	-
X1CrNiMoCuN20-18-7	1.4547	≤ 0.020	≤ 0.70	≤ 1.00	0.03	≤ 0.010	0.18 a 0.25	19.50 a 20.50	0.50 a 1.0	6.00 a 7.00	-	17.50 a 18.50	-

Composición química (análisis de colada) de acero inoxidable austero-ferríticos												
Designación del acero		% en masa										
Simbólica	Numérica	C max	Si max	Mn max	P max	S max	N	Cr	Cu	Mo	Ni	W
X2CrNiMoN22-5-3	1.4462	0.030	1.00	2.00	0.035	0.015	0.10 a 0.22	21.00 a 23.00	-	2.50 a 3.50	4.50 a 6.50	-

Datos de referencia de algunas propiedades físicas de los aceros inoxidable austeníticos																	
Designación del acero		Densidad Kg/dm ³	Módulo de elasticidad a						Coeficiente medio de dilatación térmica					Conductividad térmica a 20°C W / mxK	Capacidad térmica específica a 20°C J / kgxK	Resistividad eléctrica a 20°C Ωxmm ² / m	Magnetizable
Simbólica	Numérica		20°C	100°C	200°C	300°C	400°C	500°C	100°C	200°C	300°C	400°C	500°C				
X2CrNiMo17-12-2	1.4404	8.0	200	194	186	179	172	165	16.0	16.5	17.0	17.5	18.0	15	500	0.75	No ¹⁾
X1CrNiMoCuN20-18-7	1.4547	8.0	195	190	182	174	166	158	16.5	17.0	17.5	18.0	18.0	14	500	0.85	

1) Pequeñas cantidades de ferrita y/o martensita originadas durante la deformación en frío pueden incrementar la susceptibilidad de magnetización.

Datos de referencia de algunas propiedades físicas de los aceros inoxidable austero-ferríticos													
Designación del acero		Densidad Kg/dm ³	Módulo de elasticidad a				Coeficiente medio de dilatación térmica			Conductividad térmica a 20°C W / mxK	Capacidad térmica específica a 20°C J / kgxK	Resistividad eléctrica a 20°C Ωxmm ² / m	Magnetizable
Simbólica	Numérica		20°C	100°C	200°C	300°C	100°C	200°C	300°C				
X2CrNiMon22-5-3	1.4462	7.8	200	194	186	180	13.0	13.5	14.0	15	500	0.8	Si

5.10 DEFINICIÓN DEL RANGO DE ACEROS INOXIDABLES

En la norma EN ISO 15614-1, con el fin de minimizar el número de ensayos de procedimiento de soldeo, el acero, el níquel y sus aleaciones se han agrupado de acuerdo con el Informe Técnico CR ISO 15604.

El Informe Técnico proporciona un sistema uniforme de agrupamiento de materiales cuyo propósito es el soldeo, aunque también se puede aplicar con otros fines como tratamiento térmico, conformado, ensayos no destructivos.

En la tabla 1 del Anexo 1 (Normas, términos, definiciones y tablas) se puede ver el sistema de agrupamiento de los aceros tal como se indica en CR ISO 15608 y, a partir del mismo, deducir el grupo y subgrupo al que pertenecen los materiales de este proyecto:

Material	Grupo	Subgrupo
Acero Inoxidable Austenítico, Tipo 316L	8	8.1
Acero Inoxidable Austenítico, Tipo 6Mo	8	8.2
Acero Inoxidable Austenítico/Ferrítico, tipo Duplex 22Cr	10	10.1

Se requiere una cualificación del procedimiento de soldeo individual para cada metal base o combinación de metales base no contemplados en el sistema de agrupamiento.

Si un metal base pertenece a dos grupos o subgrupos de materiales, se debe clasificar siempre como perteneciente al grupo o subgrupo con numeración más baja.

De acuerdo con el apartado 8.3 de EN ISO 15614-1 el rango de cualificación para los grupos a los que pertenecen los aceros definidos en este proyecto sería:

Grupo o subgrupos de materiales del cupón de ensayo	Rango de cualificación
8-8	8 ^b – 8
10-10	10 ^a - 10
(a) Cubre los aceros del mismo subgrupo y aquellos subgrupos inferiores dentro del mismo grupo.	
(b) Cubre todos los aceros del mismo subgrupo	

Como se puede ver, la norma indica que la cualificación de un procedimiento para un metal base del grupo 8 cubre los aceros del mismo grupo, subgrupo y aquellos subgrupos inferiores. Por ello, se podría deducir que, cualificando un procedimiento de soldeo utilizando como material base un acero inoxidable austenítico de grado X2CrNiMo17-12-2 (316L) quedaría cubierto el grado X1CrNiMoCuN20-18-7 (6Mo) y a la inversa, pero como se verá mas adelante esta no es la única variable esencial a tener en cuenta, lo que obligará a definir procedimientos de soldadura para ambos tipos de aceros austeníticos.

Dependiendo del espesor del cupón utilizado en la cualificación, la norma EN-ISO 15614-1 define el rango de los materiales base y el espesor de material depositado cualificados así como el tipo y número de probetas de ensayo. En el capítulo 8 de la Memoria Descriptiva desarrollaremos esta variable que nos servirá para seleccionar las dimensiones de las probetas que emplearemos y definir así los distintos procedimientos.

CAPITULO 6. – ELECCIÓN DEL PROCESO DE SOLDADURA

6.1 PAUTAS PARA LA ELECCIÓN SISTEMÁTICA DE PROCESOS DE SOLDEO

Hoy en día existen una gran cantidad de técnicas de unión y el problema no es como llevar a cabo las uniones, sino seleccionar la más adecuada para cada tipo de trabajo. Cada proceso tiene sus propios atributos y deben ser valorados diferentes aspectos tales como resistencia, facilidad de fabricación, coste, resistencia a la corrosión y aspecto, antes de tomar la decisión final en función de las aplicaciones específicas de cada producto.

La selección de un proceso de soldeo requiere un conocimiento previo de todos ellos y de sus características y condicionamientos operativos. Con frecuencia pueden utilizarse varios procesos para un determinado trabajo. El problema radica en seleccionar el más conveniente en función de su operatividad y costo. No obstante, estos dos factores pueden no ser totalmente compatibles y forzar una solución de compromiso. La elección debe de llevarse a cabo teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

1. El material o materiales a unir y su soldabilidad.
2. Tamaño y complejidad de la soldadura.
3. Aplicaciones.
4. Lugar de fabricación: taller o campo.
5. Estimación de costos.
6. Capacitación de los soldadores.

6.1.1 Propiedades del Material Base.

La naturaleza, estado de tratamiento y forma de los materiales a ser soldados condicionan la elección del proceso pues este puede modificar, en función de sus características y de aquellos efectos metalúrgicos y mecánicos que pueda llegar a generar, las propiedades físicas y mecánicas del material y su composición química.

Propiedades Físicas

Generalmente, la soldabilidad es inversamente proporcional a la conductividad eléctrica y térmica del material. Si la conductividad eléctrica es elevada no pueden ser utilizados procesos que aprovechan la resistencia eléctrica del material para generar calor (efecto Joule), por ejemplo, la soldadura por resistencia eléctrica por puntos (RSW). Si la conductividad térmica del material es alta deben de utilizarse precalentamientos más severos y procesos con un aporte energético más elevado.

Tiene también una influencia significativa el coeficiente de dilatación térmica. Cuanto mayor es su valor, mayores son las dilataciones y contracciones durante el soldeo y, en función de la rigidez de las partes a unir, mayores serán las tensiones residuales generadas y las deformaciones.

Propiedades mecánicas

Los materiales se agrietan cuando son incapaces de soportar los esfuerzos a que están sometidos. Su capacidad de resistirlos está en función de su ductilidad, y la cuantía de aquellos depende del proceso de soldeo utilizado. Los materiales que poseen durezas elevadas o límites elásticos altos son más difíciles de soldar.

Como ya hemos visto, la selección de un material se hace en función de las condiciones a las que va a estar sometido en servicio. Si durante la fabricación de la estructura o elemento del que va a formar parte se le somete a un proceso de soldeo, generalmente traumático en sí mismo porque supone calentamientos y enfriamientos muy rápidos, puede alterarse considerablemente su microestructura y consecuentemente sus propiedades. Si además se añade material de aportación, normalmente de composición química diferente al material base, nos encontramos con dos zonas de características muy diferentes al material base. Una, la zona del material base que estuvo sometida durante el soldeo a temperatura necesaria, durante el tiempo suficiente, como para experimentar transformaciones microestructurales, que recibe el nombre de ZONA AFECTADA TÉRMICAMENTE (ZAT). La otra, el CORDÓN DE SOLDADURA, constituido por el material de aportación y la porción del material base que se incorpora al baño de fusión y que, salvo que se someta a un tratamiento térmico posterior, posee una estructura bruta de solidificación.

La microestructura de la ZAT depende del tiempo que el material permaneció por encima de la temperatura de transformación y de la velocidad de enfriamiento, la del cordón de soldadura de su velocidad de enfriamiento.

Los procesos con rendimientos térmicos bajos, como la soldadura oxiacetilénica, necesitan tiempos de soldeo prolongados, que producen zonas afectadas térmicamente de considerable anchura y tiempos elevados de permanencia temperaturas por encima de la de transformación.

La velocidad de enfriamiento depende en gran medida del proceso de soldeo usado. En general, los procesos que aportan una gran cantidad de energía dan lugar a velocidades de enfriamiento lentas. Así, las velocidades mas lentas de enfriamiento se producen en las soldaduras por electroescoria y oxiacetilénica. El arco sumergido produce velocidades de enfriamiento intermedias entre estos y los procesos por arco con electrodos revestidos y con gas. Las velocidades de enfriamiento más elevadas se obtienen en las soldaduras por haz de electrones y láser, procesos que producen volúmenes de metal fundido pequeños comparados relativamente con la superficie de las caras a ser unidas.

Composición Química

Las temperaturas de liquidus, solidus y la separación entre ambas depende de la composición química y son un factor más a considerar. Si el intervalo de solidificación (la región sólido-líquido del diagrama de fases) es grande, el tiempo de solidificación se prolonga, permitiendo la segregación de los elementos de aleación e impurezas y dando lugar a que la última porción de líquido en solidificar lo haga a temperatura relativamente baja. Esta circunstancia conduce a que exista todavía una parte del cordón de soldadura en fase líquida cuando las tensiones debido a la contracción térmica de las partes a unir sean ya considerables, pudiendo llegar a producirse una separación de éstas y originarse un agrietamiento. En estos casos debe optarse por un proceso de soldeo sin fusión o tratar de conseguir velocidades de solidificación elevadas.

Algunas aleaciones contienen componentes de bajo punto de fusión que pueden llegar a evaporarse a las temperaturas que es necesario alcanzar para fundir el metal base. Estos problemas pueden reducirse usando procesos con velocidades

elevadas de soldeo y materiales de aportación con bajo contenido en estos elementos. En otras ocasiones, se acude a procedimientos que no producen la fusión del material base, como el soldeo fuerte.

Los metales altamente reactivos, como el titanio, aluminio y zirconio son difíciles de soldar, pues producen óxidos refractarios que llegan a interrumpir el proceso de soldeo. En éstos debe optarse por procesos que utilicen como protección del baño una atmósfera inerte para evitar su oxidación además estos procesos ofrecen la ventaja de no utilizar fundentes cuyos residuos pudieran dar lugar a fuentes potenciales de corrosión.

Efectos producidos por el proceso de soldeo

La mayoría de los procesos de unión requieren, en menor o mayor cuantía, el calentamiento del material base, siendo más elevado en aquellos que requieren la fusión de los mismos. Esta circunstancia puede llegar a introducir cualquiera de los siguientes efectos:

- Tensiones residuales: Fundamentalmente se generan por la contracción del metal líquido durante su solidificación y posterior enfriamiento. Pueden afectar a la geometría de la pieza y llegar a producir su agrietamiento.
- Crecimiento de grano y/o recristalización en la ZAT.
- Modificaciones estructurales en la ZAT motivadas por las transformaciones de las fases presentes.
- Disolución y precipitación de partículas, o un aumento del tamaño de las ya precipitadas, produciéndose cambios en el tamaño, morfología y distribución del precipitado.
- Disolución de gases que pueden dar lugar a porosidad,, compuestos químicos y fragilidad, según los casos.
- Fusión parcial localizada en los límites de grano que provoca la fragilidad en caliente.

Todos estos efectos están íntimamente relacionados con el proceso utilizado en función de las características de la fuente térmica y del sistema de protección del baño empleados.

Los procesos que producen grandes cantidades de metal fundido pueden reducir considerablemente las propiedades de la soldadura. El agua procedente de la humedad ambiente se descompone en hidrógeno y oxígeno en el arco. El hidrógeno produce fragilidad en los aceros y aleaciones de titanio, y porosidad en las aleaciones de aluminio y cobre. El oxígeno y nitrógeno producen efectos perniciosos en la mayoría de las aleaciones industriales dando lugar a porosidad e inclusiones de óxidos o nitruros. En los aceros inoxidables el nitrógeno favorece la formación de austenita, eliminando la ferrita delta que previene el riesgo de agrietamiento en caliente.

La pureza del metal depositado depende del proceso de soldeo utilizado. Los cordones más limpios se obtienen en el soldeo por haz de electrones por llevarse a cabo en vacío. No obstante, la gran mayoría de los procesos por fusión utilizan como medios de protección gases o fundentes. El soldeo por arco con gas y arco-plasma utilizan helio y argón como gases inertes protectores. Cuando estos gases están en buenas condiciones aíslan perfectamente el metal fundido.

En el soldeo con gas de los aceros se utilizan gases reactivos, que contienen entre 1% y 5% de oxígeno y hasta un 25% de dióxido de carbono para mejorar la transferencia del metal de aportación, estabilizar el arco y abaratar los costos. Los metales de aportación usados en este caso deben contener elementos desoxidantes (aluminio, titanio, zirconio) para prevenir la porosidad y la oxidación de los elementos de aleación presentes en el metal fundido.

Los procesos por arco con electrodos revestidos, arco sumergido, electroescoria e hilo tubular, utilizan fundentes como agentes protectores. Son sustancias complejas que se descomponen y se funden durante el soldeo produciendo una atmósfera gaseosa sobre el baño fundido y una escoria líquida cuya densidad y punto de fusión son inferiores al metal líquido para permitir que flote y permanezca líquida mientras el metal solidifica, protegiéndolo una vez se ha disipado la atmósfera protectora creada. Además, la escoria líquida reacciona con el metal fundido modificando su contenido de oxígeno, nitrógeno, azufre, manganeso y otros elementos de aleación.

Los procesos que utilizan fundentes como elementos protectores necesitan que entre pasada y pasada, y durante el soldeo, se extraiga la escoria solidificada para

que esta no quede atrapada entre cordones y disminuya las características de la unión soldada.

6.1.2 Tamaño y complejidad de la soldadura.

Otro aspecto importante a tener en cuenta, a la hora de la elección del proceso, es el tamaño y complejidad de la soldadura a ejecutar. Son factores a considerar el espesor de las chapas o piezas a unir, la posición en que se ha de llevar a cabo la ejecución de la soldadura, la longitud del cordón y la preparación de los bordes de la unión.

La unión de piezas de espesores elevados aconseja la utilización de procesos con alto aporte de energía y gran penetración, tales como arco sumergido, electroescoria o la soldadura por termita. Inversamente, para espesores finos deben emplearse procesos con aporte de energía bajo y fácilmente regulable como son el de por arco de electrodo de wolframio y el arco plasma.

La posición de la soldadura afecta severamente la selección del proceso. Por ejemplo, la soldadura bajo techo no puede efectuarse con procesos que produzcan grandes volúmenes de metal fundido, como son arco sumergido y electro escoria, limitados por sus propios condicionamientos a las posiciones plana o vertical, respectivamente, ni arco con electrodo revestido empleando electrodos que no han sido diseñados para esta posición. Otros procesos, como la soldadura por fricción, exigen que al menos una de las partes a ser unidas pueda ser sometida a rotación.

Cuando tienen que fabricarse grandes series y las condiciones de la soldadura lo permiten, debe de optarse por procesos que permitan la automatización y robotización a fin de abaratar costos.

6.1.3 Lugar de fabricación

No todos los procesos de soldeo tienen la misma versatilidad, algunos pueden ser empleados en casi todos los lugares y medios ambientes, mientras el uso de otros está limitado porque requieren instalaciones y equipos complejos.

La selección para una localización determinada viene condicionada por factores como: medio ambiente, movilidad de los equipos, disponibilidad de energía eléctrica, agua, aire, otros gases, etc.

El soldeo por arco con electrodo revestido es el más simple y versátil de todos los procesos. El equipo necesario se reduce a una fuente de energía eléctrica, que puede ser un generador autónomo, los cables y la pinza. Este proceso se utiliza ampliamente en fabricación y reparaciones, indistintamente en el taller y en el campo.

El arco sumergido se ha empleado como complemento del electrodo revestido, tanto en el taller como el campo, en aquellos trabajos que permitan la mecanización y automatización del proceso.

El soldeo por arco con gas utiliza alambre continuo en bobina que supone, al menos, una semiautomatización del proceso. Aunque el equipo es algo más complejo que el de electrodo revestido, es también transportable con relativa facilidad.

Últimamente, el soldeo por arco con electrodo de wolframio se ha desarrollado como un proceso complementario al de electrodo revestido, especialmente para uniones de aluminio, magnesio, titanio y otros metales refractarios y para aquellas soldaduras que requieren una elevada calidad.

La utilización del soldeo por resistencia está limitada a la fábrica, debido a la energía eléctrica necesaria y a las características de los equipos.

El soldeo por electroescoria se aplica solo a uniones a tope, en posición vertical o próxima a esta, y a chapas a partir de espesores relativamente gruesos. El equipo necesario y las instalaciones limitan a este proceso a ser utilizado en taller, aunque se han llevado a cabo soldaduras en el campo para la fabricación de grandes tanques de almacenamiento.

El soldeo blando y fuerte, en su aplicación manual, emplea equipos sencillos y fácilmente transportables que permite su aplicación en cualquier lugar.

Los equipos utilizados en los procesos de haz de electrones y por rayo láser, limitan su utilización a localizaciones fijas, lo mismo que sucede con aquellos empleados en la soldadura por chisporroteo, fricción y difusión.

Existen cuatro métodos de aplicación de los procesos de soldeo, para lo que hay que tener en cuenta si las funciones principales (mantenimiento de arco, alimentación del metal de aporte, desplazamiento del arco y seguimiento de la unión) las efectúa un operario o una máquina.

Estos cuatro métodos son:

- Manual. El operario controla todas las funciones.
- Semiautomático. La máquina mantiene el arco y alimenta el metal de aporte; el operario controla el desplazamiento y la longitud del arco.
- Mecanizado. La máquina mantiene el arco, alimenta el metal de aporte y controla la velocidad de desplazamiento; el operario dirige el arco y normalmente controla la operación.
- Automático. La máquina tiene el control total del proceso. El operador, normalmente, sólo carga y descarga la máquina y establece el inicio del ciclo de soldeo.

6.1.4 Estimación de costes

En el uso industrial, cada proceso tiene un área de aplicación donde ofrece ventajas económicas, pero las áreas son amplias y presentan solapamientos considerables sobre todo en los procesos por arco eléctrico y electrodo consumible.

Muchos fabricantes disponen de varios procesos de soldeo. Es importante la elección adecuada para cada aplicación a fin de obtener mínimo costo.

La importancia relativa de la selección de un proceso, como un factor del coste total, se entiende fácilmente cuando se evalúa unido a otros factores: mano de obra, materiales consumibles, coste del equipo, velocidades de deposición, tiempo real de soldeo, calidad de soldadura, gastos generales, etc. El proceso es un medio para conseguir un fin y representa una variable en el coste total, ya que varios procesos pueden conducir al mismo resultado.

El coste está íntimamente relacionado con el tipo, cantidad y calidad del producto. Se pueden obtener grandes producciones con costes muy bajos en ciertos procesos de soldeo por resistencia automatizados, pero los equipos son caros y exigen una gran inversión. Podrían obtenerse resultados económicos finales parecidos con costes más elevados por soldadura y menor inversión. Esta circunstancia enfatiza el hecho de que el proceso representa una variable importante en la determinación del coste total de las operaciones de soldeo.

6.1.5 Aplicaciones

La elección del proceso de soldeo depende, en gran medida, del tipo de trabajo a realizar. Existe un conjunto de códigos y normas que delimitan los diferentes campos y condiciones de aplicación de los distintos procesos.

En la construcción en fábrica de recipientes a presión, tanques de almacenamiento y tuberías, que suponen un gran porcentaje del campo de aplicación de la soldadura, cuyo destino son las industrias del petróleo, petroquímica, química, producción de energía, la elección del proceso viene delimitada por el diseño, costes y los códigos y normas que rigen la fabricación. En el campo, los procesos utilizados más frecuentemente son con electrodo revestido y con electrodo de wolframio, con aplicaciones limitadas del arco sumergido y con gas.

6.1.6 Capacitación de los soldadores

Otro factor a valorar en la selección es el nivel de capacitación de los soldadores disponibles en cada uno de los procesos a utilizar.

Muchas de las aplicaciones han de efectuarse de acuerdo con las normas y códigos específicos que exigen la cualificación de los soldadores u operadores de máquinas de soldeo.

En la siguiente tabla puede servir como una guía general para seleccionar un proceso de soldeo por fusión:

“Definición y Desarrollo de Procedimientos de Soldadura en Tuberías de Aceros Inoxidables para un Proyecto Offshore”

CRITERIO DE SELECCIÓN	SOLDEO POR ARCO						OTROS PROCESOS		
	SMAW	FCAW	GMAW	SAW	GTAW	PAW	OFW	EBW	LBW
Consideraciones de diseño									
Estructura principal	B	B	B	B	A	A	C	A	A
Estructura secundaria	A	A	A	B	B	B	B	B	B
No crítico	A	A	A	B	C	C	B	B	B
Metales disimilares	B	B	B	C	A	A	C	A	A
Configuración de la unión									
A tope	A	A	A	A	A	A	A	A	A
En T	A	A	A	B	B	B	B	B	B
En bordes	B	B	B	C	A	A	B	A	A
En ángulo	B	B	B	C	B	B	B	C	C
Posición de soldeo	A	A	A	C	A	A	B	C	B
Portabilidad del equipo	3	3	3	3	3	3	4	1	1
Coste	1	2	2	3	2	2	1	4	4
Factor de operación	1	3	3	4	2	2	2	4	4
Velocidad de aportación	2	3	3	4	1	1	1	1	1
Aprovechamiento del metal de aporte	1	2	3	4	4	4	3	4	4
Espesores a soldar, mm									
0.02 a 0.5	D	D	D	D	B	B	D	A	A
0.5 a 1.25	C	C	B	D	A	A	B	A	A
1.25 a 2.5	B	C	B	D	A	A	B	A	A
2.5 a 6	B	B	A	C	A	A	B	A	A
6 a 12	A	A	A	B	B	B	B	A	B
12 a 24	A	A	A	B	C	C	B	A	C
26 a 60	A	A	A	A	C	C	C	A	C
> 60	A	A	A	A	C	C	C	A	D
Material a soldar									
Acero carbono	A	A	A	A	B	B	B	C	B
Acero baja aleación	B	B	B	B	B	B	C	B	B
Acero alta resistencia	B	B	B	B	B	B	D	B	C
Acero inoxidables, Serie 300	B	B	B	B	A	A	C	A	A
Aluminio	D	B	B	D	A	A	C	A	C
<p>A – Más adecuado, B – Satisfactorio, C- Uso restringido, D – No recomendado</p> <p>1 – El más bajo, 4 – El más alto.</p> <p>SMAW – Soldeo por arco con electrodo revestido</p> <p>GMAW - Soldeo por arco con gas</p> <p>GTAW - Soldeo por arco con electrodo de wolframio</p> <p>SAW - Soldeo por arco sumergido</p> <p>PAW – Soldeo por arco plasma</p> <p>OFW – Soldeo oxigas</p> <p>EBW - Soldeo por haz de electrones</p> <p>LBW – Soldeo por rayo láser</p>									

Como ya se ha descrito, la elección del proceso o procesos de soldadura utilizados en cada procedimiento debe seguir una sistemática clara que tenga presente aspectos como el material a unir, tamaño y complejidad de la soldadura, aplicaciones, lugar de fabricación, estimación de costos así como capacitación de los soldadores.

Si se consideran los tres primeros aspectos mencionados el número de procesos de soldadura se reduce ya que en general, los más empleados para la soldadura de tuberías de aceros inoxidables son:

- Soldadura por arco con protección gaseosa y electrodo de tungsteno no consumible (Gas Tungsten Arc Welding, GTAW).
- Soldadura por arco con electrodos revestidos (Shielded Metal Arc Welding, SMAW).
- Soldadura por arco bajo gas protector con electrodo consumible (Gas Metal Arc Welding, GMAW).
- Soldadura por arco con alambre tubular (Flux Cored Arc Welding, FCAW).

Se pasa a describirlos por separado.

6.2. SOLDADURA POR ARCO CON PROTECCIÓN GASEOSA Y ELECTRODO DE TUNGSTENO NO CONSUMIBLE (GAS TUNGSTEN ARC WELDING, GTAW).

Descripción y denominaciones.

El procedimiento de soldadura por arco bajo gas protector con electrodo no consumible, también llamado TIG (Tungsten Inert Gas), utiliza como fuente de energía el arco eléctrico que se establece entre un electrodo no consumible y la pieza a soldar, mientras un gas inerte protege el baño de fusión. El material de aportación, cuando se utiliza, se aplica por medio de varillas.

La función primordial de los gases de protección es evitar que el metal a altas temperaturas, el baño de fusión y el electrodo se oxiden o contaminen con impurezas. Si el aire entra en contacto con el metal fundido, el oxígeno del aire reaccionará con el material produciendo óxidos, el nitrógeno puede causar porosidad y la humedad del aire puede también causar porosidad y provocar grietas.

El proceso TIG también recibe las denominaciones de:

- GTAW, Gas Tungsten Arc Welding (ANSI/AWS A3.0).
- 141, Soldadura por arco con electrodo de wolframio y gas inerte (UNE-EN ISO 4063).
- Soldadura por arco con electrodo de wolframio (UNE 14100).
- Gas-Shielded Tungsten-Arc Welding (Reino Unido).

Ventajas y limitaciones.

Ventajas

- Proceso adecuado para unir la mayoría de los metales.
- Arco estable y concentrado.
- No se producen proyecciones (al no existir transporte de metal en el arco).
- No se produce escoria.
- Produce soldaduras lisas y regulares.
- Se puede utilizar con o sin metal de aporte, en función de la aplicación.
- Puede emplearse en todo tipo de uniones y posiciones.
- Alta velocidad de soldeo en espesores por debajo de 3-4 mm.
- Se pueden conseguir soldaduras de gran calidad.
- Permite un control excelente de la penetración en la pasada de raíz.
- No requiere en empleo de fuentes de energía excesivamente caras.
- Permite el control independiente de la fuente de energía y del metal de aportación.

Limitaciones

- La tasa de deposición es menor que la que se puede conseguir con otros procesos de soldeo por arco.
- Su aplicación manual exige, en general, gran habilidad por parte del soldador.
- No resulta económico para espesores mayores de 10 mm.
- En presencia de corrientes de aire puede resultar difícil conseguir una protección adecuada de la zona de soldadura.

Aplicaciones.

El proceso GTAW se puede utilizar para la soldadura de todos los materiales, incluidos el aluminio y el magnesio y los materiales sensibles a la oxidación como el titanio, zirconio y sus aleaciones.

Puesto que el proceso posee las virtudes necesarias para conseguir soldaduras de alta calidad y con una elevada pureza metalúrgica, exentas de defectos y buen acabado superficial es ideal para soldaduras de responsabilidad en la industria del petróleo, química, petroquímica, de alimentación, de generación de energía, nuclear, etc.

Como su tasa de deposición es baja, no resulta económico para soldar materiales con espesores mayores de 6-8 mm. En estos casos el GTAW se utiliza para efectuar la pasada de raíz, empleándose otros procesos de mayor productividad para el resto de las pasadas de relleno.

6.3 SOLDADURA POR ARCO CON ELECTRODOS REVESTIDOS (SHIELDED METAL ARC WELDING, SMAW):

Descripción y denominaciones

La soldadura por arco con electrodo revestido es un proceso en el que la fusión del metal se produce gracias al calor generado por un arco eléctrico establecido entre el extremo de un electrodo revestido y el metal base de una unión a soldar.

El material de aportación se obtiene por la fusión del electrodo en forma de pequeñas gotas. La protección se obtiene por la descomposición del revestimiento en forma de gases y en forma de escoria líquida que flota sobre el baño de fusión y, posteriormente, solidifica.

A la soldadura por arco con electrodo revestido se le conoce por las siguientes denominaciones:

- SMAW, Shielded metal-arc welding (ANSI/AWS A3.0)
- 111, Soldadura metálica por arco con electrodo revestido (UNE-EN 24063).
- MMAW, Manual metal-arc welding (Reino Unido).

Ventajas y limitaciones.

Ventajas

- El equipo de soldadura es relativamente sencillo, no muy caro y portátil.
- El metal de aportación y los medios para su protección durante la soldadura proceden del propio electrodo revestido. No es necesaria protección adicional mediante gases auxiliares o fundentes granulares.
- Es menos sensible al viento y a las corrientes de aire que los procesos por arco con protección gaseosa. No obstante el proceso debe emplearse siempre protegido del viento, lluvia y nieve.
- Se puede emplear en cualquier posición, en locales abiertos y en locales cerrados, incluso con restricciones de espacio. No requiere conducciones de agua de refrigeración, ni tuberías o botellas de gases de protección, por lo que puede emplearse en lugares relativamente alejados de la fuente de energía.
- Es aplicable para una gran variedad de espesores, en general mayores de 2 mm.
- Es aplicable a la mayoría de los metales.

Limitaciones

- Es un proceso lento, por la baja tasa de deposición y por la necesidad de retirar escoria, por lo que en determinadas aplicaciones ha sido desplazado por otros procesos.
- Requiere gran habilidad por parte del soldador.
- No es aplicable a metales de bajo punto de fusión como plomo, estaño, cinc y sus aleaciones, debido a que el intenso calor del arco es excesivo para ellos. Tampoco es aplicable a metales de alta sensibilidad a la oxidación como el titanio, zirconio, tántalo y niobio, ya que la protección que proporciona es insuficiente para evitar la contaminación por oxígeno de la soldadura.
- No es aplicable a espesores inferiores a 1.5-2 mm.

- La tasa de deposición es inferior a la obtenida por los procesos que utilizan electrodo continuo. Esto se debe a que el electrodo solo puede consumirse hasta una longitud mínima (unos 5 cm), cuando se llega a dicha longitud el soldador tiene que retirar la colilla del electrodo no consumida e insertar un nuevo electrodo.
- Aunque en teoría se puede soldar cualquier espesor por encima de 1.5 mm, el proceso no resulta productivo para espesores mayores de 38 mm.

Aplicaciones

El proceso de soldadura por arco con electrodos revestidos 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 de la soldadura por arco con electrodos revestidos se dan con espesores comprendidos entre 3 y 38 mm.

El proceso es aplicable a aceros al carbono, aceros aleados, inoxidables, fundiciones y metales no féreos como aluminio, cobre, níquel y sus aleaciones.

Los sectores de mayor aplicación son la construcción naval, de máquinas, estructuras, tanques y esferas de almacenamiento, puentes recipientes a presión y calderas, refinerías de petróleo, oleoductos y gaseoductos y en cualquier otro tipo de trabajo similar.

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

6.4 SOLDADURA POR ARCO BAJO GAS PROTECTOR CON ELECTRODO CONSUMIBLE (GAS METAL ARC WELDING, GMAW).

Descripción y denominaciones.

Es un proceso de soldadura en el cual el calor necesario es generado por un arco que se establece entre un electrodo consumible y el metal que se va a soldar.

El electrodo es un alambre macizo, desnudo, que se alimenta de forma continua automáticamente y se convierte en el metal depositado según se consume.

El electrodo, arco, metal fundido y zonas adyacentes del metal base, quedan protegidas de la contaminación de los gases atmosféricos mediante una corriente de gas que se aporta por la tobera de la pistola, concéntricamente al alambre/electrodo.

El proceso de soldadura por arco con gas se denomina también:

- GMAW, gas metal arc welding (ANSI/AWS A3.0).
- 13, Soldadura por arco con gas (UNE-EN 24063).

Si se emplea un gas inerte como protección el proceso se denomina:

- MIG, metal inert gas (ANSI/AWS A3.0).
- 131, soldadura por arco con gas inerte (UNE-EN 24063).

Si se utiliza un gas activo como protección el proceso se denomina:

- MAG, metal active gas (ANSI/AWS A3.0).
- 135, soldadura por arco con gas activo (UNE-EN 24063).

Este proceso suele ser automático o manual, al proceso manual se le denomina también semiautomático.

Ventajas y limitaciones.

Ventajas

- Puede utilizarse para la soldadura de cualquier tipo de material.
- El electrodo es continuo, con lo que aumenta la productividad por no tener que cambiar de electrodo y la tasa de deposición es elevada.
- Se pueden realizar soldaduras en cualquier posición.
- Se pueden realizar soldaduras largas sin que existan empalmes entre cordones, zona de peligro de imperfecciones.
- No se requiere eliminar la escoria, puesto que no existe.

Limitaciones

- El equipo de soldadura es más costoso, complejo y menos transportable que el de SMAW.
- Es difícil de utilizar en espacios restringidos, requiere conducciones de gas y de agua de refrigeración, tuberías, botellas de gas de protección, por lo que no puede emplearse en lugares relativamente alejados de la fuente de energía.
- Es sensible al viento y a las corrientes de aire, por lo que su aplicación al aire libre es limitada.

Este proceso de soldadura se caracteriza por:

- Ausencia de escoria.
- Alimentación automática del hilo.
- La gran densidad de corriente que admite.
- Gran flexibilidad de regulación.

De estas características se derivan, entre otras, las siguientes ventajas:

- Reduce el tiempo y coste de las operaciones: porque el hilo continuo evita pérdidas de material y los tiempos de cambio de electrodo, con ventaja sobre el SMAW. En el SMAW el peso de puntas de electrodo no utilizadas, las proyecciones y el metal volatilizado representan unas pérdidas del orden del 20% mientras que en el MIG/MAG no sobrepasan el 5%.

- No requiere una pericia especial en el operario: porque el soldador sólo debe vigilar la posición de la pistola y mantener la velocidad de avance, comprobando que la alimentación del hilo y del gas protector son las correctas.
- Alto rendimiento de soldadura con buena calidad: porque admite elevadas densidades de corriente al ser muy pequeña la longitud del hilo bajo tensión: de 40 a 50 mm como máximo. Como consecuencia de la alta velocidad de avance, disminuye la anchura de la zona afectada térmicamente (ZAT), hay menos tendencia al aumento de tamaño de grano, menos probabilidad de transformaciones en el metal base y menos deformaciones. Además no produce escoria, permitiendo la visión del baño y el control de los defectos, con ventaja sobre el proceso SMAW.
- Buena seguridad e higiene: porque funcionan con bajas tensiones y no producen emisiones de humos o polvos, procedentes de los revestimientos aunque se recomienda una buena ventilación si se suelda bajo CO₂.
- Evita impurezas en el baño fundido: porque el gas protector impide que el O₂, el N₂ y el H₂ de la atmósfera se introduzcan en el baño fundido; y porque un hilo homogéneo, libre de impurezas y sin humedad adherida, es capaz de proporcionar un metal aportado con un contenido en hidrógeno ≤ 5 ml / 100 g, calificado como de “muy débil”.
- Versátil: porque es un proceso aplicable, tanto a materiales férreos, como a no férreos y porque permite soldar en distintas posiciones y espesores.

Entre las limitaciones podemos citar:

- Necesidad de soldar en ambientes tranquilos, en caso contrario pierde eficacia la protección gaseosa.
- Aunque su movilidad es aceptable, resulta inferior que en el proceso SMAW.
- La gama de materiales de aporte es limitada por las dificultades de trefilado de algunos aceros.
- Si no se aplica correctamente presenta una cierta tendencia a provocar falta de fusión.

- El defecto de porosidad es frecuente en este proceso sobre todo si la técnica de aplicación no es correcta.

6.5 SOLDADURA POR ARCO CON ALAMBRE TUBULAR (FLUX CORED ARC WELDING, FCAW):

Descripción y denominaciones.

En el proceso de soldadura por arco con electrodo tubular la soldadura se consigue con el calor de un arco eléctrico establecido entre un alambre-electrodo consumible continuo y la pieza que se suelda. La protección se obtiene del fundente contenido dentro de un alambre tubular pudiéndose utilizar con o sin gas de protección adicional.

Este proceso combina las características del soldeo con electrodo revestido, el soldeo por arco sumergido y el soldeo MIG / MAG.

La técnica de soldadura con alambre tubular se diferencia del soldeo MIG / MAG en el tipo de electrodo que, como su nombre indica, en este caso, es un alambre hueco y relleno de fundente el cual, al fundirse por la acción del arco eléctrico, deposita un metal fundido protegido con una fina capa de escoria.

Dentro del proceso hay dos variantes:

- Autoprotegido (self-shielded o innershielded), que protege el baño de fusión gracias a la descomposición y vaporización del fundente.
- Con protección de gas (gas-shielded o outershielded), que suele ser CO₂ o mezclas de CO₂ y argón, que utiliza gas de protección además de la acción protectora del fundente.

Con ambos métodos el electrodo forma una escoria que cubre y protege el metal de soldadura hasta que solidifica y, en ambos casos, la protección del arco puede soportar el viento y los agentes atmosféricos en mayor medida que los procesos con protección gaseosa (TIG Y MIG/MAG).

El proceso de soldadura por arco con alambre tubular con protección gaseosa se le conoce por los siguientes nombres:

- FCAW-G, gas shielded flux cored arc welding (ANSI/AWS A3.0).
- 136, Soldadura por arco con alambre tubular con protección de gas activo (UNE-EN 24063).
- 137, Soldadura por arco con alambre tubular con protección de gas inerte (UNE-EN 24063).

El proceso de soldadura por arco con alambre tubular sin protección gaseosa se le conoce por los siguientes nombres:

- FCAW-S, self-shielded flux cored arc welding (ANSI/AWS A3.0).
- 114, Soldadura por arco con alambre tubular sin protección gaseosa (UNE-EN 24063).

Aplicaciones. Ventajas y limitaciones.

Este proceso se utiliza para soldar aceros al carbono, aceros de baja aleación, aceros inoxidables y fundiciones, también se suele utilizar para realizar recargues. La elección del tipo de proceso (autoprotegido o protegido con gas) depende de las propiedades mecánicas deseadas, del tipo de alambre disponible y del tipo de unión; generalmente se utiliza el autoprotegido en las mismas aplicaciones en las que se elegiría la soldadura con electrodo revestido, mientras que el proceso protegido por el gas se utilizaría en aquellas aplicaciones en las que se selecciona el proceso MIG/MAG.

Los procesos automáticos con protección de gas, cuando son utilizados al aire libre han de ser necesariamente aislados del viento que desplazaría el gas y dejaría desprotegido el baño de fusión.

Al igual que los electrodos revestidos, los alambres utilizados en este proceso de soldadura generan en sí mismos el gas protector. Dicho gas se produce dentro del arco por lo que le afecta en menor medida las corrientes de aire, haciendo el proceso idóneo para utilizarlo en lugares donde las condiciones climatológicas sean adversas.

La principal desventaja frente al proceso MIG/MAG es el tiempo que se emplea en retirar la escoria, que puede convertirle en un proceso no competitivo, especialmente en las pasadas de raíz. Otra desventaja es la gran cantidad de humos que se producen durante la soldadura.

Respecto a la soldadura con electrodo revestido, este proceso tiene la ventaja de su mayor productividad que se traduce en una reducción del coste de los productos. La mayor desventaja respecto a la soldadura con electrodo revestido es el mayor coste del equipo, que supone una mayor inversión inicial.

Otras características del proceso son:

- No se requiere tanta limpieza del metal base como en la soldadura MIG/MAG.
- Los electrodos tubulares son más caros que los macizos, excepto para algunos aceros de alta aleación.
- En la actualidad está limitado a soldadura de todo tipo de aceros y aleaciones base níquel.

El campo de aplicación de este proceso se centra, con preferencia, en construcciones tales como: astilleros, estructuras de edificios, depósitos de almacenamiento, plataformas petrolíferas, tuberías para gaseoductos y oleoductos, puentes, reparación de maquinaria, etc., siendo posible utilizarlo en cualquier posición.

6.6 CONCLUSIONES

Para la realización de los procedimientos se han seleccionado dos procesos de soldadura, en concreto los procesos GTAW y SMAW, por los motivos que se describen a continuación:

- Aunque todos los procesos de soldadura mencionados anteriormente son aplicables a aceros inoxidables, el proceso GTAW posee las virtudes necesarias para conseguir soldaduras de alta calidad y con una elevada

pureza metalúrgica, exentas de defectos y buen acabado superficial por lo que es ideal para soldaduras de responsabilidad.

- Su principal desventaja es que no resulta económico para soldar materiales con espesores mayores de 10 mm. Por eso, en tubería, se suele emplear en combinación con el proceso SMAW. La raíz se realiza en GTAW completándose la unión mediante soldadura con electrodos revestidos.
- Ambos procesos, se pueden emplear en todo tipo de uniones y posiciones, y presentan menos limitaciones ambientales si los comparamos con el proceso GMAW, que es difícil de utilizar en espacios restringidos y presenta la necesidad de soldar en ambientes tranquilos pues, en caso contrario, pierde eficacia.
- Por otra parte, el equipo de soldadura del proceso GMAW es más costoso, complejo y menos transportable que el SMAW.
- En cuanto al proceso FCAW, respecto a la soldadura con electrodo revestido, tiene la ventaja de su mayor productividad que se traduce en una reducción del coste de los productos, pero presenta la desventaja del mayor coste del equipo, que supone una mayor inversión inicial. Además no es un proceso competitivo en las pasadas de raíz y produce gran cantidad de humos durante la soldadura.

En los Anexos 2 y 3 se describen con más detalle las principales características de los procesos seleccionados.

CAPITULO 7. – SELECCIÓN DEL MATERIAL DE APORTE

En la primera parte de este capítulo se describirán de forma general las características de los productos de aporte de los dos procesos de soldadura para, a continuación, seleccionar los que se emplearán en cada uno de los procedimientos.

7.1. PRODUCTOS DE APORTE PARA LA SOLDADURA GTAW

Electrodos consumibles

Puesto que el TIG es un proceso que no produce escorias y que se realiza en una atmósfera inerte que no provoca reacciones en el baño, el material de aportación deberá tener una composición química similar a la del material base.

Normalmente, se presentan en forma de varillas de distintos diámetros. Estas varillas se clasifican de acuerdo con su composición química y propiedades mecánicas e incluyen aceros en los que el cromo excede del 4% y el níquel no supera el 50% de la aleación.

Los metales de aporte adecuados para la soldadura TIG de aceros inoxidables obedecen a la especificación de la American Welding Society: AWS-A5.9 y a la Norma Europea EN 12072 (Consumibles para el Soldeo. Alambres y Varillas para el soldeo por Arco de Aceros Inoxidables y Resistentes al Calor. Clasificación). En el Anexo 2 (Soldeo TIG) se describen con más detalle los principios de designación de ambas especificaciones.

Gases de protección

Los gases utilizados en soldadura y sus técnicas afines se dividen en:

- Inertes: Argón y Helio.
- Poco activos: Nitrógeno
- Activos: Oxidantes (Dióxido de carbono y Oxígeno) y Reductores (Hidrógeno).

Para soldar aceros inoxidables, en el escudo gaseoso se utiliza argón puro, helio o mezclas de los dos.

En este proyecto se elegirá el argón como escudo gaseoso ya que sus propiedades:

- eficiente protección debido a su alta densidad,
- cebado fácil,
- buena estabilidad de arco,
- económico,
- forma del cordón y penetración,

le convierten en el gas mas utilizado en soldadura TIG.

En el Anexo 4 (Gases de Protección en Soldadura) se describen ampliamente los gases más recomendables para el soldeo por arco protegido con gas y se analizan los factores que afectan a la selección del Argón como gas de protección.

Para la soldadura de tuberías de acero inoxidable debe utilizarse además otro gas, conocido como gas de respaldo, para proteger adecuadamente la pasada de raíz. En el Anexo 4 (Gases de Protección en Soldadura) se describen los dispositivos de aplicación del gas de respaldo par la soldadura de tuberías.

Para los distintos procedimientos de soldadura que se están definiendo utilizaremos como gas de respaldo y de protección Argón identificado como grupo I1 según EN 439. Las tablas 1 y 2 del Anexo 4 (Gases de Protección en Soldadura) muestran sus propiedades y constituyentes (%).

7.2. ELECTRODOS NO CONSUMIBLES PARA LA SOLDADURA GTAW

La misión del electrodo en este proceso es únicamente la de mantener el arco sin aportar material al baño de fusión.

En general, se emplean tres tipos diferentes de electrodos, que se clasifican en función de su composición en:

- Tungsteno puro.

- Tungsteno aleado con torio.
- Tungsteno aleado con zirconio.

Los diámetros disponibles son **1**; **1.6**; 2; **2.4**; **3.2**; 4; 4.8; 5 y 6.4 mm, siendo los más empleados los señalados en negrita. La longitud estándar de estos electrodos es de 150 mm.

7.2.1 Tipos

Tungsteno puro

- Consiste en tungsteno o wolframio puro cuyo punto de fusión es de 3400°C, aproximadamente.
- Es necesario que el extremo del electrodo sea redondeado.
- Se utiliza fundamentalmente con corriente alterna en la soldadura del aluminio y sus aleaciones.

Tungsteno aleado con torio

- El punto de fusión de esta aleación es de 4000°C, aproximadamente.
- Es necesario que el extremo del electrodo sea afilado.
- Se utiliza en soldadura con corriente continua de acero al carbono, baja aleación, inoxidables, cobre, titanio, etc.

Tungsteno aleado con zirconio

- El punto de fusión de esta aleaciones de 3800°C, aproximadamente.
- Es válido para soldar con corriente alterna y continua.
- Se utiliza en la soldadura de materiales ligeros como aluminio y magnesio, en donde sea necesario evitar la contaminación del metal de aporte.

Por ser el más recomendable para soldadura con corriente continua de aceros inoxidables, emplearemos electrodo de tungsteno aleado con un 2% de torio (EWTh-2).

En el apartado 2.5 del Anexo 2 (Soldeo TIG) se describen los tipos de electrodos no consumibles y su simbolización.

7.3. ELECTRODOS PARA LA SOLDADURA SMAW

El material de aportación que se usa en el proceso SMAW es el electrodo, que establece el arco, protege el baño de fusión y al consumirse, produce la aportación de material que, unido al material fundido del metal base, va a constituir la soldadura.

Existen dos grandes tipos de electrodos, los electrodos desnudos y los revestidos. Este proyecto se centrará en los segundos ya que, los electrodos desnudos presentan muchos inconvenientes (dificultad de cebado, manejo y estabilidad del arco, etc.), además, sólo se utilizan con corriente continua, favorecen la absorción del oxígeno y nitrógeno en el metal fundido y reducen las características mecánicas.

Los electrodos revestidos están formados por un alambre de sección circular uniforme, denominado **alma**, de composición normalmente similar a la del metal base. El **revestimiento** que envuelve el alma, concéntrico con ella y de espesor uniforme, está constituido por una mezcla de compuestos que caracterizan el electrodo y que cumple varias funciones:

- Facilitan el cebado y estabilizan el arco.
- Protegen el metal fundido impidiendo la entrada del oxígeno y del nitrógeno del aire que sería muy perjudicial para la soldadura. Para ello:
 - Producen gases que envuelven el arco.
 - Se produce escoria que recubre el metal fundido hasta que solidifique y se enfríe. La escoria protege el metal fundido desde el primer momento de la formación de gotas.
- Compensa la pérdida de elementos de aleación que se produce durante la fusión del metal base, o aporta elementos de aleación para mejorar las características del metal base.

En el Anexo 3 (Soldeo SMAW) se describen los tipos de electrodos según su revestimiento.

Los electrodos adecuados para la soldadura SMAW de aceros inoxidables obedecen a la especificación de la American Welding Society: AWS-A.5.4 y la Norma Europea UNE-EN 1600. Estos electrodos se clasifican de acuerdo con su composición química, propiedades mecánicas y tipo de corriente e incluye aceros en los que el cromo no excede del 4% y el níquel no supera el 37% de la aleación.

En el apartado 8 del Anexo 3 (Soldeo SMAW) se describen los símbolos y códigos numéricos para la designación de los electrodos de acero inoxidable según las dos especificaciones.

En este proyecto, se trabajará con la designación AWS por ser la más sencilla.

En la siguiente tabla se muestran los metales de aportación recomendados para cada tipo de acero inoxidable y proceso de soldadura de acuerdo con la especificación AWS:

Metal Base		Metal de Aportación		
		SMAW	TIG MIG/MAG SAW PAW	FCAW
Austenítico	302 304	E308-XX	ER 308	E308T-X
	304L 304H	E308L-XX E347-XX	ER 380L ER 347	E308T-X E347T-X
	309	E309-XX	ER 309	E309T-X
	309S	E309L-XX E309Nb-XX	ER 309L ER 309Nb	E309LT-X E309NbLT-X
	310 314	E310-XX	ER 310	E310T-X
	316	E316-XX	ER 316	E316T-X
	316L	E316L-XX	ER 316L	E316LT-X
	316LN	E316L-XX E308LMo-XX	ER 316L ER 308LMo ER 316Lsi (MIG/MAG)	E316LT-X E308LMo-X
	317	E317-XX	ER 317	E317T-X
	317L	E317L-XX	ER 317L	E317LT-X
	321	E308L-XX E347-XX	ER 321	E308LT-X E347T-X
	347	E308L E347	ER 347	E308LT-X E347T-X
	348	E347	ER 347	E347T-X
	Ferrítico	430, 446 ó similar	E410-XX E318-XX E310-XX E309-XX	ER 430 ER 318 ER 310 ER 309	E430T-X E318T-X E310T-X E309T-X
Martensítico	410, 420 ó similar	E410-XX E410NiMo-XX E310-XX E308-XX E309-XX	ER 410 ER 420 ER 310 ER 308 ER 309	E410T-X E410NiMoT-X E410NiTiT-X E310T-X E308T-X E309T-X
Austeno- Ferrítico	UNS S31803 (acero 22% cromo)	E2209-XX	ER 2209	2205 ⁽¹⁾
	Otros Aceros 25% cromo	E2553-XX	ER 2553	

TABLA 7.1: METALES DE APORTACIÓN PARA ACEROS INOXIDABLES

7.4. SELECCIÓN DE CONSUMIBLES

La “mezcla” de elementos de aleación del material de base y del aportado debe realizarse en las proporciones adecuadas para conseguir la estructura deseada, pues sin un apropiado equilibrio de elementos de aleación es imposible llegar a resultados satisfactorios.

Por tanto, es importante entender las características de los materiales base, puesto que los elementos de aleación que definen dichas características nos servirán también para seleccionar el metal de aporte más adecuado.

En el Capítulo 5 se han definido los distintos tipos de aceros inoxidables en función de sus aleaciones por lo que podemos deducir la influencia de los distintos elementos en las características finales del material. En base a esto, a continuación se pasará a describir brevemente los elementos de aleación que afectan a cada uno de los materiales que se emplearán en los procedimientos de soldadura definidos en este proyecto, para deducir así las condiciones fundamentales del material de aporte a seleccionar.

La selección de los consumibles a utilizar para cada proceso y material base definido en este proyecto, se ha realizado siguiendo las recomendaciones de las normas que se enumeran a continuación:

- ANSI/AWS A5.9-93 – Specification for Bare Stainless Steel Welding Electrodes and Rods.
- ANSI/AWS A5.4-92 – Specification for Stainless Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding.
- ANSI/AWS A5.14/A5.14M-97 - Specification for Nickel and Nickel-Alloy Bare Welding Electrodes and Rods.
- ANSI/AWS A5.11/A5.11M-97 - Specification for Nickel and Nickel-Alloy Electrodes for Shielded Metal Arc Welding.

Las dos primeras (AWS A5.9 y AWS A5.4) se han utilizado en la selección de la clasificación de las varillas y electrodos que deben utilizarse para el soldeo de la tubería de acero inoxidable tipo 316L y de acero inoxidable duplex tipo 22Cr.

Tanto en AWS A5.9 como en AWS A5.4 se indica el tipo de consumible más adecuado para cada caso. Pero no se encuentra en ninguna de las dos especificaciones referencia a los consumibles más adecuados para el soldeo de tubería de acero inoxidable tipo 6Mo.

Tras consultar la bibliografía de fabricantes de consumibles (Lincoln Electric, Böhler-Thissen y Metrode), se observa que todos coinciden en recomendar aleaciones de níquel-cromo-molibdeno para soldar este tipo de acero inoxidable.

Por ello, para la selección de la varilla y el electrodo más adecuados para la soldadura de acero inoxidable tipo 6Mo se han utilizado las normas AWS A5.14 y AWS A5.11.

A continuación se describen los consumibles seleccionados:

Acero inoxidable tipo 316L: El cromo y el níquel son los dos elementos de aleación fundamentales, siendo el primero formador de ferrita y el segundo de austenita. La adición del níquel estabiliza la fase austenítica mejorando la resistencia a la corrosión. Además el empleo de bajo carbono mejora las características de dureza y resistencia por lo que dota a este material de una importante resistencia a la corrosión en medio acuoso.

Conclusión: Se debe emplear, tanto para el proceso GTAW como para el SMAW, un metal de aporte con las mismas características por lo que se elegirá uno con idéntica denominación que el material base (AISI) y para todas las posiciones de soldeo. Para un material base de acero inoxidable tipo 316L, las especificaciones AWS A5.9 y AWS A5.4 recomiendan:

- Varilla GTAW: AWS-A5.9 ER316LSi. La composición nominal (%) de esta clasificación es 19 Cr, 12.5 Ni y 2.5 Mo. Se elegirá una varilla con bajo contenido en carbono (0.03% max.) para reducir la posibilidad de precipitación intergranular de carburos y con un mayor contenido en silicio, ya que este mejora el comportamiento del baño de metal de soldadura en procesos TIG.
- Electrodo SMAW: AWS-A5.4 E316L-16. La composición nominal (%) de este metal de soldadura es 18.5 Cr, 12.5 Ni, 2.5 Mo. La presencia de

molibdeno proporciona resistencia a la fluencia en caliente a elevadas temperaturas. Además, el bajo contenido en carbono (0.04% max) del metal de soldadura depositado por este electrodo, reduce la posibilidad de la precipitación de carburos en los límites de grano y por tanto, incrementa la resistencia a la corrosión intergranular sin el uso de estabilizadores como el niobio o el titanio. La designación –16 indica que puede ser utilizado en todas las posiciones de soldeo y con corriente alterna (CA) o continua (CCEP).

Acero Inoxidable tipo 6%Mo: Los elementos de aleación básicos que definen este material son los mismos que en el caso del inoxidable austenítico tipo 316L, pero aquí se muestran incrementos mayores en cromo, níquel y en molibdeno, tratándose por tanto de un acero inoxidable enteramente austenítico con una mayor resistencia a la corrosión. La combinación de contenidos altos de nitrógeno y molibdeno aumenta la resistencia a la corrosión por picadura y grieta, por eso, este material pertenece a la nueva generación de los denominados superausteníticos.

Conclusión: Debemos seleccionar un material de aporte que presente iguales o mejores características que el metal base. Los aceros inoxidables con el 6% Molibdeno se sueldan, en general, con aleaciones base níquel con alto contenido cromo/ molibdeno. Siguiendo las recomendaciones de AWS A5.14 y AWS A5.11, y tras consultar la bibliografía de varios fabricantes de consumibles especializados en este tipo de materiales de aporte (Lincoln Electric, Böhler-Thissen y Metrode), se han seleccionado los siguientes:

- Varilla GTAW: AWS-A5.14 ERNiCrMo-13. La composición nominal (%) del metal soldado con esta clasificación es 59 Ni, 23 Cr, 16 Mo, 1 Fe y bajo carbono.
- Electrodo SMAW: AWS-A5.11 ENiCrMo-13. La composición nominal (%) del metal soldado con esta clasificación es 59 Ni, 23 Cr, 16 Mo, 1 Fe y bajo carbono.

Acero inoxidable tipo Duplex: La presencia del cromo y de pequeñas cantidades níquel en este material hace que presente una estructura ferrítica-austenítica y al mismo tiempo mejora la resistencia a la corrosión.

Conclusión: El metal de aporte seleccionado debe presentar cromo en una cantidad igual o superior a la del metal base (UNS S31803), es decir en torno a un 22%. Tanto AWS A5.9 como AWS A5.4 recomiendan para el soldeo de acero inoxidable duplex tipo 22Cr los siguientes consumibles:

- Varilla GTAW: AWS A5.9 ER2209. La composición nominal (%) de esta clasificación es 22.5 Cr, 8.5 Ni, 3 Mo, 0.15 N. Las varillas con esta clasificación se utilizan fundamentalmente para la soldadura de aceros inoxidables duplex con un porcentaje aproximado de 22% en Cr, como UNS S31803. El metal de soldadura depositado por esta aleación tiene una microestructura duplex consistente en una matriz austenítica-ferrítica. Por ello se caracterizan por su resistencia a la corrosión por picadura y a la corrosión por esfuerzo
- Electrodo SMAW: AWS A5.4 E2209-16. La composición nominal (%) de este metal de soldadura es 25.5 Cr, 9.5 Ni, 3 Mo, 0.15 N. Los electrodos con esta composición se usan principalmente para soldar aceros inoxidables duplex que contengan aproximadamente un 22% Cr, como es nuestro caso. El metal de soldadura depositado por estos electrodos contiene una matriz austenítica-ferrítica, por lo que combina una mejor resistencia a la corrosión por picadura y a la corrosión por esfuerzo. La designación -16 indica que puede ser utilizado en todas las posiciones de soldeo y con corriente alterna (CA) o continua (CCEP).

En el Anexo 1 se muestra la composición química de las distintas clasificaciones.

CAPITULO 8. – ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO

8.1. INTRODUCCION

La norma UNE-EN ISO 15609-1 (Especificación y cualificación de procedimientos de soldeo para materiales metálicos. Especificación de procedimiento de soldeo. Parte 1: soldeo por arco) especifica los requisitos en cuanto al contenido de las especificaciones de procedimientos de soldeo para los procesos de soldeo por arco.

Las variables enumeradas en esta norma son aquéllas que influyen en la calidad de la unión soldada. El contenido técnico de la especificación del procedimiento de soldeo (WPS) será:

1.- Relacionados con el fabricante

- Identificación del fabricante.
- Identificación de la WPS.
- Referencias al registro de cualificación del procedimiento de soldeo (WPQR) u otros documentos que sean requeridos (véase el Anexo C de EN ISO 15607: 2003).

2.- Relacionados con el material base

2.1.- Tipo de material base

- Designación del material(es) y referencia a una norma(s).
- Número(s) del grupo(s) dado de acuerdo con CR ISO 15608.

Una WPS puede cubrir un grupo de materiales.

2.2.- Dimensiones del material

- Rangos de espesores de la unión.
- Rangos del diámetro exterior para tuberías.

3.- Comunes a todos los procedimientos de soldeo

3.1.- Proceso de soldeo

Proceso(s) de soldeo utilizado de acuerdo con EN ISO 4063.

3.2.- Diseño de la unión

- Un esquema del diseño o configuración de la unión y las dimensiones o referencia a normas que proporcionen tal información.
- Secuencia de pasadas de la soldadura dada en el esquema, si resulta esencial para las propiedades de la soldadura.

3.3.- Posición de soldeo

Posición de soldeo aplicable de acuerdo con EN ISO 6947.

3.4.- Preparación de la unión

- Método de preparación de la unión, limpieza, desengrasado, incluyendo métodos a utilizar.
- Plantillas, sujeciones y soldadura de punteo.

3.5.- Técnica de soldeo

- Oscilación, si es aplicable. Para el soldeo manual, la anchura máxima de la pasada.
- Pistola, electrodo y/o ángulo del hilo.

3.6.- Resanado por el reverso

- El método a utilizar.
- Profundidad y forma.

3.7.- Respaldo

- El método y tipo de respaldo, material de respaldo y dimensiones.
- Para respaldo con gas, especificación del gas de acuerdo con EN 439.

3.8.- Consumibles de soldeo

- Designación, marca (fabricante y marca comercial).
- Dimensiones (tamaño).
- Manejo (secado en estufa, exposición a la atmósfera, resecado, etc).

3.9.- Parámetros eléctricos

- Tipo de corriente (corriente alterna (CA) o corriente continua (CC)) y polaridad.
- Detalles del soldeo pulsado (ajustes de la máquina, selección del programa), si es aplicable.
- Rango de intensidad.

3.10.- Soldeo mecanizado y automatizado

Rango de la velocidad de desplazamiento.

Rango de la velocidad de alimentación del alambre/banda.

Si el equipo no permite el control de cualquiera de las anteriores variables, se especificarán en su lugar los ajustes de la máquina. En estas circunstancias, el rango de aplicación para la WPS queda limitado a ese tipo particular de equipos. Esto se aplica a los apartados 3.9 y 3.10.

3.11.- Temperatura de precalentamiento

- La temperatura mínima aplicada en el comienzo del soldeo y durante el soldeo.
- Si no se requiere precalentamiento, la temperatura más baja de la pieza de trabajo antes del soldeo.

3.12.- Temperatura entrepasadas

Máxima, y si fuera necesario mínima, temperatura entre pasadas.

3.13.- Mantenimiento de la temperatura del precalentamiento

La temperatura mínima en la zona del cordón que debe mantenerse si el soldeo se interrumpe.

Véase EN ISO 13916 para la aplicación de 3.11, 3.12 y 3.13.

3.14.- Post calentamiento para eliminación de hidrógeno

- Rango de temperatura.
- Tiempo de mantenimiento mínimo.

3.15.- Tratamiento térmico post soldadura

Se especificará el tiempo mínimo y rango de temperaturas para el tratamiento térmico post soldadura o envejecimiento o se hará referencia a otras normas que especifiquen esta información.

3.16.- Gas de protección

Designación de acuerdo con EN 439 y, cuando sea aplicable, la composición, fabricante y marca comercial.

3.17.- Aporte térmico

Rango del aporte térmico (si se especifica).

4.- Específicos para un grupo de procesos de soldeo

4.1.- Proceso 111 (Soldeo por arco con electrodo revestido)

Para el proceso 111, la longitud depositada por electrodo consumido o la velocidad de desplazamiento.

4.2.- Proceso 12 (Soldeo por arco sumergido)

- Para sistemas con múltiples electrodos, el número y configuración de los alambres y la polaridad.
- Distancia tubo de contacto/pieza: Distancia desde el extremo del tubo de contacto hasta la superficie de la pieza de trabajo.
- Fundente: Designación, fabricante y marca comercial.
- Metal de aporte adicional.
- Rango de tensión del arco.

4.3.- Procesos 13 (Soldeo por arco protegido con gas y electrodo de aporte)

- Caudal de gas de protección y diámetro de la tobera.
- Número de alambres.
- Metal de aporte adicional.
- Distancia desde el extremo del tubo de contacto hasta la superficie de la pieza de trabajo.
- Rango de tensión del arco.
- Modo de transferencia del material.

4.4.- Procesos 14 (Soldeo con protección gaseosa y electrodo no consumible)

- Electrodo de wolframio: diámetro y designación según la norma EN 26848.
- Caudal de gas de protección y diámetro de la tobera.

- Materiales de aporte adicionales.

4.5.- Procesos 15 (Soldeo por arco plasma)

- Parámetros del gas plasmágeno, por ejemplo composición, diámetro de la tobera, caudal.
- Caudal del gas de protección y diámetro de la tobera.
- Tipo de pistola.
- Distancia tubo de contacto/pieza: Distancia desde la tobera a la superficie de la pieza de trabajo.

8.2 DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES DE LOS PROCEDIMIENTOS DE SOLDEO

A continuación, se describirán las variables de los procedimientos de soldeo para definir así las condiciones para la ejecución de las pruebas de los procedimientos, y su rango de cualificación. Las variables se basarán en la norma UNE EN ISO 15614-1 (Especificación y cualificación de procedimientos de soldeo para materiales metálicos – ensayo del procedimiento de soldeo – Parte 1: Soldeo por arco y con gas de aceros y soldeo por arco del níquel y sus Aleaciones).

1.- Relacionados con el fabricante

Una cualificación de una pWPS obtenida por un fabricante mediante prueba del procedimiento de soldeo de acuerdo con esta norma, es válida para soldar en talleres o en campo bajo los mismos controles técnicos y de calidad de dicho fabricante.

El soldeo esta bajo el mismo control técnico y de calidad cuando el fabricante que realizó la prueba del procedimiento de soldeo mantiene la total responsabilidad de todo el soldeo realizado con dicho procedimiento.

2.- Relacionados con el material

2.1.- Sistema de agrupamiento

Con el fin de minimizar el número de pruebas de procedimiento de soldeo, el acero, el níquel y sus aleaciones se han agrupado de acuerdo con CR ISO 15608.

Deberá obtenerse una cualificación del procedimiento de soldeo separada para cada metal base o combinación de metales base no contemplados en el sistema de agrupamiento.

Si un metal base pertenece a dos grupos o subgrupos de materiales, siempre se clasificará como perteneciente al grupo o subgrupo con numeración más baja.

NOTA: No se requiere recualificación por pequeñas diferencias en composición entre grados similares debido a la utilización de normas nacionales.

En el apartado 5.10 de la Memoria Descriptiva se enumeran los grupos a los que pertenecen los materiales de los procedimientos de soldeo que estamos definiendo según CR ISO 15608.

2.2.- Aceros

Los rangos de cualificación figuran en la Tabla 3 de la norma UNE EN ISO 15614-1 (Anexo 1 – Normas, términos, definiciones y tablas).

Los rangos de cualificación para los grupos de aceros de este proyecto serían:

Material	Grupo	Subgrupo	Rango de cualificación
Acero Inoxidable Austenítico, Tipo 316L	8	8.1	8 ^b – 8
Acero Inoxidable Austenítico, Tipo 6Mo	8	8.2	8 ^b – 8
Acero Inoxidable Austenítico/Ferrítico, tipo Duplex 22Cr	10	10.1	10 ^a - 10
(a) Cubre los aceros del mismo subgrupo y aquellos subgrupos inferiores dentro del mismo grupo.			
(b) Cubre todos los aceros del mismo subgrupo			

2.3.- Aleaciones de Níquel

Los rangos de cualificación figuran en la Tabla 4 de la norma UNE EN ISO 15614-1 (Anexo 1 – Normas, términos, definiciones y tablas). Estos rangos no deben tenerse en cuenta en nuestros procedimientos.

2.4.- Uniones disimilares entre acero y aleaciones de níquel

Los rangos de cualificación figuran en la Tabla 4 de la norma UNE EN ISO 15614-1 (Anexo 1 – Normas, términos, definiciones y tablas). Estos rangos no deben tenerse en cuenta en nuestros procedimientos.

2.5.- Espesor del metal base y diámetro del tubo

2.5.1 General

- Para la cualificación de un único proceso, el espesor, t , tendrá el siguiente significado
 - a) Para uniones a tope: el espesor del metal base.
 - b) Para uniones en ángulo: los espesores de metal base. Para cada rango de espesor cualificado según la tabla 6 de UNE EN ISO 15614-1 (Anexo 1 – Normas, términos, definiciones y tablas), hay también un rango de cualificación asociado de espesor de garganta, “ a ”, para soldaduras en ángulo en una única pasada según 2.5.2.
 - c) Para ramificaciones adosadas: los espesores de metal base.
 - d) Para ramificaciones pasantes o empotradas: los espesores de metal base.
 - e) Para una unión en T de chapa con penetración completa: el espesor de metal base.
- Para la cualificación con procesos múltiples, la contribución al espesor registrado en cada proceso se utilizará como base para el rango de cualificación de los procesos de soldeo individuales.

2.5.2.- Rango de cualificación para uniones a tope.

La cualificación de una prueba de procedimiento de soldeo con un material de espesor t , incluirá la cualificación para espesores en los rangos establecidos en la tabla 5 y la tabla 6 de la norma UNE EN ISO 15614-1 (Anexo 1 – Normas, términos, definiciones y tablas).

Cuando la soldadura en ángulo es cualificada por una soldadura a tope, se aplica la tabla 6 UNE EN ISO 15614-1 (Anexo 1 – Normas, términos, definiciones y tablas).

2.5.3.- Rango de cualificación para diámetros de tuberías y ramificaciones

La cualificación de una prueba de procedimiento de soldeo con un diámetro D, incluye la cualificación para los diámetros en los rangos que figuran en la Tabla 7 de la norma UNE EN ISO 15614-1 (Anexo 1 – Normas, términos, definiciones y tablas).

La cualificación para chapas también cubre tubos cuando el diámetro exterior es > 500 mm, o cuando el diámetro sea > 150 mm soldado en las posiciones PA y PC con el tubo girando.

Dependiendo de las dimensiones (espesor y diámetros) de la probeta o probetas utilizadas en la cualificación del procedimiento, con las variables descritas en el apartado 2.5 y las tablas 5, 6 y 7 de la norma UNE EN ISO 15614-1, se obtendrá el rango de cualificación para espesores de material y diámetros de tubos. Por tanto, en función del rango de espesores y diámetros que se desee cubrir, se deberán seleccionar las dimensiones de nuestras probetas. La selección del espesor de pared de la tubería depende de su capacidad para resistir presión interna bajo unas condiciones dadas, por ello estos rangos vienen definidos por las especificaciones de tubería de cada proyecto offshore en particular, pero como en este proyecto se desconoce este dato, se considerará que las dimensiones de los sistemas de tubería de aceros inoxidable empleados en la fabricación de cualquier módulo deben ser lo más amplias posibles.

La tabla 2 del apartado 1.5 el Anexo 1 (Normas, términos, definiciones y tablas), muestra las dimensiones estandarizadas de los tubos de acero inoxidable de acuerdo con ANSI B36.19. Dicha tabla muestra que los tamaños de fabricación estándar oscilan desde 1/8” a 30” de diámetro y desde 1.25 mm a 12.7 mm de espesor de pared. La bibliografía consultada indica que, para sistemas de tubería en proyectos offshore, los diámetros comprendidos entre 1/8” y 1/2” son prácticamente inexistentes y suele trabajarse con espesores a partir del Sch10S, por lo que se supondrá que los rangos a cubrir por nuestros procedimientos serán de 3/4” en adelante para diámetros y de 2.11 mm a 12.50 mm para espesores.

Para que dichos rangos queden cubiertos, estos son los procedimientos de soldadura que se deben definir:

Material	WPS No	WPQR No	Proceso de Soldeo	Diámetro, Ø (pulgadas)	Espesor, t (mm)	Rango de Diámetro Cualificado	Rango de Espesor Cualificado
Acero Inoxidable Austenítico, Tipo 316L	WPS-001	WPQR-001-A	GTAW	1" (33.40 mm)	2.77 mm (sch 10S)	$\geq \frac{3}{4}"$	1.9 mm – 5.54 mm
		WPQR-001-B	GTAW + SMAW	10" (273.10 mm)	10.97 mm (sch 80S)	$\geq 5"$	3 mm – 22 mm
Acero Inoxidable Austenítico, Tipo 6Mo	WPS-002	WPQR-002-A	GTAW	1" (33.40 mm)	2.77 mm (sch 10S)	$\geq \frac{3}{4}"$	1.9 mm – 5.54 mm
		WPQR-002-B	GTAW + SMAW	10" (273.10 mm)	10.97 mm (sch 80S)	$\geq 5"$	3 mm – 22 mm
Acero Inoxidable Austero-Ferrítico, tipo Duplex 22Cr	WPS-003	WPQR-003-A	GTAW	1" (33.40 mm)	2.77 mm (sch 10S)	$\geq \frac{3}{4}"$	1.9 mm – 5.54 mm
		WPQR-003-B	GTAW + SMAW	10" (273.10 mm)	10.97 mm (sch 80S)	$\geq 5"$	3 mm – 22 mm

3.- Comunes a todos los procedimientos de soldeo

3.1.- Procesos de soldeo

Cada grado de mecanización se cualificará independientemente (manual, parcialmente mecanizada, totalmente mecanizada y automática).

Del mismo modo, no está permitido cambiar el tipo de implantación (manual, mecanizada o automatizada).

La cualificación es válida únicamente para el(los) proceso(s) de soldeo utilizado(s) en la prueba de procedimiento de soldeo.

Para procedimientos con procesos múltiples, la cualificación del procedimiento de soldeo se puede llevar a cabo mediante pruebas de procedimiento de soldeo separados para cada proceso de soldeo. También es posible realizar la prueba del procedimiento de soldeo ensayando un procedimiento multiproceso. La cualificación

de tal prueba solo es válida para la secuencia de aplicación de los procesos que se haya desarrollado durante la prueba de cualificación.

NOTA: No está permitido utilizar un procedimiento multiproceso para cualificar un proceso simple salvo que los ensayos se realicen de acuerdo con esta norma.

3.2.- Posiciones de soldeo

Las posiciones de soldeo se definen de acuerdo con EN ISO 6947. Según UNE EN ISO 15614-1, el soldeo de un cupón de prueba en una posición (tubo o chapa) cualifica para el soldeo en todas las posiciones (tubo o chapa), excepto para PG y J-L045 donde se requiere una prueba del procedimiento de soldeo específica.

Cuando se especifican requisitos de impacto y/o dureza, los ensayos de impacto se realizarán en la posición de mayor aporte térmico de la soldadura y el ensayo de dureza se realizará en la posición con menor aporte térmico de la soldadura con la finalidad de cualificar todas las posiciones.

Por ejemplo, la posición de mayor aporte térmico para soldaduras a tope normalmente es la posición PF y la de menor aporte la posición PC. Para soldaduras de tuberías en posición fija, los ensayos de dureza se deben tomar de la posición de soldeo en bajo techo.

Cuando no se especifican requisitos de impacto ni dureza, el soldeo en cualquier posición cualifica para el soldeo en todas las posiciones, tanto en chapa como en tubería.

Para satisfacer simultáneamente los requisitos de dureza e impacto se requiere dos cupones de ensayo en diferentes posiciones salvo que se requiera la cualificación de una única posición. Cuando la cualificación se requiere para todas las posiciones, ambos cupones de prueba deben ensayarse mediante inspección visual y ensayos no destructivos.

Para materiales del grupo 10, las posiciones de mayor y menor aporte térmico serán ensayadas tanto a impacto como mediante ensayo de dureza.

NOTA: Otros ensayos destructivos puede ser realizados a partir de cualquier cupón. Algunos de estos cupones de soldadura pueden ser de longitud reducida.

En el apartado 1.4 del Anexo 1 aparecen representadas las posiciones de soldeo aplicables de acuerdo con EN ISO 6947 y AWS D1.1/D1.1M. Para los procedimientos de soldadura que se están definiendo en este proyecto la posición H-L045 (6G) que cubre todas las posiciones de soldeo posibles y además satisface simultáneamente los requisitos de dureza e impacto.

3.3.- Tipo de unión/soldadura

En los procedimientos que se están definiendo se soldarán uniones a tope con penetración total por un solo lado sin respaldo y con depósitos de pasadas múltiples.

Según UNE EN ISO 15614-1, el rango de cualificación para los tipos de uniones soldadas es el utilizado en la prueba del procedimiento de soldeo teniendo en cuenta las limitaciones que puedan existir en otros apartados (p. e. diámetro, espesor) y, adicionalmente:

- a) Las soldaduras a tope cualifican las soldaduras a tope con penetración total y parcial y las soldaduras en ángulo. Se requerirán ensayos de soldaduras en ángulo cuando esta sea la forma predominante del soldeo en producción.
- b) Las soldaduras a tope de tubo también cualifican las ramificaciones con ángulos $\geq 60^\circ$.
- c) Las uniones en T soldadas a tope solo cualifican las uniones en T soldadas a tope y las soldaduras en ángulo (véase a)
- d) Las soldaduras realizadas por un solo lado sin respaldo cualifican a las soldaduras realizadas por ambos lados y a las soldaduras con respaldo.
- e) Las soldaduras realizadas con respaldo cualifican a las soldaduras realizadas por ambos lados.
- f) Las soldaduras realizadas por ambos lados sin resanado cualifica a las soldaduras realizadas por ambos lados con resanado.
- g) El soldeo en ángulo solo cualifica al soldeo en ángulo.

- h) No se permite cambiar los depósitos mediante pasadas múltiples por pasada única (o pasada única por ambos lados) o viceversa para un determinado proceso.

De todo esto, se puede deducir que los procedimientos de este proyecto cualifican a:

- Soldaduras a tope con penetración total y parcial, soldaduras en ángulo y ramificaciones con ángulos $\geq 60^\circ$.
- Soldaduras realizadas por un solo lado sin respaldo, realizadas por ambos lados y las soldaduras con respaldo.
- Depósitos con múltiples para los procesos GTAW y SMAW.

3.4.- Material de aporte, designación

Los materiales de aporte cubren a otros materiales de aporte siempre y cuando tenga equivalentes propiedades mecánicas, mismo tipo de recubrimiento o fundente, misma composición nominal y el mismo o menor contenido de hidrógeno de acuerdo con la designación en la apropiada Norma Europea para el material de aporte considerado.

3.5.- Material de aporte, marca (fabricante y marca comercial)

Cuando se requieren ensayos de impacto, para los procesos 111, 114, 12, 136 y 137, el rango de validez queda restringido a la marca específica utilizada en el ensayo del procedimiento. Se permite cambiar la marca específica de material de aporte por otro con la misma designación de la sección obligatoria de su clasificación cuando se suelde un cupón de prueba adicional. Este cupón de prueba será soldado utilizando los mismos parámetros de soldeo que el ensayo original y sólo se realizarán probetas de ensayo de impacto del metal depositado.

Para las especificaciones de procedimiento WPQR-001-B, WPQR-002-B y WPQR-003-B se deberá tener en cuenta que la marca del material de aporte (fabricante y marca comercial) es una variable esencial.

NOTA 1: Este apartado no se aplica a hilos macizos y varillas con la misma designación y composición química nominal.

NOTA 2: En este proyecto no se seleccionarán las marcas de los consumibles a utilizar porque se considera que esta decisión debe ser tomada con datos reales de soldabilidad. Solo se seleccionará la clasificación y designación de los materiales de aporte.

3.6.- Tamaño del material de aporte

Se permite un cambio en el tamaño del material de aporte asegurando que se satisfacen los requisitos del apartado 3.4.

3.7.- Tipo de Corriente

La cualificación es válida para el tipo de corriente (alterna (CA), continua (CC) o pulsada) y para la polaridad utilizada en la prueba del procedimiento de soldeo. Para el proceso 111, la utilización de corriente alterna cualifica para el uso de corriente continua, ambas polaridades, siempre que no se requieran ensayos de impacto.

El tipo de corriente a utilizar en los procedimientos definidos en este proyecto estará relacionada con el proceso empleado:

Proceso	Corriente	Polaridad
GTAW	CC	(-) → para todas las pasadas
SMAW	CC	(-) → para pasada de raíz (+) → para resto de pasadas

3.8.- Aporte térmico

Cuando se requieran ensayos de impacto, el límite superior del aporte térmico cualificado es un 25% mayor que el utilizado en el cupón de prueba.

Cuando se requieran ensayos de dureza, el límite inferior del aporte térmico cualificado es un 25% menor que el utilizado en el cupón de prueba.

El aporte térmico se calcula de acuerdo con EN 1011-1 mediante la siguiente expresión:

$$Q \text{ (KJ/mm)} = \frac{\text{Int} \times \text{Volt} \times 60}{V \times 10^3}$$

Int = amperios
Volt = voltios
V = velocidad en mm/minutos

Si los ensayos del procedimiento de soldeo se han realizado con ambos, un aporte térmico bajo y uno alto, entonces todos los aportes térmicos intermedios están cualificados.

3.9.- Temperatura de precalentamiento

Cuando se requiera precalentamiento, el límite inferior de cualificación es la temperatura de precalentamiento nominal aplicada al comienzo del ensayo del procedimiento de soldeo.

3.10.- Temperatura entre pasadas

El límite superior de la cualificación corresponde a la mayor temperatura entre pasadas alcanzada durante la prueba del procedimiento de soldeo.

3.11.- Post-calentamiento para eliminación de hidrógeno

La temperatura y duración del post-calentamiento para eliminación de hidrógeno no podrá reducirse. El Post-calentamiento no podrá ser omitido pero si puede ser añadido.

3.12.- Tratamiento térmico posterior al soldeo

No se permite añadir o eliminar un tratamiento térmico posterior al soldeo.

El rango de temperaturas cualificado es la temperatura de mantenimiento utilizada en la prueba del procedimiento de soldeo $\pm 20^{\circ}\text{C}$ a no ser que se especifique otra cosa. Cuando sea requerido, las velocidades de calentamiento y de enfriamiento, así como el tiempo de mantenimiento, se determinarán en función del componente fabricado.

3.13.- Tratamiento térmico inicial

No se permite ningún cambio en la condición de tratamiento térmico inicial previo al soldeo de los materiales endurecibles por precipitación.

4.- Especifico del proceso

4.1.- Procesos 131, 135, 136 y 137

4.1.1 La cualificación obtenida para el gas de protección está limitada al símbolo del gas de acuerdo con EN 439. No obstante, el contenido de CO_2 no

excederá del 10% de aquel utilizado durante la cualificación del procedimiento. Los gases de protección no recogidos por EN 439 quedan restringidos a la composición nominal utilizada en la prueba.

4.1.2 La cualificación obtenida está limitada al sistema de alambre utilizado durante la prueba del procedimiento de soldeo (por ejemplo sistemas de alambre único o de alambre múltiple).

4.1.3 Para los alambres macizos y alambres huecos con relleno metálico, la cualificación empleando transferencia por cortocircuito sólo cualifica transferencia por cortocircuito. La cualificación empleando transferencia globular o spray cualifica tanto la transferencia globular como la spray.

Los apartados 4.1.1, 4.1.2 y 4.1.3 no son aplicables a este proyecto.

4.2.- Proceso 141

4.2.1 La cualificación obtenida para el gas de protección y de respaldo está limitada al símbolo del gas de acuerdo con EN 439. La cualificación de los gases de protección no contemplados por EN 439 queda restringida a la composición nominal utilizada durante la prueba.

4.2.2 El ensayo del procedimiento de soldeo realizado sin gas de respaldo cualifica el procedimiento de soldeo con gas de respaldo.

Como ya se definió en el apartado 7.1 del Capítulo 7 de esta Memoria Descriptiva, se utilizará como gas de respaldo y de protección Argón identificado como grupo I1 según EN 439.

4.2.3 El soldeo con material de aporte no cualifica al soldeo sin material de aporte y viceversa.

En el Anexo 7 se adjuntan los formatos de WPS y WPQR que se emplearán para la cualificación de los distintos procedimientos de soldadura, en lo cuales se muestran los puntos arriba mencionados.

CAPITULO 9.- DISEÑO DEL CUPON DE PRUEBA

9.1.- PRUEBA DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDEO

El soldeo y ensayo de los cupones de prueba estará de acuerdo con los capítulos 6 y 7 de la norma UNE EN ISO 15614-1.

El soldador u operador de soldeo que desarrolle satisfactoriamente la prueba del procedimiento de soldeo según esta norma, queda cualificado en el rango apropiado de cualificación establecido en EN 287-1, siempre que se cumplan los requisitos de las pruebas relevantes.

9.2.- CUPÓN DE PRUEBA

9.2.1.- General

La unión soldada correspondiente a los procedimientos de soldeo que se están cualificando estará representada por un cupón de prueba normalizado, como se describe en el apartado 9.2.2.

9.2.2.- Forma y dimensiones de los cupones de prueba

La longitud del cupón de prueba, o el número de ellos, será lo suficiente para permitir que se realicen todos los ensayos requeridos.

Pueden prepararse cupones de prueba adicionales, o que superen el tamaño mínimo, con el fin de disponer de material para ensayos adicionales y/o contra ensayos (véase 9.3.6).

Para todos los cupones de prueba excepto para las ramificaciones (véase Figura 4 del apartado 1.3 del Anexo 1) y para las uniones en ángulo (véase Figura 3 de apartado 1.3 del Anexo 1), el espesor del material, t , será el mismo tanto para las chapas como para los tubos a soldar.

El espesor y/o el diámetro exterior del tubo del cupón de prueba se han seleccionado en el apartado 8.2 del Capítulo 8 de esta Memoria Descriptiva.

De acuerdo con la norma UNE EN ISO 15614-1, la forma y dimensiones mínimas de los cupones de prueba serán las siguientes:

9.2.2.1.- Unión a tope en chapa con penetración completa

El cupón de prueba se preparará de acuerdo con la Figura 1 de UNE EN ISO 15614-1 (ver apartado 1.3 del Anexo 1).

9.2.2.2.- Unión a tope en tubo con penetración completa

El cupón de prueba se preparará de acuerdo con la Figura 2 de UNE EN ISO 15614-1 (ver apartado 1.3 del Anexo 1).

NOTA: la palabra “tubo”, sola o en combinación, se emplea para designar “tubo”, “tubería” o “sección hueca”.

9.2.2.3.- Unión en T

El cupón de prueba se preparará de acuerdo con la Figura 3 UNE EN ISO 15614-1 (ver apartado 1.3 del Anexo 1).

También se puede utilizar para soldaduras a tope con penetración completa o soldaduras en ángulo.

9.2.2.4.- Ramificaciones

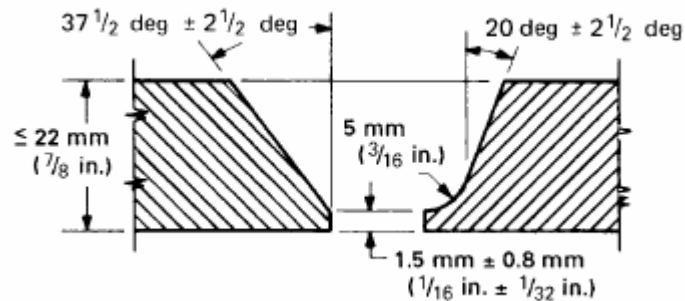
El cupón de prueba se preparará de acuerdo con la Figura 4 UNE EN ISO 15614-1 (ver apartado 1.3 del Anexo 1). El ángulo α es el menor que se emplee en producción.

También se puede utilizar para uniones con penetración completa (unión adosada, pasante o empotrada) y soldaduras en ángulo.

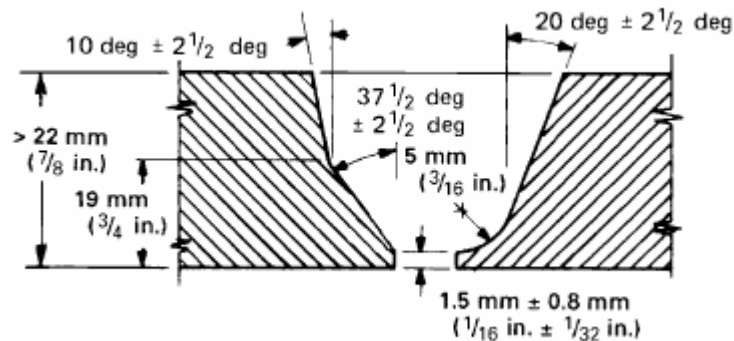
Los cupones de prueba de los procedimientos de soldadura que estamos definiendo se prepararán según el apartado 9.2.2.2

Respecto a la preparación de bordes, no es variable esencial en los procedimientos de acuerdo con UNE EN ISO 15614-1, y como no se dispone de especificación de diseño que sirva de base, se definirán dichas preparaciones de acuerdo con los esquemas de preparación de extremos de tubería que aparecen en ASME B16.25 y ASME B31.3.

En las siguientes figuras se muestran los esquemas de preparación recomendados para (a) espesores de pared entre 6 mm y 22 mm (inclusive) y (b) para espesores de pared mayores de 22 mm.



(a) Espesores de pared entre 6 mm y 22 mm inclusive



(b) Espesores de pared mayores de 22 mm

Como todos los procedimientos que se están definiendo tienen espesores de pared menores de 22 mm, se elegirá como preparación de bordes para nuestros cupones de prueba la opción (a). Dentro de la opción (a), se optará por un bisel en V por su mayor facilidad de preparación.

9.2.3.- Soldeo de los cupones de prueba

La preparación y el soldeo de los cupones de prueba se deben llevar a cabo teniendo en cuenta las condiciones generales de soldeo en producción a las que los cupones de soldeo deben representar. Las posiciones de soldeo y las limitaciones para los ángulos de pendiente y de rotación del cupón de prueba deben estar de acuerdo con la Norma EN ISO 6947. Si los puntos de soldadura van a quedar incorporados a la unión final, también se deben incluir en el cupón de prueba.

Tanto el soldeo como el ensayo de los cupones se deben supervisar por una persona u organismo examinador.

Las dos piezas se fijarán entre sí mediante punteado, de esta forma se disminuirán las deformaciones por las contracciones durante el proceso de soldadura.

Una vez unidas las dos piezas, se montarán en la mesa de trabajo mediante mordazas que aseguren la sujeción del cupón en posición 6G.

9.3.- EXÁMENES Y ENSAYOS

9.3.1.- Alcance de los ensayos

En una norma de aplicación se pueden especificar ensayos adicionales, tales como:

- tracción longitudinal de la soldadura,
- doblado del metal de soldadura,
- ensayos de corrosión,
- análisis químico
- examen micrográfico,
- examen de ferrita delta
- ensayo en cruz.

Los ensayos incluyen tanto los no destructivos (END) como los destructivos, que estarán de acuerdo con los requisitos de la tabla 1 de UNE EN ISO 15614-1 (ver apartado 1.3 del Anexo 1).

Según la mencionada tabla, y considerando que los cupones de prueba empleados en los procedimientos de soldadura de este proyecto se corresponden con uniones a tope con penetración completa podemos deducir que les corresponderán los siguientes ensayos:

- Visual
- Radiográfico

- Ensayo por Líquidos Penetrantes
- Tracción Transversal: 2 probetas
- Ensayo de Impacto: 2 juegos
- Ensayo de dureza: No se requiere para materiales base del grupo 8 por lo que solo aplicará en los procedimientos de soldadura con duplex como material base (grupo 10).
- Examen macroscópico: 2 probetas

Las condiciones específicas de servicio, del material o de fabricación, pueden requerir pruebas más extensas que las especificadas por la norma UNE EN ISO 15614-1.

Con el fin de obtener una mayor información y evitar la repetición de posteriores pruebas de calificación del procedimiento solamente para obtener datos adicionales, vamos a considerar los ensayos incluidos en otras normas. Nos basaremos en las normas NORSOK, muy empleadas para regular actividades offshore y más concretamente en NORSOK M-601 (Welding and Inspection of Piping) que cubre los requisitos técnicos para soldeo e inspección de sistemas de tubería.

NORSOK M-601 establece que los ensayos mecánicos se realizarán de acuerdo con UNE EN ISO 15614-1 y una serie de requisitos adicionales. Los ensayos adicionales que aplican para nuestros procedimientos son:

- Ensayo de corrosión para soldaduras de aceros inoxidables tipo 6Mo utilizadas en servicio marino.
- Examen microestructural para aceros inoxidables tipo 22Cr (duplex).

En la tabla que aparece a continuación aparecen todos los ensayos mecánicos que serán necesarios para la cualificación de los procedimientos de soldadura definidos en este proyecto:

Ensayos Mecánicos	WPS-001		WPS-002		WPS-003	
	WPQR-001-A	WPQR-001-B	WPQR-002-A	WPQR-002-B	WPQR-003-A	WPQR-003-B
Ensayo de Tracción (EN 15614-1)	2	2	2	2	2	2
Ensayo de Plegado (EN 15614-1)	2 Raíz 2 Cara	4 Laterales	2 Raíz 2 Cara	4 Laterales	2 Raíz 2 Cara	4 Laterales
Ensayo de Impacto (Norsok M-601)	2 a -105°C	2 a -105°C	2 a -105°C	2 a -105°C	2 a -46°C	2 a -46°C
Dureza (Norsok M-601 y EN 15614-1)	-	-	-	-	Hv10 Máx. 350	Hv10 Máx. 350
Macrografía (EN 15614-1)	2	2	2	2	2	2
Examen Microestructural (Norsok M-601)	-	-	-	-	Contenido en Ferrita 25- 65%	Contenido en Ferrita 25- 65%
Test de Corrosión (Norsok M-601)	-	-	Pérdida de peso < 4.0 g/m ²	Pérdida de peso < 4.0 g/m ²	-	-
Requisitos de Ensayos de Plegado definidos en el apartado 9.3.4.3						
Requisitos de Ensayos de Impacto definidos en el apartado 9.3.4.5						
Requisitos de Ensayos de Dureza definidos en el apartado 9.3.4.6						
Requisitos de Examen Microestructural definidos en el apartado 9.3.4.8						
Requisitos de Ensayo de Corrosión definidos en apartado 9.3.4.7						

9.3.2.- Situación y toma de las probetas de ensayo

Las probetas se obtendrán de acuerdo con las figuras 5, 6, 7 y 8 de UNE EN ISO 15614-1 y que se muestran en el apartado 1.3 del Anexo 1 (Normas, términos, definiciones y tablas). En todos los procedimientos de soldadura definidos en este proyecto aplicará la figura 6.

Las probetas se obtendrán después de que se hayan realizado todos los ensayos no destructivos (END) con resultados satisfactorios, de acuerdo con los criterios de inspección relevantes para los métodos de END utilizados.

Es aceptable obtener las probetas de los lugares que no tengan imperfecciones admisibles para los métodos de END utilizados.

9.3.3.- Ensayos no destructivos

Antes de obtener las probetas de ensayo, los cupones de prueba se examinarán mediante ensayos no destructivos de acuerdo con los apartados 9.3.1 y

9.3.2. Cualquier tratamiento térmico que este especificado se realizará antes que los ensayos no destructivos.

En los materiales susceptibles al agrietamiento inducido por hidrógeno y cuando no este especificado postcalentamiento o tratamiento térmico posterior al soldeo, los ensayos no destructivos se deberían retrasar.

Dependiendo de la geometría de la unión, los materiales y los requisitos de producción, los END requeridos por UNE EN ISO 15614-1 se llevarán a cabo de acuerdo con EN 970 (examen visual), EN 1435 (ensayo radiográfico) y EN 571-1 (ensayo con líquidos penetrantes).

En el Anexo 5 se describen las características generales de estos ensayos con más detalle.

9.3.4.- Ensayos destructivos

9.3.4.1.- General

El alcance de los ensayos será el requerido en la Tabla 1 de UNE EN ISO 15614-1 (ver apartado 1.3 del Anexo 1).

9.3.4.2.- Ensayo de tracción transversal

Las probetas y los ensayos de tracción transversal para uniones a tope estarán de acuerdo con EN 895.

Para tuberías de diámetro exterior < 50 mm, y cuando se utilicen probetas de sección total para tuberías de pequeño diámetro, se podrá dejar el sobreespesor de soldadura de la superficie interna de la tubería.

La carga de rotura de la probeta no será inferior al valor mínimo especificado correspondiente al metal base, a no ser que se especifique otra cosa antes del ensayo.

9.3.4.3.- Ensayo de doblado

Las probetas y los ensayos de doblado para uniones a tope estarán de acuerdo con EN 910.

Para espesores < 12 mm se ensayarán dos probetas de cara y dos de raíz. Para espesores = 12 mm se recomienda ensayar cuatro probetas de doblado lateral en lugar de las de cara y de raíz.

El diámetro del mandril o del rodillo interior será $4t$ y el ángulo de doblado será de 180° para metales base con alargamiento $A \geq 20\%$. Para metales base con alargamiento $A < 20\%$ se aplicará la siguiente fórmula:

$$d = \frac{(100 \times ts)}{A} - ts$$

donde:

d es el diámetro del mandril o del rodillo interior

ts es el espesor de la probeta de doblado

A es el alargamiento mínimo requerido por la especificación del material

Como los materiales base de todos nuestros procedimientos tienen alargamiento $A \geq 20\%$, utilizaremos un diámetro de mandril igual a $4t$ y un ángulo de doblado de 180° .

Durante el ensayo, las probetas no revelarán ningún defecto abierto > 3 mm en cualquier dirección. Los fallos que aparezcan en las esquinas de una probeta durante el ensayo se ignorarán en su evaluación.

9.3.4.4.- Examen macroscópico

La probeta de ensayo se preparará y atacará de acuerdo con EN 1321 por una de sus caras para revelar claramente la línea de fusión, la ZAT y las diferentes pasadas.

El examen macroscópico incluirá el metal base no afectado y se registrará como mínimo una reproducción macrográfica por cada ensayo de procedimiento.

Los niveles de aceptación estarán de acuerdo con 9.3.5.

9.3.4.5.- Ensayo de impacto

El ensayo y las probetas para el ensayo de impacto estarán de acuerdo con esta norma en relación con la situación de las probetas y la temperatura de ensayo, y con EN 875 para las dimensiones y la realización del ensayo.

Para el metal de soldadura se emplearán probetas tipo VWT (V: entalla en V Charpy – W: entalla en el metal de soldadura – T: entalla a través del espesor) y para la ZAT probetas tipo VHT (V: entalla en V Charpy – H: entalla en la zona afectada térmicamente – T: entalla a través del espesor). En cada situación especificada cada juego comprenderá tres probetas.

Se obtendrán probetas con la entalla en V Charpy a un máximo de 2 mm por debajo de la superficie del metal base y transversales a la soldadura.

En la ZAT la entalla estará a una distancia de entre 1 y 2 mm de la línea de fusión y en el metal de soldadura la entalla estará en el eje central de la soldadura.

La norma UNE EN ISO 15614-1 indica que la energía absorbida estará de acuerdo con la especificada en la norma del metal base, a no ser que se establezca otra cosa en la norma de aplicación. Además, tampoco hace referencia a la temperatura del ensayo. Por lo tanto, para establecer los requisitos de impacto aplicables a nuestros procedimientos nos basaremos de nuevo en la norma NORSOK M-601:

Tabla 9.1 – Requisitos de Ensayos de Impacto⁽¹⁾

Material	Localización entalla ⁽²⁾	Temperatura del ensayo	Criterio de aceptación ^{(3),(4)}
Tipo 316, 6Mo y aleaciones de níquel	WM y FL	Min. Temperatura de diseño si se usa a temperaturas por debajo de -105°C ⁽⁵⁾	Expansión Lateral mínima 0.38 mm
Tipo duplex 22Cr y duplex 25Cr	WM y FL	-46°C o la temperatura mínima de diseño	27J o Expansión Lateral mínima 0.38 mm

NOTAS

- 1.- No se requieren ensayos de impacto para espesores de pared < 6 mm.
- 2.- WM significa línea central en el metal de soldadura y FL significa línea de fusión.
- 3.- Los valores individuales no pueden ser inferiores al 75% del valor medio
- 4.- Factor de reducción para probetas de menor tamaño será: 7.5 mm – 5/6 y 5 mm – 2/3.
- 5.- No se requieren ensayos de impacto si la temperatura de diseño está por encima de -105°C .

NORSOK M-601 indica que los valores individuales no pueden ser inferiores al 75% del valor medio, en cambio UNE ISO EN 15614-1 establece que para cada localización de la entalla, uno de los valores puede estar por debajo del valor medio mínimo especificado, siempre que no sea inferior al 70% de dicho valor. Consideraremos el criterio de aceptación más restrictivo.

Respecto a la temperatura del ensayo de impacto para aceros inoxidables tipo 316 y 6Mo, NORSOK establece que los ensayos son requeridos solo si la Temperatura Mínima de Diseño esta por debajo de -101°C . Tras consultar bibliografía, encontramos que la temperatura de servicio mas baja empleada para estos aceros inoxidables es -196°C , por lo que esta será la temperatura a la que deberán ensayarse los procedimientos que estamos diseñando.

Cuando se cualifiquen varios procesos de soldeo con un solo cupón de prueba, las probetas de impacto se tomarán del metal de soldadura y de la ZAT de cada proceso.

9.3.4.6.- Ensayo de dureza

Se realizarán ensayos de dureza Vickers con una carga de HV10 de acuerdo con EN 1043-1. Las medidas de dureza se tomarán en la soldadura, zonas afectadas térmicamente y metal base con el fin de evaluar el rango de los valores de la dureza a través de la unión. Para materiales con espesores menores o iguales a 5 mm, solo se realizará una línea de indentaciones a una profundidad de hasta 2 mm por debajo de la superficie superior de la unión soldada. Para materiales con espesores superiores a 5 mm, se realizarán dos líneas de indentaciones a una profundidad de hasta 2 mm por debajo de las superficies superior e inferior de la unión soldada. Para las soldaduras realizadas por ambos lados, en ángulo y a tope en T, se realizará una línea adicional de indentaciones a través de la zona de la raíz. Ejemplos de modelos de indentaciones típicos se indican en EN 1043-1.

Se realizarán en cada línea al menos tres indentaciones en las siguientes zonas:

- soldadura,
- ambas zonas afectadas térmicamente,

- ambos metales base.

En la ZAT la primera indentación se situará tan próxima como sea posible de la línea de fusión.

Los resultados de los ensayos de dureza cumplirán con los requisitos de la Tabla 2 de la norma UNE EN ISO 15614-1 (ver apartado 1.3 del Anexo 1). Sin embargo, la propia norma indica que los requisitos para el Grupo 10 se especificarán antes del ensayo. Por lo tanto, volvemos a basarnos en la norma NORSOK para establecer los requisitos del ensayo de dureza. NORSOK indica que para aceros inoxidables duplex tipo 22Cr, el valor máximo admisible de dureza Vickers con una carga de Hv10 debe ser de 350.

9.3.4.7. – Ensayo de Corrosión

De acuerdo con NORSOK M-601, las soldaduras de aceros inoxidables tipo 6Mo, duplex tipo 25Cr y las aleaciones de níquel que vayan a utilizarse en servicio marino deben llevar ensayo de corrosión de acuerdo con ASTM D48 Método A.

La probeta será atacada (20% HNO_3 + 5% HF , 60°C, 5 minutos) y expuesta durante 24 horas. La temperatura del ensayo será 40°C, y el criterio de aceptación:

- Sin picaduras a 20x aumentos.
- La pérdida de peso no debe exceder 4.0 gr/m².

9.3.4.8. – Examen Microestructural

De acuerdo con NORSOK M-601, el ensayo se realizará para aceros inoxidables duplex tipo 22Cr y 25Cr y comprenderá una sección transversal al metal de soldadura, la zona afectada térmicamente y el metal base del tubo. La microestructura debe ser adecuadamente examinada a 400x aumentos y libre de precipitados y carburos en los límites de grano.

El contenido en ferrita se determinará de acuerdo con ASTM E 562 y deberá estar en un rango entre 25-65%.

9.3.5.- Niveles de aceptación

Un procedimiento de soldeo queda cualificado si las imperfecciones del cupón de prueba están dentro de los límites aceptados para el nivel B de EN 25817, excepto para las imperfecciones: exceso de sobre espesor, exceso de convexidad, exceso de garganta y exceso de penetración, a las que se aplicará el nivel C.

NOTA: La correlación entre los niveles de calidad de EN 25817 y los niveles de aceptación de las diferentes técnicas de END figuran en EN 12062.

9.3.6.- Contra ensayos

Si el cupón de prueba no cumple con cualquiera de los requisitos de la inspección visual, o de los END especificados en el apartado 7.5, se soldará otro cupón de prueba y será sometido al mismo examen. Si este cupón adicional no cumple con los requisitos correspondientes, se considerará que la prueba del procedimiento de soldeo ha fallado.

Si cualquier probeta de ensayo no cumple con los requisitos de ensayos destructivos de acuerdo con el apartado 9.3.3 debido únicamente a imperfecciones de la soldadura, se obtendrán dos probetas de ensayo más por cada una que fallase. Estas probetas adicionales podrán extraerse del mismo cupón de prueba si hubiese suficiente material disponible para ello, o de un nuevo cupón de prueba. Cada probeta adicional se someterá a los mismos ensayos que la probeta que falló. Si una cualquiera de estas probetas adicionales no cumple con los requisitos aplicables, se considerará que la prueba del procedimiento de soldeo ha fallado.

Si una probeta de tracción no cumple con los requisitos de 9.3.4.2, se obtendrán dos probetas adicionales por cada una que haya fallado. Ambas probetas adicionales deberán cumplir con 9.3.4.2.

Si existen valores únicos de dureza por encima de los valores indicados en las diferentes zonas de ensayo, se puede realizar ensayos adicionales (en la cara opuesta de la probeta o después del amolado suficiente de la superficie ensayada) Ninguno de las valores adicionales de dureza debe exceder de los valores máximos.

Para ensayos de impacto Charpy, cuando los resultados de un conjunto de tres probetas no estén de acuerdo con los requisitos, existiendo un único valor por

debajo del 70%, se deben realizar tres probetas adicionales. El valor promedio de estas probetas junto con los resultados iniciales no debe ser inferior que la media requerida. NORSOK en cambio, indica que los valores no deben ser inferiores al 75% del valor medio. En casos como estos, el los que las normas a aplicar indican cumplimiento de distintos requisitos, elegiremos siempre el cumplimiento de los más restrictivos.

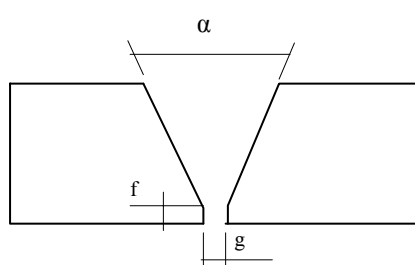
En el Anexo 6 se describen las características generales de los ensayos mecánicos que aplican a estos procedimientos de soldadura con más detalle.

CAPITULO 10 – CONDICIONES DE EJECUCIÓN DEL SOLDEO DE ACEROS INOXIDABLES

Las siguientes recomendaciones están extraídas de la Norma Europea EN 1011-3.

Preparación de la unión

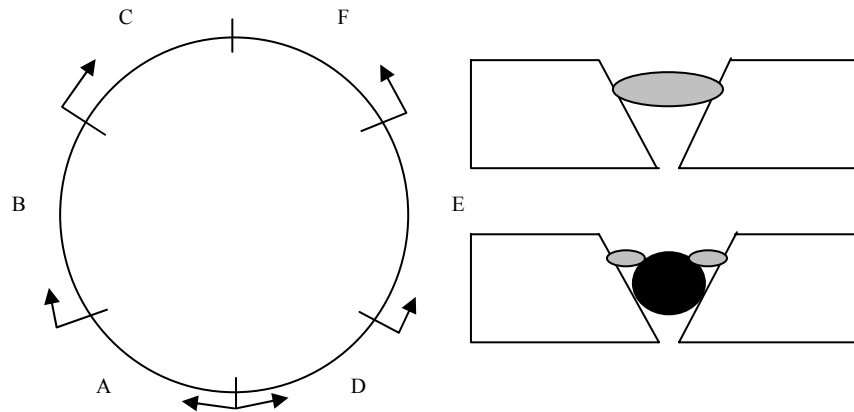
La preparación de la unión ya ha sido discutida en el apartado 9.2 del capítulo 9 de esta Memoria Descriptiva. La norma EN 1011-3 recomienda que, para soldaduras por una sola cara, se utilicen ángulos más abiertos para los aceros inoxidables duplex que para los austeníticos, para poder conseguir mejor penetración. La preparación de la unión puede variar en función del espesor pero, tras consultar bibliografía, encontramos que el tipo de preparación recomendable para soldar tubería duplex es:



Espesor de pared (mm)	Angulo, α	Separación Raíz, g (mm)	Tacón, f (mm)
2 – 3	70 – 90	2 – 3	0.5 – 1.5
> 4	65 - 75	2 - 4	0.5 – 1.5

Punteado

El punteo es importante para asegurar que la separación de raíz se mantiene y no se cierra. El punteo puede realizarse sondando puntos-puente o utilizando bolillos y deben eliminarse conforme se vayan soldando los segmentos.



Soldeo de aceros inoxidables austeníticos

- El aporte térmico debe ser bajo para reducir el riesgo de distorsión, agrietamiento en caliente y sensibilización o precipitación intermetálica. Por estas mismas razones, debe evitarse el precalentamiento.
- Otras recomendaciones para evitar el agrietamiento en caliente son:
 - o Asegurar una limpieza óptima.
 - o Reducir las restricciones en la unión.
 - o Utilizar bajos aportes térmicos para evitar baños de soldadura demasiado anchos.
 - o Reducir la temperatura entre pasadas (máximo 150°C).
 - o Reducir la velocidad de soldeo.
 - o La relación entre anchura/profundidad del baño de fusión debe estar entre 1 y 1.5.

Soldeo de aceros inoxidables austeno-ferríticos

- El aporte térmico para los aceros inoxidables duplex debe estar dentro de ciertos límites. Un aporte térmico demasiado bajo da lugar a un enfriamiento rápido lo que puede afectar a los niveles de ferrita. En cambio, un aporte térmico demasiado alto puede dar lugar a la precipitación de fases intermetálicas. Para los aceros inoxidables duplex estándar (22%Cr EN 1011-3 recomienda soldar con aportes térmicos de 0.5-2.5 KJ/mm y temperaturas entre pasadas menores de 250°C. Para superduplex (25%Cr) el aporte térmico está normalmente limitado a 0.2-1.5 KJ/mm con un rango de temperatura entre pasadas de 100 a 150°C. Algunos códigos

recomiendan no diferenciar entre duplex y superduplex y utilizar una temperatura máxima entre pasadas de 150°C.

- No es necesario precalentamiento pero, si se utiliza, será para eliminar la humedad de la superficie.

Limpieza

Para restablecer la resistencia a la corrosión de la soldadura de aceros inoxidables, es necesario eliminar de la superficie cualquier contaminación producida durante el proceso de soldeo.

Aunque son muchos los procesos de limpieza post-soldadura, para el soldeo de procedimientos de soldadura la limpieza suele realizarse mediante cepillado y esmerilado.

- Cepillado: Deben utilizarse cepillos de acero inoxidable. El cepillado no puede utilizarse para eliminar contaminantes adheridos.
- Esmerilado: Deben utilizarse discos libres de hierro. Se evitará un esmerilado excesivo para prevenir daños en la superficie y en la zona próxima al metal base.

La técnica de limpieza será la misma para los aceros inoxidables duplex.

CAPITULO 11 – ESPECIFICACIONES DE PROCEDIMIENTO DE SOLDEO PRELIMINARES (pWPS)

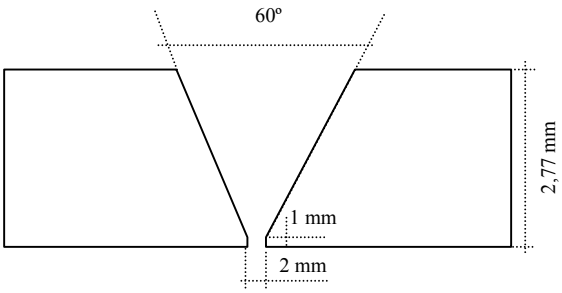
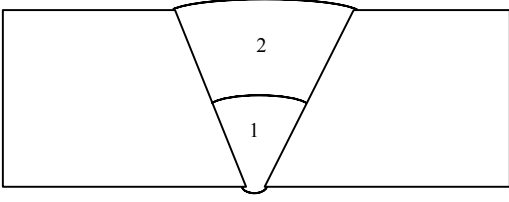
Tras identificar todas las variables esenciales para la definición de los procedimientos de soldeo, en este capítulo se muestran las especificaciones de procedimiento de soldeo preliminares.

Como ya se ha mencionado con anterioridad, las especificaciones de procedimiento de soldeo preliminares (pWPS) son los documentos que contienen las variables esenciales requeridas para cualificar el procedimiento de soldeo.

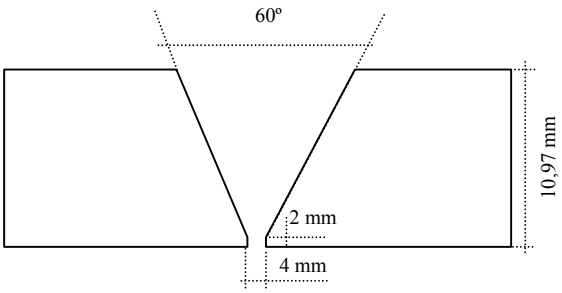
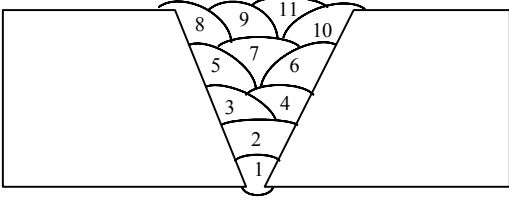
La cualificación de un procedimiento de soldeo preliminar mediante ensayo del procedimiento de soldeo requiere la realización y ensayo del cupón de prueba normalizado, tal como se indica en el pWPS. Los datos deberán quedar registrados en el WPQR y las variables cualificadas en el WPS (ver formatos en Anexo 7).

Los pWPS definidos en este proyecto son:

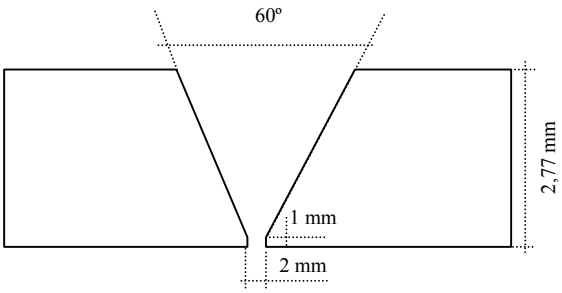
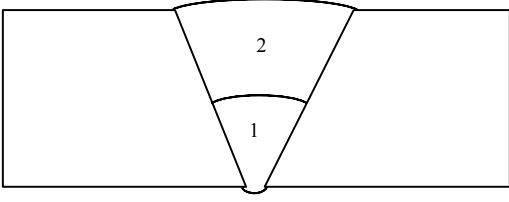
Material	pWPS No	WPS No	WPQR No	Proceso de Soldeo	Diámetro, Ø (pulgadas)	Espesor, t (mm)
Acero Inoxidable Austenítico, Tipo 316L	pWPS-001	WPS-001	WPQR-001-A	GTAW	1" (33.40 mm)	2.77 mm (sch 10S)
			WPQR-001-B	GTAW + SMAW	10" (273.10 mm)	10.97 mm (sch 80S)
Acero Inoxidable Austenítico, Tipo 6Mo	pWPS-002	WPS-002	WPQR-002-A	GTAW	1" (33.40 mm)	2.77 mm (sch 10S)
			WPQR-002-B	GTAW + SMAW	10" (273.10 mm)	10.97 mm (sch 80S)
Acero Inoxidable Austero-Ferrítico, tipo Duplex 22Cr	pWPS-003	WPS-003	WPQR-003-A	GTAW	1" (33.40 mm)	2.77 mm (sch 10S)
			WPQR-003-B	GTAW + SMAW	10" (273.10 mm)	10.97 mm (sch 80S)

ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDEO PRELIMINAR PRELIMINARY WELDING PROCEDURE SPECIFICATION pWPS		pWPS: pWPS-001			
		PAGINA 1 DE 4			
		REV	FECHA	REV	FECHA
<i>ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO No.:</i>		WPS-001			
<i>SOPORTADO POR EL W.P.Q.R. No.</i>		WPQR-001-A			
<i>FABRICANTE</i>		-			
<i>CÓDIGO / NORMA</i>		UNE EN ISO 15614-1			
<i>PROCESO(S) DE SOLDADURA</i>		141 (GTAW)			
UNIONES					
<i>TIPO DE UNIÓN Y TIPO DE SOLDADURA</i>		UNION A TOPE CON PENETRACION TOTAL POR UN SOLO LADO			
<i>RESPALDO</i>		NO			
<i>DETALLES DEL RESANADO / RESPALDO</i>		NO APLICA			
<i>METODO DE PREPARACION Y LIMPIEZA</i>		MECANIZADO, ESMERILADO Y CEPILLADO			
DISEÑO DE LA UNIÓN			SECUENCIA DE SOLDEO		
					
METALES BASE					
<i>DESIGNACION DEL METAL BASE</i>		<i>GRUPO O SUBGRUPO CUALIFICADO</i>			
X2CrNiMo17-12-2 (S31603)		GRUPO 8 (EN ISO 15608)			
<i>ESPESOR DEL MATERIAL</i>		<i>RANGO DE ESPESOR CALIFICADO</i>			
2,77 mm (SCH 10S)		1,9 - 5,54 mm			
<i>DIAMETRO EXTERIOR</i>		<i>RANGO DE DIAMETRO CALIFICADO</i>			
1" (33,40 mm O/D)		≥ 3/4" (26,70 mm O/D)			
<i>OTROS</i>					
METALES DE APORTE					
<i>DESIGNACION DE LOS CONSUMIBLES</i>		AWS A5.9: ER 316LSi			
<i>MARCA DE LOS CONSUMIBLES</i>		PENDIENTE DEFINIR			
<i>REQUISITOS ESPECIALES DE SECADO</i>		-			
<i>TAMAÑO METAL APORTE</i>		2,4 mm			
POSICIONES					
<i>POSICION (ES) DE SOLDEO</i>		H-L045 (6G)			
<i>POSICION(ES) CUALIFICADA(S)</i>		TODAS (ASCENDENTE)			
PRECALENTAMIENTO					
<i>TEMP. MIN. PRECALENTAMIENTO (°C)</i>		NO APLICA			
<i>TEMP. MAX. ENTRE PASADAS (°C)</i>		MAX. 150°C			
<i>POST-CALENTAMIENTO</i>		NO APLICA			
<i>MANTENIMIENTO PRECALENTAMIENTO</i>		NO APLICA			
<i>FABRICANTE</i>			<i>APROBADO POR</i>		
<i>FECHA</i>			<i>FECHA</i>		

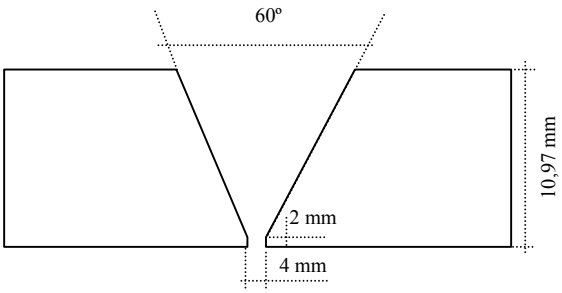
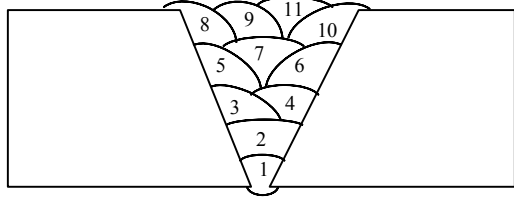
ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDEO PRELIMINAR							pWPS: pWPS-001			
PRELIMINARY WELDING PROCEDURE SPECIFICATION							PAGINA 2 DE 4			
pWPS							REV	FECHA	REV	FECHA
TRATAMIENTO TERMICO POSTSOLDEO										
RANGO DE TEMPERATURAS			NO APLICA							
VEL. DE CALENTAMIENTO (°C/hora)			NO APLICA							
RANGO DE PERMANENCIA (min)			NO APLICA							
VEL. DE ENFRIAMIENTO (°C/hora)			NO APLICA							
GAS										
	DESIGNACION		GAS(ES)		MEZCLA %		CAUDAL			
PROTECCION	I1 (EN 439)		ARGON		100%		8 L/min			
ARRASTRE										
RESPALDO	I1 (EN 439)		ARGON		100%		15 L/min			
CARACTERISTICAS ELECTRICAS (QW-409)										
CORRIENTE (AC or CC)			CC	RANGO INTENSIDAD			50 - 80			
POLARIDAD			(-)	RANGO DE VOLTAJE			8 - 12			
TAMAÑO Y TIPO ELEC. TUGSTENO					ϕ 2,4 mm - EWTh-2					
MODO DE TRANSFERENCIA (GSFCAW)					NO APLICA					
VEL. ALIMENT. DEL ALAMBRE (mm/min)					NO APLICA					
DETALLES DE SOLDEO										
CARA	PASADA	PROCESO	METAL DE APORTE		CORRIENTE			RANGO VELOCIDAD (mm/min)	HEAT INPUT (KJ/mm)	
			CLASIFICACION	DIAM.	TIPO POLAR.	RANGO AMP.	RANGO VOLT.			
1	RAIZ	141	AWS A5.9 ER 316LSi	2,4	CC (-)	50 / 70	8 / 11	50 / 70	0,4 / 0,6	
1	PEINADO	141	AWS A5.9 ER 316LSi	2,4	CC (-)	60 / 80	8 / 12	60 / 80	0,4 / 0,7	
TECNICA										
LIMPIEZA INICIAL Y ENTRE PASADAS					CEPILLADO Y/O ESMERILADO					
METODO DE SANEAR LA RAIZ					NO APLICA					
OSCILACION (ANCHO MAX. DE LA PASADA)					NO APLICA					
OSCILACION: AMPLITUD, FRECUENCIA, TIEMPO DE PARADA					NO APLICA					
DISTANCIA BOQUILLA - PIEZA (mm)					NO APLICA					
DETALLES DEL SOLDEO POR PLASMA					NO APLICA					
OTROS					MAXIMO CONTENIDO DE OXIGENO 0,5%.					
MANTENER GAS DE PROTECCION DURANTE TODO EL PROCESO DE SOLDADURA										
FABRICANTE					APROBADO POR					
FECHA					FECHA					

ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDEO PRELIMINAR		pWPS: pWPS-001	
PRELIMINARY WELDING PROCEDURE SPECIFICATION		PAGINA 3 DE 4	
pWPS		REV	FECHA
ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO No.:	WPS-001		
SOPORTADO POR EL W.P.Q.R. No.	WPQR-001-B		
FABRICANTE	-		
CÓDIGO / NORMA	UNE EN ISO 15614-1		
PROCESO(S) DE SOLDADURA	141 (GTAW) / 111 (SMAW)		
UNIONES			
TIPO DE UNIÓN Y TIPO DE SOLDADURA	UNION A TOPE CON PENETRACION TOTAL POR UN SOLO LADO		
RESPALDO	NO		
DETALLES DEL RESANADO / RESPALDO	NO APLICA		
METODO DE PREPARACION Y LIMPIEZA	MECANIZADO, ESMERILADO Y CEPILLADO		
DISEÑO DE LA UNIÓN		SECUENCIA DE SOLDEO	
			
METALES BASE			
DESIGNACION DEL METAL BASE	X2CrNiMo17-12-2 (S31603)	GRUPO O SUBGRUPO CUALIFICADO	GRUPO 8 (EN ISO 15608)
ESPEJOR DEL MATERIAL	10,97 mm (SCH 80S)	RANGO DE ESPESOR CALIFICADO	3 - 22 mm
DIAMETRO EXTERIOR	10" (273,10 mm O/D)	RANGO DE DIAMETRO CALIFICADO	≥ 5" (141,30 mm O/D)
OTROS			
METALES DE APORTE		141(GTAW)	111(SMAW)
DESIGNACION DE LOS CONSUMIBLES	AWS A5.9: ER 316LSi	AWS A5.4: E316L-16	
MARCA DE LOS CONSUMIBLES	PENDIENTE DEFINIR	PENDIENTE DEFINIR	
REQUISITOS ESPECIALES DE SECADO	-	SEGÚN RECOMENDACIONES FABRICANTE	
TAMAÑO METAL APORTE	2,4 mm	2,5 MM Y 3,25 MM	
POSICIONES			
POSICION (ES) DE SOLDEO	H-L045 (6G)		
POSICION(ES) CUALIFICADA(S)	TODAS (ASCENDENTE)		
PRECALENTAMIENTO			
TEMP. MIN. PRECALENTAMIENTO (°C)	NO APLICA		
TEMP. MAX. ENTRE PASADAS (°C)	MAX. 150°C		
POST-CALENTAMIENTO	NO APLICA		
MANTENIMIENTO PRECALENTAMIENTO	NO APLICA		
FABRICANTE	APROBADO POR		
FECHA	FECHA		

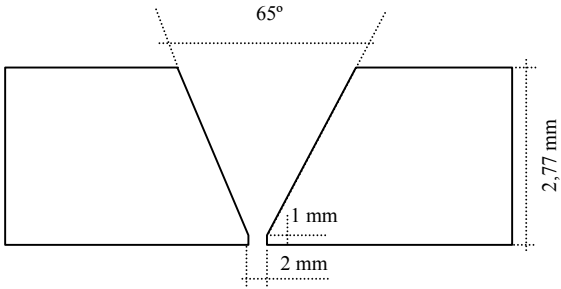
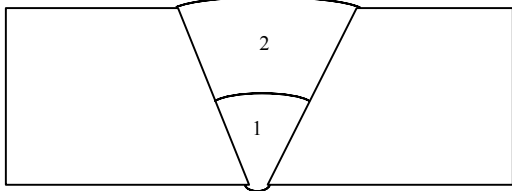
ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDEO PRELIMINAR							pWPS: pWPS-001			
PRELIMINARY WELDING PROCEDURE SPECIFICATION							PAGINA 4 DE 4			
pWPS							REV	FECHA	REV	FECHA
TRATAMIENTO TERMICO POSTSOLDEO										
RANGO DE TEMPERATURAS			NO APLICA							
VEL. DE CALENTAMIENTO (°C/hora)			NO APLICA							
RANGO DE PERMANENCIA (min)			NO APLICA							
VEL. DE ENFRIAMIENTO (°C/hora)			NO APLICA							
GAS										
	DESIGNACION		GAS(ES)		MEZCLA %		CAUDAL			
PROTECCION	I1 (EN 439)		ARGON		100%		10 L/min			
ARRASTRE										
RESPALDO	I1 (EN 439)		ARGON		100%		20 L/min			
CARACTERISTICAS ELECTRICAS (QW-409)										
CORRIENTE (AC or CC)			CC	RANGO INTENSIDAD			GTAW: 110-160 / SMAW: 60 / 100			
POLARIDAD			141 (GTAW): (-) / 111(SMAW): (+)		RANGO DE VOLTAJE			GTAW: 8-12 / SMAW: 24 / 29		
TAMAÑO Y TIPO ELEC. TUGSTENO			ϕ 2,4 mm - EWTh-2							
MODO DE TRANSFERENCIA (GSFCAW)			NO APLICA							
VEL. ALIMENT. DEL ALAMBRE (mm/min)			NO APLICA							
DETALLES DE SOLDEO										
CARA	PASADA	PROCESO	METAL DE APORTE		CORRIENTE			RANGO VELOCIDAD (mm/min)	HEAT INPUT (KJ/mm)	
			CLASIFICACION	DIAM.	TIPO POLAR.	RANGO AMP.	RANGO VOLT.			
1	RAIZ	141	AWS A5.9 ER 316LSi	2,4	CC (-)	110 / 140	9 / 11	75 / 95	0,8 / 1,0	
1	2°	141	AWS A5.9 ER 316LSi	2,4	CC (-)	140 / 160	10 / 12	75 / 95	0,9 / 1,4	
1	RELLENO	111	AWS A5.4 E316L-16	2,5	CC (+)	65 / 80	24 / 28	130 / 150	0,6 / 0,9	
1	RELLENO	111	AWS A5.4 E316L-16	3,25	CC (+)	80 / 100	25 / 29	95 / 200	0,6 / 1,6	
1	PEINADO	111	AWS A5.4 E316L-16	2,5	CC (+)	60 / 80	25 / 29	110 / 170	0,6 / 1,0	
TECNICA										
LIMPIEZA INICIAL Y ENTRE PASADAS			CEPILLADO Y/O ESMERILADO							
METODO DE SANEAR LA RAIZ			NO APLICA							
OSCILACION (ANCHO MAX. DE LA PASADA)			NO APLICA							
OSCILACION: AMPLITUD, FRECUENCIA, TIEMPO DE PARADA			NO APLICA							
DISTANCIA BOQUILLA - PIEZA (mm)			NO APLICA							
DETALLES DEL SOLDEO POR PLASMA			NO APLICA							
OTROS			MAXIMO CONTENIDO DE OXIGENO 0,5%.							
MANTENER GAS DE PROTECCION AL MENOS DURANTE LAS PRIMERAS 3 PASADAS										
FABRICANTE					APROBADO POR					
FECHA					FECHA					

ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDEO PRELIMINAR PRELIMINARY WELDING PROCEDURE SPECIFICATION pWPS		pWPS: pWPS-002			
		PAGINA 1 DE 4			
		REV	FECHA	REV	FECHA
<i>ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO No.:</i>		WPS-002			
<i>SOPORTADO POR EL W.P.Q.R. No.</i>		WPQR-002-A			
<i>FABRICANTE</i>		-			
<i>CÓDIGO / NORMA</i>		UNE EN ISO 15614-1			
<i>PROCESO(S) DE SOLDADURA</i>		141 (GTAW)			
UNIONES					
<i>TIPO DE UNIÓN Y TIPO DE SOLDADURA</i>		UNION A TOPE CON PENETRACION TOTAL POR UN SOLO LADO			
<i>RESPALDO</i>		NO			
<i>DETALLES DEL RESANADO / RESPALDO</i>		NO APLICA			
<i>METODO DE PREPARACION Y LIMPIEZA</i>		MECANIZADO, ESMERILADO Y CEPILLADO			
DISEÑO DE LA UNIÓN			SECUENCIA DE SOLDEO		
					
METALES BASE					
<i>DESIGNACION DEL METAL BASE</i>		<i>GRUPO O SUBGRUPO CUALIFICADO</i>			
X1CrNiMoCuN20-18-17 (S31254)		GRUPO 8 (EN ISO 15608)			
<i>ESPESOR DEL MATERIAL</i>		<i>RANGO DE ESPESOR CALIFICADO</i>			
2,77 mm (SCH 10S)		1,9 - 5,54 mm			
<i>DIAMETRO EXTERIOR</i>		<i>RANGO DE DIAMETRO CALIFICADO</i>			
1" (33,40 mm O/D)		≥ 3/4" (26,70 mm O/D)			
<i>OTROS</i>					
METALES DE APORTE					
<i>DESIGNACION DE LOS CONSUMIBLES</i>		AWS A5.14: ER NiCrMo-13			
<i>MARCA DE LOS CONSUMIBLES</i>		PENDIENTE DEFINIR			
<i>REQUISITOS ESPECIALES DE SECADO</i>		-			
<i>TAMAÑO METAL APORTE</i>		2,4 mm			
POSICIONES					
<i>POSICION (ES) DE SOLDEO</i>		H-L045 (6G)			
<i>POSICION(ES) CUALIFICADA(S)</i>		TODAS (ASCENDENTE)			
PRECALENTAMIENTO					
<i>TEMP. MIN. PRECALENTAMIENTO (°C)</i>		NO APLICA			
<i>TEMP. MAX. ENTRE PASADAS (°C)</i>		MAX. 150°C			
<i>POST-CALENTAMIENTO</i>		NO APLICA			
<i>MANTENIMIENTO PRECALENTAMIENTO</i>		NO APLICA			
<i>FABRICANTE</i>			<i>APROBADO POR</i>		
<i>FECHA</i>			<i>FECHA</i>		

ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDEO PRELIMINAR							pWPS: pWPS-002			
PRELIMINARY WELDING PROCEDURE SPECIFICATION							PAGINA 2 DE 4			
pWPS							REV	FECHA	REV	FECHA
TRATAMIENTO TERMICO POSTSOLDEO										
RANGO DE TEMPERATURAS					NO APLICA					
VEL. DE CALENTAMIENTO (°C/hora)					NO APLICA					
RANGO DE PERMANENCIA (min)					NO APLICA					
VEL. DE ENFRIAMIENTO (°C/hora)					NO APLICA					
GAS										
		DESIGNACION		GAS(ES)	MEZCLA %	CAUDAL				
PROTECCION		I1 (EN 439)		ARGON	100%	8 L/min				
ARRASTRE										
RESPALDO		I1 (EN 439)		ARGON	100%	15 L/min				
CARACTERISTICAS ELECTRICAS (QW-409)										
CORRIENTE (AC or CC)			CC	RANGO INTENSIDAD			50 - 80			
POLARIDAD			(-)	RANGO DE VOLTAJE			8 - 12			
TAMAÑO Y TIPO ELEC. TUGSTENO					ϕ 2,4 mm - EWTh-2					
MODO DE TRANSFERENCIA (GSFCAW)					NO APLICA					
VEL. ALIMENT. DEL ALAMBRE (mm/min)					NO APLICA					
DETALLES DE SOLDEO										
CARA	PASADA	PROCESO	METAL DE APORTE		CORRIENTE			RANGO VELOCIDAD (mm/min)	HEAT INPUT (KJ/mm)	
			CLASIFICACION	DIAM.	TIPO POLAR.	RANGO AMP.	RANGO VOLT.			
1	RAIZ	141	AWS A5.14: ER NiCrMo-13	2,4	CC (-)	50 / 70	8 / 11	50 / 70	0,4 / 0,6	
1	PEINADO	141	AWS A5.14: ER NiCrMo-13	2,4	CC (-)	60 / 80	8 / 12	60 / 80	0,4 / 0,7	
TECNICA										
LIMPIEZA INICIAL Y ENTRE PASADAS					CEPILLADO Y/O ESMERILADO					
METODO DE SANEAR LA RAIZ					NO APLICA					
OSCILACION (ANCHO MAX. DE LA PASADA)					NO APLICA					
OSCILACION: AMPLITUD, FRECUENCIA, TIEMPO DE PARADA					NO APLICA					
DISTANCIA BOQUILLA - PIEZA (mm)					NO APLICA					
DETALLES DEL SOLDEO POR PLASMA					NO APLICA					
OTROS					MAXIMO CONTENIDO DE OXIGENO 0,5%.					
MANTENER GAS DE PROTECCION DURANTE TODO EL PROCESO DE SOLDADURA										
FABRICANTE					APROBADO POR					
FECHA					FECHA					

ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDEO PRELIMINAR		pWPS: pWPS-002	
PRELIMINARY WELDING PROCEDURE SPECIFICATION		PAGINA 3 DE 4	
pWPS		REV	FECHA
ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO No.:		WPS-002	
SOPORTADO POR EL W.P.Q.R. No.		WPQR-002-B	
FABRICANTE		-	
CÓDIGO / NORMA		UNE EN ISO 15614-1	
PROCESO(S) DE SOLDADURA		141 (GTAW) / 111 (SMAW)	
UNIONES			
TIPO DE UNIÓN Y TIPO DE SOLDADURA		UNION A TOPE CON PENETRACION TOTAL POR UN SOLO LADO	
RESPALDO		NO	
DETALLES DEL RESANADO / RESPALDO		NO APLICA	
METODO DE PREPARACION Y LIMPIEZA		MECANIZADO, ESMERILADO Y CEPILLADO	
DISEÑO DE LA UNIÓN		SECUENCIA DE SOLDEO	
			
METALES BASE			
DESIGNACION DEL METAL BASE		GRUPO O SUBGRUPO CUALIFICADO	
X1CrNiMoCuN20-18-17 (S31254)		GRUPO 8 (EN ISO 15608)	
ESPESOR DEL MATERIAL		RANGO DE ESPESOR CALIFICADO	
10,97 mm (SCH 80S)		3 - 22 mm	
DIAMETRO EXTERIOR		RANGO DE DIAMETRO CALIFICADO	
10" (273,10 mm O/D)		≥ 5" (141,30 mm O/D)	
OTROS			
METALES DE APORTE			
		141(GTAW)	111(SMAW)
DESIGNACION DE LOS CONSUMIBLES		AWS A5.14: ER NiCrMo-13	AWS A5.11: E NiCrMo-13
MARCA DE LOS CONSUMIBLES		PENDIENTE DEFINIR	PENDIENTE DEFINIR
REQUISITOS ESPECIALES DE SECADO		-	SEGÚN RECOMENDACIONES FABRICANTE
TAMAÑO METAL APORTE		2,4 mm	2,5 MM Y 3,25 MM
POSICIONES			
POSICION (ES) DE SOLDEO		H-L045 (6G)	
POSICION(ES) CUALIFICADA(S)		TODAS (ASCENDENTE)	
PRECALENTAMIENTO			
TEMP. MIN. PRECALENTAMIENTO (°C)		NO APLICA	
TEMP. MAX. ENTRE PASADAS (°C)		MAX. 150°C	
POST-CALENTAMIENTO		NO APLICA	
MANTENIMIENTO PRECALENTAMIENTO		NO APLICA	
FABRICANTE		APROBADO POR	
FECHA		FECHA	

ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDEO PRELIMINAR							pWPS: pWPS-002			
PRELIMINARY WELDING PROCEDURE SPECIFICATION							PAGINA 4 DE 4			
pWPS							REV	FECHA	REV	FECHA
TRATAMIENTO TERMICO POSTSOLDEO										
RANGO DE TEMPERATURAS			NO APLICA							
VEL. DE CALENTAMIENTO (°C/hora)			NO APLICA							
RANGO DE PERMANENCIA (min)			NO APLICA							
VEL. DE ENFRIAMIENTO (°C/hora)			NO APLICA							
GAS										
		DESIGNACION	GAS(ES)	MEZCLA %	CAUDAL					
PROTECCION		I1 (EN 439)	ARGON	100%	10 L/min					
ARRASTRE										
RESPALDO		I1 (EN 439)	ARGON	100%	20 L/min					
CARACTERISTICAS ELECTRICAS (QW-409)										
CORRIENTE (AC or CC)			CC	RANGO INTENSIDAD			GTAW: 95-155 / SMAW: 50-90			
POLARIDAD			141 (GTAW): (-) / 111(SMAW): (+)	RANGO DE VOLTAJE			GTAW: 8-12 / SMAW: 21-27			
TAMAÑO Y TIPO ELEC. TUGSTENO			ϕ 2,4 mm - EWTh-2							
MODO DE TRANSFERENCIA (GSFCAW)			NO APLICA							
VEL. ALIMENT. DEL ALAMBRE (mm/min)			NO APLICA							
DETALLES DE SOLDEO										
CARA	PASADA	PROCESO	METAL DE APORTE		CORRIENTE			RANGO VELOCIDAD (mm/min)	HEAT INPUT (KJ/mm)	
			CLASIFICACION	DIAM.	TIPO POLAR.	RANGO AMP.	RANGO VOLT.			
1	RAIZ	141	AWS A5.9 ER 316LSi	2,4	CC (-)	95 / 120	8 / 11	30 / 45	1,3 / 1,9	
1	2°	141	AWS A5.9 ER 316LSi	2,4	CC (-)	125 / 155	8 / 12	85 / 100	0,7 / 1,1	
1	RELLENO	111	AWS A5.4 E316L-16	2,5	CC (+)	50 / 70	21 / 25	70 / 120	0,6 / 1,2	
1	RELLENO	111	AWS A5.4 E316L-16	3,25	CC (+)	70 / 90	22 / 27	90 / 130	0,8 / 1,5	
1	PEINADO	111	AWS A5.4 E316L-16	2,5	CC (+)	60 / 70	21 / 26	110 / 170	0,5 / 0,9	
TECNICA										
LIMPIEZA INICIAL Y ENTRE PASADAS			CEPILLADO Y/O ESMERILADO							
METODO DE SANEAR LA RAIZ			NO APLICA							
OSCILACION (ANCHO MAX. DE LA PASADA)			NO APLICA							
OSCILACION: AMPLITUD, FRECUENCIA, TIEMPO DE PARADA			NO APLICA							
DISTANCIA BOQUILLA - PIEZA (mm)			NO APLICA							
DETALLES DEL SOLDEO POR PLASMA			NO APLICA							
OTROS			MAXIMO CONTENIDO DE OXIGENO 0,5%.							
MANTENER GAS DE PROTECCION AL MENOS DURANTE LAS PRIMERAS 3 PASADAS										
FABRICANTE					APROBADO POR					
FECHA					FECHA					

ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDEO PRELIMINAR PRELIMINARY WELDING PROCEDURE SPECIFICATION pWPS		pWPS: pWPS-003			
		PAGINA 1 DE 4			
		REV	FECHA	REV	FECHA
<i>ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO No.:</i>		WPS-003			
<i>SOPORTADO POR EL W.P.Q.R. No.</i>		WPQR-003-A			
<i>FABRICANTE</i>		-			
<i>CÓDIGO / NORMA</i>		UNE EN ISO 15614-1			
<i>PROCESO(S) DE SOLDADURA</i>		141 (GTAW)			
UNIONES					
<i>TIPO DE UNIÓN Y TIPO DE SOLDADURA</i>		UNION A TOPE CON PENETRACION TOTAL POR UN SOLO LADO			
<i>RESPALDO</i>		NO			
<i>DETALLES DEL RESANADO / RESPALDO</i>		NO APLICA			
<i>METODO DE PREPARACION Y LIMPIEZA</i>		MECANIZADO, ESMERILADO Y CEPILLADO			
DISEÑO DE LA UNIÓN			SECUENCIA DE SOLDEO		
					
METALES BASE					
<i>DESIGNACION DEL METAL BASE</i>		<i>GRUPO O SUBGRUPO CUALIFICADO</i>			
X2CrNiMoN22-5-3 (S31803)		GRUPO 10 (EN ISO 15608)			
<i>ESPESOR DEL MATERIAL</i>		<i>RANGO DE ESPESOR CALIFICADO</i>			
2,77 mm (SCH 10S)		1,9 - 5,54 mm			
<i>DIAMETRO EXTERIOR</i>		<i>RANGO DE DIAMETRO CALIFICADO</i>			
1" (33,40 mm O/D)		≥ 3/4" (26,70 mm O/D)			
<i>OTROS</i>					
METALES DE APORTE					
<i>DESIGNACION DE LOS CONSUMIBLES</i>		AWS A5.9: ER 2209			
<i>MARCA DE LOS CONSUMIBLES</i>		PENDIENTE DEFINIR			
<i>REQUISITOS ESPECIALES DE SECADO</i>		-			
<i>TAMAÑO METAL APORTE</i>		2,4 mm			
POSICIONES					
<i>POSICION (ES) DE SOLDEO</i>		H-L045 (6G)			
<i>POSICION(ES) CUALIFICADA(S)</i>		TODAS (ASCENDENTE)			
PRECALENTAMIENTO					
<i>TEMP. MIN. PRECALENTAMIENTO (°C)</i>		NO APLICA			
<i>TEMP. MAX. ENTRE PASADAS (°C)</i>		MAX. 150°C			
<i>POST-CALENTAMIENTO</i>		NO APLICA			
<i>MANTENIMIENTO PRECALENTAMIENTO</i>		NO APLICA			
<i>FABRICANTE</i>			<i>APROBADO POR</i>		
<i>FECHA</i>			<i>FECHA</i>		

ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDEO PRELIMINAR							pWPS: pWPS-003			
PRELIMINARY WELDING PROCEDURE SPECIFICATION							PAGINA 2 DE 4			
pWPS							REV	FECHA	REV	FECHA
TRATAMIENTO TERMICO POSTSOLDEO										
RANGO DE TEMPERATURAS				NO APLICA						
VEL. DE CALENTAMIENTO (°C/hora)				NO APLICA						
RANGO DE PERMANENCIA (min)				NO APLICA						
VEL. DE ENFRIAMIENTO (°C/hora)				NO APLICA						
GAS										
		DESIGNACION		GAS(ES)		MEZCLA %		CAUDAL		
PROTECCION		I1 (EN 439)		ARGON		100%		8 L/min		
ARRASTRE										
RESPALDO		I1 (EN 439)		ARGON		100%		15 L/min		
CARACTERISTICAS ELECTRICAS (QW-409)										
CORRIENTE (AC or CC)			CC		RANGO INTENSIDAD			60 - 90		
POLARIDAD			(-)		RANGO DE VOLTAJE			8 - 12		
TAMAÑO Y TIPO ELEC. TUGSTENO					ϕ 2,4 mm - EWTh-2					
MODO DE TRANSFERENCIA (GSFCAW)					NO APLICA					
VEL. ALIMENT. DEL ALAMBRE (mm/min)					NO APLICA					
DETALLES DE SOLDEO										
CARA	PASADA	PROCESO	METAL DE APORTE		CORRIENTE			RANGO VELOCIDAD (mm/min)	HEAT INPUT (KJ/mm)	
			CLASIFICACION	DIAM.	TIPO POLAR.	RANGO AMP.	RANGO VOLT.			
1	RAIZ	141	AWS A 5.9: ER 2209	2,4	CC (-)	60 / 70	8 / 12	60 / 80	0,5 / 0,7	
1	PEINADO	141	AWS A 5.9: ER 2209	2,4	CC (-)	70 / 90	8 / 12	60 / 80	0,5 / 0,8	
TECNICA										
LIMPIEZA INICIAL Y ENTRE PASADAS				CEPILLADO Y/O ESMERILADO						
METODO DE SANEAR LA RAIZ				NO APLICA						
OSCILACION (ANCHO MAX. DE LA PASADA)				NO APLICA						
OSCILACION: AMPLITUD, FRECUENCIA, TIEMPO DE PARADA				NO APLICA						
DISTANCIA BOQUILLA - PIEZA (mm)				NO APLICA						
DETALLES DEL SOLDEO POR PLASMA				NO APLICA						
OTROS				MAXIMO CONTENIDO DE OXIGENO 0,5%.						
MANTENER GAS DE PROTECCION DURANTE TODO EL PROCESO DE SOLDADURA										
FABRICANTE					APROBADO POR					
FECHA					FECHA					

ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDEO PRELIMINAR PRELIMINARY WELDING PROCEDURE SPECIFICATION pWPS		pWPS: pWPS-003			
		PAGINA 3 DE 4			
		REV	FECHA	REV	FECHA
<i>ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO No.:</i>		WPS-003			
<i>SOPORTADO POR EL W.P.Q.R. No.</i>		WPQR-003-B			
<i>FABRICANTE</i>		-			
<i>CÓDIGO / NORMA</i>		UNE EN ISO 15614-1			
<i>PROCESO(S) DE SOLDADURA</i>		141 (GTAW) / 111 (SMAW)			
UNIONES					
<i>TIPO DE UNIÓN Y TIPO DE SOLDADURA</i>		UNION A TOPE CON PENETRACION TOTAL POR UN SOLO LADO			
<i>RESPALDO</i>		NO			
<i>DETALLES DEL RESANADO / RESPALDO</i>		NO APLICA			
<i>METODO DE PREPARACION Y LIMPIEZA</i>		MECANIZADO, ESMERILADO Y CEPILLADO			
DISEÑO DE LA UNIÓN			SECUENCIA DE SOLDEO		
METALES BASE					
<i>DESIGNACION DEL METAL BASE</i>		<i>GRUPO O SUBGRUPO CUALIFICADO</i>			
X2CrNiMoN22-5-3 (S31803)		GRUPO 10 (EN ISO 15608)			
<i>ESPESOR DEL MATERIAL</i>		<i>RANGO DE ESPESOR CALIFICADO</i>			
10,97 mm (SCH 80S)		3 - 22 mm			
<i>DIAMETRO EXTERIOR</i>		<i>RANGO DE DIAMETRO CALIFICADO</i>			
10" (273,10 mm O/D)		≥ 5" (141,30 mm O/D)			
<i>OTROS</i>					
METALES DE APORTE					
		141(GTAW)		111(SMAW)	
<i>DESIGNACION DE LOS CONSUMIBLES</i>		AWS A5.9: ER 2209		AWS A5.4: E 2209-16	
<i>MARCA DE LOS CONSUMIBLES</i>		PENDIENTE DEFINIR		PENDIENTE DEFINIR	
<i>REQUISITOS ESPECIALES DE SECADO</i>		-		SEGÚN RECOMENDACIONES FABRICANTE	
<i>TAMAÑO METAL APORTE</i>		2,4 mm		2,5 MM Y 3,25 MM	
POSICIONES					
<i>POSICION (ES) DE SOLDEO</i>		H-L045 (6G)			
<i>POSICION(ES) CUALIFICADA(S)</i>		TODAS (ASCENDENTE)			
PRECALENTAMIENTO					
<i>TEMP. MIN. PRECALENTAMIENTO (°C)</i>		NO APLICA			
<i>TEMP. MAX. ENTRE PASADAS (°C)</i>		MAX. 150°C			
<i>POST-CALENTAMIENTO</i>		NO APLICA			
<i>MANTENIMIENTO PRECALENTAMIENTO</i>		NO APLICA			
<i>FABRICANTE</i>			<i>APROBADO POR</i>		
<i>FECHA</i>			<i>FECHA</i>		

ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDEO PRELIMINAR							pWPS: pWPS-003			
PRELIMINARY WELDING PROCEDURE SPECIFICATION							PAGINA 4 DE 4			
pWPS							REV	FECHA	REV	FECHA
TRATAMIENTO TERMICO POSTSOLDEO										
RANGO DE TEMPERATURAS				NO APLICA						
VEL. DE CALENTAMIENTO (°C/hora)				NO APLICA						
RANGO DE PERMANENCIA (min)				NO APLICA						
VEL. DE ENFRIAMIENTO (°C/hora)				NO APLICA						
GAS										
	DESIGNACION	GAS(ES)		MEZCLA %		CAUDAL				
PROTECCION	I1 (EN 439)	ARGON		100%		10 L/min				
ARRASTRE										
RESPALDO	I1 (EN 439)	ARGON		100%		20 L/min				
CARACTERISTICAS ELECTRICAS (QW-409)										
CORRIENTE (AC or CC)			CC		RANGO INTENSIDAD		GTAW: 95-155 / SMAW: 50-90			
POLARIDAD			141 (GTAW): (-) / 111(SMAW): (+)		RANGO DE VOLTAJE		GTAW: 8-12 / SMAW: 21-27			
TAMAÑO Y TIPO ELEC. TUGSTENO					ϕ 2,4 mm - EWTh-2					
MODO DE TRANSFERENCIA (GSFCAW)					NO APLICA					
VEL. ALIMENT. DEL ALAMBRE (mm/min)					NO APLICA					
DETALLES DE SOLDEO										
CARA	PASADA	PROCESO	METAL DE APORTE		CORRIENTE			RANGO VELOCIDAD (mm/min)	HEAT INPUT (KJ/mm)	
			CLASIFICACION	DIAM.	TIPO POLAR.	RANGO AMP.	RANGO VOLT.			
1	RAIZ	141	AWS A 5.9: ER 2209	2,4	CC (-)	70 / 90	7 / 9	30 / 40	0,9 / 1,3	
1	2°	141	AWS A 5.9: ER 2209	2,4	CC (-)	90 / 110	7 / 10	45 / 60	0,8 / 1,2	
1	RELLENO	111	AWS A 5.4: E 2209-16	2,5	CC (+)	60 / 70	17 / 21	65 / 130	0,5 / 1,2	
1	RELLENO	111	AWS A 5.4: E 2209-16	3,25	CC (+)	80 / 100	20 / 24	100 / 125	0,9 / 1,3	
1	PEINADO	111	AWS A 5.4: E 2209-16	2,5	CC (+)	70 / 90	20 / 24	110 / 175	0,5 / 1,0	
TECNICA										
LIMPIEZA INICIAL Y ENTRE PASADAS				CEPILLADO Y/O ESMERILADO						
METODO DE SANEAR LA RAIZ				NO APLICA						
OSCILACION (ANCHO MAX. DE LA PASADA)				NO APLICA						
OSCILACION: AMPLITUD, FRECUENCIA, TIEMPO DE PARADA				NO APLICA						
DISTANCIA BOQUILLA - PIEZA (mm)				NO APLICA						
DETALLES DEL SOLDEO POR PLASMA				NO APLICA						
OTROS				MAXIMO CONTENIDO DE OXIGENO 0,5%.						
MANTENER GAS DE PROTECCION AL MENOS DURANTE LAS PRIMERAS 3 PASADAS										
FABRICANTE					APROBADO POR					
FECHA					FECHA					

CAPITULO 12 – INSTALACIONES Y EQUIPOS AUXILIARES

En este capítulo se exponen todos los datos necesarios acerca de las instalaciones así como de los equipos que se utilizarán durante la fase de soldadura del procedimiento.

12.1 - EQUIPOS AUXILIARES

12.1.1 - Mordazas

Los dispositivos de sujeción son imprescindibles para los trabajos de soldadura, tanto para disponer las piezas unidas antes de soldar como para disminuir las deformaciones por las contracciones durante la misma.

La fuerza de sujeción puede ser ejercida mecánica, neumática o hidráulicamente.

La capacidad de sujeción de una mordaza es la máxima fuerza que puede ser aplicada a la barra de sujeción, en posición de apriete, sin provocar una deformación de los componentes de la mordaza.

Mordazas Manuales

La palanca de las mordazas puede ser accionada según uno de los cuatro principios siguientes:

- Por presión vertical.
- Por tracción.
- Por apriete.
- Por compresión.

Existen diferentes posiciones de mordazas:

- Usando la mordaza por el reverso.
- Para sujetar piezas cilíndricas a piezas planas.
- Sin obstruir las piezas a unir.

Mordazas Neumáticas o Hidráulicas

Las mordazas hidráulicas o neumáticas necesitan:

- Compresor de aire o una bomba hidráulica.
- Tuberías y adaptadores.
- Acondicionadores para los fluidos (filtros, lubricantes,...).
- Válvulas de control.
- Actuador (cilindro, pistón,...).

La instalación puede ser simple, para una mordaza única o múltiple. Se acoplan a la línea de aire ordinaria (adecuadamente filtrada y lubricada).

12.1.2 - Cables

Los cables de soldeo se usan para conectar el cabezal (boquilla o pinza) o la toma de masa a la fuente de alimentación. Forman parte del circuito de soldeo. Se caracterizan por:

- Ser flexibles, para permitir su manipulación en el soldeo manual.
- Resistir la abrasión y desgaste.

Los cables de soldeo están formados por muchos hilos finos de cobre o aluminio trenzados entre si y cubiertos por una envuelta flexible y aislante. Esta cubierta puede ser:

- de caucho sintético.
- de un plástico con características de alta resistencia eléctrica y buena resistencia al calor.

Entre el metal trenzado y la cubierta externa se coloca un forro que permite el movimiento entre ellos y da máxima flexibilidad.

Los cables deben tener una longitud mínima, y su sección debe ser amplia para permitir el paso del amperaje necesitado. Cables muy largos y/o de poca

sección, aumentan la caída del voltaje (4 voltios es el máximo recomendado) y disminuyen la corriente eléctrica. Como los cables largos no deben enrollarse (ya que con corriente alterna forman interferencias que alteran las características del suministro y de la fuente y afectan al arco eléctrico), se comprende que su longitud debe ser la adecuada.

Los cables no deben funcionar a intensidades más altas que las debidas, ya que se produciría un sobrecalentamiento que puede deteriorar su aislamiento.

El cable de retorno ha de ser de la misma sección que el de la pistola.

12.2 - EQUIPOS DE SOLDEO

12.2.1 – Electrodo revestido

Como es sabido este proceso es típicamente manual. El soldador fija en la máquina la corriente deseada y, mientras suelda, controla la tensión (o longitud) del arco y la velocidad de soldeo.

Consecuentemente la fuente de alimentación eléctrica deberá ser de corriente constante y no de potencial constante. La razón es que el soldador no puede lograr un arco de longitud constante.

Determinaremos la máquina que nos interesa en función de:

- La corriente que necesitamos, la cual puede ser:
 - o Corriente continua.
 - o Corriente alterna.
 - o Ambos tipos de corriente.
- El intervalo de amperaje deseado, en función del tipo de electrodo, el tamaño del electrodo y el factor de carga.
- La potencia primaria que tengamos en el puesto de trabajo.

Las fuentes de alimentación en función de la corriente se determinan adaptando de manera general los siguientes criterios:

- Cuando se necesite corriente continua la fuente constará de un transformador y un rectificador, o un motor-generador.
- Para corriente alterna la fuente será un transformador o un alternador.
- Cuando se deseen ambos tipos de corriente se podrá usar un transformador rectificador de un fase o un alternador-rectificador.

La pinza es un accesorio típico de este proceso. La misma pinza vale para un rango de diámetros de electrodo. Para un electrodo dado, debería usarse la pinza más pequeña, ya que será la pinza más ligera.

12.2.2 - TIG

La mayor parte de estas máquinas tienen un interruptor de tres posiciones situado en la parte frontal de la máquina que permite seleccionar los siguientes tipos de corriente:

- Corriente alterna.
- Corriente continua con polaridad directa.
- Corriente continua con polaridad inversa.

Para cebar el arco TIG se emplea:

- Alta frecuencia (alto voltaje y baja corriente a la vez).
- Contacto.
- Alto voltaje.

La fuente eléctrica TIG puede llegar a tener un diseño muy complicado. Las fuentes TIG de corriente continua, con un voltaje circuito abierto de aproximadamente 70-80 voltios y amperaje de hasta 600 amperios, incluyen los siguientes equipos:

- Un sistema de cebado de arco.
- Válvulas para el control de gas y agua.
- Un control de la corriente de soldeo.
- Controles remotos manuales.

Las pistolas para un proceso TIG pueden ser:

- Refrigeradas con aire, las cuales son más ligeras, pequeñas, compactas y baratas. Admitan 125 amperios máximo.
- Refrigeradas con agua, las cuales tienen como corriente máxima 500 amperios.

Las boquillas TIG pueden ser:

- Cerámicas.
- Metálicas.

12.3 - EXTRACCIÓN DE HUMOS

El área o la zona de soldeo mientras estamos soldando debe estar ventilada adecuadamente por las siguientes razones:

- Se generan altas concentraciones de humos y vapores durante el soldeo. Los vapores de algunos disolventes clorados empleados para limpiar piezas a soldar, expuestos a arcos eléctricos pueden generar sustancias tóxicas por lo que han de ser adecuadamente separadas las respectivas áreas de trabajo.
- Los propios gases de protección utilizados en algunos procesos.
- La operación de soldeo produce ozono.

Para evitar que se alcancen concentraciones peligrosas es necesario ventilar adecuadamente la zona de soldeo (de forma natural o forzada).

12.4 - ALMACENAMIENTO Y MANIPULACIÓN DE MATERIALES DE APORTACIÓN

El almacenamiento de los materiales de aportación ha de ser ordenado y con acceso controlado al lugar de almacenamiento. Los materiales tienen que tener unas etiquetas de identificación y su correspondiente documentación, las cuales se archivarán adecuadamente.

Para evitar la oxidación y absorción de humedad, los consumibles se han de mantener adecuadamente embalados (estos consumibles han sido concienzudamente secados al final de su fabricación y almacenados en contenedores resistentes a la humedad antes de su envío) y se han de almacenar en locales adecuados y secos.

Hornos y Estufas de Secado de Electrodo

El almacenamiento de los electrodos a temperatura media (inferior a la de secad) previene de la absorción de humedad; si los electrodos han sido expuestos a la humedad, se secarán en estufas a mayor temperatura, una vez secos podrán mantenerse a temperatura media en estufas portátiles.

Si se usan electrodos de bajo contenido en hidrógeno (básicos), electrodos de acero inoxidable,... el uso de estufas no es solo recomendable sino obligatorio.

12.5 - DISPOSITIVOS DE PURGADO Y TAPONES HINCHABLES

Para proteger la raíz de la soldadura se utiliza un gas de respaldo. Este tipo de protecciones es imprescindible para materiales muy reactivos, utilizándose también en el soldeo de aceros inoxidables cuando se desea que no sea contaminado por el ambiente.

Para evitar que este gas escape de la unión, lo que resultaría u gasto inútil, se adapta a la cara externa de la unión una cinta autoadhesiva no transpirable que se va retirando a medida que avanza el depósito de la primera pasada.

Se pueden utilizar tapones hinchables o algún otro dispositivo. Previamente se practica una purga del aire del interior del conducto hasta que la concentración de oxígeno sea muy baja evitando así el riesgo de oxidación.

El dispositivo utilizado deberá procurar la máxima estanqueidad.

12.6 - HERRAMIENTAS AUXILIARES

Para la preparación de biseles, resanado de raíz, levantamiento de puentes, corte de material, se utilizan entre otras las siguientes herramientas:

- Biseladoras portátiles para tubos, muy versátiles y precisas, pueden tener motor eléctrico, neumático o hidráulico.
- Tornos y fresadoras para realizar los biseles.
- Sierra circular de sobremesa, con capacidad para cortes rectos y oblicuos.
- Sierra circular adaptable.
- Cepillos.
- Piquetas.
- Discos de lija.
- Manguitos fijadores.
- Discos limpiadores para retirar pintura y revestimientos, óxidos y contaminantes.

12.7 - EQUIPO DE PRECALENTAMIENTO Y CONTROL DE LA TEMPERATURA

El precalentamiento puede lograrse mediante mecheros de gas o equipos de calefacción eléctricos por resistencia o inducción.

El mantenimiento de la temperatura de precalentamiento se comprueba mediante supervisores de soldadura provistos de lápices de contacto o pirómetros de contacto a base de medidas rutinarias.

CAPITULO 13 – SEGURIDAD E HIGIENE

13.1 INTRODUCCIÓN

En el ámbito de la actividad industrial, la soldadura constituye uno de los procesos en los que interviene mayor cantidad de variables a tener en cuenta a la hora de planificar la seguridad de las operaciones. Ello es así porque en el más simple proceso de soldeo actúan riesgos combinados de electricidad, toxicidad de agentes químicos, radiaciones, calor, etc, y que no solo afectan al soldador, sino también a su entorno y a terceros.

Es por ello que el estudio de la seguridad integral para la aplicación de estos procesos, requiere un cierto método y orden, para poder aplicar las reglas básicas de la Seguridad que son el Análisis de Riesgos, y posteriormente y en base a ellos, la definición de las Medidas Preventivas.

Las reglas que se definen en este capítulo deberán tenerse en cuenta durante la fase de soldeo de los cupones de prueba para la cualificación de los procedimientos de soldeo preliminares definidos en este proyecto.

13.2 ANÁLISIS DE RIESGOS

13.2.1 Riesgos por el tipo de trabajo y su lugar de realización.

Los procesos de soldeo se utilizan tanto en puesto fijos en una producción en serie, como en operaciones de montaje de piezas sin puesto fijo en fábricas y en montajes de obras pero, aunque son estos puestos los de riesgo más frecuente, lo cierto es que al soldador del procedimiento le afectan todos los riesgos inherentes a los soldadores de producción.

Entre los riesgos más comunes podemos citar:

- Caídas al mismo nivel.
- Atrapamientos entre objetos.
- Pisadas sobre objetos punzantes.

13.2.2. Riesgos por manipulación de gases comprimidos .

Los principales gases empleados en los procesos de soldeo son; acetileno y oxígeno, como combustible y comburente respectivamente para el soldeo, y los gases activos o inertes, argón en nuestro caso, empleados como gases de protección.

Algunos de los riesgos que pueden darse en la manipulación y almacenamiento de las botellas de gases son:

- Fugas de gas combustible, con el consiguiente peligro de incendio.
- Explosiones o incendios por retroceso de llama en el soplete.
- Asfixia por desplazamiento del aire por gases inertes.
- Atrapamientos por manipulación de botellas.

13.2.3. Riesgos por la utilización de la maquinaria y equipos.

Los principales riesgos a citar son:

- Fuego o explosión por retroceso de llama en sopletes.
- Contactos eléctricos directos con los elementos eléctricos, tales como cables, portaelectrodos, fuente de alimentación, etc.
- Contactos eléctricos indirectos por fallo en el aislamiento de los componentes eléctricos.

13.2.4. Riesgos asociados a los agentes contaminantes producidos durante el soldeo.

Aquí es donde se agrupan los riesgos más específicos de los procesos de soldeo, debido a que las reacciones que son la base de dichos procesos son especialmente violentas, produciendo gran número de agentes contaminantes que podemos clasificar en tres grandes grupos:

- Humos y gases desprendidos durante el soldeo.
- Radiaciones.
- Ruido y proyección de partículas.

Humos y gases.

Aparecen por reacción química de los diferentes componentes del proceso. Las diferentes sustancias químicas potencialmente peligrosas tienen diferentes características dependiendo de su origen pudiéndose destacar las siguientes fuente:

- Producidos a partir del material base.
- Producidos a partir del recubrimiento del material base (galvanizado, niquelado, cromado, cadmiado, pintado, recubrimientos plásticos, engrasado).
- Producidos por los productos desengrasantes o de limpieza del material y del de aportación.
- Producidos a partir del material de aportación, del revestimiento o de los fundentes.
- Producidos por reacción con el aire circundante.
- Producidos a partir de los líquido o gases que estuvieron contenidos en los depósitos a soldar.

Radiaciones

Los procesos de soldeo por arco producen radiaciones visiblemente infrarrojas y ultravioletas, que producen lesiones en los ojos y la piel, siendo las radiaciones ultravioletas las más peligrosas.

Ruido y Proyección de partículas

El ruido se produce por la acción de operaciones complementarias al soldeo, tales como el esmerilado, el picado, martillado, etc.

Las proyecciones de partículas incandescentes puede alcanzar hasta 10 metros de distancia en horizontal. Estas partículas, con la acción combinada del calor producido y la presencia de gases y materiales combustibles, pueden originar incendios, por lo que se hace imprescindible el que todo los materiales del suelo, paredes pantallas, etc, sean ignífugos.

13.3 MEDIDAS DE PREVENCIÓN

Una vez conocidos y clasificados los tipos de riesgo a los que se enfrenta la utilización de los procesos de soldeo, estamos en disposición de definir las Medidas de Prevención y Protección que se deben aplicar.

Diferenciaremos los siguientes grupos de Medidas de Prevención y Protección.

13.3.1. Protecciones personales.

Dirigidas a la protección del personal directamente involucrado en las tareas de soldeo, así como a sus ayudantes.

Prendas protectoras

Todo el cuerpo del soldador está sometido a la posible acción de agentes agresivos, por lo que debe protegerse integralmente con especial atención a los ojos y a su sistema respiratorio, que merecen un desarrollo aparte y que se tratan más adelante. El cuerpo del soldador está sometido, sobre todo, al ataque de los contactos eléctricos y a las proyecciones de partículas incandescentes.

Las prendas de protección recomendables son las que se indican a continuación, debiendo elegirse aquéllas que estén homologadas por el Ministerio de Trabajo, y que son las citadas en la Nota Técnica de Prevención nº NTP-102.

- Casco de seguridad, para protección contra la caída de objetos pesados o punzantes.
- Botas de seguridad.
- Pantallas o yelmos, provistas de filtros de radiaciones, cubrefiltros y antecristales, elegidos como se detallan más adelante.
- Guantes, manguitos, polainas y mandiles de cuero.
- Guantes aislantes de la electricidad para manejo de los grupos de soldeo.
- Cinturones de seguridad para trabajos en altura.
- Protectores auditivos, que pueden ser tapones, orejeras o cascos antirruido.

Son preferibles las prendas oscuras, con el fin de evitar reflejos.

Las prendas de algodón, por la acción de la radiación ultravioleta, se desintegran en un período que puede variar entre un día y dos semanas, por lo que se recomienda el empleo de lana o cuero.

Las prendas de cuero (guantes, mandiles, polaina y manguitos), debe estar curtidas al cromo, para que sean resistentes a la llama y a las chispas.

Los ayudantes de los soldadores deberán llevar el mismo tipo de protecciones personales en cuanto a prendas protectoras.

Protección de los ojos

Los soldadores y sus ayudantes, deben utilizar gafas de seguridad provistas de filtros (oculares filtrantes) que detengan, en la medida de lo posible, las radiaciones perniciosas para el ojo humano.

Para ello, la Nota Técnica de Prevención NTP-6 define el grado de protección de los distintos oculares filtrantes en base al porcentaje de transmisión de las radiaciones ultravioleta, visible e infrarroja, a través del filtro.

En la siguiente tabla se da una guía para la elección de filtros.

Guía para la Elección de Filtros				
Proceso	Espesor (mm)	Intensidad (A)	Mínimo N° de filtro	N° filtro adecuado ⁽¹⁾
Soldeo manual con electrodo revestido		Menor de 60	7	-
		60 - 160	8	10
		160 - 250	10	12
		250 - 550	11	14
Soldeo MIG - MAG y FCAW		Menor de 60	7	-
		60 - 160	10	11
		160 - 250	10	12
		250 - 500	10	14
Soldeo TIG		Menor de 50	8	10
		50 - 150	8	12
		150 - 500	10	14
Soldeo por Plasma		Menor de 20	6	4 - 5
		20 - 100	6	5 - 6
		100 - 400	8	6 - 8
		400 - 800	8	3 - 4
Soldeo oxigás (acero)	4		10	4 - 5
	4 - 13		11	5 - 6
	Mayor de 13			6 - 8
Oxicorte (acero)	Menor de 25			3 - 4
	25 - 150			4 - 5
	Mayor de 150			5 - 6
Arco Aire		Menor de 500	10	12
		500 - 1000	11	14
Corte por Plasma ⁽²⁾		Menor de 300	8	9
		300 - 400	9	12
		400 - 800	10	14
Soldeo fuerte con soplete				3 - 4
Soldeo blando con soplete				2

(1) Para seleccionar el filtro más adecuado, elegir primero el más oscuro (con n° mayor); si se ve con dificultad seleccionar filtros más claros (con n° menor) hasta conseguir una buena visión. El utilizar un vidrio más opaco no proporcionará una protección mejor, pudiendo ser perjudicial puesto que obliga a acercarse más a la fuente de radiación, lo cual será nocivo para la higiene respiratoria. No seleccionar filtros menores a los mínimos recomendados.

(2) Se pueden seleccionar filtros menores cuando la operación se realiza con mesas de agua.

TABLA 13.1 : GUIA PARA LA ELECCIÓN DEL FILTRO DE ACUERDO CON ANSI/ASC Z49.1-94

Los filtros han de ser seleccionados teniendo en cuenta como mínimo los parámetros siguientes: tipo de arco o llama, intensidad de la corriente de soldeo o caudal de gas, posición y distancia del operario en relación al baño de fusión, iluminación del local y sensibilidad óptica del soldador.

Asimismo el filtro deber ser capaz de dejar pasar en el campo visible una intensidad suficiente para que el soldador pueda seguir sin fatiga el comportamiento del electrodo o de la boquilla en el momento de la fusión.

13.3.2. Protecciones colectivas.

Dado que también el entorno del soldador, y por tanto los operarios que están en las proximidades, están sometidos a riesgos producidos por el soldeo, es necesario adoptar medidas de prevención colectivas que citamos a continuación.

En esta relación no se hace referencia al control de la atmósfera ambiente, ya que este tema se tratará aparte en el apartado 13.3.5.

- Las áreas de soldeo deberán delimitarse por medio de pantallas que impidan el paso de radiaciones y de chispas. Por lo tanto, estas pantallas deberán ser preferentemente de color oscuro para que no reflejen las radiaciones y de un material incombustible. Estas pantallas se colocarán de manera que permitan la circulación de aire por su parte inferior.
- Todas las áreas deben proveerse de la correspondiente señalización que indique los trabajos que se están llevando a cabo, así como de las protecciones de uso obligatorio (casco, filtros oculares, etc.).

Protección contra-incendios

Este tema es especialmente importante en soldadura, por lo que toda la reglamentación general sobre contra incendios debe aplicarse en su integridad.

- Toda el área de trabajo debe estar limpia de materiales de desecho, especialmente los combustibles.
- En algunos casos es aconsejable mojar el suelo, aunque el suelo húmedo aumenta el peligro de descargas eléctricas. Debe valorarse cada caso.
- Deben protegerse especialmente las botellas de gas.
- Debe señalizarse toda el área, indicando las rutas de escape y la localización de extintores.
- Debe disponerse de extintores portátiles y si es posible, de una manguera.

13.3.3. Prevenciones en la manipulación de gases comprimidos.

Cuando se desea almacenar grandes cantidades de cualquier gas en recipientes de poco volumen, que permita su transporte y almacenamiento fácil, se comprime a alta presión.

Las Instrucciones de Seguridad para almacenamiento, uso y transporte de gases comprimidos licuados y disueltos quedan reflejados en la norma MIE-AP7.

Almacenamiento y Transporte

Los gases comprimidos se almacenan en cilindros o botellas y en tanques o depósitos. Se deberán tener en cuenta lo siguiente:

- No situar las botellas ni lugares de paso.
- El almacén de botellas de gases debe estar delimitado y protegido por puertas si es posible.
- Emplear grúa con cesta o plataforma para subir o bajar las botellas, nunca utilizar un electroimán (el corte de tensión resultaría en una caída de las botellas). Para su transporte se emplearán carros con cadenas de seguridad y sólo desplazarlas a mano por rodadura para desplazamientos cortos.
- La botellas de acetileno y de gases licuados (en estado líquido) deben utilizarse y almacenarse siempre en posición vertical, se preferirá también esta posición para las botellas de cualquier otro gas.
- Las botellas deben ser identificadas perfectamente antes de su empleo, esta tarea sólo debe realizarse leyendo su etiqueta. Si una botella no tiene etiqueta no se deberá utilizar. No se debe identificar el contenido de la botella únicamente por su color, ya que puede ser diferente según la zona o país, no obstante es una ayuda en su identificación, en la tabla siguiente se indican los colores de las botellas más utilizadas:

Gas	Cuerpo	Ojiva
Oxígeno	Negro	Blanca
Acetileno	Rojo	Marrón
Nitrógeno	Negro	Negra
Hidrógeno	Rojo	Roja
Argón	Negro	Amarilla
CO2	Negro	Gris

TABLA 13.2: IDENTIFICACIÓN DE LAS BOTELLAS POR SU COLOR

- Muchas botellas tiene una caperuza para proteger la válvula. La caperuza tiene que estar siempre puesta sobre la botella, a no ser que no se esté utilizando la botella. Nuca se debe elevar la botella mediante esta caperuza a no se que esté especialmente diseñada para ello.

- Las botellas vacías se identificarán como tales y se dispondrán en posición vertical y sujetas con cadenas de seguridad.

Utilización de los gases

Para que el empleo de los gases comprimidos sea seguro se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Los reguladores o manorreductores deben utilizarse para todas las botellas de gas comprimido. Todo regulador debe estar equipado con un manómetro de alta presión (que mide la presión de la botella, lo que indica su contenido) y uno de baja presión (que mide la presión de trabajo).
- La válvula de las botellas que contengan gases a gran presión, en particular oxígeno, deben abrirse despacio. Es preferible no abrir las válvulas de las botellas que contienen gases combustible más de una vuelta, de esta forma se puede cerrar rápidamente en caso de emergencia.
- Antes de conectar el manorreductor se deberá purgar la botella de esta forma se eliminarán todas las partículas que, en forma de polvo, están alojadas en su grifo, si no se eliminaran estas partículas pasarían al manorreductor y originarían la avería del mismo.
- Se cerrará la botella de gas después de cada utilización, y también quedará cerrada la botella cuando esté vacía, esto previene pérdidas por las posibles fugas.
- Se recomienda retirar las botellas vacías y devolverlas al suministrador cuando la presión de la botella sea 1,72 bar ($0,172 \text{ Mpa} \cong 1,7 \text{ kg/cm}^2$), evitando de esta manera su contaminación atmosférica.
- Nunca calentar las botellas o depósitos que contiene gases comprimidos, ni situarlos cerca de focos de calor ya que podrían explotar.

Gases de protección

- El argón empleado en los procedimientos de soldadura, se suministran comprimidos en estado gaseoso en botellas.
- El mayor peligro de los gases de protección es que desplazan el aire impidiendo la respiración y pudiendo provocar la asfixia del soldador, por tanto el laboratorio de soldadura deberá estar bien ventilado y, si es

imposible controlar el oxígeno del aire, se deberá realizar el soldeo con pantallas de soldeo con impulsión o extracción de humos incorporado.

Mangueras

- Solamente se utilizarán mangueras especialmente diseñada para los gases comprimidos que van a transportar.
- Las mangueras de gases combustible suelen ser rojas y las de oxígeno azules. Nunca se intercambiarán las mangueras.
- Controlar el estado de las mangueras y detectar las fugas. Cuando de detecte cualquier corte o quemadura reemplazar la manguera, nunca repararla.
- Nunca se debe doblar la manguera para detener el flujo de gas.

Localización de la fuga

- La fuga de gas en la botella está localizada en el mecanismo de apertura y cierre de la válvula.
- Si una botella pierde gas, estando bien cerrada la válvula, hay que pensar que el mecanismo de la misma se ha aflojado o deteriorado.
- Cuando la fuga es importante lo detectamos bien por el ruido del escape, más acentuado en botellas de gases comprimidos (oxígeno, argón, aire comprimido, nitrógeno), y por el olor cuando el gas está diluido (acetileno) o licuado (propano, butano).
- Si la fuga es pequeña no estaremos seguros de detectarla por los sentidos (oído y olfato). Ante la duda, se debe hacer la comprobación “aplicando agua jabonosa” sobre el grifo de la botella; si existe fuga se localizará por muy pequeño que sea el escape. Si apretando el mecanismo de la válvula no se consigue detener la fuga, se deberá situar la botella en el exterior, indicando que esta fuera de servicio y llamar al suministrador con urgencia.
- Las fugas en las mangueras se pueden detectar con agua jabonosa o sumergiéndola en agua.

13.3.4 Prevenciones en la utilización de materiales y equipos

Material eléctrico

La utilización de equipos eléctricos, como los grupos de soldeo, esmeriladoras y equipos de corte pueden producir accidentes indirectos por combustión de vapores inflamables, y también accidentes al personal operario por contactos eléctricos directos o indirectos por combustión de vapores inflamables, y también accidente al personal operario por contactos eléctricos directos o indirectos.

Las principales medidas de seguridad son las siguientes:

- Los cables deben tener la sección necesaria para soportar la gran densidad de corriente utilizada, y también debe tenerse en cuenta la distancia desde la máquina de soldeo al puesto de trabajo.
- La fuente de alimentación de las máquinas de soldeo debe estar provista de interruptores diferenciales que proteja a los operarios de los posible contactos eléctricos indirectos.
- Las carcasas de los grupos de soldeo deben estar conectada a tierra para evitar descargas a los operarios por una derivación del circuito de alimentación.
- Se deberán mantener las fuentes de energía en buen estado, realizando el mantenimiento adecuado para cada máquina evitando cualquier acumulación de polvo.
- Utilizar guantes, prendas secas y realizar los trabajos sobre suelo aislante.
- Las piezas debe estar conectada a tierra.

Evidentemente, no se deben permitir empalmes encintados ni cables con el aislamiento estropeado o cuarteado. Todos los empalmes deben efectuarse con conexiones estancas y asiladas de modelo y tipo normalizados.

13.3.5 Protección contra humos y gases.

Se ha indicado que uno de los principales riesgos que afectan a los soldadores y a los demás de su entorno, son los que actúan sobre el sistema respiratorio en forma de humos y gases.

La eliminación de estos riesgos exige que los humos no alcancen la zona respiratoria, o, si lo hacen que hayan sido previamente diluidos. Se deben tener las siguientes consideraciones:

- Posición de soldador.
- Utilización de la ventilación general.
- Utilización de la extracción localizada.
- Utilización de la impulsión localizada.

Posición del soldador.

La tendencia natural del soldador es inclinarse sobre la pieza, en esta posición el soldador respira el humo formado durante el soldeo. Sin embargo, si adopta una postura en la que su cabeza no esté directamente sobre el humo, la cantidad de contaminantes inhalados será mucho menor.

Ventilación general

Si varios soldadores realizan su trabajo en el laboratorio de soldadura, se producirá la contaminación del aire que respira cualquier persona que se encuentre en dicho taller. Para controlar este problema normalmente se instala un sistema de ventilación general, con el que se extrae el aire suficiente para conseguir un nivel de humos aceptable y se suministra aire para reemplazarse el extraído.

Impulsión localizada

Consiste en la generación de corrientes de aire que desvíen o diluyan el humo que existe alrededor del soldador. Para ello se puede insuflar aire comprimido dirigido al punto de soldeo, sin afectarlo.

Extracción localizada

La extracción localizada efectúa la captación del contaminante por aspiración lo más cerca posible de su punto de emisión, evitando así su difusión al ambiente y eliminando por tanto la posibilidad de que sea inhalado.

Para que la extracción localizada sea eficaz, es decir, para que aspire efectivamente todo el contaminante generado, es necesario que en cualquier punto de una cierta zona situada alrededor del foco de contaminación de lugar a una velocidad de aire que sea suficiente para arrastrar el contaminante hacia la boca de aspiración. La velocidad necesaria en dicha zona y la forma de la misma son función del tipo de contaminante y del proceso en el cual es generado. En el caso de los humos de soldadura se admite generalmente que si la velocidad del aire en las cercanías del punto de soldeo es igual o superior a 0.5 m/s, los humos son captados prácticamente en su totalidad.

Los sistemas de extracción e impulsión de humos mas empleados suelen ser fijos, semimóviles y portátiles o móviles

En el caso del soldeo por arco con gas, la pistola puede estar provista de un extractor. De esta forma, se consigue aspirar todas las partículas en la zona del arco, sin embargo no se consigue eliminar los gases tóxicos, como los óxidos de nitrógeno o el ozono que se produce como reacción de las radiaciones ultravioletas con la atmósfera a alguna distancia del arco eléctrico. Será necesario, por tanto utilizar ventilación general o ventilación localizada.

Si no es posible retirar el humo de soldeo de la atmósfera antes de su llegada al soldador, en el caso de soldar materiales que produzcan humos muy tóxicos, se pueden utilizar sistemas de protección personal como las mascarillas. También las propias pantallas de protección ocular pueden llevar incorporadas un sistema de impulsión de aire limpio. El aire se toma del exterior, se filtra y se impulsa directamente sobre la nariz y la boca del soldador.

13.4 Riesgos y Prevenciones Asociadas a las Operaciones Accesorias al Soldero.

Esmerilado

Dependiendo del trabajo se pueden utilizar esmeriladoras fijas o portátiles. En la siguiente tabla se indican los riesgos y prevenciones asociadas a los trabajos de esmerilado.

Riesgos	Prevenciones
- Descargas eléctricas.	- Observar las medidas de seguridad para evitar accidentes eléctricos: conexión a tierra y comprobar el buen estado de cables.
- Accidentes en los ojos.	- Trabajar siempre con gafas o pantalla de protección con cristales transparentes.
- Escape o rotura de la muela.	- Incorporar y revisar el sistema de carenado con pantalla transparente de protección.
- Quemaduras y heridas en las manos.	- Aislar la zona con pantallas protectoras.
- Aspiración de polvo y partículas.	- Utilizar la muela adecuada. No apretar en exceso las tuercas.
	- Rectificar las muelas una vez montadas para evitar vibraciones.
	- Trabajar con guantes.
	- Sujetar piezas pequeñas con útiles auxiliares.
	- Utilizar un sistema de aspiración de humo adecuado.

TABLA 13.3

Picado de escoria

En la tabla 13.4 se indican los riesgos y prevenciones asociadas al picado de escoria.

Riesgos	Prevenciones
- Quemaduras	- Utilizar guantes y ropa adecuada.
	- Dejar enfriar la escoria.
- Heridas en los ojos	- Utilizar siempre gafas o pantalla con cristal transparente.

TABLA 13.4

Utilización de herramientas

Para el buen empleo de cualquier herramienta sin peligro, se debe tener presente siempre lo siguiente:

- Tener las herramientas ordenadas nunca revueltas.
- Emplear cada herramienta para lo que está destinada.
- No templar los cortafríos sino se es un experto, pueden romper con proyecciones violentas.
- Mantener las herramientas en buen estado.

FACULTAD DE CIENCIAS
TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO



PROYECTO FIN DE CARRERA

**DEFINICIÓN Y DESARROLLO DE PROCEDIMIENTOS DE
SOLDADURA EN TUBERÍAS DE ACEROS INOXIDABLES
PARA UN PROYECTO OFFSHORE**

ANEXOS

ANEXO 1
NORMAS, TÉRMINOS, DEFINICIONES Y TABLAS

ANEXO 1 – NORMAS, TÉRMINOS, DEFINICIONES Y TABLAS

1.1. REGLAS GENERALES (UNE EN ISO 15607)

TÍTULO: Especificación y Cualificación de los Procedimientos de Soldeo para los Materiales Metálicos - Reglas Generales

TÉRMINOS Y DEFINICIONES

Para los propósitos de esta norma, son de aplicación los términos siguientes:

1.- Procedimiento de soldeo

Programa de acciones a seguir para la realización de una soldadura, incluyendo proceso(s) de soldeo, referencias a los materiales, consumibles de soldeo, preparación, precalentamiento (si es necesario), método y control del soldeo y del tratamiento térmico post-soldadura (si es aplicable), así como del equipo necesario.

2.- Procesos de soldeo

Esta norma sigue la nomenclatura y definiciones dadas en ISO 857-1 para los procesos de soldeo. Sigue también el sistema de numeración para procesos de soldeo de EN ISO 4063.

3.- Especificación de procedimiento de soldeo preliminar (pWPS)

Documento que contiene las variables requeridas del procedimiento de soldeo que tiene que ser cualificado mediante uno de los métodos que se describen en la cláusula 6 de UNE EN ISO 15607.

4.- Especificación de procedimiento de soldeo (WPS)

Documento que ha sido cualificado por uno de los métodos descritos en la cláusula 6 y que facilita las variables requeridas del procedimiento de soldeo para asegurar la repetibilidad durante el soldeo de producción.

5.- Instrucción de trabajo

Especificación simplificada (escrita u oral) del procedimiento de soldeo, adecuada para su aplicación directa en el taller.

6.- Registro de cualificación de procedimiento de soldeo (WPQR)

Registro que comprende todos los datos necesarios para la cualificación de una especificación de procedimiento de soldeo preliminar.

7.- Prueba de procedimiento de soldeo

La realización y ensayo de un cupón de prueba normalizado, tal como se indica en la pWPS, con el fin de cualificar un procedimiento de soldeo.

8.- Prueba de soldeo anterior a la producción

Prueba de soldeo con los mismos objetivos que una prueba de procedimiento de soldeo, pero realizada en un cupón de prueba no normalizado representativo de las condiciones reales de fabricación.

9.- Especificación de procedimiento de soldeo estándar

Especificación de procedimiento de soldeo que ha sido cualificada mediante ensayos de procedimiento de soldeo en los que el fabricante no ha intervenido y cualificada por una persona u organismo examinador

NOTA: Un procedimiento de soldeo estándar puede ser utilizado por cualquier fabricante.

10.- Experiencia previa de soldeo

Cuando puede demostrarse con datos documentados, que los procedimientos de soldeo aplicados en producción con que cuenta un fabricante, han sido capaces de producir de forma permanente soldaduras de la calidad aceptable durante un período de tiempo.

11.- Consumible de soldeo ensayado

Consumible de soldeo, o combinación de consumibles, ensayados de acuerdo con las normas apropiadas para el ensayo de los consumibles de soldeo.

12.- Consumibles de soldeo

Materiales consumidos en la realización de una soldadura, incluido metales de aporte y materiales auxiliares.

13.- Variable esencial

Condición de soldeo que requiere cualificación.

14.- Variable no esencial

Condición de soldeo indicada en la WPS pero que no requiere cualificación.

15.- Rango de cualificación

Extensión de la cualificación para una variable de soldeo esencial.

16.- Metal base

Material(es) a unir mediante soldeo.

17.- Cupón de prueba

Conjunto soldado que se utiliza para realizar ensayos.

18.- Probeta de ensayo

Parte del cupón de prueba cortada para llevar a cabo un ensayo destructivo especificado.

19.- Unión homogénea

Unión soldada en la que el metal de soldadura y el metal base no tienen diferencias significativas en cuanto a propiedades mecánicas ni a composición química.

NOTA: Una unión soldada realizada con materiales base similares sin metal de aporte se considera homogénea.

20.- Unión heterogénea

Unión soldada en la que el metal de soldadura y el metal base tienen diferencias significativas en cuanto a propiedades mecánicas y/o a composición química.

21.- Unión de metales diferentes

Unión soldada en la que los metales base tienen diferencias significativas en sus propiedades mecánicas y/o composición química.

22.- Imperfección

Discontinuidad en la soldadura o desviación de la geometría proyectada. Imperfecciones son, por ejemplo, fisuras, falta de penetración, porosidad, inclusiones de escoria, etc.

NOTA: EN ISO 6520-1 y EN ISO 6520-2 contienen una relación completa de las imperfecciones.

23.- Fabricante

Persona u organización que es responsable de la producción soldada.

24.- Persona examinadora

Persona que ha sido designada para verificar el cumplimiento con la norma aplicable.

NOTA: En algunos casos puede ser requerida una persona examinadora independiente externa.

25.- Organismo examinador

Organización que ha sido designada para verificar el cumplimiento con la norma aplicable.

NOTA: En algunos casos puede ser requerido un organismo examinador independiente externo.

26.- Fabricante de consumibles

Organización que fabrica totalmente los consumibles, o que efectúa la fase final de la producción que determina la calidad de los consumibles.

27.- Personal coordinador del soldeo

Personal que tiene responsabilidades en operaciones de fabricación por soldeo y actividades afines, cuya competencia y conocimientos han sido demostrados, por

ejemplo: mediante la combinación adecuada entre su formación, educación y/o experiencia relevante en el campo de la fabricación.

28.- Aporte térmico

Energía aportada en la zona de la soldadura durante el soldeo.

29. Espesor del metal base

Espesor nominal de los materiales a soldar.

30. Espesor del metal de soldadura

Espesor del metal de soldadura excluyendo cualquier sobreespesor.

1.2. CR ISO 15608

TITULO: Soldeo. Directrices para el sistema de agrupamiento de materiales metálicos (ISO/TR 15608: 2000).

Tabla 1 – Sistema de agrupamiento de aceros

Group	Sub-group	Type of steel
1		Steels with a specified minimum yield strength $R_{eH} \leq 460 \text{ N/mm}^2$ * and with analysis in % : $C \leq 0,25$ $Si \leq 0,60$ $Mn \leq 1,70$ $Mo \leq 0,70^b$ $S \leq 0,045$ $P \leq 0,045$ $Cu \leq 0,40^b$ $Ni \leq 0,5^b$ $Cr \leq 0,3$ (0,4 for castings) ^b $Nb \leq 0,05$ $V \leq 0,12^b$ $Ti \leq 0,05$
	1.1	Steels with a specified minimum specified yield strength $R_{eH} \leq 275 \text{ N/mm}^2$
	1.2	Steels with a specified minimum yield strength $275 \text{ N/mm}^2 < R_{eH} \leq 360 \text{ N/mm}^2$
	1.3	Normalized fine grain steels with a specified minimum yield strength $R_{eH} > 360 \text{ N/mm}^2$
	1.4	Steels with improved atmospheric corrosion resistance whose analysis may exceed the requirements for the single elements as indicated under 1
2		Thermomechanically treated fine grain steels and cast steels with a specified minimum yield strength $R_{eH} > 360 \text{ N/mm}^2$
	2.1	Thermomechanically treated fine grain steels and cast steels with a specified minimum yield strength $360 \text{ N/mm}^2 < R_{eH} \leq 460 \text{ N/mm}^2$
	2.2	Thermomechanically treated fine grain steels and cast steels with a specified minimum yield strength $R_{eH} > 460 \text{ N/mm}^2$
3		Quenched and tempered steels and precipitation hardened steels except stainless steels with a specified minimum yield strength $R_{eH} > 360 \text{ N/mm}^2$
	3.1	Quenched and tempered steels with a specified minimum yield strength $360 \text{ N/mm} < R_{eH} \leq 690 \text{ N/mm}^2$
	3.2	Quenched and tempered steels with a specified minimum yield strength $R_{eH} > 690 \text{ N/mm}^2$
	3.3	Precipitation hardened steels except stainless steels
4		Low vanadium alloyed Cr-Mo-(Ni) steels with $Mo \leq 0,7 \%$ and $V \leq 0,1 \%$
	4.1	Steels with $Cr \leq 0,3 \%$ and $Ni \leq 0,7 \%$
	4.2	Steels with $Cr \leq 0,7 \%$ and $Ni \leq 1,5 \%$

Tabla 1 – Sistema de agrupamiento de aceros (fin)

Group	Sub-group	Type of steel
5		Cr-Mo steels free of vanadium with $C \leq 0,35 \%$ ^a
	5.1	Steels with $0,75 \% \leq Cr \leq 1,5 \%$ and $Mo \leq 0,7 \%$
	5.2	Steels with $1,5 \% < Cr \leq 3,5 \%$ and $0,7 \% < Mo \leq 1,2 \%$
	5.3	Steels with $3,5 \% < Cr \leq 7,0 \%$ and $0,4 \% < Mo \leq 0,7 \%$
	5.4	Steels with $7,0 \% < Cr \leq 10,0 \%$ and $0,7 \% < Mo \leq 1,2 \%$
6		High vanadium alloyed Cr-Mo-(Ni) steels
	6.1	Steels with $0,3 \% \leq Cr \leq 0,75 \%$, $Mo \leq 0,7 \%$ and $V \leq 0,35 \%$
	6.2	Steels with $0,75 \% < Cr \leq 3,5 \%$, $0,7 \% < Mo \leq 1,2 \%$ and $V \leq 0,35 \%$
	6.3	Steels with $3,5 \% < Cr \leq 7,0 \%$, $Mo \leq 0,7 \%$ and $0,45 \% \leq V \leq 0,55 \%$
	6.4	Steels with $7,0 \% < Cr \leq 12,5 \%$, $0,7 \% < Mo \leq 1,2 \%$ and $V \leq 0,35 \%$
7		Ferritic, martensitic or precipitation hardened stainless steels with $C \leq 0,35 \%$ and $10,5 \% \leq Cr \leq 30 \%$
	7.1	Ferritic stainless steels
	7.2	Martensitic stainless steels
	7.3	Precipitation hardened stainless steels
8		Austenitic stainless steels
	8.1	Austenitic stainless steels with $Cr \leq 19 \%$
	8.2	Austenitic stainless steels with $Cr > 19 \%$
	8.3	Manganese austenitic stainless steels with $4,0 \% < Mn \leq 12,0 \%$
9		Nickel alloy steels with $Ni \leq 10,0 \%$
	9.1	Nickel alloy steels with $Ni \leq 3,0 \%$
	9.2	Nickel alloy steels with $3,0 \% < Ni \leq 8,0 \%$
	9.3	Nickel alloy steels with $8,0 \% < Ni \leq 10,0 \%$
10		Austenitic ferritic stainless steels (duplex)
	10.1	Austenitic ferritic stainless steels with $Cr \leq 24,0 \%$
	10.2	Austenitic ferritic stainless steels with $Cr > 24,0 \%$
11		Steels covered by group 1 ^a except $0,25 \% < C \leq 0,5 \%$
	11.1	Steels as indicated under 11 with $0,25 \% < C \leq 0,35 \%$
	11.2	Steels as indicated under 11 with $0,35 \% < C \leq 0,5 \%$

^a In accordance with the specification of the steel product standards, R_{mH} may be replaced by $R_{p0,2}$ or $R_{t0,5}$.

^b A higher value is accepted provided that $Cr + Mo + Ni + Cu + V \leq 0,75 \%$.

^c "Free of vanadium" means not deliberately added to the material.

^d A higher value is accepted provided that $Cr + Mo + Ni + Cu + V \leq 1 \%$.

1.3. UNE EN ISO 15614-1

TITULO: Especificación y cualificación de procedimientos de soldeo para materiales metálicos – ensayo del procedimiento de soldeo – Parte 1: Soldeo por arco y con gas de aceros y soldeo por arco del níquel y sus aleaciones.

TABLAS Y FIGURAS

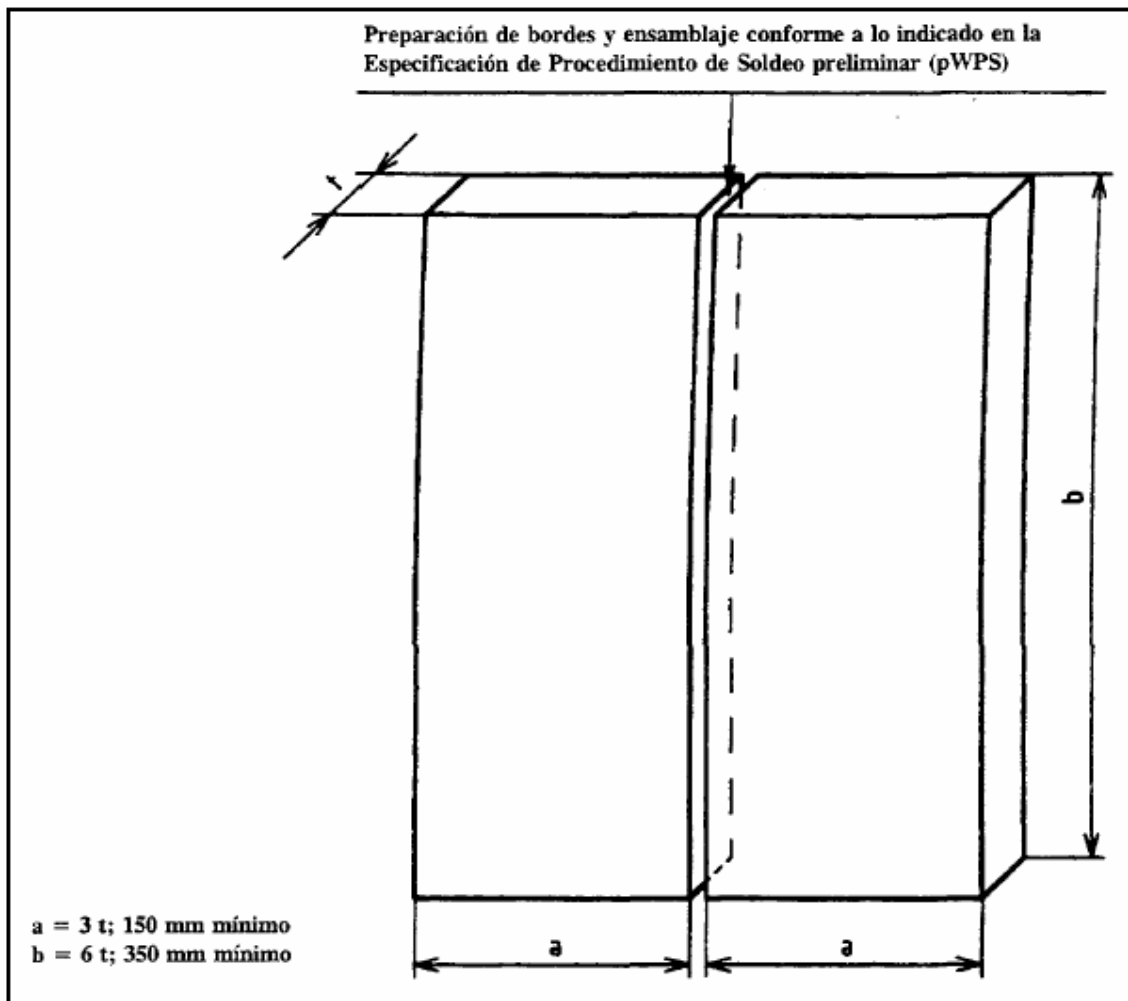


Figura 1 - Cupón de prueba para una unión a tope en chapa con penetración completa

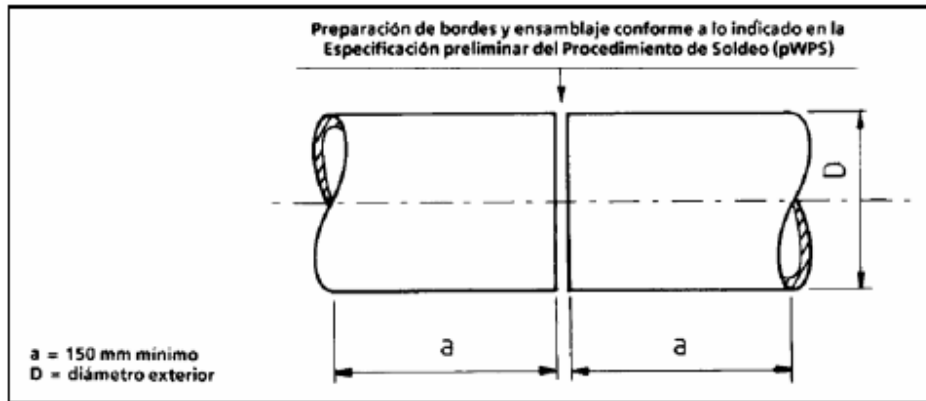


Figura 2 – Cupón de prueba para una unión a tope en tubo con penetración completa

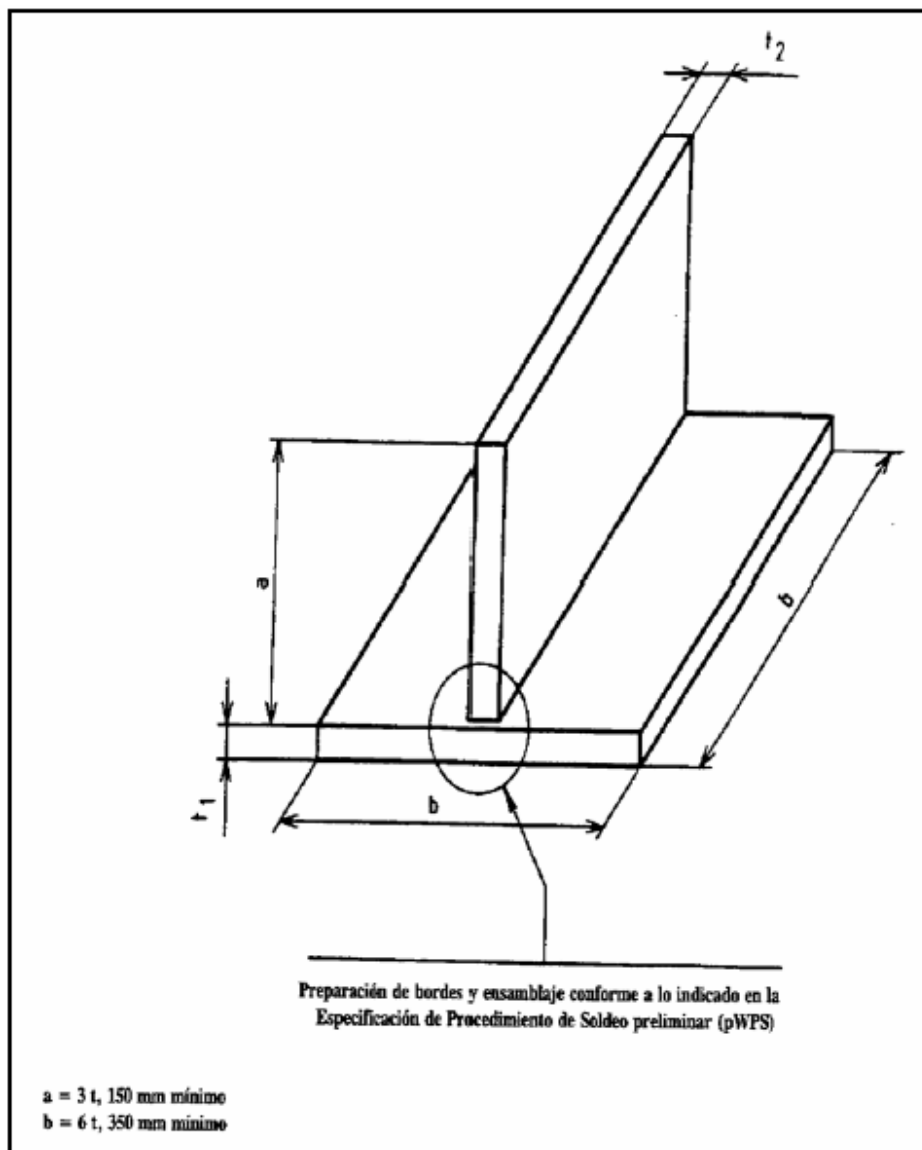
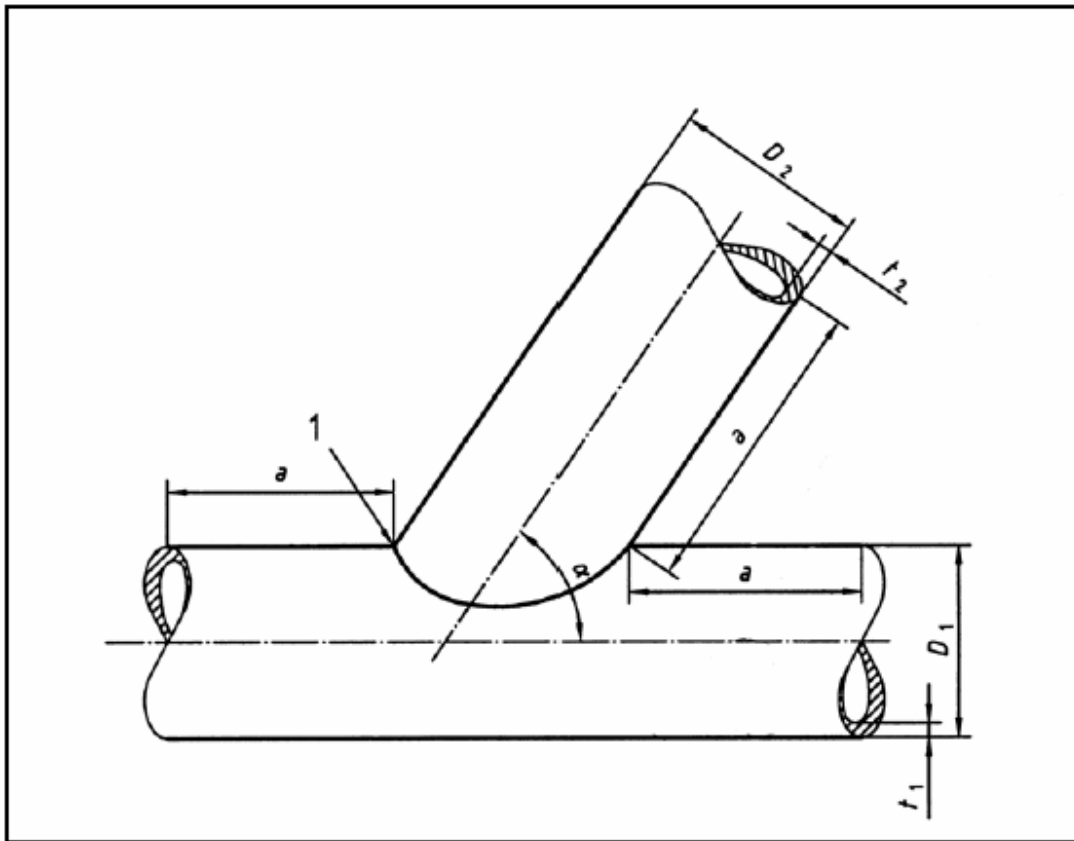


Figura 3 – Cupón de prueba para una unión en T



Clave

1 Preparación de la unión y ensamblaje según se detalle en la especificación del procedimiento de soldeo preliminar (pWPS)

α Ángulo de la ramificación

a 150 mm como mínimo

D1 Diámetro exterior del tubo principal

t1 Espesor del material del tubo principal

D2 Diámetro exterior de la ramificación

t2 Espesor del material de la ramificación

Figura 4 – Cupón de prueba para una ramificación

“Definición y Desarrollo de Procedimientos de Soldadura en Tuberías de Aceros Inoxidables para un Proyecto Offshore”

Tabla 1 – Exámenes y ensayos de los cupones de prueba

Cupón de prueba	Tipo de ensayo	Alcance del ensayo	Nota
Unión a tope con penetración completa – Figuras 1 y 2	Visual	100%	--
	Radiográfico o ultrasónico	100%	a
	Detección de grietas superficiales	100%	b
	Tracción transversal	2 probetas	--
	Doblado transversal	4 probetas	c
	Ensayo de impacto	2 juegos requerido	d
	Ensayo de dureza	1 probeta	e
Unión en T con penetración completa – Figura 3	Visual	100%	f
	Detección de grietas superficiales	100%	b y f
	Radiográfico o ultrasónico	100%	a, f y g
	Ensayo de dureza	requerido	e y f
	Examen macroscópico	2 probetas	f
Ramificación con penetración completa – Figura 4	Visual	100%	f
	Detección de grietas superficiales	100%	b y f
	Ensayo de dureza	requerido	e y f
	Examen macroscópico	2 probetas	f
Soldaduras en ángulo – Figuras 3 y 4	Visual	100%	f
	Detección de grietas superficiales	100%	b y f
	Ensayo de dureza	requerido	e y f
	Examen macroscópico	2 probetas	f

a El ensayo ultrasónico no se utilizará para $t < 8$ mm ni para materiales de los grupos 8, 10, 41 a 48.

b Ensayo por líquidos penetrantes o partículas magnéticas. Líquidos penetrantes en materiales no magnéticos.

c Para los ensayos de doblado véase 7.4.3.

d Un juego en el metal de soldadura y un juego en la ZAT para materiales con espesor ≥ 12 mm que tengan especificadas propiedades de impacto. Las normas de aplicación pueden requerir ensayo de impacto por debajo de 12 mm de espesor. La temperatura de ensayo la elegirá el fabricante teniendo en cuenta la aplicación o la norma de aplicación, no es necesario que sea menor que la de la especificación del metal base. Para ensayos adicionales véase 7.4.5.

e No se requiere para materiales base del subgrupo 1.1 y de los grupos 8 y 41 a 48.

f Estos ensayos no facilitan información sobre las propiedades mecánicas de la unión. Cuando estas propiedades sean relevantes para una determinada aplicación, se realizará una cualificación adicional, p. e. una cualificación con soldadura a tope.

g No se requiere ensayo ultrasónico para diámetros exteriores ≤ 50 mm. Para diámetros exteriores > 50 mm y cuando no sea técnicamente posible realizar el ensayo ultrasónico, se llevará a cabo un ensayo radiográfico siempre que la configuración de la unión permita obtener resultados significativos.

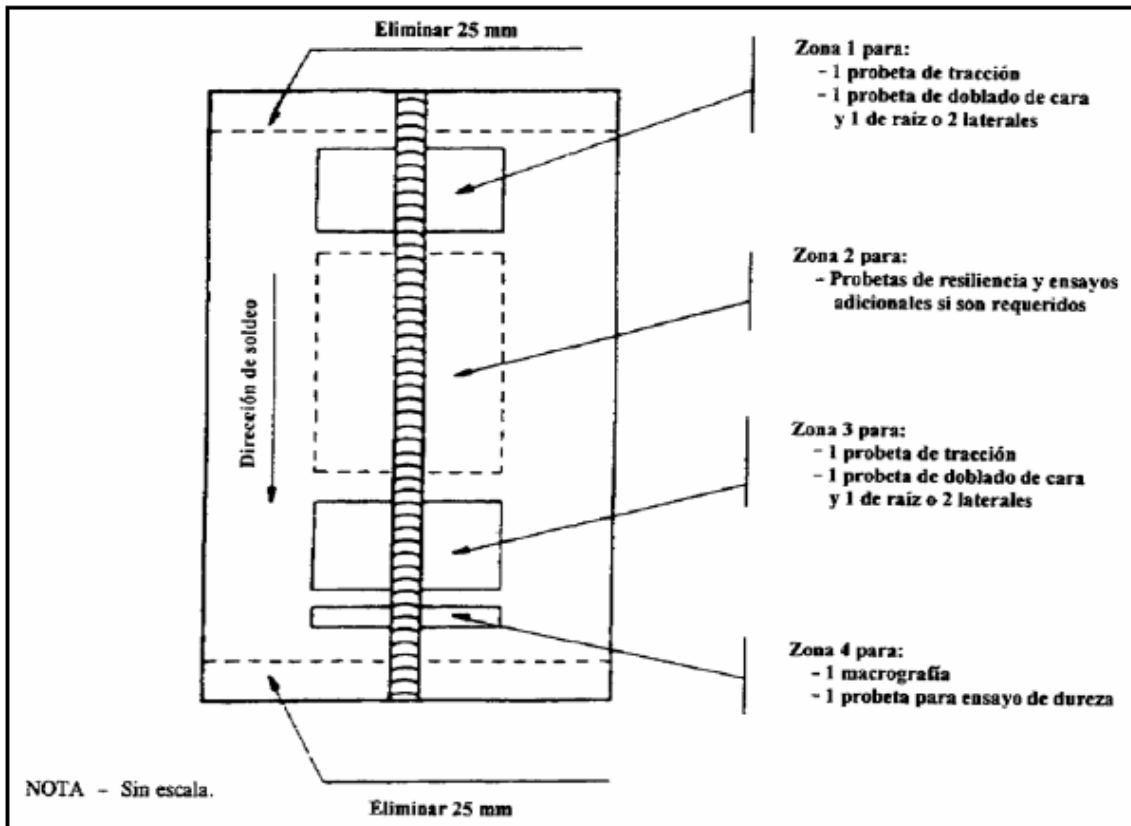


Figura 5 – Situación de las probetas en una unión a tope de chapa

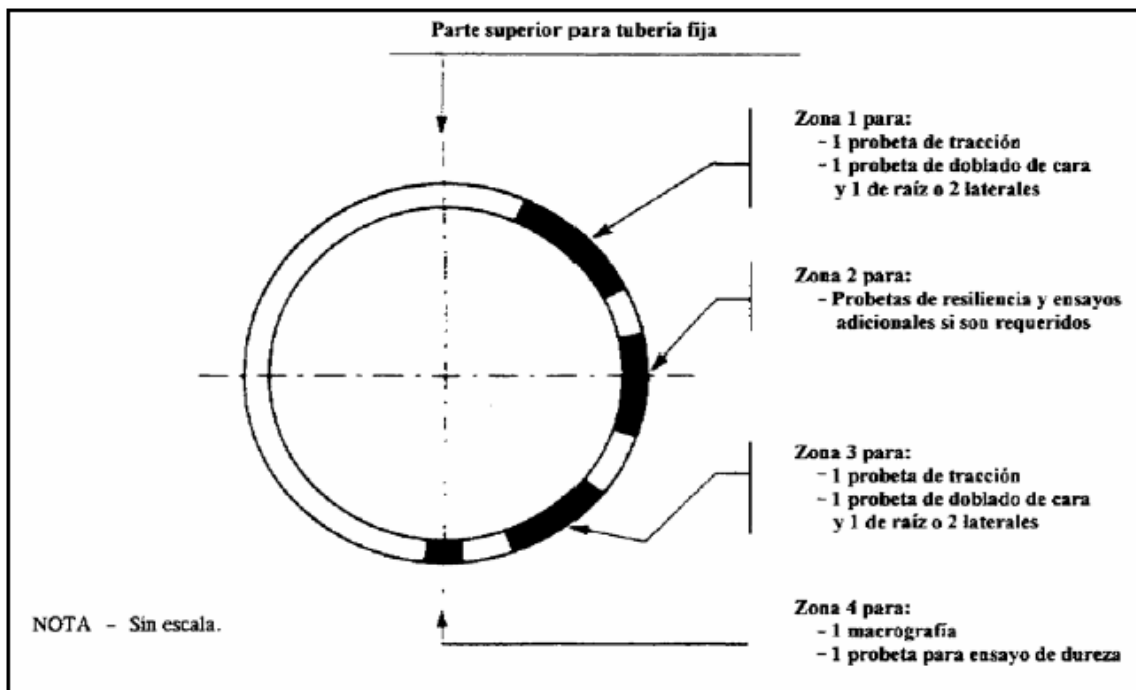


Figura 6 – Situación de las probetas en una unión a tope de tubo

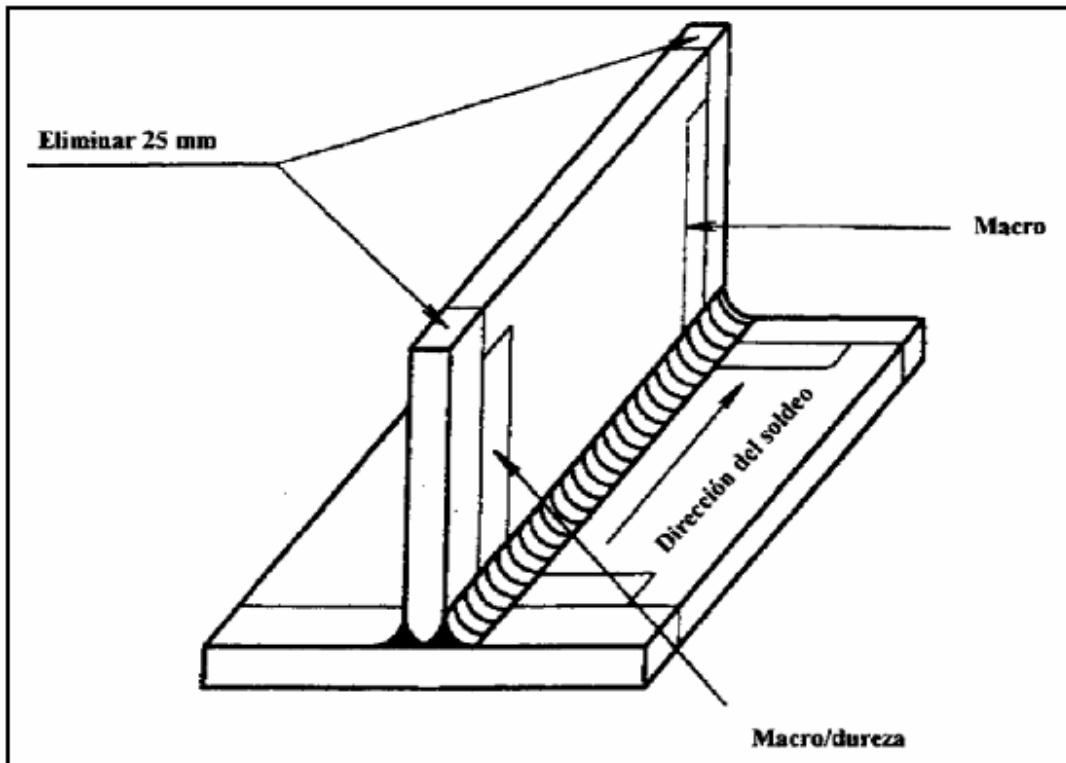
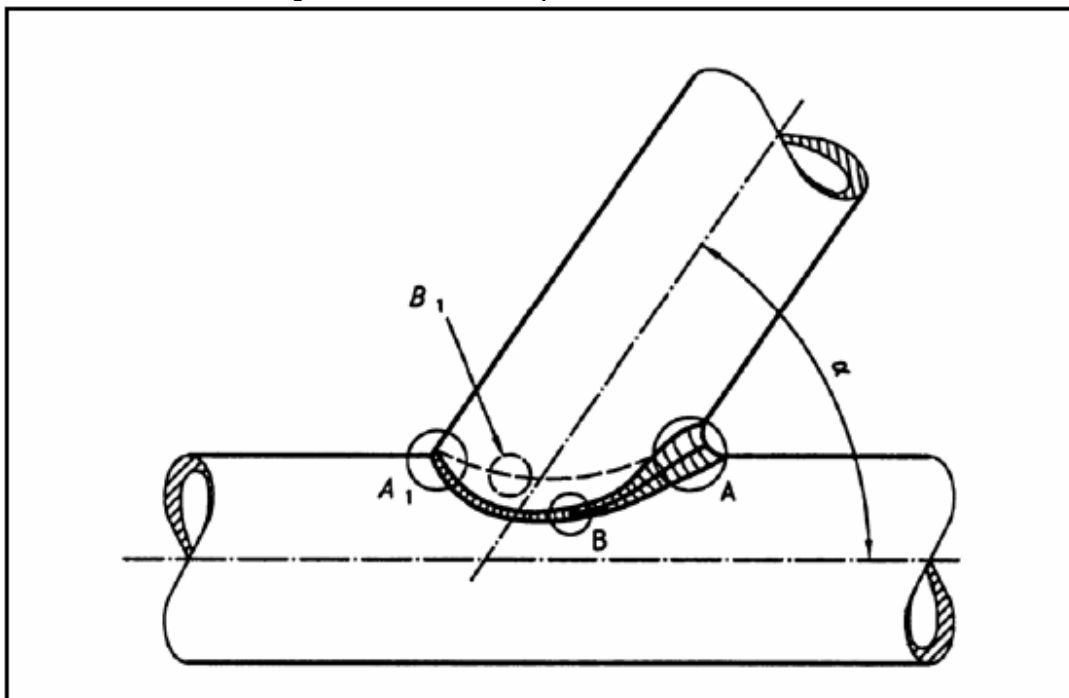


Figura 7 – Situación de las probetas en una unión en T



Clave

1 Se obtendrán probetas para macrografía y durezas en la posición A

2 Se obtendrán probetas para macrografía en la posición B

α Ángulo de la ramificación

Figura 8 – Situación de las probetas en una ramificación o en una soldadura en ángulo de tubo

Tabla 2 – Valores de dureza máxima admisible

Grupos de acero CR ISO 15608	Sin tratamiento térmico	Con tratamiento térmico
1 ^a , 2	380	320
3 ^b	450	380
4, 5	380	320
6	----	350
9.1	350	300
9.2	450	350
9.3	450	350

^a Si se requieren ensayos de dureza.
^b Para aceros con $R_{eH} > 890 \text{ N/mm}^2$ se especificarán valores especiales.

Tabla 3 – Rango de cualificación para los grupos y subgrupos de acero

Grupo(s) de material(es) del cupón de prueba	Rango de cualificación
1 - 1	1 ^a - 1
2 - 2	2 ^a - 2, 1 - 1, 2 ^a - 1
3 - 3	3 ^a - 3, 1 - 1, 2 - 1, 2 - 2, 3 ^a - 1, 3 ^a - 2
4 - 4	4 ^b - 4, 4 ^b - 1, 4 ^b - 2
5 - 5	5 ^b - 5, 5 ^b - 1, 5 ^b - 2
6 - 6	6 ^b - 6, 6 ^b - 1, 6 ^b - 2
7 - 7	7 ^c - 7
7 - 3	7 ^c - 3, 7 ^c - 1, 7 ^c - 2
7 - 2	7 ^c - 2 ^a , 7 ^c - 1
8-8	8 ^c - 8
8-6	8 ^c -6 ^b , 8 ^c -1, 8 ^c -2, 8 ^c -4
8-5	8 ^c -5 ^b , 8 ^c -1, 8 ^c -2, 8 ^c -4, 8 ^c -6.1, 8 ^c -6.2
8-3	8 ^c -3 ^a , 8 ^c -1, 8 ^c -2
8-2	8 ^c -2 ^a , 8 ^c -1
9-9	9 ^b -9
10-10	10 ^b -10
10-8	10 ^b -8 ^c
10-6	10 ^b -6 ^b , 10 ^b -1, 10 ^b -2, 10 ^b -4
10-5	10 ^b -5 ^b , 10 ^b -1, 10 ^b -2, 10 ^b -4, 10 ^b -6.1, 10 ^b -6.2,
10-3	10 ^b -3 ^a , 10 ^b -1, 10 ^b -2
10-2	10 ^b -2 ^a , 10 ^b -1,
11-11	11 ^b -11, 11 ^b -1
^a Cubre aceros con igual o menor límite elástico especificado dentro del mismo grupo ^b Cubre los aceros del mismo subgrupo y aquellos subgrupos inferiores dentro del mismo grupo. ^c Cubre todos los aceros del mismo subgrupo.	

Tabla 4 – Rango de cualificación para los grupos de aleaciones de níquel y aleaciones de níquel con acero

Grupo(s) de material(es) del cupón de prueba	Rango de cualificación
41-41	41 ^c -41
42-42	42 ^c -42
43-43	43 ^c -43, 45 ^c -45, 47 ^c -47
44-44	44 ^c -44
45-45	45 ^c -45, 43 ^c -43 ^c
46-46	46 ^c -46
47-47	47 ^c -47, 43 ^c -43 ^c , 45 ^c -45 ^c
48-48	48 ^c -48
41 a 48 - 2	41 a 48 ^c -2 ^a , 41 a 48 ^c -1
41 a 48 - 3	41 a 48 ^c -3 ^a , 41 a 48 ^c - 2 ó 1,
41 a 48 - 5	41 a 48 ^c -5 ^b , 41 a 48 ^c -6.2 ó 6.1 ó 4 ó 2 ó 1
41 a 48 - 6	41 a 48 ^b -6 ^b , 41 a 48 ^c - 4 ó 2 ó 1
<p>NOTA: Para los grupos 41 a 48, un ensayo de procedimiento llevado a cabo con una aleación endurecible por precipitación en un grupo cubre todas las aleaciones endurecibles por precipitación en ese grupo soldadas a todas las aleaciones de solución sólida en el mismo grupo.</p>	
<p>^a Cubre aceros con igual o menor límite elástico especificado dentro del mismo grupo</p>	
<p>^b Cubre los aceros del mismo subgrupo y aquellos subgrupos inferiores dentro del mismo grupo.</p>	
<p>^c Para los grupos 41 a 48, la prueba del procedimiento llevada a cabo con una aleación de solución sólida o endurecible por precipitación en un grupo cubre todas las aleaciones de solución sólida o endurecibles por precipitación respectivamente en el mismo grupo.</p>	

Tabla 5 – Rango de cualificación para espesores de material en soldaduras a tope y espesor depositado en la soldadura

Espesor del cupón de prueba, t	Rango de cualificación	
	Pasada única	Pasadas múltiples
$t \leq 3$	0,7 t a 1,3 t	0,7 t a 2 t
$3 < t \leq 12$	0,5 t (3 min.) a 1,3 t ^a	3 a 2 t ^a
$12 < t \leq 100$	0,5 t a 1,1 t	0,5 t a 2 t
$t > 100$	No aplicable	50 a 2 t

^a Cuando se especifiquen requisitos de impacto, el límite superior de cualificación será 12 mm salvo que se realicen ensayos de impacto.

Dimensiones en mm

Tabla 6 – Rango de cualificación para espesores de material y espesor de garganta en soldaduras en ángulo.

Espesor del cupón de prueba, t	Espesor de material	Rango de cualificación	
		Espesor de garganta	
		Pasada simple	Pasada múltiple
$t \leq 3$	0,7 t a 2 t	0,75 a hasta 2 a	Sin restricción
$3 < t < 30$	0,5 t (3 min.) a 1,2 t	0,75 a hasta 1,5 a	Sin restricción
$t \geq 30$	≥ 5	^a	Sin restricción

NOTA 1. “a” la garganta utilizada en el cupón de prueba
 NOTA 2. Cuando la soldadura en ángulo se cualifica por medio de una prueba de soldadura a tope, el rango de cualificación del espesor de garganta debe basarse en el espesor del material depositado.
^a sólo para aplicaciones especiales. Cada espesor de garganta debe probarse separadamente mediante un ensayo del procedimiento de soldeo.

Dimensiones en mm

Tabla 7 – Rango de cualificación para diámetros de tubos y ramificaciones

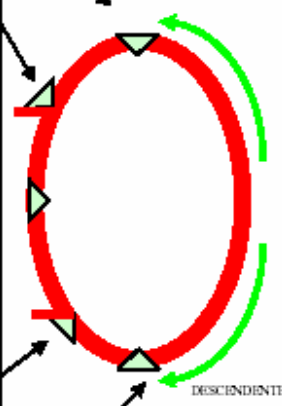
Diámetro del cupón de prueba D ^a , mm	Rango de cualificación
$D \leq 25$	0,5 D a 2 D
$D > 25$	$\geq 0,5 D$ (min. 25 mm)

NOTA Para secciones huecas estructurales, D es la dimensión del lado menor.
^a D es el diámetro exterior de tubo o el diámetro exterior de la ramificación.

Dimensiones en mm

POSICIONES DE SOLDEO APLICABLES

ÁNGULO (FW)		TOPE (BW)			ÁNGULO (FW)		TOPE (BW)		
TUBO	CHAPA	TUBO	CHAPA		TUBO	CHAPA	TUBO	CHAPA	
1F 	1F 	1G 	1G 		PA	H-L045		6G 	
2F 	2F 			PB	PF	5F 	3F 	5G 	3G
		2G 	2G 	PC	PG	5F 	3F 	5G 	3G
4F 	4F 			PD	J-L045		6G 		
			4G 	PE					



1.5. ANSI/ASME B36.19M-1985

TÍTULO: Stainless Steel Pipe

TABLE 2 DIMENSIONS OF WELDED AND SEAMLESS STAINLESS STEEL PIPE – CUSTOMARY UNITS

Inch Nominal Pipe Size	Outside Diameter, in.	Nominal Wall Thickness, in.			
		Schedule 5S (1)	Schedule 10S (1)	Schedule 40S	Schedule 80S
1/8	0.405	...	0.049	0.068	0.095
1/4	0.540	...	0.065	0.088	0.119
3/8	0.675	...	0.065	0.091	0.126
1/2	0.840	0.065	0.083	0.109	0.147
3/4	1.050	0.065	0.083	0.113	0.154
1	1.315	0.065	0.109	0.133	0.179
1 1/4	1.660	0.065	0.109	0.140	0.191
1 1/2	1.900	0.065	0.109	0.145	0.200
2	2.375	0.065	0.109	0.154	0.218
2 1/2	2.875	0.083	0.120	0.203	0.276
3	3.500	0.083	0.120	0.216	0.300
3 1/2	4.000	0.083	0.120	0.226	0.318
4	4.500	0.083	0.120	0.237	0.337
5	5.563	0.109	0.134	0.258	0.375
6	6.625	0.109	0.134	0.280	0.432
8	8.625	0.109	0.148	0.322	0.500
10	10.750	0.134	0.165	0.365	0.500 (2)
12	12.750	0.156	0.180	0.375 (2)	0.500 (2)
14	14.000	0.156	0.188 (2)	...	...
16	16.000	0.165	0.188 (2)	...	...
18	18.000	0.165	0.188 (2)	...	...
20	20.000	0.188	0.218 (2)	...	...
22	22.000	0.188	0.218 (2)	...	...
24	24.000	0.218	0.250	...	...
30	30.000	0.250	0.312	...	...

GENERAL NOTES:

(a) 1 in. = 25.4 mm

(b) For tolerances, see Section 4.

NOTES:

(1) Schedules 5S and 10S wall thicknesses do not permit threading in accordance with ANSI/ASME B1.20.1.

(2) These dimensions do not conform to ANSI/ASME B36.10M.

TABLE 2A DIMENSIONS OF WELDED AND SEAMLESS STAINLESS STEEL PIPE – SI UNITS

Inch Nominal Pipe Size	Outside Diameter, mm	Nominal Wall Thickness, mm			
		Schedule 5S (1)	Schedule 10S (1)	Schedule 40S	Schedule 80S
1/8	10.3	...	1.24	1.73	2.41
1/4	13.7	...	1.65	2.24	3.02
3/8	17.1	...	1.65	2.31	3.20
1/2	21.3	1.65	2.11	2.77	3.73
3/4	26.7	1.65	2.11	2.87	3.91
1	33.4	1.65	2.77	3.38	4.55
1 1/4	42.2	1.65	2.77	3.56	4.85
1 1/2	48.3	1.65	2.77	3.68	5.08
2	60.3	1.65	2.77	3.91	5.54
2 1/2	73.0	2.11	3.05	5.16	7.01
3	88.9	2.11	3.05	5.49	7.62
3 1/2	101.6	2.11	3.05	5.74	8.08
4	114.3	2.11	3.05	6.02	8.56
5	141.3	2.77	3.40	6.55	9.53
6	168.3	2.77	3.40	7.11	10.97
8	219.1	2.77	3.76	8.18	12.70
10	273.1	3.40	4.19	9.27	12.70 (2)
12	323.9	3.96	4.57	9.53 (2)	12.70 (2)
14	355.6	3.96	4.78 (2)	...	...
16	406.4	4.19	4.78 (2)	...	...
18	457	4.19	4.78 (2)	...	...
20	508	4.78	5.54 (2)	...	...
22	559	4.78	5.54 (2)	...	...
24	610	5.54	6.35	...	...
30	762	6.35	7.92	...	...

GENERAL NOTES:

- (a) 25.4 mm = 1 in.
- (b) For tolerances, see Section 4.

NOTES:

- (1) Schedules 5S and 10S wall thicknesses do not permit threading in accordance with ANSI/ASME B1.20.1.
- (2) These dimensions do not conform to ANSI/ASME B36.10M.

1.6. AWS A5.9

AWS Classification ^a	UNS Number ^b	Composition, Wt % ^a													Other Elements	
		C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	P	S	N	Cu	Element	Amount			
ER209	S20980	0.05	20.5-24.0	9.5-12.0	1.5-3.0	4.0-7.0	0.90	0.03	0.03	0.10-0.30	0.75	V	0.10-0.30			
ER218	S21880	0.10	16.0-18.0	8.0-9.0	0.75	7.0-9.0	3.5-4.5	0.03	0.03	0.08-0.18	0.75	—	—			
ER219	S21980	0.05	19.0-21.5	5.5-7.0	0.75	8.0-10.0	1.00	0.03	0.03	0.10-0.30	0.75	—	—			
ER240	S24080	0.05	17.0-19.0	4.0-6.0	0.75	10.5-13.5	1.00	0.03	0.03	0.10-0.30	0.75	—	—			
ER307	S30780	0.04-0.14	19.5-22.0	8.0-10.7	0.5-1.5	3.3-4.75	0.30-0.65	0.03	0.03	—	0.75	—	—			
ER308	S30880	0.08	19.5-22.0	9.0-11.0	0.75	1.0-2.5	0.30-0.65	0.03	0.03	—	0.75	—	—			
ER308H	S30880	0.04-0.08	19.5-22.0	9.0-11.0	0.50	1.0-2.5	0.30-0.65	0.03	0.03	—	0.75	—	—			
ER308L	S30883	0.03	19.5-22.0	9.0-11.0	0.75	1.0-2.5	0.30-0.65	0.03	0.03	—	0.75	—	—			
ER308Mo	S30882	0.08	18.0-21.0	9.0-12.0	2.0-3.0	1.0-2.5	0.30-0.65	0.03	0.03	—	0.75	—	—			
ER308LMo	S30886	0.04	18.0-21.0	9.0-12.0	2.0-3.0	1.0-2.5	0.30-0.65	0.03	0.03	—	0.75	—	—			
ER308Si	S30881	0.08	19.5-22.0	9.0-11.0	0.75	1.0-2.5	0.65-1.00	0.03	0.03	—	0.75	—	—			
ER308LSi	S30888	0.03	19.5-22.0	9.0-11.0	0.75	1.0-2.5	0.65-1.00	0.03	0.03	—	0.75	—	—			
ER309	S30980	0.12	23.0-25.0	12.0-14.0	0.75	1.0-2.5	0.30-0.65	0.03	0.03	—	0.75	—	—			
ER309L	S30983	0.03	23.0-25.0	12.0-14.0	0.75	1.0-2.5	0.30-0.65	0.03	0.03	—	0.75	—	—			
ER309Mo	S30982	0.12	23.0-25.0	12.0-14.0	2.0-3.0	1.0-2.5	0.30-0.65	0.03	0.03	—	0.75	—	—			
ER309LMo	S30986	0.03	23.0-25.0	12.0-14.0	2.0-3.0	1.0-2.5	0.30-0.65	0.03	0.03	—	0.75	—	—			
ER309Si	S30981	0.12	23.0-25.0	12.0-14.0	0.75	1.0-2.5	0.65-1.00	0.03	0.03	—	0.75	—	—			
ER309LSi	S30988	0.03	23.0-25.0	12.0-14.0	0.75	1.0-2.5	0.65-1.00	0.03	0.03	—	0.75	—	—			
ER310	S31080	0.08-0.15	25.0-28.0	20.0-22.5	0.75	1.0-2.5	0.30-0.65	0.03	0.03	—	0.75	—	—			
ER312	S31380	0.15	28.0-32.0	8.0-10.5	0.75	1.0-2.5	0.30-0.65	0.03	0.03	—	0.75	—	—			
ER316	S31680	0.08	18.0-20.0	11.0-14.0	2.0-3.0	1.0-2.5	0.30-0.65	0.03	0.03	—	0.75	—	—			
ER316H	S31680	0.04-0.08	18.0-20.0	11.0-14.0	2.0-3.0	1.0-2.5	0.30-0.65	0.03	0.03	—	0.75	—	—			
ER316L	S31683	0.03	18.0-20.0	11.0-14.0	2.0-3.0	1.0-2.5	0.30-0.65	0.03	0.03	—	0.75	—	—			
ER316Si	S31681	0.08	18.0-20.0	11.0-14.0	2.0-3.0	1.0-2.5	0.65-1.00	0.03	0.03	—	0.75	—	—			
ER316LSi	S31688	0.03	18.0-20.0	11.0-14.0	2.0-3.0	1.0-2.5	0.65-1.00	0.03	0.03	—	0.75	—	—			
ER317	S31780	0.08	18.5-20.5	13.0-15.0	3.0-4.0	1.0-2.5	0.30-0.65	0.03	0.03	—	0.75	—	—			
ER317L	S31783	0.03	18.5-20.5	13.0-15.0	3.0-4.0	1.0-2.5	0.30-0.65	0.03	0.03	—	0.75	—	—			
ER318	S31980	0.08	18.0-20.0	11.0-14.0	2.0-3.0	1.0-2.5	0.30-0.65	0.03	0.03	—	0.75	—	—			
ER320	N08021	0.07	19.0-21.0	32.0-36.0	2.0-3.0	2.5	0.60	0.03	0.03	—	0.75	—	8 x C min/1.0 max			
ER320LR	N08022	0.025	19.0-21.0	32.0-36.0	2.0-3.0	1.5-2.0	0.15	0.015	0.02	—	3.0-4.0	—	8 x C min/1.0 max			
ER321	S32180	0.08	18.5-20.5	9.0-10.5	0.75	1.0-2.5	0.30-0.65	0.03	0.03	—	3.0-4.0	—	8 x C min/1.0 max			
ER330	N08331	0.18-0.25	15.0-17.0	34.0-37.0	0.75	1.0-2.5	0.30-0.65	0.03	0.03	—	0.75	—	8 x C min/0.40 max			
ER347	S34780	0.08	19.0-21.5	9.0-11.0	0.75	1.0-2.5	0.30-0.65	0.03	0.03	—	0.75	—	9 x C min/1.0 max			
ER347Si	S34788	0.08	19.0-21.5	9.0-11.0	0.75	1.0-2.5	0.30-0.65	0.03	0.03	—	0.75	—	10 x C min/1.0 max			
ER383	N08028	0.025	26.5-28.5	30.0-35.0	3.2-4.2	1.0-2.5	0.65-1.00	0.03	0.03	—	0.75	—	10 x C min/1.0 max			
ER385	N08904	0.025	19.5-21.5	24.0-26.0	4.2-5.2	1.0-2.5	0.50	0.02	0.03	—	0.70-1.5	—	—			
ER409	S40900	0.08	10.5-13.5	0.6	0.50	0.8	0.8	0.03	0.03	—	1.2-2.0	—	—			
ER409Cb	S40940	0.08	10.5-13.5	0.6	0.50	0.8	1.0	0.03	0.03	—	0.75	—	10 x C min/1.5 max			
ER410	S41080	0.12	11.5-13.5	0.6	0.75	0.6	0.5	0.03	0.03	—	0.75	—	10 x C min/0.75 max			
ER410NiMo	S41086	0.06	11.0-12.5	4.0-5.0	0.4-0.7	0.6	0.5	0.03	0.03	—	0.75	—	—			

Table 1 (Continued)

AWS Classification ^a	UNS Number ^a	Composition, Wt % ^{a,b}											Other Elements	
		C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	P	S	N	Cu	Element	Amount	
ER420	S42080	0.25-0.40	12.0-14.0	0.6	0.75	0.6	0.5	0.03	0.03	—	0.75	—	—	
ER430	S43080	0.10	15.5-17.0	0.6	0.75	0.6	0.5	0.03	0.03	—	0.75	—	—	
ER446LM ^o	S44687	0.015	25.0-27.5	r	0.75-1.50	0.4	0.4	0.02	0.02	0.015	r	—	—	
ER502 ^a	S50280	0.10	4.6-6.0	0.6	0.45-0.65	0.6	0.5	0.03	0.03	—	0.75	—	—	
ER505 ^a	S50480	0.10	8.0-10.5	0.5	0.8-1.2	0.6	0.5	0.03	0.03	—	0.75	—	—	
ER630	S17480	0.05	16.0-16.75	4.5-5.0	0.75	0.25-0.75	0.75	0.03	0.03	—	3.25-4.00	—	0.15-0.30	
ER19-10H	S30480	0.04-0.08	18.5-20.0	9.0-11.0	0.25	1.0-2.0	0.30-0.65	0.03	0.03	—	0.75	—	0.05	
ER16-8-2	S16880	0.10	14.5-16.5	7.5-9.5	1.0-2.0	1.0-2.0	0.30-0.65	0.03	0.03	—	0.75	—	0.05	
ER2209	S39209	0.03	21.5-23.5	7.5-9.5	2.5-3.5	0.50-2.0	0.90	0.03	0.03	0.08-0.20	0.75	—	—	
ER2553	S39553	0.04	24.0-27.0	4.5-6.5	2.9-3.9	1.5	1.0	0.04	0.03	0.10-0.25	1.5-2.5	—	—	
ER3556	R30556	0.05-0.15	21.0-23.0	19.0-22.5	2.5-4.0	0.50-2.00	0.20-0.80	0.04	0.015	0.10-0.30	—	—	16.0-21.0	
												Co	2.0-3.5	
												W	0.30	
												Cr ^b	0.30-1.25	
												Ta	0.10-0.50	
												Al	0.001-0.10	
												Zr	0.005-0.10	
												La	0.02	
												B	0.02	

Notes:

- a. Analysis shall be made for the elements for which specific values are shown in this table. If the presence of other elements is indicated in the course of this work, the amount of those elements shall be determined to ensure that their total, excluding iron, does not exceed 0.50 percent.
- b. Single values shown are maximum percentages.
- c. In the designator for composite, stranded, and strip electrodes, the “R” shall be deleted. A designator “C” shall be used for composite and stranded electrodes and a designator “O” shall be used for strip metal cored or stranded electrode and may not have the same UNS number. Consult ASTM/SAE Uniform Numbering System for the proper UNS Number.
- d. For special applications, electrodes and rods may be purchased with less than the specified silicon content.
- e. ASTM/SAE Unified Numbering System for Metals and Alloys.
- f. Nickel + copper equals 0.5 percent maximum.
- g. Cr(Nb) may be reported as Cr(Nb) + Ta.
- h. These classifications also will be included in the next revision of ANSI/AWS A5.28, *Specification for Low Alloy Steel Filler Metals for Gas Shielded Metal Arc Welding*. They will be deleted from ANSI/AWS A5.9 in the first revision following publication of the revised ANSI/AWS A5.28 document.

1.7. AWS A5.4

Table 1
Chemical Composition Requirements for Undiluted Weld Metal

AWS Classification ^e	UNS Number ^d	C	Cr	Ni	Mo	Ch (Nb) plus Ta	Mn	Si	P	S	N	Cu
E209-XX ^c	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
308MoL-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

Table 1 (continued)

AWS Classification ^e	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 ^{c,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.

1.8 AWS A5.11

Table 1
Chemical Composition Requirements for Undiluted Weld Metal

Weight-Percent ^{a,b}

AWS Classification	UNS Number ^c	C	Mn	Fe	P	S	Si	Cu	Ni ^d	Co	Al	Ti	Cr	Nb(Cb) plus Ta	Mo	V	W	Other Elements Total
ENi-1	W82141	0.10	0.75	0.75	0.03	0.02	1.25	0.25	92.0 min.	—	1.0	1.0 to 4.0	—	—	—	—	—	0.50
ENiCu-7	W84190	0.15	4.0	2.5	0.02	0.015	1.5	Rem	62.0 to 69.0	—	0.75	1.0	—	—	—	—	—	0.50
ENiCrFe-1	W86132	0.08	3.5	11.0	0.03	0.015	0.75	0.50	62.0 min.	—	—	—	13.0 to 17.0	1.5 to 4.0 ^f	—	—	—	0.50
ENiCrFe-2	W86133	0.10	1.0 to 3.5	12.0	0.03	0.02	0.75	0.50	62.0 min.	(e)	—	—	13.0 to 17.0	0.5 to 2.5	0.5	—	—	0.50
ENiCrFe-3	W86182	0.10	5.0 to 9.5	10.0	0.03	0.015	1.0	0.50	59.0 min.	(e)	—	1.0	13.0 to 17.0	1.0 to 2.5 ^f	—	—	—	0.50
ENiCrFe-4	W86134	0.20	1.0 to 3.5	12.0	0.03	0.02	1.0	0.50	60.0 min.	—	—	—	13.0 to 17.0	1.0 to 3.5	1.0	—	—	0.50
ENiCrFe-7	W86152	0.05	5.0	7.0 to 12.0	0.03	0.015	0.75	0.50	Rem	(e)	0.50	0.50	28.0 to 31.5	1.0 to 2.5	0.5	—	—	0.50
ENiCrFe-9	W86094	0.15	1.0 to 4.5	12.0	0.02	0.015	0.75	0.50	55.0 min.	—	—	—	12.0 to 17.0	0.5 to 3.0	2.5 to 5.5	—	1.5	0.50
ENiCrFe-10	W86095	0.20	1.0 to 3.5	12.0	0.02	0.015	0.75	0.50	55.0 min.	—	—	—	13.0 to 17.0	1.0 to 3.5	1.0	—	1.5 to 3.5	0.50
ENiMo-1	W80001	0.07	1.0	4.0 to 7.0	0.04	0.03	1.0	0.50	Rem	2.5	—	—	1.0	—	26.0 to 30.0	0.60	1.0	0.50

(continued)

Table 1 (Continued)

		Weight-Percent ^{a,b}																
AWS Classification	UNS Number ^c	C	Mn	Fe	P	S	Si	Cu	Ni ^d	Co	Al	Ti	Cr	Nb plus Ta	Mo	V	W	Other Elements Total
ENiMo-3	W80004	0.12	1.0	4.0 to 7.0	0.04	0.03	1.0	0.50	Rem	2.5	—	—	2.5 to 5.5	—	23.0 to 27.0	0.60	1.0	0.50
ENiMo-7	W80665	0.02	1.75	2.25	0.04	0.03	0.2	0.50	Rem	1.0	—	—	1.0	—	26.0 to 30.0	—	1.0	0.50
ENiMo-8	W80008	0.10	1.5	10.0	0.02	0.015	0.75	0.50	60.0 min.	—	—	—	0.5 to 3.5	—	17.0 to 20.0	—	2.0 to 4.0	0.50
ENiMo-9	W80009	0.10	1.5	7.0	0.02	0.015	0.75	0.3 to 1.3	62.0 min.	—	—	—	—	—	18.0 to 22.0	—	2.0 to 4.0	0.50
ENiMo-10	W80675	0.02	2.0	1.0 to 3.0	0.04	0.03	0.2	0.50	Rem	3.0	—	—	1.0 to 3.0	—	27.0 to 32.0	—	3.0	0.50
ENiCrCoMo-1	W86117	0.05 to 0.15	0.3 to 2.5	5.0	0.03	0.015	0.75	0.50	Rem	9.0 to 15.0	—	—	21.0 to 26.0	1.0	8.0 to 10.0	—	—	0.50
ENiCrMo-1	W86007	0.05	1.0 to 2.0	18.0 to 21.0	0.04	0.03	1.0	1.5 to 2.5	Rem	2.5	—	—	21.0 to 23.5	1.75 to 2.50	5.5 to 7.5	—	1.0	0.50
ENiCrMo-2	W86002	0.05 to 0.15	1.0	17.0 to 20.0	0.04	0.03	1.0	0.50	Rem	0.50 to 2.50	—	—	20.5 to 23.0	—	8.0 to 10.0	—	0.2 to 1.0	0.50
ENiCrMo-3	W86112	0.10	1.0	7.0	0.03	0.02	0.75	0.50	55.0 min.	(e)	—	—	20.0 to 23.0	3.15 to 4.15	8.0 to 10.0	—	—	0.50
ENiCrMo-4	W80276	0.02	1.0	4.0 to 7.0	0.04	0.03	0.2	0.50	Rem	2.5	—	—	14.5 to 16.5	—	15.0 to 17.0	0.35	3.0 to 4.5	0.50

(continued)

Table 1 (Continued)

AWS Classification	UNS Number ^c	Weight-Percent ^{a,b}														Other Elements Total		
		C	Mn	Fe	P	S	Si	Cu	Ni ^d	Co	Al	Ti	Cr	Nb plus Ta	Mo		V	W
ENiCrMo-5	W80002	0.10	1.0	4.0 to 7.0	0.04	0.03	1.0	0.50	Rem	2.5	—	—	14.5 to 16.5	—	15.0 to 17.0	0.35	3.0 to 4.5	0.50
ENiCrMo-6	W86620	0.10	2.0 to 4.0	10.0	0.03	0.02	1.0	0.50	55.0 min.	—	—	—	12.0 to 17.0	0.5 to 2.0	5.0 to 9.0	—	1.0 to 2.0	0.50
ENiCrMo-7	W86455	0.015	1.5	3.0	0.04	0.03	0.2	0.50	Rem	2.0	—	0.70	14.0 to 18.0	—	14.0 to 17.0	—	0.5	0.50
ENiCrMo-9	W86985	0.02	1.0	18.0 to 21.0	0.04	0.03	1.0	1.5 to 2.5	Rem	5.0	—	—	21.0 to 23.5	0.5	6.0 to 8.0	—	1.5	0.50
ENiCrMo-10	W86022	0.02	1.0	2.0 to 6.0	0.03	0.015	0.2	0.50	Rem	2.5	—	—	20.0 to 22.5	—	12.5 to 14.5	0.35	2.5 to 3.5	0.50
ENiCrMo-11	W86030	0.03	1.5	13.0 to 17.0	0.04	0.02	1.0	1.0 to 2.4	Rem	5.0	—	—	28.0 to 31.5	0.3 to 1.5	4.0 to 6.0	—	1.5 to 4.0	0.50
ENiCrMo-12	W86032 ^e	0.03	2.2	5.0	0.03	0.02	0.7	0.50	Rem	—	—	—	20.5 to 22.5	1.0 to 2.8	8.8 to 10.0	—	—	0.50
ENiCrMo-13	W86059	0.02	1.0	1.5	0.015	0.01	0.2	—	Rem	—	—	—	22.0 to 24.0	—	15.0 to 16.5	—	—	0.50
ENiCrMo-14	W86026	0.02	1.0	5.0	0.02	0.02	0.25	0.50	Rem	—	—	0.25	19.0 to 23.0	—	15.0 to 17.0	—	3.0 to 4.4	0.50

Notes:

a. The weld metal shall be analyzed for the specific elements for which values are shown in this table. If the presence of other elements is indicated in the course of the work, the amount of those elements shall be determined to ensure that their total does not exceed the limit specified for "Other Elements, Total" in the last column of the table.
 b. Single values are maximum, except where otherwise specified. Rem = remainder.

c. ASTM/SAE Unified Numbering System for Metals and Alloys.
 d. Includes incidental cobalt. Rem = remainder.
 e. Cobalt—0.12 maximum, when specified by the purchaser.
 f. Tantalum—0.30 maximum, when specified by the purchaser.
 g. UNS number formerly was W86040.

1.9 AWS A5.14

Table 1
Chemical Composition Requirements for Nickel and Nickel-Alloy Electrodes and Rods

AWS Classification ^m	UNS Number ^r	Weight-Percent ^{a,b}													Other Elements Total			
		C	Mn	Fe	P	S	Si	Cu	Ni ^d	Co	Al	Ti	Cr	Nb(Cb) plus Ta		Mo	V	W
ERNi-1 ^k	N02061	0.15	1.0	1.0	0.03	0.015	0.75	0.25	93.0 min.	—	1.5	2.0 to 3.5	—	—	—	—	—	0.50
ERNiCu-7 ^k	N04060	0.15	4.0	2.5	0.02	0.015	1.25	Rem	62.0 to 69.0	—	1.25	1.5 to 3.0	—	—	—	—	—	0.50
ERNiCu-8 ^k	N05504	0.25	1.5	2.0	0.03	0.015	1.00	Rem	63.0 to 70.0	—	2.0 to 4.0	0.25 to 1.00	—	—	—	—	—	0.50
ERNiCr-3 ^{k,l}	N06082	0.10	2.5 to 3.5	3.0	0.03	0.015	0.50	0.50	67.0 min.	(e)	—	0.75 to 22.0	18.0 to 22.0	2.0 to 3.0 ^f	—	—	—	0.50
ERNiCr-4	N06072	0.01 to 0.10	0.20	0.50	0.02	0.015	0.20	0.50	Rem	—	—	0.3 to 1.0	42.0 to 46.0	—	—	—	—	0.50
ERNiCr-6 ^k	N06076	0.08 to 0.15	1.00	2.00	0.03	0.015	0.30	0.50	75.0 min.	—	0.40	0.15 to 0.50	19.0 to 21.0	—	—	—	—	0.50
ERNiCrFe-5 ^k	N06062	0.08	1.0	6.0 to 10.0	0.03	0.015	0.35	0.50	70.0 min.	(e)	—	—	14.0 to 17.0	1.5 to 3.0 ^f	—	—	—	0.50
ERNiCrFe-6 ^k	N07092	0.08	2.0 to 2.7	8.0	0.03	0.015	0.35	0.50	67.0 min.	—	—	2.5 to 3.5	14.0 to 17.0	—	—	—	—	0.50
ERNiCrFe-7 ^l	N06052	0.04	1.0	7.0 to 11.0	0.02	0.015	0.50	0.30	Rem	—	1.10	1.0	28.0 to 31.5	0.10	0.50	—	—	0.50
ERNiCrFe-8 ^k	N07069	0.08	1.0	5.0 to 9.0	0.03	0.015	0.50	0.50	70.0 min.	—	0.4 to 1.0	2.00 to 2.75	14.0 to 17.0	0.70 to 1.20	—	—	—	0.50

(continued)

Table 1 (Continued)

AWS Classification ^m	UNS Number ^c	Weight-Percent ^{a,b}														Other Elements Total		
		C	Mn	Fe	P	S	Si	Cu	Ni ^d	Co	Al	Ti	Cr	Nb plus Ta	Mo		V	W
ERNiCr-11	N06601	0.10	1.0	Rem	0.03	0.015	0.50	1.0	58.0 to 63.0	—	1.0 to 1.7	—	21.0 to 25.0	—	—	—	—	0.50
ERNiFeCr-1 ^k	N08065	0.05	1.0	22.0 min.	0.03	0.03	0.50	1.5 to 3.0	38.0 to 46.0	—	0.20	0.6 to 1.2	19.5 to 23.5	—	2.5 to 3.5	—	—	0.50
ERNiFeCr-2 ^k	N07718	0.08	0.35	Rem	0.015	0.015	0.35	0.30	50.0 to 55.0	—	0.20 to 0.80	0.65 to 1.15	17.0 to 21.0	4.75 to 5.50	2.80 to 3.30	—	—	0.50
ERNiMo-1	N10001	0.08	1.0	4.0 to 7.0	0.025	0.03	1.0	0.50	Rem	2.5	—	—	1.0	—	26.0 to 30.0	0.20 to 0.40	1.0	0.50
ERNiMo-2	N10003	0.04 to 0.08	1.0	5.0	0.015	0.02	1.0	0.50	Rem	0.20	—	—	6.0 to 8.0	—	15.0 to 18.0	0.50	0.50	0.50
ERNiMo-3	N10004	0.12	1.0	4.0 to 7.0	0.04	0.03	1.0	0.50	Rem	2.5	—	—	4.0 to 6.0	—	23.0 to 26.0	0.60	1.0	0.50
ERNiMo-7	N10665	0.02	1.0	2.0	0.04	0.03	0.10	0.50	Rem	1.0	—	—	1.0	—	26.0 to 30.0	—	1.0	0.50
ERNiMo-8	N10008	0.10	1.0	10.0	0.015	0.015	0.50	0.50	60.0 min.	—	—	—	0.5 to 3.5	—	18.0 to 21.0	—	2.0 to 4.0	0.50
ERNiMo-9	N10009	0.10	1.0	5.0	0.015	0.015	0.50	0.3 to 1.3	65.0 min.	—	1.0	—	—	—	19.0 to 22.0	—	2.0 to 4.0	0.50
ERNiMo-10 ⁿ	N10675	0.01	3.0	1.0 to 3.0	0.03	0.01	0.10	0.20	65.0 min.	3.0	0.50	0.20	1.0 to 3.0	0.20	27.0 to 32.0	0.20	3.0	0.50

(continued)

Table 1 (Continued)

AWS Classification ^m	UNS Number ^f	Weight-Percent ^{a,b}														Other Elements Total		
		C	Mn	Fe	P	S	Si	Cu	Ni ^d	Co	Al	Ti	Cr	Nb plus Ta	Mo		V	W
ERNiCrMo-1	N06007	0.05	1.0 to 2.0	18.0 to 21.0	0.04	0.03	1.0	1.5 to 2.5	Rem	2.5	—	—	21.0 to 23.5	1.75 to 2.50	5.5 to 7.5	—	1.0	0.50
ERNiCrMo-2	N06002	0.05 to 0.15	1.0	17.0 to 20.0	0.04	0.03	1.0	0.50	Rem	0.5 to 2.5	—	—	20.5 to 23.0	—	8.0 to 10.0	—	0.2 to 1.0	0.50
ERNiCrMo-3 ^k	N06625	0.10	0.50	5.0	0.02	0.015	0.50	0.50	58.0 min.	—	0.40	0.40	20.0 to 23.0	3.15 to 4.15	8.0 to 10.0	—	—	0.50
ERNiCrMo-4	N10276	0.02	1.0	4.0 to 7.0	0.04	0.03	0.08	0.50	Rem	2.5	—	—	14.5 to 16.5	—	15.0 to 17.0	0.35	3.0 to 4.5	0.50
ERNiCrMo-7	N06455	0.015	1.0	3.0	0.04	0.03	0.08	0.50	Rem	2.0	—	0.70	14.0 to 18.0	—	14.0 to 18.0	—	0.50	0.50
ERNiCrMo-8	N06975	0.03	1.0	Rem	0.03	0.03	1.0	0.7 to 1.2	47.0 to 52.0	—	—	0.70 to 1.50	23.0 to 26.0	—	5.0 to 7.0	—	—	0.50
ERNiCrMo-9	N06985	0.015	1.0	18.0 to 21.0	0.04	0.03	1.0	1.5 to 2.5	Rem	5.0	—	—	21.0 to 23.5	0.50	6.0 to 8.0	—	1.5	0.50
ERNiCrMo-10	N06022	0.015	0.50	2.0 to 6.0	0.02	0.010	0.08	0.50	Rem	2.5	—	—	20.0 to 22.5	—	12.5 to 14.5	0.35	2.5 to 3.5	0.50
ERNiCrMo-11	N06030	0.03	1.5	13.0 to 17.0	0.04	0.02	0.80	1.0	Rem	5.0	—	—	28.0 to 31.5	0.30 to 1.50	4.0 to 6.0	—	1.5 to 4.0	0.50
ERNiCrMo-13	N06059	0.010	0.5	1.5	0.015	0.005	0.10	—	Rem	0.3	0.1 to 0.4	—	22.0 to 24.0	—	15.0 to 16.5	—	—	0.50

(continued)

Table 1 (Continued)

AWS Classification ^m	UNS Number ^c	Weight-Percent ^{a,b}													Other Elements Total			
		C	Mn	Fe	P	S	Si	Cu	Ni ^d	Co	Al	Ti	Cr	Nb plus Ta		Mo	V	W
ERNiCrMo-14	N06686	0.01	1.0	5.0	0.02	0.02	0.08	0.5	Rem	—	0.5	0.25	19.0 to 23.0	—	15.0 to 17.0	—	3.0 to 4.4	0.50
ERNiCrMo-15	N07725	0.03	0.35	Rem	0.015	0.01	0.20	—	55.0 to 59.0	—	0.35	1.0 to 1.7	19.0 to 22.5	2.75 to 4.00	7.0 to 9.5	—	—	0.50
ERNiCrCoMo-1	N06617	0.05 to 0.15	1.0	3.0	0.03	0.015	1.0	0.50	Rem	10.0 to 15.0	0.8 to 1.5	0.60	20.0 to 24.0	—	8.0 to 10.0	—	—	0.50
ERNiCrWMo-1 ^{h,i}	N06231	0.05 to 0.15	0.3 to 1.0	3.0	0.03	0.015	0.25 to 0.75	0.50	Rem	5.0	0.2 to 0.5	—	20.0 to 24.0	—	1.0 to 3.0	—	13.0 to 15.0	0.50

Notes:

- The weld metal shall be analyzed for the specific elements for which values are shown in this table. If the presence of other elements is indicated in the course of the work, the amount of those elements shall be determined to ensure that their total does not exceed the limit specified for "Other Elements, Total" in the last column of the table.
- Single values are maximum, except where otherwise specified. Rem = remainder.
- ASTM/SAE Unified Numbering System for Metals and Alloys.
- Includes incidental cobalt.
- Co is 0.12 maximum when specified by the purchaser.
- Mn-E-21562E type; Ta is 0.30 maximum.
- Boron is 0.006 maximum.
- Boron is 0.003 maximum.
- La is 0.050 maximum.
- Al + Ti is 1.5 maximum.
- Mn-E-21562E type; Pb < 0.010. "Other Elements Total" shall include Pb, Sn, Zn.
- When EN82H or RP82H is specified, Carbon is 0.03 to 0.10.
- For strip, the classification designator "R" shall be replaced with "Q."
- Ni + Mo is 94.0 to 98.0; Ta is 0.02 max; Zr is 0.10 max.

ANEXO 2
SOLDEO TIG

ANEXO 2 - SOLDEO TIG

2.1.- INTRODUCCIÓN

El procedimiento de soldeo por arco bajo gas protector con electrodo no consumible, también llamado TIG (Tungsten Inert Gas), utiliza como fuente de energía el arco eléctrico que se establece entre un electrodo no consumible y la pieza a soldar, mientras un gas inerte protege al baño de fusión. El material de aportación, cuando se utiliza, se aplica por medio de varillas. En la figura 1 siguiente se muestran esquemáticamente los principios del proceso TIG.

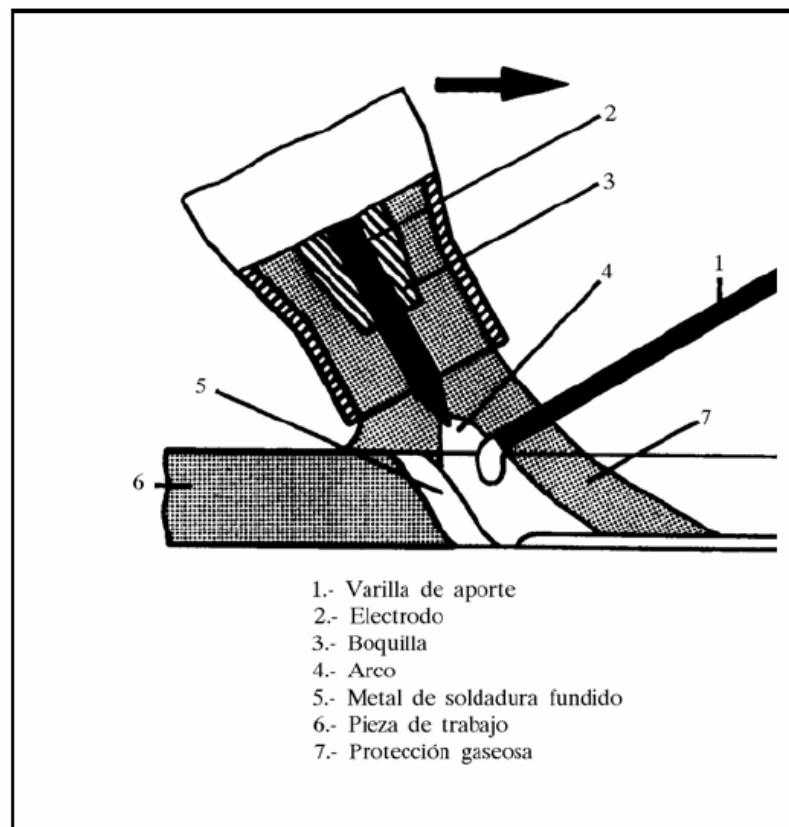


FIGURA 1 – Descripción del proceso TIG

El proceso de soldeo TIG también recibe las denominaciones de:

- GTAW, Gas Tungsten Arc Welding (ANSI/AWS A3.0)
- 141, Soldeo por arco con electrodo de volframio y gas inerte (UNE-EN ISO 4603)
- Soldeo por arco con electrodo de volframio (UNE 14100)

- Gas-Shielded Tungsten-Arc Welding (Reino Unido)

2.1.1. Ventajas y Limitaciones

Ventajas

- Proceso adecuado para unir la mayoría de los metales
- Arco estable y concentrado
- Aunque se trata de un proceso esencialmente manual, se ha automatizado para algunas fabricaciones en serie, como tubería de pequeño espesor, soldada longitudinal o helicoidalmente y para la fijación de tubos a placas en intercambiadores de calor.
- No se producen proyecciones (al no existir transporte de metal en el arco)
- No se produce escoria
- Produce soldaduras lisas y regulares
- Se puede utilizar con o sin metal de aporte, en función de la aplicación
- Puede emplearse en todo tipo de uniones y posiciones
- Alta velocidad de soldeo en espesores por debajo de 3 – 4 mm
- Se pueden conseguir soldaduras de gran calidad
- Permite un control excelente de la penetración en la pasada de raíz
- No requiere el empleo de fuentes de energía excesivamente caras
- Permite el control independiente de la fuente de energía y del metal de aportación
- No produce humos

Limitaciones

- La tasa de deposición es menor que la que se puede conseguir con otros procesos de soldeo por arco.
- Su aplicación manual exige, en general, gran habilidad por parte del soldador.
- No resulta económico para espesores mayores de 10 mm
- En presencia de corrientes de aire puede resultar difícil conseguir una protección adecuada de la zona de soldadura
- Mayor cantidad de radiación ultravioleta que en otros procesos, lo que requiere protección adecuada.

2.2.- CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO

El proceso TIG se puede utilizar para el soldeo de todos los materiales, incluidos el aluminio y el magnesio y los materiales sensibles a la oxidación como el titanio, circonio y sus aleaciones.

Puesto que el proceso posee las virtudes necesarias para conseguir soldaduras de alta calidad y con una elevada pureza metalúrgica, exentas de defectos y buen acabado superficial, es ideal para soldaduras de responsabilidad en la industria del petróleo, química, petroquímica, alimentación, generación de energía, nuclear y aeroespacial.

Como su tasa de deposición es baja, no resulta económico para soldar materiales con espesores mayores de 6 –8 mm. En estos casos el TIG se utiliza para efectuar la pasada de raíz, empleándose otros procesos de mayor productividad para el resto de las pasadas de relleno.

2.3.- PRINCIPALES PARÁMETROS DE SOLDEO

2.3.1. Diámetro del electrodo

El diámetro determina la intensidad de soldeo. Si empleamos una intensidad baja para un diámetro de electrodo dado se ocasionará inestabilidad del arco. Si por el contrario usamos una intensidad excesiva podremos originar erosión y fusión de la punta del electrodo, así como inclusiones de tungsteno en el metal soldado.

Con corriente directa los electrodos tienen su máxima capacidad de conducción de corriente. Con corriente inversa sólo se puede conducir un 10%, de la cantidad que podría conducir en las condiciones anteriores. En el caso de corriente alterna podríamos obtener un 50 % de la capacidad máxima de conducción de corriente.

En la tabla 1 siguiente podemos ver los diámetros más típicos de electrodos, así como los correspondientes a las toberas.

TABLA 1

Diámetro del electrodo (mm)	Diámetro interior de la tobera (mm)
1.6	10
2.4	12
3.2	12
4	12
4.8	16
6.4	19-20

2.3.2. Selección del tipo de corriente

El proceso TIG puede utilizarse tanto en corriente continua como en corriente alterna. La elección de la clase de corriente y polaridad, se hará en función del material a soldar.

2.3.2.1. Arco con corriente continua

Cuando se utiliza la polaridad directa, o sea, el electrodo conectado al polo negativo, la energía del arco se concentra fundamentalmente en la pieza, por lo que se obtiene un rendimiento térmico relativamente aceptable una velocidad de soldeo más rápida y una buena penetración. Por otra parte, el electrodo soporta intensidades del orden de 8 veces mayores que si estuviese conectado al polo +, sin fundirse ni deteriorarse.

Si se invierte la polaridad, electrodo conectado al polo positivo, el reparto térmico es menos favorable, lo que se traduce en un baño relativamente ancho, con poca penetración y una excesiva acumulación de calor en el electrodo, que provoca su sobrecalentamiento y rápido deterioro, incluso a bajas intensidades de corriente. De acuerdo con esto, **la polaridad recomendada en corriente continua es la directa.**

2.3.2.2. Arco con corriente alterna

La corriente alterna aún, aunque reducidas, las ventajas de las dos polaridades: el buen comportamiento durante el semiciclo de polaridad directa y el efecto decapante del

baño durante el semiciclo de polaridad inversa, por lo que suele emplearse en el soldeo de aleaciones ligeras, tales como las de aluminio y magnesio.

Como principales inconvenientes presenta dificultades de cebado y de estabilidad del arco, lo que obliga a incorporar al equipo un generador de alta frecuencia.

TABLA 2 – Selección del tipo de corriente para soldadura TIG

METAL A SOLDAR	CORRIENTE ALTERNA Con estabilización de alta frecuencia	CORRIENTE CONTINUA	
		Polaridad directa	Polaridad inversa
Magnesio, hasta 3 mm de espesor	1	NR	2
Magnesio, espesores de 4 mm o mas	1	NR	NR
Magnesio (piezas fundidas)	1	NR	2
Aluminio	1	NR	2
Fundición de aluminio	1	NR	NR
Acero inoxidable (hasta 1.5 mm)	1	2	NR
Acero inoxidable (1.5 mm o mas)	2	1	NR
Latón	2	1	NR
Plata	2	1	NR
Hastelloy	2	1	NR
Metales placados con plata	1	NR	NR
Recargues duros	1	1	NR
Fundición de hierro	2	1	NR
Acero suave (0.3 a 0.7 mm espesor)	2	1	NR
Acero suave (0.7 a 3 mm espesor)	NR	1	NR
Acero duro (0.3 a 0.7 mm espesor)	2	1	NR
Acero duro (0.7 mm o mas)	2	1	NR
Cobre desoxidado (hasta 2.5 mm)	NR	1	NR
Titanio	NR	1	NR
1.Procedimiento recomendado. Excelentes resultados 2.Aunque puede dar resultados, es menos recomendable 3.NR. No recomendable			

2.3.3. Intensidad de soldeo

Tal y como hemos citado hasta ahora, conectando el electrodo no consumible al polo negativo, se obtiene mayor penetración que conectándolo al positivo. Esto es debido a que si intentáramos soldar con polaridad inversa, no se podría hacer con alta intensidad, puesto que el punto de fusión de wolframio es de 3800 ° C y conectándolo al polo positivo, en el que la temperatura es superior a los 4200 ° C , el electrodo se fundiría.

Con polaridad directa si es posible mantener el electrodo con la punta afilada, ya que la temperatura no supera los 3600 ° C en el electrodo, pudiéndose soldar así con mayor intensidad.

2.3.4. Velocidad de soldeo

La velocidad de soldeo afecta a la anchura como a la penetración, siendo su efecto más pronunciado sobre el primero.

Otras veces la velocidad en la soldadura manual, tendrá que adaptarse a los requisitos de calidad necesarios.

2.4.- EQUIPO DE SOLDEO

El equipo básico para el soldeo TIG consiste en una fuente de energía o de alimentación, un portaelectrodos, electrodo, cables de soldeo, botella de gas inerte y mangueras para la conducción del gas.

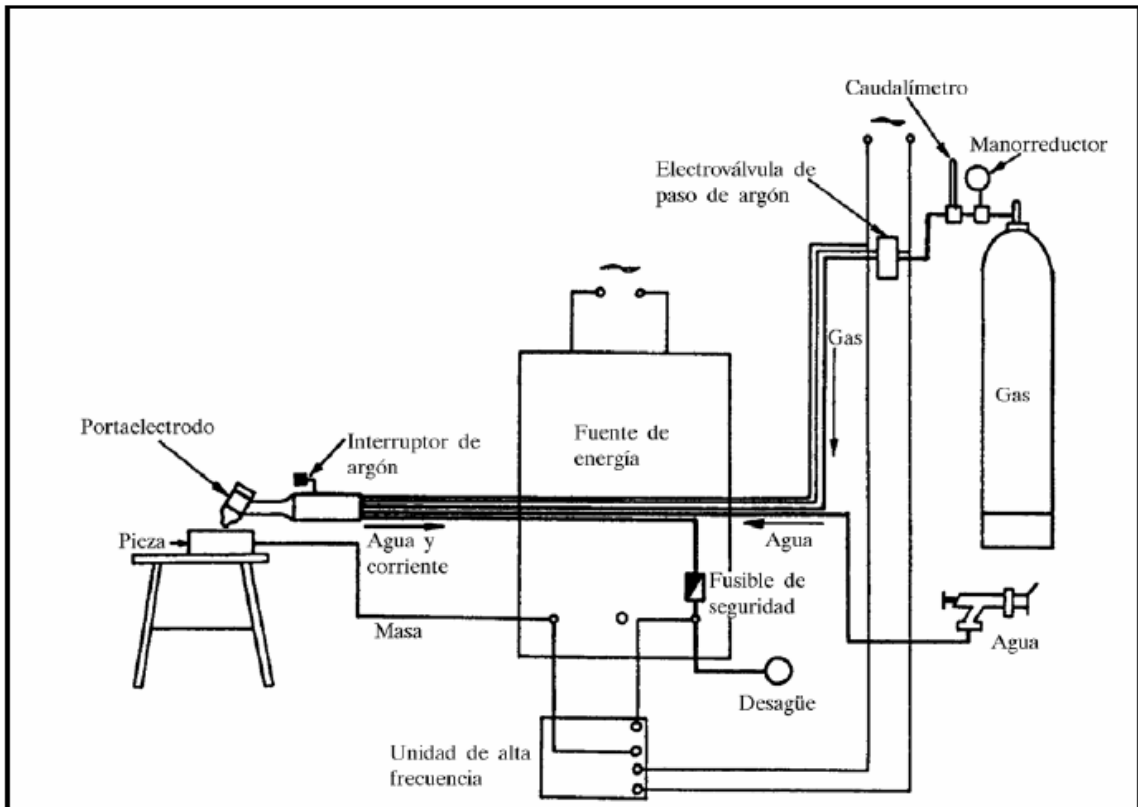


FIGURA 2 - INSTALACIÓN DE SOLDEO TIG, CON PORTAELECTRODOS REFRIGERADO CON AGUA Y CON UNIDAD DE ALTA FRECUENCIA

2.4.1. Fuente de energía

La fuente de energía para el soldeo TIG debe presentar una característica descendente (de intensidad constante), para que la corriente de soldeo se vea poco afectada por las variaciones en la longitud del arco.

La fuente de energía debe tener un rango de variación continua de intensidad y una intensidad mínima baja (5–8 A). Además debe ser capaz de suministrar una intensidad tan alta como sea requerida por los espesores y el material que se va a soldar.

2.4.1.1. Tipos de fuente de energía para soldeo con corriente continua

- Equipos ordinarios para trabajar con electrodo revestidos en corriente continua, equipados con portaelectrodos TIG.

- El mismo que el anterior pero equipado con un control de gas y otras funciones necesarias

- Rectificador especialmente preparado para el soldeo TIG. La máquina posee una unidad de control de gas, una unidad de alta frecuencia y otras funciones necesarias.

- Máquinas rotativas: generadores (utilizados para el soldeo en campo)

En la figura 3 siguiente se pueden ver todos los componentes de una máquina de corriente continua.

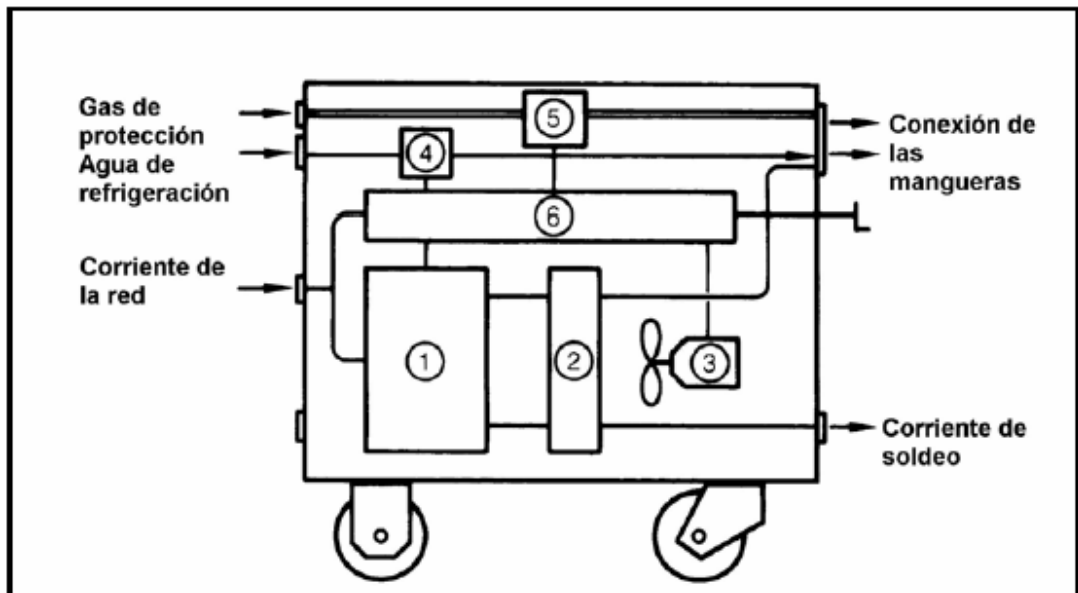


FIGURA 3 – Componentes del equipo de corriente continua

1. Transformador: su función es convertir la corriente de la red en corriente adecuada para el soldeo, disminuyendo la tensión de la red e incrementando la intensidad.

2. Rectificador: su función es convertir la corriente alterna en corriente continua

3. Ventilador: su función es enfriar el transformador y rectificador para evitar la destrucción por sobrecalentamiento

4. Controlador del agua de refrigeración: su función es controlar la presión del agua de refrigeración

5. Válvula magnética del gas de soldeo: para apertura y cierre del gas de protección mediante medios electromagnéticos

6. Módulos de control. Sus funciones son: encendido y apagado de la corriente de soldeo, regulación de la corriente de soldeo, control del gas de protección con tiempo ajustable de pre y post flujo, apagado de la corriente de soldeo en caso de falta de agua

4.2. Portaelectrodo

La figura 4 siguiente muestra varias configuraciones de los portaelectrodos, también denominados sopletes en el proceso TIG.

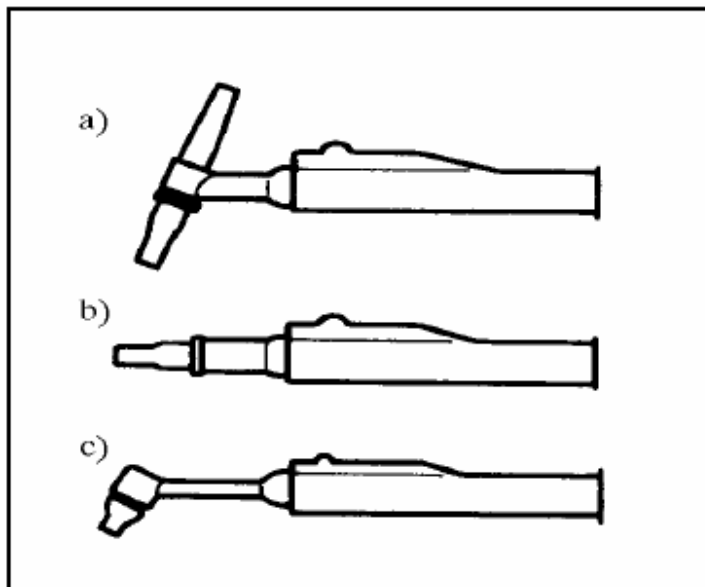


Figura 4 – Configuraciones del portaelectrodos TIG: (a) NORMAL, (b) RECTA, (b) CORTA

Los portaelectrodos tienen la misión de conducir la corriente y el gas de protección hasta la zona de soldeo. Pueden ser de refrigeración natural (por aire) o de refrigeración forzada (mediante circulación de agua). Los primeros se emplean en el soldeo de espesores finos, que no requieren grandes intensidades, y los de refrigeración forzada se recomiendan para trabajos que exijan intensidades superiores a los 150–200 amperios. En estos casos la circulación de agua por el interior del portaelectrodos evita el sobrecalentamiento del mismo. A partir de 300 amperios en régimen discontinuo es necesario que también la boquilla esté refrigerada por agua.

El electrodo de wolframio que transporta la corriente hasta la zona de soldeo se sujeta rígidamente mediante una pinza alojada en el cuerpo del portaelectrodos. Cada portaelectrodos dispone de un juego de pinzas, de distintos tamaños, que permiten la sujeción de electrodos de diferentes diámetros. Es muy importante que exista un buen contacto eléctrico entre electrodo y pinza.

El gas de protección llega hasta la zona de soldeo a través de una tobera de material cerámico, sujeta en la cabeza del portaelectrodos. La tobera tiene la misión de dirigir y distribuir el gas protector sobre la zona de soldeo. A fin de acomodarse a distintas exigencias de consumo, cada portaelectrodo va equipado con un juego de toberas de diferentes diámetros.

Hay que tener en cuenta que el electrodo de wolframio debe estar perfectamente centrado dentro de la tobera para que el chorro de gas inerte proteja bien el baño de fusión, y también, en caso de tobera de cobre, no se produzca el arco doble, esto es, que el arco salte primero entre el electrodo y la tobera y después continúe entre ésta y el metal base.

En la figura 5 siguiente podemos ver un esquema de un portaelectrodo seccionado.

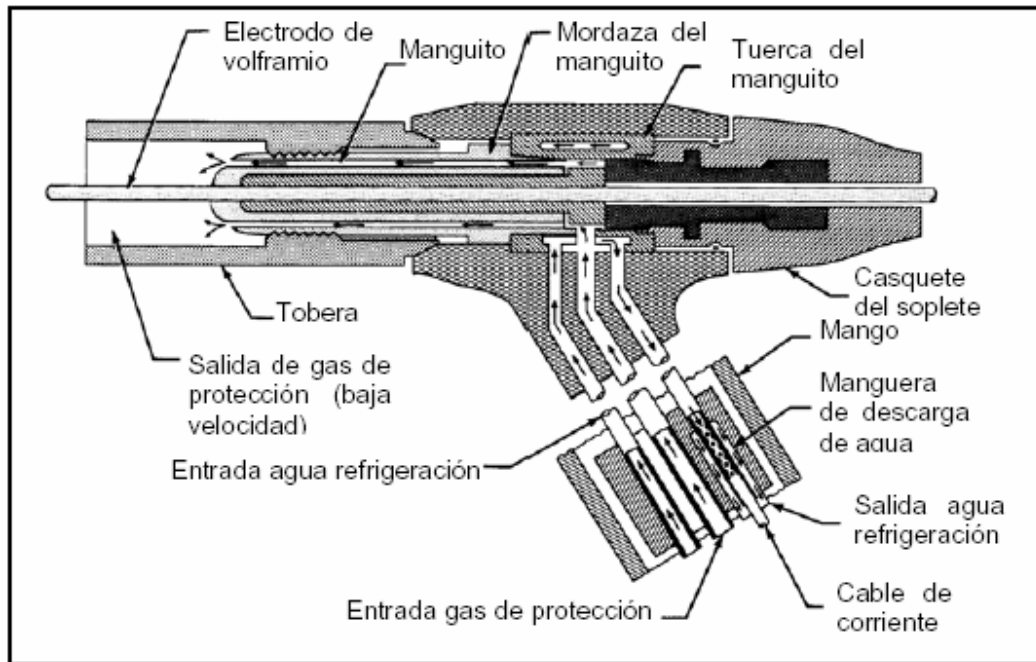


Figura 5 – Portaelectrodo con refrigeración con agua para TIG

Lentes de gas: La lente de gas es un dispositivo alojado en el interior de la boquilla y está formado por una malla de acero inoxidable con diminutos agujeros concéntricos que enfocan el gas protector produciendo un flujo estable y reduciendo así la turbulencia. Esto permite tener una protección más efectiva y poder trabajar con boquillas de mayor longitud eliminando el “punto ciego en el cordón de soldadura”.

2.5.- ELECTRODOS NO CONSUMIBLES

Su misión en este proceso es únicamente la de mantener el arco sin aportar material al baño de fusión. Por este motivo y para evitar su desgaste, es muy importante que posea una alta temperatura de fusión.

En general, se emplean tres tipos de electrodos, que se clasifican en función de su composición en:

- Wolframio puro
- Wolframio aleado con torio
- Wolframio aleado con zirconio

Los diámetros disponibles son **1, 1.6, 2, 2.4, 3.2, 4, 4.8, 5 y 6.4** mm, siendo los más empleados los señalados en negrita. La longitud estándar de estos electrodos es de 150 mm.

2.5.1. Simbolización

La siguiente información ha sido obtenida de la Norma UNE 14208 (EN 26848) y de la norma AWS A5.12.

La simbolización de los electrodos de wolframio se basa en su composición según las indicaciones que figuran en la tabla 3, la primera letra caracteriza el componente principal, wolframio. La segunda representa las adiciones de óxido, la letra elegida es la inicial del elemento que forma el óxido adicionado, el número corresponde al contenido medio de óxido multiplicado por diez.

Símbolo	Composición		Contenido de wolframio mínimo	Color de identificación	Equivalencia con la simbolización AWS
	Óxido adicionado				
	Naturaleza del óxido adicionado	%			
WP	--	--	99,8	verde	EWP
WT4	ThO ₂	0,35 a 0,55	resto	azul	EWTh-3
WT10	ThO ₂	0,80 a 1,20	resto	amarillo	EWTh-1
WT20	ThO ₂	1,70 a 2,20	resto	rojo	EWTh-2
WT30	ThO ₂	2,80 a 3,20	resto	violeta	
WT40	ThO ₂	3,80 a 4,20	resto	naranja	
WZ3	ZrO ₂	0,15 a 0,50	resto	marrón	EWZr-1
WZ8	ZrO ₂	0,70 a 0,90	resto	blanco	
WL10	LaO ₂	0,90 a 1,20	resto	negro	EWLa-1
WL20	CeO ₂	1,80 a 2,20	resto	gris	EWCe-2 (Naranja)

Tabla 3 – Simbolización de acuerdo con UNE-EN y AWS de los electrodos de wolframio.

Los electrodos deben marcarse de acuerdo con la tabla, según su composición, con un anillo en el caso de los electrodos normales y con dos anillos en el caso de los

electrodos compuestos, el color del anillo será el indicado en la tabla y se situarán en uno de los extremos del electrodo. El ancho de cada anillo será igual o superior a 3 mm.

2.5.2. Tipos de electrodos

Volframio puro

Compuesto de volframio puro, cuyo punto de fusión es de 3400°C aproximadamente.

Es necesario que el extremo del electrodo sea redondeado.

Se utiliza fundamentalmente con corriente alterna en el soldeo del aluminio y sus aleaciones, ya que con corriente alterna los electrodos de volframio puro mantienen la punta de electrodo en buenas condiciones y esto permite una buena estabilidad del arco. Pueden utilizarse con corriente continua pero los electrodos de volframio puro no tienen la facilidad de cebado ni la estabilidad de los electrodos con torio en corriente continua.

Volframio aleado con torio

El punto de fusión de esta aleación es de 4000°C aproximadamente

Es necesario que el extremo del electrodo este afilado.

Se utiliza en el soldeo con corriente continua de aceros al carbono ,baja aleación , inoxidables, cobre, titanio, etc,; no suelen utilizarse en corriente alterna porque es difícil mantener la punta del electrodo en la forma adecuada con este tipo de corriente.

El precio de esos electrodos resulta de un 10 a un 15 % superior a los de volframio puro.

El contenido de torio conlleva una mayor emisividad (incremento del flujo de electrones), mejor cebado, mayor resistencia a la contaminación y proporciona un arco más estable.

Volframio aleado con circonio

El punto de fusión de esta aleación es de 3800°C aproximadamente.

Tiene unas características intermedias entre los electrodos de volframio puro y los de volframio con torio.

Se utilizan con corriente alterna y corriente continua , pero son más usuales en corriente alterna ya que combinan las características de estabilidad del arco y punta adecuada típicas de los electrodos de volframio puro, con la facilidad de cebado y la permisibilidad de mayores intensidades de los electrodos aleados con torio. Se utiliza en el soldeo de materiales ligeros como aluminio y magnesio, y además cuando se desea gran calidad radiográfica. En la unión soldada, pues se minimizan los riesgos de inclusiones de tungsteno.

2.5.3. Acabado del extremo

La forma del extremo del electrodo es muy importante pues, si no es la correcta, existe el riesgo de que el arco eléctrico sea inestable. En la figura 6 siguiente se muestran diferentes acabados del extremo del electrodo, indicándose las características peculiares de cada tipo.

En general, es preferible seleccionar un electrodo tan fino como sea posible, con objeto de concentrar el arco y obtener de este modo un baño de fusión reducido.

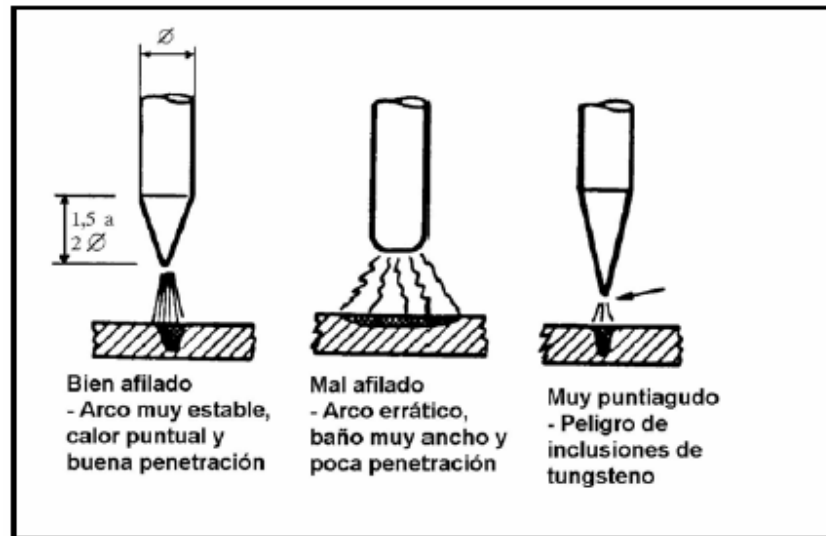


FIGURA 6 – Formas de acabado de la punta del electrodo

En la figura 7 siguiente se muestran diferentes geometrías de la punta del electrodo.

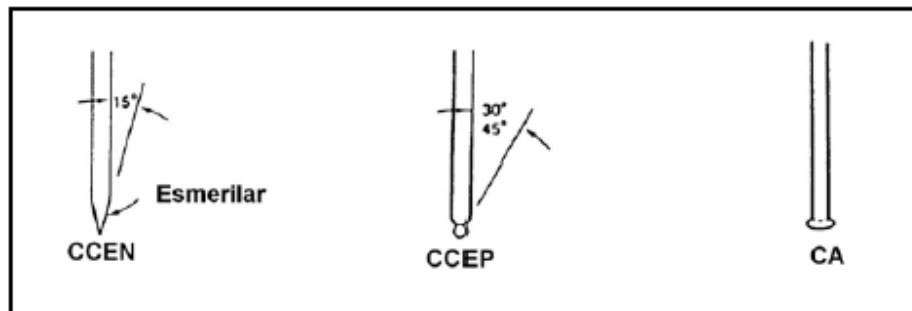


FIGURA 7 – Variaciones de la geometría en el extremo del electrodo

Los electrodos para soldeo con corriente continua deben tener punta. Es importante que el amolado se efectúe correctamente, éste debe hacerse en la dirección longitudinal del electrodo. Una longitud correcta de la punta del electrodo es dos veces el diámetro de éste. El extremo puntiagudo en exceso del electrodo debe ser eliminado por la piedra de amolar. Pues existe el riesgo de que se funda y se incorpore al baño de fusión como inclusión.

Cuando se utiliza el amolado para conseguir la geometría adecuada del electrodo, deberá realizarse con una rueda o cinta abrasiva de grano fino y que sólo se utilice para la preparación de electrodos de wolframio, evitándose de esta forma su contaminación

En el soldeo con corriente alterna el extremo de la punta debe estar ligeramente redondeado. La punta se redondea por sí sola si el electrodo es cuidadosamente sobrecargado, haciéndose innecesario amolarla.

La tabla 4 siguiente resume el tipo de corriente a utilizar, la geometría del extremo y la aplicación de los diferentes electrodos de wolframio.

Tipo de electrodo	Tipo de corriente con la que se utiliza	Aplicación común	Geometría del extremo del electrodo
Volframio puro	c.a.	Aluminio y magnesio	Redondeada
Volframio con torio o wolframio con cerio o con lantano	c.c.	Aceros al carbono, baja aleación, inoxidable, cobre, titanio	Afilado
Volframio con circonio	c.a. (generalmente) c.c.	Aluminio y magnesio con c.a. Aceros, cobre, titanio con c.c.	Redondeada con c.a. Afilada con c.c.

TABLA 4 – Electrodos de wolframio. Geometría, tipo de corriente y aplicaciones.

2.5.4. Contaminación del electrodo

En la tabla 5 siguiente se resumen las causas que pueden provocar la contaminación y sus soluciones.

Tipo de contaminación del electrodo	Causa de la contaminación	Soluciones
Por el metal de soldadura o el metal de aportación fundidos	Contacto entre el electrodo y la varilla durante el soldeo, o al introducir el electrodo en el baño de fusión	Utilizar una buena técnica de soldeo evitando este tipo de contacto
Por el aire	Longitud libre del electrodo de volframio fuera de la boquilla demasiado larga	Utilizar una longitud máxima del electrodo igual al diámetro de la boquilla
	Caudal de gas de protección insuficiente	No utilizar menos caudal que el recomendado
	Tiempo de salida de postflujo de gas de protección insuficiente	El tiempo de postflujo deberá ser el suficiente para permitir que el electrodo se enfríe
Por agua	Fugas en la refrigeración	Eliminar las fugas
	Condensación del agua atmosférica en la tobera	Utilizar agua templada

TABLA 5 – Contaminación del electrodo

2.6.- PRODUCTOS DE APORTE

2.6.1. Varillas

El metal de aportación en el soldeo TIG no es siempre necesario cuando se sueldan piezas delgadas (de menos de 3 mm de espesor) utilizando una preparación de bordes recta o con bordes levantados. Cuando es necesario emplear material de aportación, éste puede alimentarse manual o automáticamente.

Con la finalidad de obtener uniones sin defectos, es muy importante que el metal de aportación se mantenga libre de contaminaciones ya sea en forma de humedad, polvo o suciedad. Debe por tanto mantenerse en su paquete hasta el momento de ser utilizado. Durante el soldeo es importante que la parte caliente de la varilla esté siempre lo suficientemente cerca del baño de fusión como para que lo cubre el gas de protección.

Puesto que el TIG es un proceso que no produce escorias y que se realiza en una atmósfera inerte que no provoca reacciones en el baño, el material de aportación, cuando

se utilice, deberá tener básicamente una composición química similar a la del material base.

Normalmente, se presentan en forma de varillas de distintos diámetros: 1.1, 1.6, 2, 2.4, 3.2, 4 y 4.8 mm, con una longitud de 900 mm.

Las varillas obedecen actualmente a las siguientes especificaciones de la American Welding Society:

- Varillas para aceros al carbono AWS – A 5.18
- Varillas para aceros de baja aleación AWS – A 5.28
- Varillas para aceros inoxidables AWS – A 5.9

Varillas para aceros inoxidables

Estas varillas se clasifican de acuerdo con su composición química y propiedades mecánicas e incluyen aceros en los que el Cr excede del 4% y el Ni no supera el 50% de la aleación.

La Norma EN 12072 (Consumibles para el Soldeo. Alambres y Varillas para el soldeo por Arco de Aceros Inoxidables y Resistentes al Calor. Clasificación) clasifica las varillas, alambre y depósitos para el soldeo bajo atmósfera inerte con electrodo de tungsteno de aceros inoxidables y resistentes al calor. Según la anterior norma, la designación de la varilla o alambre debe seguir los principios indicados en el ejemplo siguiente:

EN 12072															
Classification of wire electrodes, wires and rods for arc welding stainless and heat-resisting steels															
G 19 12 3 L Si							LNM 316 LSi								
G = GMAW W = GTAW P = PAW S = SAW							Classification Si = 0,65 - 1,2%							¹⁾ Nb ²⁾ 0.10 - 0.25N ³⁾ 0.10 - 0.20N, 1.5-2.5Cu ⁴⁾ 0.20-0.30N, 1.5Cu, 1.0W ⁵⁾ 1.2Cu ⁶⁾ 0.7-1.5Cu	
Symbol	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Symbol	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo		
Martensitic/ferritic															
13	0.15	1.0	1.0	12-15	-	-	20 16 3 Mn L	0.03	1.0	5-9	19-22	16-18	2 ⁴⁾		
13 L	0.05	1.0	1.0	12-15	-	-	25 22 2 N L ¹⁾	0.03	1.0	3 ²⁾ -6 ³⁾	24-27	21-24	1 ³⁾		
13 4	0.05	1.0	1.0	11-14	3-5	0.4-1	27 31 4 Cu L ⁴⁾	0.03	1.0	1.3	26-29	30-33	3-4 ⁴⁾		
17	0.12	1.0	16-18	-	-	-	Special types								
Austenitic															
19 9 L	0.03	0.65	1-2 ⁵⁾	19-21	9-11	-	16 8 Mn	0.20	1.2	5-8	17-20	7-10	-		
19 9 Nb ⁶⁾	0.08	0.65	1-2 ⁵⁾	19-21	9-11	-	20 10 3	0.12	1.0	1-2 ⁵⁾	18-21	8-12	1 ³⁾ , 3 ⁴⁾		
19 12 3 L	0.03	0.65	1-2 ⁵⁾	18-20	11-14	2 ⁴⁾ -3	23 12 L	0.03	0.65	1-2 ⁵⁾	22-25	11-14	-		
19 12 3 Nb ⁶⁾	0.08	0.65	1-2 ⁵⁾	18-20	11-14	2 ⁴⁾ -3	23 12 Nb ⁶⁾	0.08	1.0	1-2 ⁵⁾	22-25	11-14	-		
Austenitic/Ferritic, high corrosion resistance															
22 9 3 N L ²⁾	0.03	1.0	2.5	21-24	7-10	2 ⁴⁾	23 12 2 L	0.03	1.0	1-2 ⁵⁾	21-25	11-15 ⁴⁾	2-3 ⁴⁾		
25 7 2 N L	0.03	1.0	2.5	24-27	6-8	1 ³⁾ -2 ⁴⁾	29 9	0.15	1.0	1-2 ⁵⁾	26-32	8-12	-		
25 9 3 Cu N L ³⁾	0.03	1.0	2.5	24-27	8-11	2 ⁴⁾	Heat resisting								
25 9 4 N L ³⁾	0.03	1.0	2.5	24-27	8-10	2 ⁴⁾	16 8 2	0.10	1.0	1-2 ⁵⁾	14 ⁴⁾ -16 ⁴⁾	7 ⁴⁾ -9 ⁴⁾	1-2 ⁵⁾		
Fully austenitic, high corrosion resistance															
18 15 3 L	0.03	1.0	1-4	17-20	13-15	2 ⁴⁾	19 9 H	0.04-0.08	1.0	1-2 ⁵⁾	18-21	9-11	-		
18 16 5 N L ²⁾	0.03	1.0	1-4	17-20	16-19	3 ⁴⁾ -5	19 12 3 H	0.04-0.08	1.0	1-2 ⁵⁾	18-20	11-14	2-3		
19 13 4 L	0.03	1.0	1.5	17-20	12-15	3-4 ⁴⁾	22 12 H	0.04-0.08	2.0	1-2 ⁵⁾	21-24	11-14	-		
20 25 5 Cu L ⁴⁾	0.03	1.0	1-5	19-22	24-27	4-6	25 4	0.15	2.0	1-2 ⁵⁾	24-27	4-6	-		
							25 20	0.08-0.15	2.0	1-2 ⁵⁾	24-27	18-22	-		
							25 20 Mn	0.08-0.15	2.0	2 ⁴⁾ -5 ⁴⁾	24-27	18-22	-		
							25 20 H	0.35-0.45	2.0	1-2 ⁵⁾	24-27	18-22	-		
							18 36 H	0.18-0.25	0.40-2	1-2 ⁵⁾	15-18	33-37	-		

2.6.2. Gases de protección

Los gases que pueden utilizarse para el soldeo TIG se describen en profundidad en el Anexo 4

2.7.- TÉCNICAS OPERATIVAS

2.7.1. Preparación de la unión

El diseño de la unión tiene como primera finalidad facilitar una accesibilidad adecuada. Deberá permitir que el arco, el metal de aporte y el gas de protección lleguen a la zona inferior de la unión. La elección de la geometría depende del tipo de material base y el espesor. En cualquier caso hay que minimizar el costo pero manteniendo el nivel deseado de calidad.

En las soldaduras TIG se pueden encontrar imperfecciones debidas a la elección de técnica de preparación de bordes no adecuada.

Por esta razón las piedras de esmerilar deben limpiarse cuidadosamente y utilizarse únicamente para tareas de soldeo.

Si se preparan los bordes mediante oxicrote o corte por plasma se deberán retirar los óxidos y escorias, por ejemplo mediante esmerilado.

Tolerancias de la unión

Si las soldaduras se van a efectuar de forma mecanizada las dimensiones de las piezas deben ser muy exactas. El soldeo manual permite que la preparación de bordes sea más irregular.

Limpieza

Es muy importante en el soldeo TIG cuidar la limpieza del material base y del de aportación. Ambos materiales deben estar exentos de aceite, grasa, pintura y cualquier residuo. Se preferirá por este motivo que los materiales de aportación se conserven en sus embalajes.

2.7.2. Cebado del arco

El método más sencillo de cebado de arco (cebado por raspado) es raspando el electrodo, muy cuidadosamente, contra el metal base. Sin embargo, el riesgo de inclusiones de wolframio en el metal base es alto, para evitar esto el arco puede ser cebado en una placa adicional de cobre, conocida como pieza de arranque. Otra desventaja del cebado por raspado es la facilidad con que puede dañarse el electrodo. En la figura 8 siguiente podemos ver lo anteriormente expuesto.

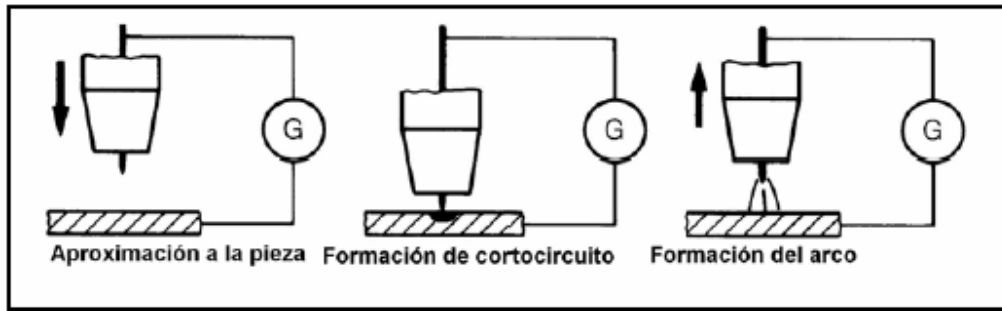


FIGURA 8 – Cebado Del arco por raspado. G = Fuente de alimentación

Para evitar los inconvenientes del cebado por raspado se utiliza una corriente de alta frecuencia y elevada tensión. Este método es el utilizado en corriente alterna y algunas veces con corriente continua.

Por tanto, cuando se utiliza corriente alterna no es necesario tocar con el electrodo sobre la pieza para establecer el arco, sino poner bajo tensión el circuito de soldeo y sujetar el portaelectrodos, de forma que el electrodo quede aproximadamente horizontal y a unos 50 mm de la pieza. A continuación, mediante un giro de muñeca, aproximar el extremo del electrodo a la pieza, hasta que quede a unos 2 ó 3 mm de la misma.

En este punto, la corriente de alta frecuencia vence la resistencia del aire y se establece el arco. El movimiento de aproximación del electrodo debe realizarse rápidamente, para conseguir que llegue el máximo caudal de gas de protección a la zona de soldeo.

Existen otro sistemas de cebado de arco tales como:

- Aplicación de un pulso de alto voltaje entre el electrodo no consumible y la pieza, el cual ioniza el gas y se establece el arco, se utiliza generalmente con corriente continua.
- Utilización de un arco piloto entre electrodo y tobera, el cual proporciona la cantidad de gas ionizado necesario para establecer el arco.
- Condensadores de descarga.
- “Lift-Arc”™: Este método consiste en tocar suavemente (sin raspar) la pieza con el electrodo manteniendo el portaelectrodo perpendicularmente a la pieza. En ese instante la máquina detecta un cortocircuito y establece una corriente de bajo voltaje en el circuito. Esta corriente no es suficiente para establecer el arco, pero contribuye a calentar el

electrodo. Cuando se eleva el electrodo, la máquina detecta la ausencia de cortocircuito y automáticamente se inicia el arco favorecido por el precalentamiento del electrodo.

Para extinguir el arco, tanto en corriente alterna como en corriente continua, basta con retirar el electrodo hasta la posición horizontal mediante un rápido movimiento de muñeca. Este movimiento debe realizarse rápidamente a fin de evitar que la superficie de la soldadura se deteriore.

Antes de finalizar es importante rellenar el cráter para que no se originen en el mismo.

El inconveniente de las corrientes de alta frecuencia es la distorsión que producen en las comunicaciones.

Algunos equipos llevan instalados un dispositivo que se acciona por medio de un pedal, y que permite disminuir gradualmente la intensidad de la corriente al acercarse al final de la soldadura. Este dispositivo disminuye el tamaño del cráter y se opone a la fisuración del mismo. En otros equipos el accionamiento de esta función se realiza directamente desde el portaelectrodos.

Si se utiliza un portaelectrodos con refrigeración por agua, debe evitarse el tocar con la tobera sobre la pieza cuando está circulando la corriente. Los gases calientes en el interior de la tobera pueden provocar el establecimiento del arco entre el electrodo y la tobera, con el consiguiente deterioro de la misma.

2.7.3. Técnica de soldeo manual

En la figura 9 siguiente se indica la técnica que se debe seguir para iniciar y efectuar el soldeo.

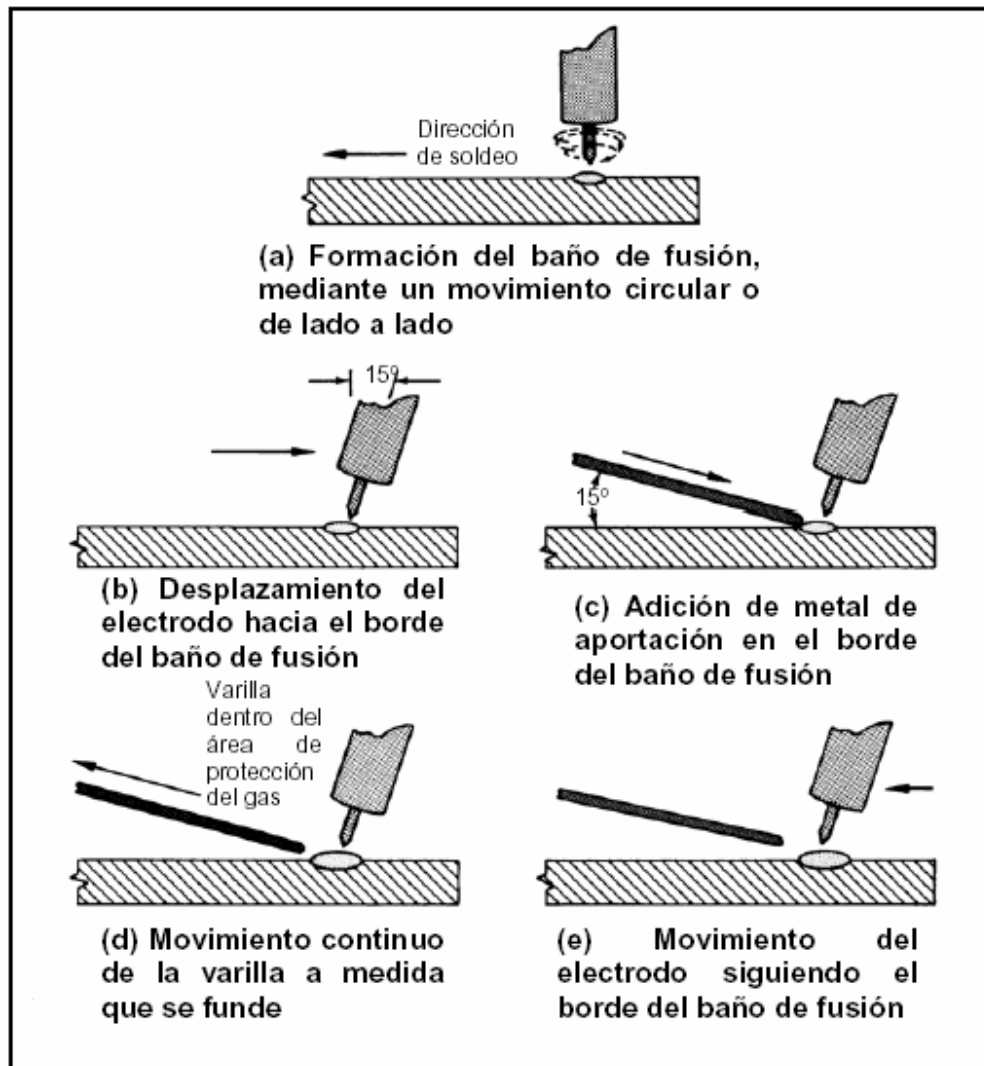


FIGURA 9

2.9. APLICACIONES. SOLDEO TIG DE LOS METALES Y ALEACIONES MAS USUALES.

El proceso TIG se aplica principalmente a los aceros inoxidable aceros al carbono, al Cr-Mo resistentes al calor, aluminio, magnesio, níquel y sus aleaciones.

Se emplea así mismo en la soldadura de metales sensibles a la oxidación, como titanio y circonio.

Se puede soldar a tope y sin aporte de material, desde 0,3 mm a 4 mm.

Presenta las limitaciones de todo proceso con protección gaseosa.

2.9.1. Condiciones de ejecución del soldeo por arco TIG manual.

Intensidad de soldeo.

25 a 30 A/mm de espesor del acero a soldar.

Intervalos de corriente según diámetro del electrodo.

\varnothing	c.a.	c.c.P.D.	c.c.P.I.
1	5 - 50	25 - 70	15
1,6	50 - 100	60 - 150	10 - 20
2,4	100 - 160	150 - 200	15 - 30
3,2	130 - 180	200 - 350	25 - 40
4	170 - 240	350 - 520	40 - 60

Diámetro de la boquilla.

Espesor de la chapa (mm)	\varnothing boquilla (mm)
1	6
1 a 2	8 ó 9
2 a 4	10 ó 11
4 a 6	12 ó 13

Caudal de gas.

Depende de la boquilla a utilizar. En general el flujo debe alimentarse proporcionalmente al diámetro de la boquilla.

Como máximo suele emplearse 1 litro por milímetro de diámetro de la boquilla.

Diámetro del metal de aportación

DIAMETRO (mm)	RANGO DE INTENSIDADES			
	CCPD Electrodo (-)	CCPI Electrodo (+)	CA	
	T-Puro T-1/2 % Th	T-Puro t-1/2 % Th	T-puro	T-1/2 % Th T-Zr
1,0	15 - 80	----	10 - 60	15 - 80
1,6	70 - 150	10 - 20	50 - 100	70 - 150
2,4	150 - 250	15 - 30	100 - 160	140 - 235
3,2	250 - 400	25 - 40	150 - 210	225 - 325
4,0	400 - 500	40 - 55	200 - 275	300 - 400
4,8	500 - 750	55 - 80	250 - 350	400 - 500
6,4	750 - 1000	80 - 125	325 - 450	500 - 630

2.9.2. Protección del cordón de raíz en soldeo TIG.

En el soldeo TIG el gas de protección cubre y protege el lado superior del cordón de soldadura. Sin embargo, la parte inferior se encuentra expuesta a la oxidación. Para evitar este inconveniente se emplea también un gas de protección de la raíz.

Los dispositivos de aplicación de este gas, llamado normalmente de apoyo, son diversos. En general se procura que el gas se encuentre en contacto con el talón de la junta sin que escape al exterior, lo que representaría un gasto inútil. Para ello se adapta a la cara externa de la junta una cinta autoadhesiva no transpirable que se va retirando a medida que avanza el depósito de la primera pasada. Previamente se practica un barrido del aire del interior del conducto, hasta que la concentración de O₂, sea de aproximadamente 25 ppm., para evitar el riesgo de oxidación.

El dispositivo debe procurar la máxima estanqueidad. En la soldadura de tuberías se suelen emplear cartones rígidos o discos de madera, de diámetro lo más ajustados posible a los diámetros interiores de las líneas. En uno de ellos se practica un orificio en donde se conecta la goma o manguera que inyecta el gas inerte.

El flujo de gas de apoyo no debe ser tan elevado que produzca una fuerte contrapresión pues por su fuerza elevadora puede provocar una falta de fusión en el cordón de raíz.

ANEXO 3
SOLDEO SMAW

ANEXO 3 - SOLDEO MANUAL POR ARCO CON ELECTRODOS REVESTIDOS

3.1 INTRODUCCIÓN

La soldadura manual es un proceso en el que la fusión del metal se produce por el calor generado en un arco eléctrico establecido entre el extremo de un electrodo revestido y el metal base de una unión a soldar.

La soldadura manual es el más extendido entre todos los procedimientos de soldadura por arco, debido fundamentalmente a su versatilidad, aparte de que el equipo necesario para su ejecución es más sencillo, transportable y barato que el de los demás.

Así, la soldadura manual puede ser utilizada en cualquier posición, tanto en locales cerrados como en el exterior, se puede aplicar en cualquier localización que pueda ser alcanzada por un electrodo, incluso con restricciones de espacio, que no permiten la utilización de otros equipos; por otra parte, al no requerir ni tuberías de gases ni conducciones de agua de refrigeración, puede ser empleada en lugares relativamente alejados de la unidad generadora.

Por otra parte, la soldadura manual es aplicable a casi todos los tipos de aceros: al carbono, débilmente aleados, inoxidables, resistentes al calor, etc., y a gran número de aleaciones, como las cobre – cinc (latones) y cobre – estaño (bronces) principalmente.

Asimismo, la soldadura manual se puede utilizar en todos los tipos de juntas y posiciones.

Al soldeo por arco con electrodo revestido se le conoce por las siguientes denominaciones:

- SMAW , Shielded metal – arc welding (ANSI / AWS A3.0)
- 111, Soldeo metálico por arco con electrodo revestido (UNE – EN ISO 4063)
- MMAW, Manual metal – arc welding (Reino Unido)

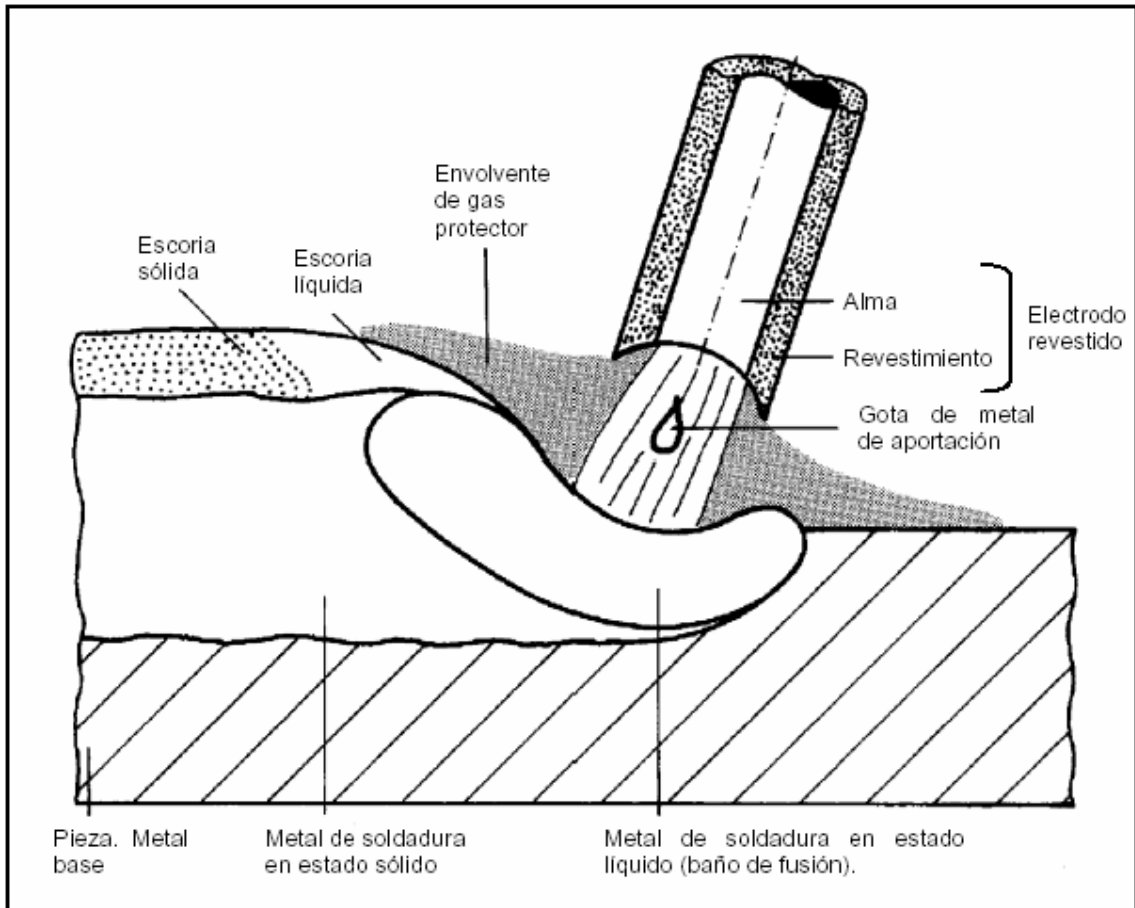


FIGURA 1 – Descripción del proceso

1.- PRINCIPIOS DEL PROCESO

En esencia, el procedimiento consiste en el establecimiento de un circuito eléctrico cerrado (Figura 2) que requiere una fuente de corriente adecuada dotado de dos terminales, uno de ellos conectado por medio de un cable a un portaelectrodo, en cuya pinza se sujeta un electrodo revestido; el otro terminal se conecta, a su vez, a través de un cable de retorno y una pinza de masa, a la pieza. El circuito se cierra a través del arco que salta entre el extremo del electrodo y el punto de soldeo en la pieza.

El proceso se inicia con el cebado del arco, operación consistente en tocar, por brevísimos instantes, la pieza con el extremo libre del electrodo, cerrándose durante ese corto tiempo el circuito. El paso de corriente genera, el calentamiento del punto de contacto y de las zonas inmediatas, particularmente el extremo del electrodo. La

temperatura alcanzada por éste puede llegar a la de incandescencia, a pesar del corto tiempo de contacto, siendo suficiente para que, una vez separado el extremo del electrodo de la pieza, el metal del extremo libre del mismo produzca una fuerte emisión de electrones que se aceleran por la tensión, chocan con los electrones de otros átomos del medio gaseoso, a los que expulsa de sus órbitas, lo cual genera una atmósfera ionizada en su entorno que permite el paso de corriente a través del aire, con lo que, a los electrones emitidos por el electrodo incandescente se suma el torrente de electrones conducido por ésta, que se proyectan sobre el ánodo, provocando su fusión parcial y produciéndose así el salto del arco.

El arco eleva extraordinariamente la temperatura, muy por encima de la de fusión del metal — temperaturas del orden de 5000°C son normales en cualquier arco — de forma que, tanto el extremo del electrodo como la zona afectada por el arco en el metal base, se funden. Del extremo del electrodo se desprenden pequeñas gotas de metal fundido, que se proyectan sobre el metal de base también fundido, mezclándose con él y formando lo que se denomina baño de fusión.

A medida que el electrodo se va consumiendo con este proceso, se hace avanzar el baño fundido a lo largo de la unión a soldar, al tiempo que la difusión del calor a través del metal base no fundido hace descender la temperatura por debajo del punto de fusión del metal, por lo que la parte del baño fundido que deja de estar en contacto directo con el arco se va solidificando, siguiendo a éste en su desplazamiento y formando lo que denominamos metal soldado.

Cuando la parte útil del electrodo se ha consumido, se interrumpe el arco, solidificándose la última porción de baño fundido y obteniéndose así un cordón de soldadura correspondiente a un electrodo. La parte final del electrodo o punta, no utilizable se desecha, sustituyéndola por un nuevo electrodo, con el que se reanuda y repite el ciclo antes descrito. La sucesión de cordones, hasta la terminación de la unión a soldar constituye la soldadura propiamente dicha.

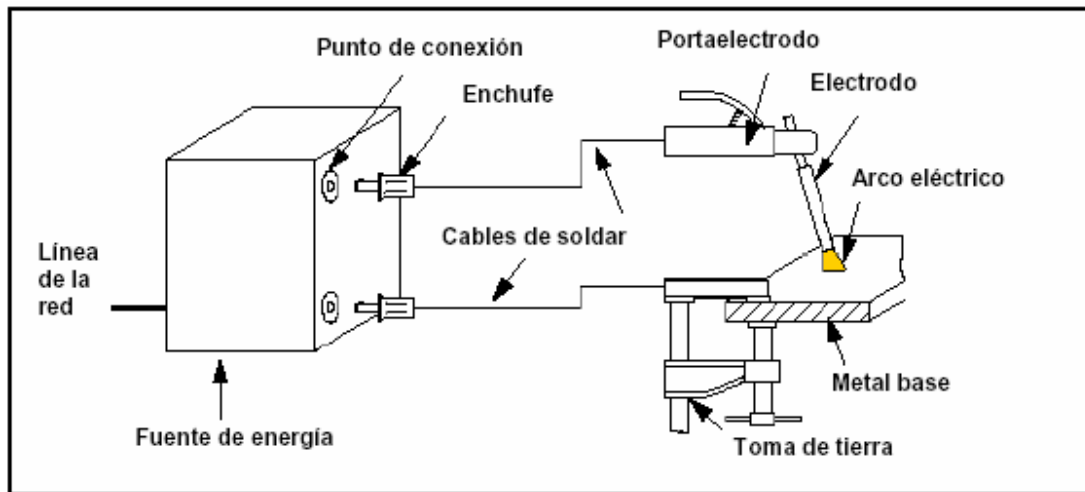


FIGURA 2

3.1.1 Ventajas y Limitaciones del Soldeo por Arco con Electrodos Revestidos

Ventajas

- El equipo de soldeo es relativamente sencillo, no muy caro y portátil.
- El metal de aportación y los medios para su protección durante el soldeo proceden del propio electrodo revestido. No es necesaria protección adicional mediante gases auxiliares o fundentes granulares.
- Es menos sensible al viento y a las corrientes de aire que los procesos por arco con protección gaseosa. No obstante el proceso debe emplearse siempre protegido del viento, lluvia y nieve.
- Se puede emplear en cualquier posición, en locales abiertos y en locales cerrados, incluso con restricciones de espacio. No requiere conducciones de agua de refrigeración, ni tuberías o botellas de gases de protección, por lo que puede emplearse en lugares relativamente alejados de la fuente de energía.
- Es aplicable para una gran variedad de espesores, en general mayores de 2 mm.
- Es aplicable a la mayoría de los metales y aleaciones de uso normal.

Limitaciones

- Es un proceso lento, por la baja tasa de deposición y por la necesidad de retirar la escoria, por lo que en determinadas aplicaciones ha sido desplazado por otros procesos.

- Requiere gran habilidad por parte del soldador

- No es aplicable a metales de bajo punto de fusión como plomo, estaño y cinc , debido a que el intenso calor del arco es excesivo para ellos. Tampoco es aplicable a metales de alta sensibilidad a la oxidación como el titanio, zirconio , tántalo y niobio, ya que la protección que proporciona es insuficiente para evitar la contaminación por oxígeno de la soldadura.

- No es aplicable a espesores inferiores a 1.5 – 2 mm.

- La tasa de deposición es inferior a la obtenida por los procesos que utilizan electrodo continuo, como el soldeo con alambre tubular o soldeo MIG / MAG. Esto se debe a que el electrodo solo puede consumirse hasta una longitud mínima (unos 5 cm), cuando se llega a dicha longitud el soldador tiene que retirar la colilla del electrodo no consumida e insertar un nuevo electrodo.

- Aunque en teoría se puede soldar cualquier espesor por encima de 1.5 mm, el proceso no resulta productivo para espesores mayores de 38 mm.

3.2.- PARÁMETROS DE SOLDEO

3.2.1. Diámetro del electrodo

En general, se deberá seleccionar el mayor diámetro posible que asegure los requisitos de aporte térmico y que permita su fácil utilización, en función de la posición, el espesor del material y el tipo de unión, que son los parámetros de los que depende la selección del diámetro del electrodo.

Asimismo, en el soldeo con pasadas múltiples el cordón de raíz conviene efectuarlo con un electrodo de pequeño diámetro, para conseguir el mayor acercamiento posible del arco al fondo de la unión y asegurar una buena penetración, se utilizarán electrodos de mayor diámetro para completar la unión.

El aporte térmico depende, directamente de la intensidad, tensión del arco y velocidad de desplazamiento, parámetros dependientes del diámetro del electrodo; siendo mayor cuanto mayor es el diámetro del mismo, en las aplicaciones o materiales donde se requiera que el aporte térmico sea bajo se deberán utilizar electrodos de pequeño diámetro.

En general, se deberán emplear:

- Electrodo de poco diámetro (2, 2.5, 3.25, 4 mm) en: punteado, uniones de piezas de poco espesor, primeras pasadas, soldaduras en posición cornisa, vertical y bajo techo y cuando se requiera que el aporte térmico sea bajo.
- Electrodo de mayores diámetros para: uniones de piezas de espesores medios y gruesos, soldaduras en posición plana y recargues.
- La utilización de grandes diámetros puede dar lugar a un cordón de soldadura excesivo, innecesario y costoso económicamente, pudiendo también actuar como concentrador de tensiones debido a un perfil inadecuado.

3.2.2. Intensidad de soldeo

Cada electrodo, en función de su diámetro, posee un rango de intensidades en el que puede utilizarse, en ningún caso se deben utilizar intensidades por encima de ese rango ya que se producirían mordeduras, proyecciones, intensificación de los efectos del soplo magnético e incluso grietas

La intensidad a utilizar depende de la posición de soldeo y del tipo de unión.

3.2.3. Longitud de arco

La longitud del arco a utilizar depende del tipo de electrodo, su diámetro, la posición de soldeo y la intensidad. En general, debe ser igual al diámetro del electrodo, excepto cuando se emplee el electrodo de tipo básico, que deberá ser igual a la mitad de su diámetro.

Es conveniente mantener siempre la misma longitud del arco, con objeto de evitar oscilaciones en la tensión e intensidad de la corriente y con ello una penetración desigual.

Un arco demasiado corto puede ser errático y producir cortocircuitos durante la transferencia de metal, un arco demasiado largo perderá direccionalidad e intensidad, además el gas y el fundente generados por el revestimiento no son tan eficaces para la protección del arco y del metal de soldadura, por lo que se puede producir porosidad y contaminación del metal de soldadura con oxígeno e hidrógeno.

3.2.4. Velocidad de desplazamiento

La velocidad de desplazamiento durante el soldeo debe ajustarse de tal forma que el arco adelante ligeramente al baño de fusión. Cuanto mayor es la velocidad de desplazamiento menor es la anchura del cordón, menor es el aporte térmico y más rápidamente se enfriará la soldadura. Si la velocidad es excesiva se producen mordeduras, se dificulta la retirada de la escoria y se favorece el atrapamiento de gases (produciéndose poros).

Según vamos aumentando la velocidad de soldeo, el cordón se va haciendo más estrecho y va aumentando la penetración hasta un cierto punto a partir del cual aumentos en la velocidad traen como consecuencia una disminución de la penetración, debido a que el calor apuntado no, es suficiente para conseguir una mayor penetración.

Con una baja velocidad el cordón será ancho y convexo y poca penetración, debido a que el arco reside demasiado tiempo sobre el metal depositado, (efecto “colchón”), en vez de concentrarse sobre el metal base.

Así mismo, recordar que la velocidad de soldeo afecta al calor suministrando a la unión por medio de velocidad de enfriamiento y por lo tanto a su estructura metalúrgica final y como consecuencia directa a sus propiedades mecánicas finales (carga, rotura, impacto y durezas).

3.2.5. Tipo de corriente

El soldeo por arco con electrodos revestidos se puede realizar tanto con corriente alterna como con corriente continua, la elección dependerá del tipo de fuente de energía disponible, del electrodo a utilizar y del material base.

Parámetros	Corriente Continua	Corriente Alterna
Soldeo a gran distancia de la fuente de energía		Preferible
Soldeo con electrodos de pequeño diámetro que requieren bajas intensidades de soldeo	La operación resulta más fácil	Si no se actúa con gran precaución se puede deteriorar el material debido a la dificultad de encendido de arco
Cebado del arco	Resulta más fácil	Más difícil en especial cuando se emplean electrodos de pequeño diámetro
Mantenimiento del arco	Más fácil por la mayor estabilidad	Más difícil, excepto cuando se emplean electrodos de gran rendimiento
Soplo magnético	Puede resultar un problema en el soldeo de materiales ferromagnéticos	No se presentan problemas
Posiciones de soldeo	Se prefiere en el soldeo en posiciones vertical y bajo techo porque deben utilizarse intensidades bajas	Si se utilizan los electrodos adecuados, se pueden realizar soldaduras en cualquier posición
Tipo de electrodo	Se puede emplear con cualquier tipo de electrodo	No se puede utilizar con todos los electrodos. El revestimiento debe contener sustancias que reestablezcan el arco
Espesor de la pinza	Se prefiere para espesores delgados	Se prefiere para espesores gruesos ya que se puede utilizar un electrodo de mayor diámetro y mayor intensidad, con lo que se consiguen mayores rendimientos

TABLA 1 – Comparación entre corriente continua y corriente alterna.

En cuanto a la polaridad con corriente continua depende del material a soldar y del electrodo empleado, sin embargo se recuerda que se obtienen mayor penetración con polaridad inversa.

3.3.- EQUIPOS DE SOLDEO

3.3.1. Fuentes de energía

Para la generación del arco, su control y manejo, se requiere un equipo específico.

La fuente de energía es el elemento que se encarga de transformar y/o convertir la corriente eléctrica de la red en otra alterna o continua, con una tensión e intensidad adecuadas para la formación y estabilización del arco eléctrico.

Dichas fuentes de energía son máquinas eléctricas que, según sus estructuras, reciben el nombre de transformadores, rectificadores o convertidores.

3.3.2. Portaelectrodo

Tiene la misión de conducir la electricidad al electrodo y sujetarlo. Para evitar un sobrecalentamiento en las mordazas, éstas deben mantenerse en perfecto estado; un sobrecalentamiento se traduciría en una disminución de la calidad y dificulta la ejecución del soldeo. Se debe seleccionar siempre el portaelectrodos adecuado para el diámetro de electrodo que se vaya a utilizar.

En la figura 3 siguiente se representa un portaelectrodo típico.

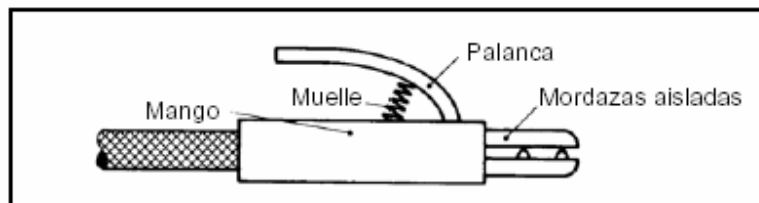


FIGURA 3 - Portaelectrodo

3.3.3. Conexión de masa

La conexión correcta del cable de masa es una consideración de importancia. La situación del cable es de especial relevancia en el soldeo con corriente continua. Una situación incorrecta puede provocar el soplo magnético, dificultando el control del arco. Más aún, el método de sujetar el cable también es importante. Un cable mal sujeto no proporcionará un contacto eléctrico consistente y la conexión se calentará, pudiendo producirse una interrupción en el circuito y la desaparición del arco.

3.4.- TIPOS DE ELECTRODOS

El elemento fundamental para la soldadura manual es el electrodo, que soporta el arco y que, al consumirse, produce la aportación del material que, unido al material fundido del metal base, va a constituir el material soldado. El electrodo está básicamente constituido por un alambre, de composición similar al del metal base, con o sin un revestimiento que lo envuelve. De acuerdo con esta última condición, los electrodos se clasifican en dos grupos: Electrodo desnudos y electrodos revestidos.

3.4.1.- Electrodo desnudos

Salvo para uniones de muy poca responsabilidad y en piezas de acero dulce, los electrodos desnudos no se utilizan, ya que las soldaduras obtenidas tienen muy malas cualidades mecánicas.

El arco absorbe los componentes del aire y los incorpora al baño fundido por lo que el metal soldado presenta gran cantidad de óxidos, nitruros, poros y escorias que le confieren esas malas cualidades mecánicas.

Es muy difícil mantener el arco, siendo imposible hacerlo con corriente alterna.

3.4.2.- Electrodo revestidos

Los electrodos revestidos están formados, tal y como podemos observar en la figura 4 siguiente, por:

- Un alambre de sección circular uniforme, denominado alma, de composición normalmente similar a la del metal base.
- El revestimiento que es un cilindro que envuelve el alma, concéntrico con ella y de espesor uniforme, constituido por una mezcla de compuestos que caracterizan el electrodo y que cumple varias funciones, las cuales evitan los inconvenientes del electrodo desnudo.

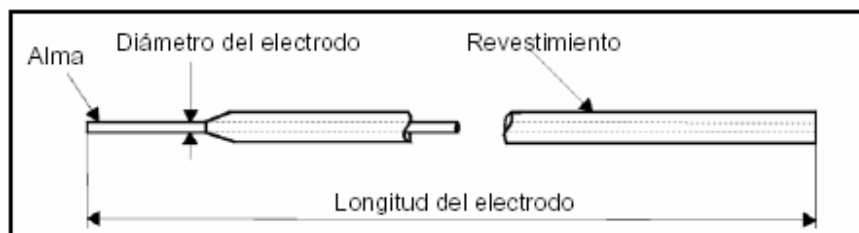


FIGURA 4 – Electrodo revestido

Los electrodos tienen longitudes normalizadas de 150, 200, 250, 300, 350 y 450 mm, en función del diámetro del electrodo. Un extremo del alma está sin cubrir de revestimiento, en una longitud de 20 a 30 mm, para la inserción del mismo en la pinza del portaelectrodo. Los diámetros de los electrodos también están normalizados, siendo los más comunes los de 1.6; 2; 2.5; 3.25; 4; 5; 6; 6.3; 8; 10 y 12.5 mm (diámetro del alma).

3.5.- FUNCIONES DEL REVESTIMIENTO

Las funciones básicas que debe cumplir un revestimiento se pueden resumir como sigue:

- 1) Asegurar la estabilización del arco.
- 2) Proteger al metal fundido de su contacto con el aire, tanto en el trayecto de las gotas fundidas a lo largo del arco, mediante gases que lo envuelvan, como en el baño de fusión, mediante la formación de una capa de escoria que lo recubra.
- 3) Eliminar o reducir las impurezas en el interior de la soldadura, mediante el barrido de las mismas, por medio de la escoria.

- 4) Aportar elementos aleantes a la soldadura, que suplan las pérdidas ocasionadas por la alta temperatura y/o que comuniquen a la misma las cualidades mecánicas deseadas.
- 5) Asegurar un enfriamiento suave de la soldadura, a fin de obtener un mejor comportamiento mecánico de la misma.

3.6. TIPOS DE REVESTIMIENTO

Prácticamente en todos los electrodos revestidos se utiliza un acero de la misma composición para la fabricación del alma, por lo cual, lo que caracteriza las distintas clases de electrodo son los revestimientos.

De acuerdo con los compuestos que forman parte de los revestimientos y la proporción en que están presentes, los electrodos se comportan de distinta forma, de tal manera que, según la aplicación que se quiera hacer de ellos y, en función de las características de la unión, espesores, tipo de preparación, posición de la soldadura, geometría de la unión, composición del metal, etc., pueden elegirse el tipo de electrodos y los parámetros adecuados para la soldadura. En general, podemos decir que los electrodos se seleccionan por su calidad, economía y facilidad de manejo, principalmente.

En primer lugar estudiaremos los tipos de revestimiento que se pueden encontrar en los electrodos de acero al carbono, para más adelante estudiar lo más comunes en los aceros aleados y aleaciones no férricas.

3.6.1. Revestimiento de los electrodos de acero al carbono

El revestimiento se clasifica en función de su composición, como se ha citado anteriormente, ya que ésta determinará sus cualidades y aplicaciones, agrupándose y designándose como sigue (según UNE- EN 287- 1):

- Ácido (A)
- Básico (B)
- Celulósico (C)
- Rutilo (R)

- Rutilo – ácido (RA)
- Rutilo – básico (RB)
- Rutilo-celulósico (RC)
- Rutilo grueso (RR)
- Otros (S)

En las siguientes tablas se indica la composición, características y aplicaciones de los revestimientos más utilizados.

Electrodos ácidos (A)
<p>Composición del revestimiento: Óxidos de hierro y manganeso.</p> <p>Características de la escoria: Bastante fluida, de aspecto poroso y abundante.</p> <p>Ventajas: La velocidad de fusión es bastante elevada, así como la penetración. Se puede utilizar con intensidades elevadas.</p> <p>Limitaciones: Sólo se puede utilizar con metales base con buena soldabilidad, contenidos muy bajos de azufre, fósforo y carbono, de lo contrario puede presentarse fisuración en caliente ya que los componentes del revestimiento no son capaces de extraer el azufre y el fósforo como pueden hacerlo los revestimientos básicos.</p> <p>Posición: Especialmente indicados para posición plana, pero pueden utilizarse también en otras posiciones.</p> <p>Tipo de corriente: c.c. y c.a.</p>

Electrodos de rutilo (R)
<p>Composición del revestimiento: Rutilo (óxidos de titanio).</p> <p>Características de la escoria: Es muy densa y viscosa.</p> <p>Ventajas: Fácil cebado y manejo del arco. Fusión del electrodo suave. Cordón de soldadura muy regular y de buen aspecto.</p> <p>Posición: Todas. Especialmente adecuado para soldar en posición vertical y bajo techo gracias a las características de su escoria.</p> <p>Aplicaciones: Es el electrodo más comúnmente utilizado.</p> <p>Tipo de corriente: c.a. y c.c.</p>

Electrodos rutilo-ácido (RA)

Composición del revestimiento: Óxido de hierro o de manganeso y rutilo (óxido de titanio).

Sus propiedades son similares a los electrodos de tipo ácido, aunque son más manejables, porque mantienen mejor el arco debido a la presencia del óxido de titanio.

Electrodos de tipo rutilo grueso (RR)

Igual que los de rutilo pero con revestimiento más grueso.

Electrodos básicos (B)

Composición del revestimiento: Carbonato cálcico y otros carbonatos también básicos.

Características de la escoria: es densa, no muy abundante, de color pardo oscuro y brillante, se separa fácilmente y asciende con facilidad por lo que se reduce el riesgo de inclusiones de escoria.

Ventajas: Metal de soldadura muy resistente a la fisuración en caliente. Son de bajo contenido en hidrógeno (el metal depositado tendrá bajo contenido en hidrógeno) lo que reduce la fisuración en frío.

Limitaciones: Su manejo es algo dificultoso, debiéndose emplear con un arco muy corto y con intensidades poco altas.

Son muy higroscópicos (absorben humedad con gran facilidad), por lo que es necesario mantenerlos en paquetes herméticamente cerrados y conservados en recintos adecuados para mantenerlos perfectamente secos. A veces se deben secar en estufas adecuadas justo antes de su empleo, extremando las precauciones cuando vayan a ser utilizados en soldadura de aceros con problemas de temple.

Aplicaciones: Soldaduras de responsabilidad. Su gran tenacidad los hace recomendables para soldar grandes espesores y estructuras muy rígidas. Aceros débilmente aleados e incluso aceros que presentan baja soldabilidad.

Posición: Todas las posiciones.

Tipo de corriente: Corriente continua y polaridad inversa, aunque hay algún tipo de electrodo preparado para ser empleado también con corriente alterna.

Electrodos celulósicos (C)

Composición del revestimiento: Sustancias orgánicas que generan gran cantidad de gases por el calor.

Características de la escoria: La escoria que producen es escasa y se separa con gran facilidad.

Ventajas: Los gases forman una gran envoltura gaseosa en torno al arco e imprimen a las gotas metálicas gran velocidad, por lo cual se consigue gran penetración. Gran velocidad de fusión.

Limitaciones: Muchas proyecciones. Superficie de la soldadura muy irregular.

Posición: Todas.

Aplicaciones: Se emplean principalmente para el soldeo de tuberías en vertical descendente, por la buena penetración que consiguen y por la rapidez del trabajo, debida a su alta velocidad de fusión.

Tipo de corriente: Corriente continua y polaridad directa. Para utilizarlos con corriente alterna se necesita emplear una máquina con tensión de vacío muy elevada.

Otros (S)

Este grupo engloba todos aquellos electrodos que no tienen unas características que permitan encajarlos en alguno de los grupos anteriores.

3.6.2. Revestimiento de los electrodos de aceros aleados y materiales no férricos

Los revestimientos más comunes para los aceros aleados (de baja, media o alta aleación) son los de tipo básico y de tipo rutilo, siendo más frecuentes los primeros.

El revestimiento de los electrodos de aleaciones no férricas suele depender en gran medida de la aleación en cuestión, aunque predominan los revestimientos de tipo básico.

3.6.3. Electrodo con polvo de hierro en el revestimiento

Se pueden introducir polvos de diferentes metales en el revestimiento para compensar la pérdida de elementos de aleación, que se produce durante la fusión del electrodo, o para aportar elementos de aleación y mejorar así las propiedades mecánicas del metal de soldadura.

Uno de los elementos que se agregan al revestimiento de los electrodos de acero (al carbono, de baja aleación, inoxidables y de alta aleación) es el polvo de hierro, que permite aumentar la cantidad de metal depositado y mejorar el comportamiento del arco.

Ventajas:

- El arco es más estable
- Se requiere menor destreza para utilizarlo correctamente, ya que el crisol formado en el extremo del electrodo es mayor y puede arrastrarse a lo largo de la superficie de la pieza manteniéndose el arco de soldeo.
- Aumenta la cantidad de metal depositado para un determinado diámetro del alma, ya que se aporta también el hierro procedente del revestimiento. De esa forma aumenta la tasa de deposición (peso de material depositado por unidad de tiempo) y la velocidad de soldeo.

Limitaciones:

- Sólo se pueden emplear en posición plana.

El rendimiento gravimétrico de un electrodo es la relación entre el metal depositado durante el soldeo y el peso del alma de los electrodos empleados, multiplicado por cien para determinarlo en tanto por cien.

$$\text{Rendimiento gravimétrico en \%} = \frac{\text{Peso del metal depositado}}{\text{Peso del alma}} \times 100$$

Electrodos de gran rendimiento

Cualesquiera que sean las características del electrodo, y siempre que su rendimiento gravimétrico sea superior al 110 %, el electrodo se denomina de gran rendimiento.

3.7.- FABRICACIÓN, CONSERVACIÓN Y MANIPULACIÓN DE LOS ELECTRODOS

Para la fabricación de los electrodos se empieza elaborando separadamente el alma y el revestimiento.

Ambos procesos convergen en la prensa de extrusión, a partir de la cuál comienza la fabricación del electrodo propiamente dicho.

Para la fabricación del alma, se parte de un rollo de alambón de un diámetro superior al del alma de mayor grosor que se fabrica. El acero del alambón tiene siempre la misma composición para todos los rollos. Este alambón se hace pasar por sucesivas hileras, que van adelgazando su diámetro, hasta reducirlo al de la varilla que constituye el alma que se quiere fabricar.

Tras el paso por el tren de hileras se comprueba electrónicamente el calibre del alambre de la varilla y se pasa a una enderezadora y cortadora automática, pasando a través de una tobera a la prensa de extrusión.

Por su parte, para la fabricación del revestimiento, se preparan los ingredientes, pulverizados, con una granulometría y dosificación cuidadosamente controlada, pasando a una mezcladora y amasadora en donde se les añade el agua que los aglomerantes necesitan para formar la pasta, con la que se llenan los recipientes que se introducen en la prensa de extrusión.

Por la tobera de salida de la prensa de extrusión sale la varilla rodeada de la pasta del revestimiento fuertemente comprimida contra ella y, después de pasar por los controles de centrado y de espesor, pasa al horno de secado. Una vez seco, el electrodo pasa por un proceso automático en el cual se elimina el revestimiento de un extremo,

dejando desnudo el final del alma y mecanizando el extremo contrario con una ligera conicidad para facilitar la operación de cebado.

Los electrodos son empaquetados, etiquetados y embalados automáticamente para su expedición. Los electrodos susceptibles de captar la humedad del ambiente pasan por una fase especial de nuevo secado, envasado hermético y empaquetado, y, finalmente, almacenado en recintos especialmente acondicionados para su conservación.

3.7.1.- Manipulación y tratamiento de los electrodos

Para evitar los defectos a que pueden dar lugar los electrodos en mal estado, es recomendable seguir unas normas para el cuidado y manipulación de los electrodos, que podemos resumir así:

- Transportar los electrodos en recipientes cerrados, suficientemente resistentes para evitar que las herramientas o piezas que se transporten con ellos caigan o se depositen sobre los mismos, deteriorándolos.
- No transportar un número de unidades mayor que el que prudentemente se considere va a ser necesario consumir en una tarea (o en una jornada, en las tareas de larga duración).
- Manipular los electrodos con guantes limpios y secos.
- No exponer los electrodos a ambientes excesivamente húmedos ni depositarlos sobre superficies manchadas de grasa, polvo, pintura o suciedad.

3.7.2.- Almacenamiento y secado de los electrodos

Los revestimientos de los electrodos son higroscópicos (absorben y retienen la humedad con gran facilidad). Si se utiliza un electrodo húmedo se pueden provocar poros, además de grietas en frío. Para disminuir los problemas de la humedad, los electrodos revestidos deben ser embalados, almacenados y manejados en las condiciones adecuadas. Los electrodos deben almacenarse en locales limpios y dotados de una regulación de temperatura y humedad adecuadas.

Los electrodos básicos (de bajo contenido en hidrógeno), que por unas causas u otras hayan permanecido expuestos a la humedad ambiente durante algún tiempo, deben ser sometidos a un proceso de secado en estufa. Para seleccionar la temperatura y tiempo de secado se deberán seguir las recomendaciones del fabricante del electrodo, dado que los límites de temperatura y tiempo pueden variar de un fabricante a otro incluso para los electrodos de la misma clasificación. Un calentamiento excesivo puede dañar el revestimiento del electrodo. Cuando se emplean este tipo de electrodos se debe disponer de pequeñas estufas, en lugares cercanos al lugar de trabajo, en donde se mantengan los electrodos a temperaturas uniformes de 65 a 150 ° C (temperatura de mantenimiento) de la que se vayan sacando en número reducido para su utilización más inmediata.

3.8.- CLASIFICACIÓN DE LOS ELECTRODOS

Se han establecido normas para identificar los electrodos por sus características principales, que permiten su comparación y selección, mediante un código. En este apartado vamos a estudiar las Normas UNE-EN 1600 (Consumibles para el soldeo. Electrodo revestido para el soldeo por arco manual de aceros inoxidables y resistentes al calor. Clasificación.) y AWS A5.4, que establecen los símbolos y códigos numéricos que definen dichas características para electrodos de acero inoxidable.

Como regla general, se utilizarán electrodos con cargas de rotura iguales a los del metal base.

DESIGNACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS ELECTRODOS REVESTIDOS PARA EL SOLDEO DE ACEROS INOXIDABLES DE ACUERDO CON ANSI/AWS A5.4

Estos electrodos se clasifican de acuerdo con su composición química, propiedades mecánicas y tipo de corriente e incluye aceros en los que el cromo no excede del 4% y el níquel no supera el 37% de la aleación.

La designación utilizada por AWS A5.4 consiste en:

- La letra E que indica que es un electrodo.

- 3 ó 4 números que representan la composición química del metal de soldadura, clasificado de la misma forma que el metal base según AISI.
- 2 números que indican el tipo de revestimiento y por tanto la posición de soldeo y el tipo de intensidad de soldeo, según la tabla 2.

TABLA 2

Denominación AWS	Corriente de soldeo	Posición de soldeo
EXXX-15	CCEP	Todas ¹
EXXX-16	CCEP ó CA	Todas ¹
EXXX-17	CCEP ó CA	Todas ¹
EXXX-25	CCEP	Horizontal (cornisa) y plana
EXXX-26	CCEP ó CA	Horizontal (cornisa) y plana

(1) Los electrodos de diámetro mayor de 4.8 mm no se recomiendan para el soldeo en todas las posiciones.

DESIGNACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS ELECTRODOS REVESTIDOS PARA EL SOLDEO DE ACEROS INOXIDABLES DE ACUERDO CON UNE EN 1600

Ejemplo de designación según UNE-EN 1600:

EN 1600
Classification of covered electrodes for Manual Metal Arc Welding
of stainless and heat-resisting steels

Limarosta 316L

E 19 12 3 L R 1 2

Welding Positions →

Current type and recovery →

Covered electrode →

Chemical Composition →

Type of covering →

1. All positions
2. All positions except vertical down
3. Flat and horizontal-vertical butt / fillet weld
4. Flat butt and fillet weld
5. Vertical down and according to symbol 3

Symbol	Recovery	Current type
1	≤ 105	AC + DC
2	≤ 105	DC
3	>105 ≤ 125	AC + DC
4	>105 ≤ 125	DC
5	>125 ≤ 160	AC + DC
6	>125 ≤ 160	DC

R Rutile B Basic

Symbol	C	Mn	Cr	Ni	Mo	Other	Symbol	C	Mn	Cr	Ni	Mo	Others
Martensitic/ferritic							20 25 5 CuN L	0,04	1 - 4	18 - 22	24 - 27	4 - 7	-
13	0,12	1,5	11 - 14	-	-	-	20 16 3 MnN L	0,04	5 - 8	18 - 21	15 - 18	2 - 3	0,20N *
13 4	0,06	1,5	11 - 14	3 - 5	0,4 - 1	-	25 22 2 N L	0,04	1 - 5	24 - 27	20 - 23	2 - 3	0,20N *
17	0,12	1,5	16 - 18	-	-	-	27 31 4 Cu L	0,04	2 - 5	26 - 29	30 - 33	3 - 4	-
Austenitic							Special						
19 9	0,08	2,0	18 - 21	9 - 11	-	-	18 8 Mn	0,20	45 - 75	17 - 20	7 - 10	-	-
19 9 L	0,04	2,0	18 - 21	9 - 11	-	-	16 9 MnMo	0,04-1,4	3 - 5	18 - 21	9 - 11	0,5 - 1	*
19 9 Nb	0,08	2,0	18 - 21	9 - 11	-	Nb	20 10 3	0,10	2,5	18 - 21	9 - 12	1 - 3	*
19 12 2	0,08	2,0	17 - 20	10 - 13	2 - 3	-	23 12 L	0,04	2,5	22 - 25	11 - 14	-	-
19 12 3 L	0,04	2,0	17 - 20	10 - 13	2 - 3	-	23 12 Nb	0,10	2,5	22 - 25	11 - 14	-	Nb
19 12 3 Nb	0,08	2,0	17 - 20	10 - 13	2 - 3	Nb	23 12 2 L	0,04	2,5	22 - 25	11 - 14	2 - 3	-
19 13 4 NL	0,04	1 - 5	17 - 20	12 - 15	3 - 4	0,20N	29 9	0,15	2,5	27 - 31	8 - 12	-	-
Austenitic/Ferritic, high corrosion resistance							Heat resisting						
22 9 3 NL	0,04	2,5	21 - 24	7 - 10	2 - 4	0,20N	16 8 2	0,08	2,5	14 - 16	7 - 9	1 - 2	*
25 7 2 NL	0,04	2,0	24 - 28	6 - 8	1 - 3	0,20N	19 9 H	0,04-0,08	2,0	18 - 21	9 - 11	-	-
25 9 3 CuN L	0,04	2,5	24 - 27	7 - 10	2 - 4	0,20N	25 4	0,15	2,5	24 - 27	4 - 6	0,03 - 0,20N	
25 9 4 NL	0,04	2,5	24 - 27	8 - 10	2 - 4	0,20N	22 12	0,06-0,20	1 - 5	20 - 23	10 - 13	0,03 - 0,20N	
Fully austenitic, high corrosion resistance							25 20	0,05-0,20	1 - 5	23 - 27	18 - 22	0,03 - 0,30N, 1,5Cu, 1,0W	
18 15 3 L	0,04	1 - 4	16 - 19	14 - 17	2 - 3	*	25 20 H	0,35-0,45	2,5	23 - 27	18 - 22	1,2Cu, 0,25N	
18 16 5 NL	0,04	1 - 4	17 - 20	15 - 19	3 - 5	0,20N *	16 36	0,25	2,5	14 - 18	33 - 37	0,6 - 1,5Cu	

3.9.- APLICACIONES DEL SOLDEO CON ELECTRODOS REVISTIDOS

El soldeo por arco con electrodos revestidos 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 del soldeo por arco con electrodos revestidos se dan con espesores comprendidos entre 3 y 38 mm.

El proceso es aplicable a aceros al carbono, aceros aleados, inoxidables, fundiciones y metales no férreos como aluminio, cobre, níquel y sus aleaciones.

Los sectores de mayor aplicación son la construcción naval, de máquinas, estructuras, tanques y esferas de almacenamiento, puentes, recipientes a presión y calderas, refinerías de petróleo, oleoductos y gaseoductos 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 tubería se suele emplear con combinación con el proceso TIG. La raíz se realiza con TIG completándose la unión mediante soldeo SMAW.

Para la selección de los electrodos a utilizar en una estructura, hay que tener en cuenta una serie de factores, de los que destacamos a continuación los más importantes:

1.- Características mecánicas y composición química de los metales a soldar.

El electrodo a seleccionar debe tener unas características tales que el metal depositado tenga unas cualidades mecánicas y químicas similares a las del metal base, por lo que debe conocerse previamente la composición de éste y, en su caso, tomar las precauciones operatorias necesarias, cuando dicho metal sea susceptible de presentar problemas de fisuración o fragilización.

Los electrodos más aptos para los aceros que presentan contenidos importantes de impurezas o porcentajes elevados de carbono son los de revestimiento básico, seguidos de los levemente ácidos (neutros) y rutilos, mientras que los más sensibles a aquéllas son los ácidos y los celulósicos.

2.- Espesores del material.

El espesor del material facilita la difusión del calor y, por tanto, eleva la velocidad de enfriamiento, lo que, para los aceros con contenidos elevados de carbono puede representar la aparición de estructuras metalúrgicas críticas. El orden de elección de los revestimientos es similar al del punto anterior: básicos, neutros, rutilos, ácidos y celulósicos. También debemos tener en cuenta, el utilizar electrodos de gran RDTO. para el relleno en fuertes espesores.

Para espesores muy finos, en cambio, es recomendable el uso de electrodos de rutilo.

3.- Preparación de los bordes.

Para preparaciones deficientes, con aberturas y separaciones mayores que las normales, se necesitan electrodos que den un metal soldado que se enfríe rápidamente y tenga una gran tenacidad, cualidades que corresponden a los electrodos básicos y rutilos.

Por el contrario, para uniones cerradas y sin apenas separación convienen electrodos que produzcan un metal soldado muy caliente y fluido, como corresponde a electrodos ácidos y neutros.

4.- Posiciones de la soldadura.

Para la posición horizontal no suele presentar problemas ninguna clase de electrodos. Para las demás posiciones, los más aptos son los rutilos, seguidos de los básicos y los celulósicos. En cambio, los que peor se comportan en posiciones difíciles son los neutros y, algo menos, los ácidos.

5.- Solicitaciones a que va a estar sometida la unión.

Las peores condiciones a que se puede ver sometida una unión soldada son aquéllas en que se superponen los esfuerzos estáticos y dinámicos, trabajando a temperaturas muy altas o muy bajas, lo cual requiere del metal soldado unas cualidades mecánicas de tenacidad, ductilidad y resiliencia muy elevadas.

En este sentido, los electrodos que aportan las mejores condiciones de máxima ductilidad, tenacidad y resiliencia a bajas temperaturas son, nuevamente, los electrodos básicos, seguidos, a gran distancia, por los neutros y los ácidos.

Con respecto a la fatiga, no es tanto las cualidades mecánicas cuanto la configuración externa de la soldadura efectuada la que tiene influencia, comportándose todos los electrodos en parecida forma ante el fenómeno de la fatiga.

6.- Equipos de soldadura de que se dispone.

Los parámetros a considerar son la tensión de vacío y tipo de corriente. Los electrodos básicos necesitan mayores tensiones de vacío, mientras que los electrodos de tipos rutilo, neutros y ácidos necesitan tensiones de vacío más bajas. Salvo para algunos tipos específicos, los electrodos básicos requieren corriente continua, mientras que los de los demás tipos de revestimiento pueden ser empleados indistintamente con corriente continua o alterna.

3.10.- TÉCNICAS OPERATIVAS

3.10.1. Punteado

A continuación se resume lo indicado en la norma UNE 14055 referente al punteado con electrodos revestidos:

- El punteado se realizará con el mismo precalentamiento que se vaya a utilizar en el soldeo
- El punteado que vaya a ser incorporado a la soldadura se realizará con el mismo tipo de electrodo que se vaya a utilizar en el soldeo. Una vez realizado el punteado y eliminada la capa de escoria, debe inspeccionarse cuidadosamente cada punto, buscando posibles grietas o cráteres. En caso de que se detectara alguno de los defectos citados, éste se eliminará completamente.
- El punteado que no vaya a ser incorporado a la soldadura será eliminado, repasando posteriormente la zona hasta garantizar la ausencia de defectos.
- El punto de soldadura debe tener siempre una forma cóncava (nunca convexa), en caso de que se produjese abombamiento se repasará el punto hasta dejarlo con forma cóncava, de lo contrario podrían formarse grietas.
- Si la longitud a soldar es larga, el punteado se iniciará en el centro de la pieza. En las cruces y esquinas los últimos puntos deben darse como mínimo a 200 mm.

3.10.2. Establecimiento o cebado del arco

El arco se establece golpeando ligeramente el extremo del electrodo sobre la pieza en las proximidades del lugar donde el soldeo vaya a comenzar, a continuación se retira lo suficiente de forma rápida para producir un arco de la longitud adecuada. Otra técnica de establecer el arco es mediante un movimiento de raspado similar al que se aplica para encender una cerilla. Cuando el electrodo toca la pieza, se manifiesta una tendencia a mantenerse juntos, lo cual se evita por medio del golpeteo y del raspado. Cuando el electrodo se pega es necesario apartarlo rápidamente, de otra forma se sobrecalentará y los intentos para retirarlo de la pieza sólo conseguirán doblarle, siendo preciso entonces, para su retirada el empleo de martillo y cortafrío.

El establecimiento del arco con electrodos de bajo hidrógeno requiere una técnica especial para evitar la porosidad de la soldadura donde el arco se inicia. La técnica consiste en establecer el arco a una distancia de unos pocos diámetros del electrodo por delante del lugar donde vaya a comenzar el soldeo. A continuación el arco se mueve hacia atrás y el soldeo se comienza de forma normal. El soldeo continua sobre la zona en la cual el arco fue establecido, refundiendo cualquier pequeño glóbulo de metal de soldadura que pudiese haberse producido cuando se estableció el arco.

En cualquier caso, es imprescindible establecer el arco dentro de la zona de soldeo y por delante de ella, nunca fuera de los bordes de la unión, se evita de esta forma la formación de pequeñas grietas en la zona de cebado.

La técnica para reestablecer el arco varía, hasta cierto punto, con el tipo de electrodo. Generalmente, el revestimiento en el extremo del electrodo se hace conductor cuando se calienta durante el soldeo. Esto ayuda a reestablecer el arco si ello se efectúa antes de que el electrodo se enfríe. El establecimiento y reestablecimiento del arco es mucho más fácil con los electrodos que contiene cantidades importantes de polvos metálicos en su revestimiento. Cuando se emplean electrodos con revestimientos gruesos no conductores, tal como los de bajo hidrógeno y los de acero inoxidable, puede ser necesario tener que romper algo del revestimiento para que el núcleo quede descubierto en el extremo y el arco se establezca con mayor facilidad.

3.10.3. Observación del baño de fusión

Es muy importante distinguir entre baño de fusión y escoria. Hay que procurar que la escoria no se adelante al baño de fusión y que éste bañe por igual ambos lados de la unión.

Un defecto muy corriente, cuando no se controla bien la escoria, es su inclusión en el cordón de soldadura una vez solidificado éste. Para contener la escoria se podrá hacer un movimiento de vaivén del electrodo.

3.10.4. Ejecución del soldeo

Durante el soldeo, el soldador deberá mantener la longitud del arco lo más constante posible, moviendo uniformemente el electrodo hacia la pieza según éste se va fundiendo. Al mismo tiempo, el electrodo se mueve también uniformemente a lo largo de la unión en la dirección del soldeo.

La elección entre cordones rectos o con balanceo dependerá de las exigencias del procedimiento y del tipo de cordón. En general, las primeras pasadas se hacen con cordones rectos (menos cuando la separación en la raíz es muy grande) , cuando se realicen cordones con balanceo en posiciones PB y PC se deberá llevar más avanzada la parte baja del cordón.

El movimiento debe ser simétrico y el avance uniforme, ya que de ello depende el buen aspecto de la soldadura, así como su calidad y reparto uniforme de calor.

En las posiciones cornisa y bajo techo a tope, cuando la unión tiene excesiva separación en la raíz, las primeras pasadas deben depositarse dando, además del movimiento oscilatorio, un pequeño vaivén de avance y retroceso al electrodo, a fin de dar tiempo a que se solidifique el baño de fusión, evitando sí la caída del material fundido.

3.10.5. Interrupción del arco del soldeo

Nunca se debe interrumpir el arco de forma brusca, ya que pueden producirse grietas y poros en el cráter del cordón.

El arco puede interrumpirse por medio de cualquiera de las diferentes técnicas posibles :

- Acortar el arco de forma rápida y, a continuación, mover el electrodo lateralmente fuera del cráter.

Esta técnica se emplea cuando se va a reemplazar el electrodo ya consumido, continuando el soldeo a partir del cráter.

- Otra técnica es la de detener el movimiento de avance del electrodo y permitir el llenado del cráter, retirándose a continuación el electrodo.

- Otra forma es dar al electrodo una inclinación contraria a la que llevaba y se retrocede, sobre el mismo cordón, unos 10 ó 12 mm. Antes de interrumpir el arco; de esta forma se rellena el cráter.

3.10.6. Empalmes de los cordones de soldadura

Deben realizarse de forma cuidada, para evitar fisuras e inclusiones de escoria.

La limpieza de los cordones de soldadura es esencial para que la unión entre metales se realice correctamente y sin defectos. Se utilizará una piqueta y un cepillo de alambre. El material de los alambres del cepillo y de la piqueta dependerá del material base, por ejemplo, nunca se utilizarán de acero al carbono cuando el material base sea de acero inoxidable sino que será también de este último material.

3.10.7. Retirada de la escoria

Una vez depositada una pasada completa de soldadura, debe picarse la escoria y cepillar la totalidad del cordón antes de realizar la pasada siguiente.

Se deberá retirar la escoria especialmente en las proximidades de las caras del chaflán que es donde se puede quedar ocluida, utilizando esmeriladora si fuera necesario. También se deberá eliminar el sobreespesor del cordón cuando éste sea excesivo antes de depositar el siguiente.

Al finalizar la unión, deben quitarse, además de la escoria, las proyecciones más pronunciadas y cepillar totalmente la unión soldada.

ANEXO 4
GASES DE PROTECCIÓN EN SOLDADURA

ANEXO 4 – GASES DE PROTECCIÓN EN SOLDADURA

4.1.- INTRODUCCIÓN A LA SOLDADURA POR ARCO PROTEGIDO POR GAS

Durante cualquier proceso de soldadura con arco eléctrico, la función principal del gas de protección es desplazar el aire de la zona de soldadura para proteger al metal fundido, el baño de fusión y el electrodo, para evitar su contaminación. Esta contaminación es originada principalmente por el oxígeno, nitrógeno y agua presentes en la atmósfera que pueden reaccionar con el metal fundido, causando defectos que debiliten la soldadura.

Cuando la protección del gas no es la adecuada:

El oxígeno puede dar lugar a diferentes problemas dependiendo de su contenido:

- Combinar con el carbono en el baño de fusión para formar monóxido de carbono (CO), que puede producir porosidad, al escapar (longitudinalmente por el centro) del cordón de soldadura, cuando el metal soldado se enfría.
- Formar óxidos con otros elementos que pueden dar lugar a un exceso de escorias, inclusiones en la soldadura, que tengan como consecuencia la pérdida de propiedades mecánicas.

El nitrógeno, soluble en el baño a elevadas temperaturas, puede originar porosidad cuando escapa durante el enfriamiento del cordón de soldadura.

El agua al disociarse liberará hidrógeno que puede dar lugar a porosidad y fisuración en frío.

Otras funciones del gas de protección son:

Influir en:

- El tipo de transferencia de metal.
- La estabilidad del arco.

“Definición y Desarrollo de Procedimientos de Soldadura en Tuberías de Aceros Inoxidables para un Proyecto Offshore”

- La cantidad y en la calidad de los humos.
- Las propiedades mecánicas.
- La penetración y en el tipo y tamaño de cordón.
- La velocidad de soldadura
- Los costes de soldadura.
- La cantidad de energía que pasa a través del arco eléctrico.

En algunas aplicaciones, es necesario utilizar además del gas de protección propiamente dicho, otros gases como:

Gas de respaldo. También llamado gas de backing, se utiliza para proteger la parte posterior de la soldadura. En la soldadura de tubería para proteger el cordón de raíz.

Gas de arrastre. Para aplicaciones automáticas, donde la velocidad de soldadura es elevada y el cordón de soldadura deja la zona de influencia del gas de protección cuando esta todavía a una temperatura suficientemente alta como para ser afectado por el oxígeno y nitrógeno del aire. La distancia a la que se debe situar la boquilla y su forma depende de la aplicación.

4.1.1.- Factores que afectan la elección del gas de protección adecuado.

En ocasiones, hay un factor que tiene una mayor importancia y por si sólo determina el gas adecuado, en otras, es necesario hacer una evaluación de varios factores. Los fundamentales son:

- Procedimiento de soldadura.
- Material a soldar.
- Espesor del material.
- Posición de soldadura.
- Material de aportación.
- Propiedades mecánicas requeridas.
- Penetración.
- Velocidad de soldadura.
- Calidad exigida.

- Humos.
- Aspecto final.
- Costos.

4.2.- PROPIEDADES DE LOS GASES Y MEZCLAS

4.2.1.- Energía de ionización

Es la energía, expresada en electrones voltio (eV), necesarios para liberar un electrón de un átomo en estado gaseoso, convirtiéndolo en un ión, o en un átomo cargado eléctricamente.

Manteniendo el resto de las variables constantes, el potencial de ionización disminuye cuando el peso molecular del gas se incrementa.

El gas argón con número atómico 18 y con 8 electrones en su última capa, es mucho más pesado que el helio, que solamente tiene 2 electrones por lo que, la energía necesaria para liberar un electrón de un átomo de argón es 15,759 eV mientras que en el helio es de 24,586 eV.

La energía necesaria para la ionización es tomada del arco. Una vez ionizado el gas, se tendrán los electrones libres necesarios para soportar el flujo de corriente entre el espacio que separa el electrodo y el metal base. Aunque pueden existir otros factores, para sostener el arco será necesario mantener los niveles de energía correspondientes al gas empleado. Por lo tanto para una misma longitud del arco eléctrico, el voltaje obtenido con helio es apreciablemente superior al obtenido con argón.

Un arco eléctrico protegido por gas tendrá un voltaje y una energía mayor, cuanto mayor sea la energía de ionización del gas. Como el calor generado por el arco eléctrico esta fuertemente ligado al producto del voltaje por la intensidad, el uso del helio como gas de protección origina un calor superior al obtenido empleando argón.

“Definición y Desarrollo de Procedimientos de Soldadura en Tuberías de Aceros Inoxidables para un Proyecto Offshore”

El inicio del arco y su estabilidad son dependientes de la energía de ionización del gas de protección empleado. Los gases como el argón, con una energía de ionización relativamente baja, liberan electrones más fácilmente, ayudando a iniciar el arco y mantenerlo de modo estable.

En la Tabla 1 pueden observarse los valores de energía de ionización para los gases puros más empleados como componentes de los gases de protección.

GAS	ENERGIA DE DISOCIACIÓN (eV)
H2	4,5
O2	5,1
CO2	4,3
N2	9,8

TABLA 1

ENERGÍA DE DISOCIACIÓN DE LOS COMPONENTES DE LOS GASES DE PROTECCIÓN

4.2.2.- Conductividad térmica

La conductividad térmica de un gas mide la facilidad con la que conduce el calor. Influye en la pérdida radial de calor desde el centro a la periferia de la columna del arco eléctrico.

El argón que tiene una conductividad térmica baja, origina un arco eléctrico con dos zonas: una interior, en el centro, más caliente y otra exterior considerablemente más fría. Entonces la penetración tendrá una forma más estrecha en la raíz y una más ancha en la parte superior. Un gas con una conductividad térmica elevada, conduce más el calor de la parte interior, en el centro del arco, hacia la parte exterior, dando como resultado una penetración más ancha y uniforme un arco más caliente. Esto sucede cuando se emplea helio, o mezclas de argón-helio, argón-hidrógeno, argón-helio-hidrógeno, argón-dióxido de carbono.

4.2.3.- Disociación

La disociación es el proceso por el cual una molécula formada por varios átomos, se rompe en los átomos que la forman. Los gases como CO₂, O₂ y H₂ pueden romper o disociar su molécula por las elevadas temperaturas presentes en el arco eléctrico. Por ejemplo el CO₂ se disocia en un átomo de carbono y dos de oxígeno. Cuando el gas disociado llega a la superficie de metal base frío, los átomos se recombinan generando un calor adicional. Este proceso no sucede con gases como el argón. Por tanto, a la misma temperatura y manteniendo constante el resto de las variables, el calor generado en la superficie del metal puede ser considerablemente más elevado con gases como CO₂, O₂, H₂ que con argón.

4.2.4.- Reactividad

Esta propiedad, cuando se refiere a los gases de protección, mide la capacidad (a la temperatura del arco) que tienen para reaccionar con los elementos químicos en el baño de fusión.

El argón y helio son completamente inertes y por lo tanto no reaccionan químicamente en el baño de fusión.

El nitrógeno se considera como inerte, sin embargo, a las elevadas temperaturas alcanzadas en la soldadura, puede reaccionar y afectar al metal fundido.

El oxígeno y el CO₂, son gases reactivos oxidantes. Estos gases reaccionarán con el metal fundido en el arco y en el baño de fusión. Esta propiedad influye en la formación de humos de soldadura.

El hidrógeno es un gas reactivo y reductor. Reaccionará preferentemente con los agentes oxidantes, ayudando a prevenir la formación de óxidos en el metal fundido. Sin embargo, este gas puede producir efectos perjudiciales, como fisuración bajo cordón, cuando se emplea como componente en el gas de protección en la soldadura de algunos aceros de elevada resistencia y baja aleación.

4.2.5.- Tensión Superficial

En cualquier líquido, existen unas fuerzas de tensión superficial ejercidas por las moléculas que están debajo de la superficie sobre las que están en la superficie. Esta fuerza tiende a contraer el líquido y evitar que fluya. La magnitud de estas fuerzas variara con la naturaleza química del líquido.

En soldadura, las fuerzas de tensión superficial, afectan al metal fundido teniendo una pronunciada influencia sobre el tipo de cordón. Si tienen un valor elevado, dará lugar a un cordón convexo e irregular. Si por el contrario es baja, se obtendrá un cordón plano con baja tendencia a las mordeduras.

4.2.6.- Pureza

Dependiendo, del metal soldado y del proceso de soldadura empleado, aún pequeñas cantidades de impurezas en el gas, puede tener un fuerte impacto perjudicial, sobre la velocidad de soldadura, apariencia del cordón y niveles de porosidad. Estas impurezas, pueden ser debidas a diferentes causas.

Puede hacerse una clasificación de los metales en función de su tolerancia (de mayor a menor) a los posibles contaminantes que en ppm. pueden contener los gases de protección.

- Aceros al carbono y cobre.
- Acero inoxidable
- Aluminio y magnesio.
- Titanio.

La clasificación anterior únicamente debe considerarse como orientativa, ya que esta tolerancia puede hacerse más estricta dependiendo de las exigencias que se tengan en la unión soldada.

4.2.7.- Densidad

Es el peso del gas por unidad de volumen. La densidad es uno de los factores mas influyentes en la efectividad del gas de protección. Los gases mas pesados que el aire como el CO₂, y argón necesitaran un caudal inferior que los gases mas ligeros.

4.2.8.- Consistencia de las mezclas

Cuando el gas de protección es una mezcla de gases comprimidos, puede que no tenga una composición homogénea durante su utilización. Si la composición de la mezcla varia a medida que se vacía el envase, se puede obtener una variación de los parámetros de soldadura. Esta variación puede dar lugar a:

- No utilizar todo el gas contenido en la botella.
- Originar defectos de soldadura en procesos críticos y sobre todo en automatismos.

Este defecto se puede originar cuando los diferentes gases que componen las mezclas, tengan grandes diferencias en sus densidades. Las mezclas donde se pueden producir mas fácilmente esta estratificación son las que contengan He, H₂ y CO₂. Hay que ponerse en contacto con el fabricante de la mezcla cuando se aprecie que se esta produciendo este defecto.

4.2.9.- Componentes de los gases y mezclas de protección

Los gases que se emplean como protección, para la soldadura al arco son:

- Argón. (Ar)
- Helio. (He)
- Dióxido de Carbono. (CO₂)
- Nitrógeno. (N₂)
- Oxígeno. (O₂)
- Hidrógeno. (H₂)

“Definición y Desarrollo de Procedimientos de Soldadura en Tuberías de Aceros Inoxidables para un Proyecto Offshore”

En la Tabla 2 se pueden ver un resumen de las características físico - químicas de los de estos gases.

Símbolo químico	Ar	CO ₂	He	H ₂	N ₂	O ₂
Nº Atómico	18	–	2	1	7	8
Peso Molecular	39.95	44.01	4.00	2.016	28.01	32.00
Peso Especifico (Aire=1)	1.38	1.53	0.1368	0.0695	0.967	1.105
Densidad (0 °C, 1 Atm.)	1.678	1.849	0.176	0.085	1.188	1,342
Energía de Ionización (ev)	15.7	14.4	24.5	13.5	14.5	13.2
Conductividad Térmica (10 ⁻³ x Btu/hr x ft x °F)	9.69 (32 °F)	8.62 (32 °F)	85.78 (32 °F)	97.22 (32 °F)	13.93 (32 °F)	14.05 (32 °F)

TABLA 2 - PROPIEDADES FÍSICAS – QUÍMICAS DE LOS GASES DE PROTECCIÓN

Argón

Se obtiene, a partir de la destilación del aire donde esta en proporción aproximada del 1 %.

No tiene olor, ni color, ni sabor y no es tóxico.

Es inerte y no reacciona durante la soldadura.

Por el conjunto de sus propiedades físico - químicas es el más empleado como componente mayoritario en las mezclas de soldadura con arco eléctrico.

Tiene una energía de ionización baja, que facilita el inicio del arco y su estabilidad. Esta es otra de sus características que hace que sea ampliamente utilizado.

Densidad elevada, 1,4 veces mas pesado que el aire, lo que le ayuda en su función de protección a desalojar el aire de la zona de soldadura.

Tiene una conductividad térmica baja.

Helio

Se obtiene de yacimientos en la tierra, donde esta mezclado con gas natural. Debido a la escasez de estos yacimientos y a su dificultad de extracción y distribución, hace que su precio sea elevado. Su utilización se limita a las aplicaciones donde las ventajas de su empleo sean claras.

Es inerte y como el argón no reacciona durante la soldadura.

Por tener una conductividad térmica y una energía de ionización elevados, se utilizará en aplicaciones donde sea necesario un input térmico elevado, donde permitirá disminuir o eliminar el precalentamiento y en donde se quiera elevar la velocidad de soldadura. Esto tiene importancia en soldadura con robot y automatismos. Por la característica anterior, el helio y sus mezclas no serán aconsejables en la soldadura de espesores delgados.

El tener una elevada energía de ionización, hará que el inicio del arco y su estabilidad sean mas difíciles que con argón.

Su baja densidad, solo 1/10 de la del argón, hace que sea necesario utilizar mayores caudales de gas para eliminar el aire de la zona de soldadura y tener mayores precauciones con las corrientes de aire, que pueden arrastrarle e impedir que haga su función de protección.

Anhídrido Carbónico

Puede obtenerse de diferentes formas, las mas habituales son como subproductos del craking del petróleo y en la producción de alcoholes.

Es un gas activo y oxidante.

Tiene una conductividad térmica y un potencial de ionización moderados.

Por ser una molécula poliatómica, antes de producirse la ionización se produce la disociación a temperaturas mas bajas, recombinándose posteriormente. La disociación incrementa la transmisión de calor al metal base.

Puede utilizarse solo como gas de protección en la soldadura GMAW (MAG) con alambres macizos, pero como en muchas aplicaciones, no se logra una estabilidad del arco y una transferencia de metal óptimas, se utiliza formando mezclas con argón. De modo que el CO₂ aporta a la mezcla un incremento de calor y por lo tanto de penetración y el argón aporta a la mezcla una mejora en la estabilidad de arco y en la transferencia de metal.

“Definición y Desarrollo de Procedimientos de Soldadura en Tuberías de Aceros Inoxidables para un Proyecto Offshore”

Se emplea solo como gas de protección en la soldadura FCAW (Flux Cored Arc Welding) con alambres tubulares.

Es el gas más pesado de los empleados como protección, es 1,5 veces más pesado que el aire. Esta propiedad le permite eliminar más fácilmente el aire de la zona de soldadura. Es el gas que mejor podría tolerar la soldadura en el exterior, siempre que el viento no le impida realizar su función de protección.

Nitrógeno

Se obtiene, a partir de la destilación del aire donde esta en proporción aproximada del 78%.

No tiene olor, ni color, ni sabor.

Es inerte excepto a las temperaturas del arco eléctrico, donde reaccionará con algunos metales como aluminio, magnesio y titanio.

No se recomienda para su aplicación en la soldadura GMAW, ni solo, ni como componente mayoritario.

Forma parte de mezclas de protección para la soldadura de aceros inoxidables duplex y como componente mayoritario en las mezclas N₂ + H₂ como gas de respaldo o gas backing.

Se emplea en el corte plasma y en el corte con láser de CO₂ como gas de proceso y de asistencia en el corte de los aceros inoxidables.

Oxígeno

Se obtiene, a partir de la destilación del aire donde esta en proporción aproximada del 21%.

Es un gas activo y oxidante, combina con con la mayoría de los elementos excepto con los gases inertes.

Su conductividad térmica y energía de ionización son bajos.

Se utiliza mezclado en pequeñas proporciones en la soldadura GMAW (MAG) de los aceros al carbono y de los aceros inoxidables. El oxígeno añadido al argón, ayuda a incrementar la estabilidad del arco y a bajar la tensión superficial del metal fundido, lo que permite obtener cordones más planos.

Por bajar la tensión superficial del metal fundido y por su bajo potencial de ionización, la transferencia de metal se puede producir a intensidades más bajas que la las utilizadas con mezclas de Ar-CO₂.

“Definición y Desarrollo de Procedimientos de Soldadura en Tuberías de Aceros Inoxidables para un Proyecto Offshore”

Hidrógeno

Se obtiene en la industria petroquímica como subproducto del craking del petróleo y por electrólisis del agua.

Es un gas activo y reductor. Es el gas más ligero.

Tiene una conductividad térmica elevada y una baja energía de ionización.

Se utiliza como un componente minoritario en las mezclas de argón. Por ser una molécula poliatómica y tener una elevada conductividad térmica, eleva la energía del arco. Sus principales aplicaciones son para la soldadura TIG, GMAW y PAW de los aceros inoxidables austeníticos, como protección de la raíz, como gas de respaldo formando mezclas de $N_2 + H_2$ y $Ar + H_2$ también en la soldadura de los aceros inoxidables austeníticos. No deben emplearse mezclas conteniendo H_2 para la soldadura de aceros al carbono ya que puede aportar el riesgo de fragilidad a la unión.

Clasificación de los gases de protección para el soldeo y corte por arco eléctrico.

Las tablas que se muestran a continuación son un resumen de la norma UNE EN 439 que facilita la clasificación de los gases y mezclas y algunas de sus propiedades que son utilizadas en soldadura y corte.

Tabla 3 (EN 439)
Propiedades de los gases puros

Tipo de gas	Símbolo químico	Valores a 0°C y 1,013 bar(1,101 Mpa)		Punto de ebullición a 1,013 bar °C	Comportamiento químico durante la soldadura
		Densidad (aire=1,293 kg/m ³)	Densidad relativa al aire		
Argón	Ar	1,784	1,380	-185,9	Inerte
Helio	He	0,178	0,138	-268,9	Inerte
Anhidrido Carbónico	CO ₂	1,977	1,529	-78,5 ¹⁾	Oxidante
Oxígeno	O ₂	1,429	1,105	-183,0	Oxidante
Nitrógeno	N ₂	1,251	0,968	-195,8	No reactivo ²⁾
Hidrógeno	H ₂	0,090	0,070	-252,8	Reductor

1) La temperatura de sublimación.

2) El comportamiento del nitrógeno varía con los diferentes materiales. Los efectos pueden ser perjudiciales.

Tabla 4 - EN 439 - Clasificación de los gases de protección para el soldeo y corte por arco eléctrico.

Designación ¹⁾		Constituyentes, % en volumen						Aplicaciones típicas	Notas	
Grupo	Nº de identificación	Oxidante		Inerte		Reductor	No reactivo			
		CO ₂	O ₂	Ar	He	H ₂	N ₂			
R	1 2			Resto ²⁾ Resto ²⁾		> 0 a 15 > 15 a 30		Soldeo TIG, soldeo por arco plasma, corte por arco plasma, protección por el reverso	Reductor	
1	1 2 3			100 Resto	100 > 0 a 95			Soldeo MIG, TIG, soldeo por arco plasma, protección por el reverso	Inerte	
M1	1 2 3 4	> 0 a 5 > 0 a 5		Resto ²⁾ Resto ²⁾ Resto ²⁾ Resto ²⁾		> 0 a 5		MAG	Ligeramente oxidante	
M2	1 2 3 4	> 5 a 25 > 0 a 5 > 5 a 25		Resto ²⁾ Resto ²⁾ Resto ²⁾ Resto ²⁾					Oxidación más pronunciada	
M3	1 2 3	> 25 a 50 > 5 a 50		Resto ²⁾ Resto ²⁾ Resto ²⁾						
C	1 2	100 Resto	> 0 a 30							
F	1 2					> 0 a 50	100 Resto		Corte por arco plasma Protección por el reverso	No reactivo Reductor

1) Si a uno de los grupos de esta tabla se añaden componentes no indicados, la mezcla se designa como mezcla de gas especial y lleva el prefijo S. Los detalles de la designación S se indican en el capítulo 4.
2) El Argón puede reemplazarse por Helio hasta un 95%. El contenido de Helio se designa por un número adicional de identificación, que se indica en la Tabla 3. Véase capítulo 4 para los detalles de la designación

4.3.- PROCESOS DE SOLDADURA Y SUS GASES DE PROTECCIÓN

4.3.1.- Soldadura TIG (Tungsten Arc Welding) - GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) y los gases de protección empleados

Es un proceso de soldadura donde el calor necesario para la unión es producido por un arco eléctrico entre un electrodo (que puede considerarse que no se consume) y la pieza a soldar. El baño de fusión está protegido por un gas de protección.

Con este proceso se obtienen soldaduras de gran calidad ya que al utilizar un electrodo que no se consume y un gas de protección que es generalmente inerte, no se afecta prácticamente la composición de la pieza a soldar.

Puede emplearse con y sin aportación.

No se producen proyecciones y se necesita poco trabajo de limpieza después de soldar.

Puede utilizarse en todas las posiciones.

Permite un fácil control del baño de fusión.

Está especialmente indicado para la soldadura de espesores delgados y de tubería.

Se puede automatizar fácilmente.

Caudal de gas

El caudal de gas, debe ser el necesario para proteger el baño de fusión de modo eficaz. La información que se facilita sobre el caudal en las diferentes tablas, debe entenderse como orientativa, ya que depende de la intensidad de soldadura, del gas de protección, la boquilla empleada, la posibilidad que haya viento o corrientes y de la accesibilidad de la unión.

En general con mayores intensidades se necesitan mayores caudales.

“Definición y Desarrollo de Procedimientos de Soldadura en Tuberías de Aceros Inoxidables para un Proyecto Offshore”

La densidad del gas tiene una fuerte influencia sobre el caudal mínimo necesario. El argón es 1.4 veces más pesado que el aire y 10 veces más que el helio. Para que el helio, proporcione una protección eficaz similar a la del argón en una soldadura en posición horizontal, necesitará un caudal del orden de 2 a 2,5 veces superior al del argón. Para las mezclas de argón y helio debe tenerse en cuenta el contenido del helio, siendo necesario emplear más caudal cuanto mayor sea el contenido de helio.

El caudal de gas debe elegirse con cuidado, el utilizar un caudal excesivo, además de afectar al costo de la soldadura, puede arrastrar aire dentro de la zona de soldadura y provocar porosidad.

También es importante que el ángulo del soplete no exceda más de 30° respecto a la vertical, para evitar que el gas de protección arrastre aire dentro de la zona de soldadura.

Propiedades del arco

Una de las propiedades importantes del gas de protección, es el efecto que tiene en el arco en la relación voltaje/intensidad.

Un arco eléctrico dará una respuesta diferente en atmósfera de argón o helio con la variación de la longitud del arco. En atmósfera de helio, la variación del voltaje del arco estará fuertemente influenciada por la variación de la longitud del arco. Esta variación será inferior en una atmósfera de argón.

Como el voltaje y la intensidad del arco están relacionadas por la curva característica del equipo, la intensidad de soldadura también estará influenciada por la variación de la longitud del arco.

Gases de Protección para Soldadura TIG

Para el soldeo TIG se utilizarán los siguientes gases:

- Helio
- Argón
- Argón + Helio
- Argón + Hidrógeno
- Argón + Hidrógeno + Helio

Argón

Es el gas mas usualmente empleado en soldadura TIG.

Las características de este gas son:

- **Eficiente protección debido a su alta densidad.** El argón es 1.4 veces más pesado que el aire, lo que significa que tiende a cubrir bien el área de soldadura en contraposición al helio que es mucho más ligero que el aire. La densidad del argón es diez veces superior a la del helio. Debido a ello se requiere un caudal de helio dos o tres veces superior al de argón para proporcionar al arco la misma protección. Debido a su mayor densidad, el argón es también más aconsejable para soldar en posición bajo techo y vertical y es menos sensible a las corrientes de aire.
- **Cebado fácil.** Es más fácil cebar el arco en argón que en helio, por la menor energía de ionización del argón. (15.7 Voltios)
- **Buena estabilidad del arco.** El argón posee una baja energía de ionización, lo que facilita el cebado y origina arcos estables y tranquilos con pocas proyecciones. Esta cualidad es particularmente importante en el soldeo con corriente continua.
- **Económico.** El argón es generalmente menos costoso que el helio. El empleo del helio resulta económico en Estados Unidos donde este gas suele acompañar el crudo en los pozos de petróleo.
- **Idóneo para pequeños espesores.** Al tener una energía de ionización reducida, necesita tensiones reducidas y produce, consecuentemente, arcos poco enérgicos, con aporte de calor reducido, resultando idóneo para el soldeo de piezas de pequeños espesores.
- **Forma del cordón y penetración.** El argón tiene una conductividad térmica más baja que el helio, por lo que el calor se concentra en la zona central del arco produciendo penetraciones de aspecto característico.

Las características anteriores le hacen que sea la primera opción para la soldadura manual.

Helio

Las características más importantes del helio son:

- Potencial de ionización elevado (24.5 voltios)
- Alta conductividad por lo que la columna de plasma es ancha
- Muy baja densidad

Por tanto las propiedades más importantes del helio son:

- Aporte térmico muy elevado
- Se obtienen cordones anchos y de gran penetración
- Se puede realizar el soldeo a gran velocidad

El empleo del helio tiene ventaja sobre el argón a las intensidades elevadas que se emplean en espesores gruesos y especialmente, de metales con elevada conductividad térmica. También presenta ventaja el helio en soldadura automatizada para incrementar la velocidad de soldadura. La adición del argón al helio mejorara el inicio del arco y la acción de limpieza.

Las propiedades físicas le dan ventaja en algunas aplicaciones frente al argón, sin embargo, su elevada energía de ionización, producirá un arco más inestable y unas peores características de inicio.

Otro factor a considerar es el costo, debe tenerse en cuenta el mayor precio y los mayores caudales del helio frente al argón. Debido a su baja densidad se requiere que el caudal sea muy elevado para una correcta protección, por lo tanto no suele resultar muy económico. En general el caudal debe ser de 2 a 2.5 veces el requerido con argón.

Para aprovechar las ventajas del helio y del argón a un costo más razonable, se utilizan mezclas de ambos y en algunos automatismos se favorece el inicio del arco con una mezcla de argón / helio y se continua el resto de soldadura con helio.

Mezclas de argón /helio

La mezcla de estos dos gases inertes ofrece prestaciones complementarias en virtud de la proporción en que interviene cada uno de ellos.

La penetración es intermedia entre las típicas de cada gas puro.

Las mezclas más empleadas son:

Mezcla 70%-75%Ar-25%-30% He.

Con esta mezcla puede mejorarse la velocidad y la calidad de soldadura con CC y CA de aluminio, cobre y acero inoxidable. Se emplea en soldadura manual y automática.

Mezcla 50 % Ar-50% He.

Empleada para soldadura automatizada a elevadas velocidades de soldadura de metales no férricos en espesores inferiores a 6 mm.

Mezcla 25%-30%Ar-70-75 %He.

Empleada con CC cuando se desea incrementar el input térmico manteniendo un buen inicio del arco. Su principal aplicación es para soldadura MIG de aluminio en espesores superiores a 12 mm.

Adiciones de hidrógeno

Se utiliza como aditivo del argón para el soldeo TIG, obteniéndose las siguientes ventajas:

- Aumenta el aporte térmico
- Permite aumentar la velocidad de desplazamiento.
- Por su carácter reductor, mejora la fluidez del baño y produce una superficie de cordón más limpia. Aumenta la anchura y penetración del cordón de soldadura.

El incremento del voltaje debido al hidrógeno, incrementa la dificultad de inicio del arco. Por esta razón, se emplean bajos contenidos de hidrógeno. Hasta el 5 % en soldadura manual y hasta el 15 % en soldadura automatizada.

Las mezclas de argón / hidrógeno se emplean principalmente para la soldadura de aceros inoxidables austeníticos, níquel y sus aleaciones.

Por el contenido en hidrógeno, estas mezclas no deben emplearse, para la soldadura de aceros al carbono, de baja aleación, cobre, aluminio o titanio ya que puede originar fisuración o porosidad.

Mezcla de 98 %Ar-2% H2; 95%Ar-5%H2

Se emplean para la soldadura TIG manual de aceros inoxidables austeníticos, el 95%-5%H2 debe emplearse para espesores superiores a 1,6 mm.

Estas mezclas también se pueden emplear como gas de respaldo para la soldadura de tubería.

“Definición y Desarrollo de Procedimientos de Soldadura en Tuberías de Aceros Inoxidables para un Proyecto Offshore”

Mezcla de 90 %Ar-10% H2

Se utiliza para aplicaciones mecanizadas con elevada velocidad de soldadura de aceros inoxidables austeníticos.

Mezcla de 85 %Ar-15% H2

Se emplea para soldadura de aceros inoxidables austeníticos a velocidades comparables a las del helio aproximadamente un 30 - 50 % más elevadas que con argón. Una aplicación típica es la soldadura de tubo de acero inoxidable.

Adiciones de nitrógeno

Se puede añadir al argón en el soldeo TIG, sin embargo no es una adición muy común. Suele utilizarse casi exclusivamente en el soldeo del cobre y sus aleaciones, siendo las ventajas que se obtienen las siguientes:

- Bajo coste
- Aumenta la penetración y anchura del cordón
- Aumenta el aporte térmico.

“Definición y Desarrollo de Procedimientos de Soldadura en Tuberías de Aceros Inoxidables para un Proyecto Offshore”

Tabla 5.- Guia de selección de gases para soldadura TIG

Metal	Tipo de Soldadura	Gas de Protección	Características
Acero suave	Por puntos	Ar (99,990%)	Se prefiere generalmente para una mayor duración del electrodo, y facilidad de inicio de arco.
	Manual	Ar (99,996%)	Buen control del baño, especialmente para soldaduras en posición.
	Automática	Ar/He	Velocidades de soldadura más elevadas.
Aluminio y Magnesio	Manual	Ar (99,998%)	Mejor inicio del arco, acción de limpieza y calidad de soldadura. Consumo de gas menor que con helio.
		Ar/He	Facilita una elevada velocidad de soldadura, debido al mayor input térmico. Mayor penetración que con argón.
	Automática	Ar/He	Mayor velocidad de soldadura.
		He	Con corriente continua polaridad directa. Mayor penetración y velocidad de soldadura que con argón.
Acero	Manual	Ar (99,996%)	Excelente control del baño y de la penetración.
Inoxidable	Automática	Ar (99,996%)	Excelente control de la penetración sobre materiales en espesores delgados.
		Ar/He	Input térmico más elevado, permite velocidades de soldadura más elevadas sobre espesores gruesos.
		Ar/H2	Evita las mordeduras, produce un adecuado contorno de la soldadura a bajos niveles de intensidades. Se emplea en la fabricación de recipientes y tubos. Se puede emplear como gas de respaldo en la soldadura de aceros inoxidables austeníticos.
Cobre, níquel y aleaciones		Ar (99,996%)	Fácil control del baño de fusión, penetración y contorno del cordón sobre metales con espesores delgados.
		Ar/He	El input térmico más elevado de las mezclas de helio compensan la elevada conductividad térmica de espesores más gruesos. Mayores velocidades de soldadura.
		He	Permite obtener el mayor input térmico para mejorar la velocidad de soldadura sobre espesores gruesos
Titanio		Ar (99,9990%)	Es necesario mantener muy bajo el nivel de impurezas para soldar este metal. Emplear caudalímetros apropiados.
		Ar/He	Mejor penetración para soldadura manual de secciones gruesas.
Bronces		Ar (99,996%)	Permite un buen control de la penetración

“Definición y Desarrollo de Procedimientos de Soldadura en Tuberías de Aceros Inoxidables para un Proyecto Offshore”

De acuerdo a la Norma UNE – EN 439 los gases utilizados para el soldeo TIG se clasifican tal y como se indica en la tabla siguiente:

Tabla 6

Designación		Constituyentes, % Volumen						Aplicaciones típicas	Notas
Grupo	Nº Identificación	Oxidante		Inerte		Reductor	No Reactivo		
		CO ₂	O ₂	Ar	He	H ₂	N ₂		
R	1			Resto		>0 a 15		Soldero TIG	Reductor
	2			Resto		>15 a 35			
I	1			100				Soldero TIG	Inerte
	2				100				
	3			Resto	>0 a 95				

4.6.- GASES DE APOYO

En determinadas circunstancias es necesario utilizar otros gases además del de protección propiamente dicho. Este es el caso de la soldadura de tuberías de acero inoxidable, donde se pueden producir defectos debidos a una falta de protección adecuada en la pasada de raíz (gas de respaldo). Es por lo tanto importante considerar que en algunas aplicaciones es necesario emplear un gas de respaldo, además del gas de protección para evitar que se produzca un deterioro en la resistencia a la corrosión y un descenso de resistencia mecánica.

Gas de protección en la raíz

Para obtener una buena protección el gas debe fluir a través del sistema de modo continuo, hasta que el nivel de oxígeno sea tan bajo que no produzca defectos. Esto significa, que se debe pasar gas el tiempo suficiente para efectuar un número de cambios de volumen necesarios antes de que comience la operación de soldeo. El número de cambios de volumen requeridos y el caudal necesario, se determina en cada caso, y tiene relación de cómo se ha preparado la protección de la raíz. Se estima entre 5 y 20. Se considera que se ha eliminado o reducido el oxígeno, cuando no se forma óxido durante la soldadura. También se puede utilizar un analizador de oxígeno a la salida del gas para

“Definición y Desarrollo de Procedimientos de Soldadura en Tuberías de Aceros Inoxidables para un Proyecto Offshore”

conocer cuando el contenido de oxígeno esta por debajo del límite establecido y se puede comenzar a soldar.

Cuando termina la operación de soldadura, se debe permitir que baje la temperatura de la superficie antes de quitar el paso del gas.

Respaldo en Soldadura TIG de tubería

Se aísla la zona de soldadura con un dispositivo como el de la Figura 1, se debe cubrir la junta con una cinta adhesiva, apropiada, que se elimina cuando se procede a soldar. Se llena el sistema con un gas protector.

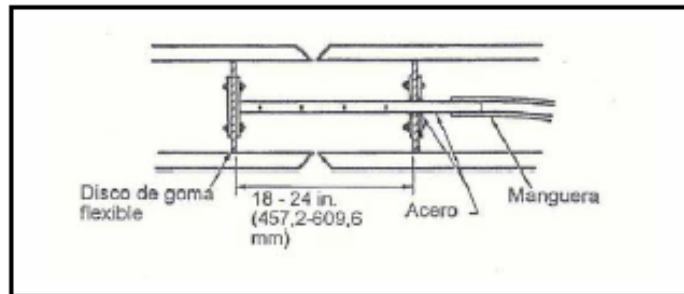


FIGURA 1

DISPOSITIVOS PARA INTRODUCIR EL GAS DE RESPALDO EN LA SOLDADURA DE TUBERÍAS

En la unión de tubería también se pueden utilizar dos bolas infladas que se colocan a ambos lados de la junta para evitar que el aire penetre. El gas puede pasar a través de los tubos situados entre la bola y la parte a soldar.

Otra posibilidad es la indicada en la Figura 2 donde se tapan los extremos de la tubería dejando una entrada y una salida del gas y una toma para analizar el contenido de oxígeno. A continuación se pasa el gas de respaldo el tiempo necesario hasta que el analizador indique el bajo nivel de oxígeno requerido.

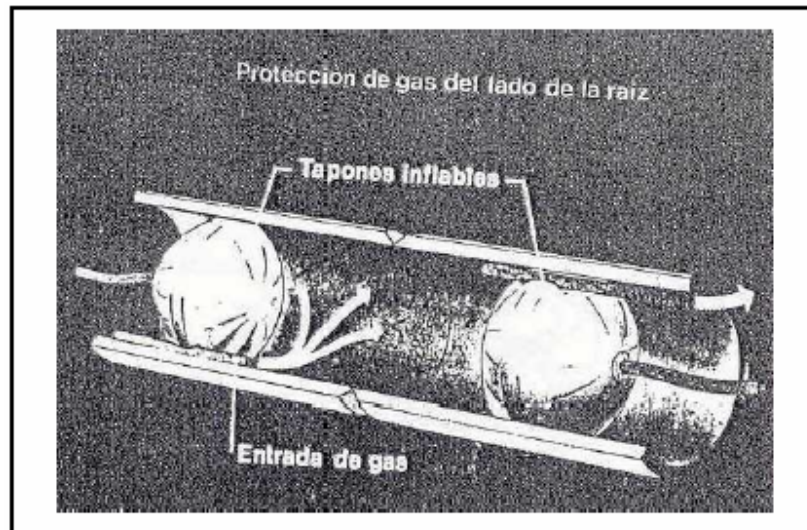


FIGURA 2 - DISPOSITIVO PARA INTRODUCIR EL GAS DE RESPALDO EN LA SOLDADURA DE TUBERÍAS

Durante la soldadura se continúa pasando gas con la precaución de que este no ejerza una presión sobre el baño de fusión.

Gases de protección de la raíz

Los gases más usados son, argón puro o mezclas de nitrógeno con alrededor de un 10% de hidrógeno.

Se pueden usar también mezclas de argón con pequeños contenidos de hidrógeno. Lo más importante que se debe tener presente, es que el volumen debe ser bombeado, al menos diez veces para asegurarse de que no queden cantidades de oxígeno y que la humedad esté suficientemente baja. Se ha demostrado que un contenido de oxígeno de 25 ppm., solamente causa una pequeña oxidación, si el contenido de oxígeno es dos veces mayor, se obtendrá una oxidación media. Se producirá una oxidación excesiva entre 500 y 6000 ppm. de oxígeno y por supuesto, sin un gas protector de la raíz, se producirá una fuerte oxidación.

También es muy importante, mantener el gas de protección durante toda la operación de soldadura, hasta que el metal soldado se haya enfriado. Si se interrumpe el flujo del gas durante la soldadura, se puede producir una fuerte oxidación.

Antes de soldar, hay que proceder del siguiente modo:

- Purgar el conducto de gas
- Regular el caudal. Un valor aproximado puede ser de 5 l/minuto.

“Definición y Desarrollo de Procedimientos de Soldadura en Tuberías de Aceros Inoxidables para un Proyecto Offshore”

- Pasar gas el tiempo necesario para hacer el número de cambios de volumen que se estimen necesarios. Un valor aproximado es entre 6 y 10 veces el volumen.
- No debe empezarse a soldar hasta que el contenido de oxígeno sea inferior a 25 ppm de oxígeno.

4.8.- FORMAS DE SUMINISTRO DE GAS

El gas de protección, se puede suministrar en forma de gas en botellas o bloques de alta presión y en forma líquida en equipos transportables o en tanques estacionarios. El costo del producto, así como el sistema de distribución, depende de la mezcla, del consumo y de la posibilidad de canalizar.

Formas de suministro de gas

Una vez seleccionado un gas o mezcla de gases, es necesario considerar el tipo de envase mas apropiado y el sistema de distribución para hacer llegar el gas hasta el punto de consumo.

Tipos de envases

Las características más importantes que definen el tipo de envase son:

- Calidad de gas necesaria.
- Facilidad de manipulación del envase.
- Consumo. Teniendo en cuenta tanto el consumo medio como las puntas.
- Presión y caudal necesario.
- Condiciones de seguridad.
- Economía.
- Uniformidad de consumo.
- Garantía de suministro continuo.
- Accesibilidad al punto de consumo.
- Puestos de trabajo fijos o móviles.
- Posibilidad de canalizar el suministro.
- Proximidad del suministro de gases.

Alguna de las características anteriores puede ser por si sola la determinante que condicione el tipo de envase.

Botellas

Las características más importantes para decidir por este tipo de envase son:

- Facilidad de transporte
- Puestos de trabajo móviles o con difícil acceso
- Consumos intermitentes y no muy elevados
- Facilidad para encontrar un punto de distribución próxima
- Se disponga de poco espacio junto al puesto de trabajo.
- Cuando sea necesario una presión elevada

Botellas con gases puros o mezclas de gases en fase gaseosa

Como los gases tienen una relativa baja densidad, se puede reducir el volumen de gas a presión atmosférica comprimiendo el gas a elevada presión dentro de una botella. La botella y la válvula deben estar diseñadas y construidas e identificadas para resistir las elevadas presiones y cumplir con los requerimientos solicitados por la normativa oficial de cada país.

Las presiones y las capacidades y contenidos más utilizados son:

Tabla 7

Botellas con gases o mezclas de gases en fase gaseosa (Argón, Helio y Mezclas soldadura y corte de gases con componentes (argón, helio, CO ₂ , oxígeno, hidrógeno, Nitrógeno)					
Tipo	Dimensiones		Presión Max. Kg./cm ²	Capacidad aproximada m ³	Peso aproximado Kg
	Largo Mm.	Diámetro Mm.			
5 L	570	145	200	1	7
20L	960	145	200	4	32
50L	1480	230	200	10	85

Bloques de botellas

Los bloques están formados por un número de 12, 16 o 28 botellas dentro de un bastidor, con todas sus salidas unidas mediante latiguillos con el fin de tener una salida única. Las características más importantes para decidir por este tipo de envase son:

- Consumos medios
- Suministros centralizados con canalización
- Consumos intermitentes.

“Definición y Desarrollo de Procedimientos de Soldadura en Tuberías de Aceros Inoxidables para un Proyecto Offshore”

- Cuando sea necesario una presión elevada

Tabla 8

Botellas con gases o mezclas de gases en fase gaseosa (Argón, Helio y Mezclas soldadura y corte de gases con componentes (argón, helio, CO ₂ , oxígeno, hidrógeno, Nitrógeno)						
Nº Botellas	Dimensiones			Presión Max. Kg./cm ²	Capacidad Aproximada m ³	Peso aproximado Kg
	Largo mm.	Ancho Mm.	Alto mm.			
12	1050	820	1950	200	120	1395
28	1790	1100	1800	200	280	2950

Tanques móviles con contenido de líquido

Estos tanques móviles con contenidos inferiores a 500 kg., permiten transportar un mayor contenido de gas. Las características más importantes para decidir por este tipo de envase son:

- Consumos medios a elevados pero inferiores a los necesarios para tanque
- Uniformidad de consumo y sin puntas muy elevadas
- Consumos puntuales importantes
- Distribución próxima

Tabla 9

Posibilidad de suministro de líquido y gas (Argón, Nitrógeno, Oxígeno)										
Tipo	Dimensiones		Capacidad				Peso Vacio kg	Peso Lleno		
	Altura Mm..	Diámetro mm.	Líquido L	O ₂ m ³	N ₂ M ³	Ar m ³		O ₂ Kg	N ₂ Kg	Ar Kg
I	1581	508	169	125	100	120	115	308	251	350
II			666	480	385	470	560	1274	1066	1437

Tanques fijos

Con contenidos superiores a 2000 litros, son llenados con cisternas y llevan anexados el gasificador apropiado para poder suministrar el caudal apropiado. Las características más importantes para decidir por este tipo de suministro son

- Grandes consumos.
- Suministros centralizados con canalización.

Tabla 10

Tanque (Posibilidad de suministro de líquido y gas)	
Gases	Capacidades más usuales (m³)
Oxígeno, Nitrógeno y Argón	3000, 5000 y 12000 litros
CO ₂	3600 litros

Normativa sobre botellas de gas

Nacional

El RAP (Reglamento de Aparatos a Presión) en la ITC MIE AP 7, Instrucción Técnica Complementaria sobre botellas y botellones de Gases Comprimidos, Licuados y Disueltos a Presión (BOE 12/11/82) indica entre otras, la información sobre colores de identificación, etiquetado y tipo de conexión de salida de la válvula para conexión al regulador / caudalímetro.

En la botella se diferencian dos partes la ojiva y el cuerpo. En la ojiva se coloca la etiqueta del gas y roscada el acoplamiento o válvula correspondiente al gas contenido en la botella. Para proteger al soldador y a la válvula se suele colocar una tulipa. La tulipa no debe considerarse como posible sujeción para elevar la botella y trasladarla.

En el caso de las últimas válvulas que llevan el regulador-caudalímetro integrado, la tulipa es más voluminosa para proteger el conjunto válvula regulador-caudalímetro. En este caso la tulipa debe cumplir con la prueba de caída de acuerdo con EN 962.



FIGURA 3
BOTELLA CON GAS COMPRIMIDO

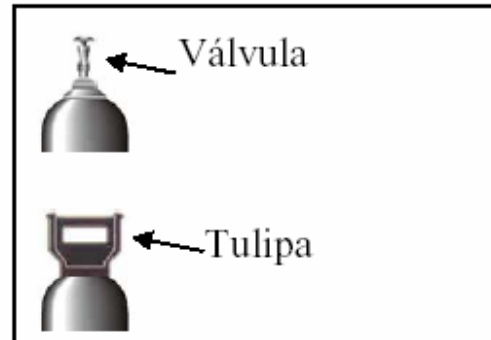


FIGURA 4 - CUERPO Y OJIVA VÁLVULA Y TULIPA

Los gases de protección se consideran en ITC MIE AP 7 como gases industriales. A continuación incluimos un resumen para utilizarlo como información previa.

Por su utilización, los gases se clasifican en:

Oxidantes. Oxígeno, aire

Inertes. Argón, Nitrógeno, helio, CO₂

Inflamables. Hidrógeno

TABLA 11
ACOPLAMIENTOS O VÁLVULAS (ITC MIE AP 7)

Componentes de Gas o mezcla	Acoplamiento o Válvula		Color Cuerpo	Colores Ojiva
	Tipo	Racor macho		
Argón	C	Macho M 21,7x1,814 Derecha	Negro	Amarillo
Helio	C	Macho M 21,7x1,814 Derecha	Negro	Marrón
Anhídrido carbónico(CO ₂)	C	Macho M 21,7x1,814 Derecha	Negro	Gris
Nitrógeno	C	Macho M 21,7x1,814 Derecha	Negro	Negro
Hidrógeno	E	Macho M 21,7x1,814 Izquierda	Rojo	Rojo
Argón-helio	C	Macho M 21,7x1,814 Derecha	Negro	Amarillo-marrón
Argón-CO ₂	C	Macho M 21,7x1,814 Derecha	Negro	Amarillo-gris
Argón-oxígeno	C	Macho M 21,7x1,814 Derecha	Negro	Amarillo-blanco
Argón-hidrógeno	E	Macho M 21,7x1,814 Izquierda	Negro	Amarillo-rojo
Argón-nitrógeno	C	Macho M 21,7x1,814 Derecha	Negro	Amarillo-negro
Argón-helio-CO ₂	C	Macho M 21,7x1,814 Derecha	Negro	Amarillo-marrón-gris
Argón-helio-hidrógeno	E	Macho M 21,7x1,814 Izquierda	Negro	Amarillo-marrón-rojo
Argón-CO ₂ -oxígeno	C	Macho M 21,7x1,814 Derecha	Negro	Amarillo-gris-blanco
Argón-CO ₂ -nitrógeno	C	Macho M 21,7x1,814 Derecha	Negro	Amarillo-gris-negro
Argón-CO ₂ -hidrógeno	E	Macho M 21,7x1,814 Izquierda	Negro	Amarillo-gris-hidrógeno
Argón-Helio-CO ₂ –hidrógeno	E	Macho M 21,7x1,814 Izquierda	Negro	Amarillo-marrón-gris-rojo
Nitrógeno-hidrógeno	E	Macho M 21,7x1,814 Izquierda	Negro	Negro-rojo

TABLA 12
COLORES DE IDENTIFICACIÓN DE BOTELLAS PARA GASES Y MEZCLAS (ITC MIE AP 7)

 Argón 40	 Helio	 CO ₂	 Nitrógeno	 Hidrógeno	 Ar-CO ₂	 Ar-O ₂	 Ar-H ₂
M 21,7 x 1,814 MACHO-DCHA. TIPO C	M 21,7 x 1,814 MACHO-DCHA. TIPO C	M 21,7 x 1,814 MACHO-DCHA. TIPO C	M 21,7 x 1,814 MACHO-DCHA. TIPO C	M 21,7 x 1,814 MACHO-IZDA. TIPO E	M 21,7 x 1,814 MACHO-DCHA. TIPO C	M 21,7 x 1,814 MACHO-DCHA. TIPO C	M 21,7 x 1,814 MACHO-IZDA. TIPO E
 Ar-N ₂	 Ar-He-CO ₂	 Ar-He-H ₂	 Ar-CO ₂ -O ₂	 Ar-CO ₂ -N ₂	 Ar-CO ₂ -H ₂	 Ar-He-CO ₂ -H ₂	 N ₂ -H ₂
M 21,7 x 1,814 MACHO-DCHA. TIPO C	M 21,7 x 1,814 MACHO-DCHA. TIPO C	M 21,7 x 1,814 MACHO-DCHA. TIPO E	M 21,7 x 1,814 MACHO-DCHA. TIPO C	M 21,7 x 1,814 MACHO-DCHA. TIPO C	M 21,7 x 1,814 MACHO-IZDA. TIPO E	M 21,7 x 1,814 MACHO-IZDA. TIPO E	M 21,7 x 1,814 MACHO-IZDA. TIPO E

Europea

Norma Europea EN 1089 y Española UNE – EN 1089 que consta de tres partes:

Parte 1: Marcado

Parte 2: Etiquetas de precaución

Parte 3: Código de colores

El anexo D establece las condiciones nacionales especiales que representan una desviación de esta norma sobre un periodo transitorio que terminará, a más tardar el 07/01/2006

4.9.- RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD

Conocimiento de los gases

Debido a la gran variedad de mezclas que se pueden utilizar como gases de protección en soldadura, es necesario tener en cuenta las propiedades particulares de las mezclas que se utilicen. La seguridad durante la utilización depende del carácter inflamable, comburente o inerte de los gases utilizados.

Humos

Durante mucho tiempo los criterios de selección de un gas de protección estaban basados en aspectos de calidad y productividad. En la actualidad, aunque los criterios anteriores mantienen su importancia, se presta una especial atención a la cantidad de humos producidos durante su empleo.

En trabajos en atmósferas confinadas y sobre materiales con revestimiento o tratamientos superficiales (desengrasado, decapado, zincado, etc.) es necesario instalar un sistema de extracción de humos, preferentemente de extracción localizada.

Asfixia

La utilización de gases en los procesos de soldadura entraña el riesgo del posible desplazamiento del aire de la atmósfera por los gases de protección de la soldadura o por los resultantes de los procesos de combustión en los sopletes.

Ninguno de ellos es respirable. Si se acumulan en atmósferas confinadas reduciendo la concentración de oxígeno por debajo del 18 % se pueden producir mareos y desmayos. Sacar al accidentado al aire libre y hacerle la respiración artificial, si es preciso.

“Definición y Desarrollo de Procedimientos de Soldadura en Tuberías de Aceros Inoxidables para un Proyecto Offshore”

Cuando se trabaje en el interior de un recipiente o en una atmósfera confinada mantener las botellas de gases en el exterior y la terminar el trabajo sacar al exterior el soplete, pistola o pinza de soldar y cerrar las botellas.

Ventilación

Ventear la zona de trabajo permanentemente durante todo el tiempo que dure el mismo. Comenzar la ventilación al menos 15 minutos antes de reanudar el trabajo.

Si es preciso, comprobar la atmósfera con un analizador de oxígeno de rango 0-25 %

Incendios

La utilización de oxígeno en trabajos de soldadura puede generar sobreoxigenación en zonas confinadas, con el consiguiente riesgo de incendio que aumenta a medida que sube la concentración.

Materiales que son combustibles en el aire, arden con mayor rapidez. Productos que no son combustibles en el aire se inflaman en presencia de oxígeno (las grasas y aceites pueden arder violentamente). La energía de activación necesaria para iniciar la combustión disminuye a medida que aumenta la concentración de oxígeno. Antes de entrar en una zona sobreoxigenada ventear la atmósfera e impedir que se puedan producir puntos de ignición.

Si se utilizan máquinas eléctricas, mantenerlas permanentemente conectadas a tierra. Al terminar el trabajo parar las máquinas y desconectar de la red.

4.10.- RECOMENDACIONES SOBRE UTILIZACIÓN DE GASES

- Responsabilidad

El usuario es responsable del manejo de las botellas y del buen estado y mantenimiento de los accesorios necesarios para su utilización, así como del correcto empleo del gas que contienen.

Antes de poner en servicio cualquier botella deberá eliminarse todo lo que dificulte su identificación y se leerán las etiquetas y marcas existentes.

- Identificación

Si el contenido de una botella no está identificado, deberá devolverse a proveedor de gases sin utilizar.

“Definición y Desarrollo de Procedimientos de Soldadura en Tuberías de Aceros Inoxidables para un Proyecto Offshore”

Si existen dudas en cuanto al manejo apropiado de las botellas o de su contenido, deberá consultarse a su proveedor de gas.

- Usuarios

Las botellas deben ser manejadas sólo por personas experimentadas y previamente informadas.

Los acoplamientos para la conexión del regulador a la válvula de la botella están establecidos en la ITCMI- AP-7 del Reglamento de Aparatos a Presión.

- Ventilación

Las botellas no se situarán para su uso en lugares confinados ni, en general, en todos aquellos que no dispongan de una ventilación adecuada.

En el recinto de consumo sólo estarán las botellas en uso y las de reserva.

- Sujeción

Antes de usar las botellas asegurarse de que están bien sujetas para evitar su caída.

Los protectores (sombretetes, caperuzas, etc.) móviles de las válvulas deben estar acoplados en las botellas hasta el momento de su utilización.

- Cierre

Las válvulas deben estar siempre cerradas, excepto cuando se emplee el gas, en cuyo momento deberán estar completamente abiertas.

Las botellas vacías se mantendrán con las válvulas cerradas hasta su entrega a su proveedor de gases.

- Contaminación

Debe notificarse a su proveedor de gases cualquier posible introducción de sustancias extrañas en la botella o en la válvula.

Si existe peligro de que la botella pueda contaminarse por retroceso de otros gases o líquido, debe utilizarse una válvula o dispositivo de retención adecuado.

“Definición y Desarrollo de Procedimientos de Soldadura en Tuberías de Aceros Inoxidables para un Proyecto Offshore”

- Antirretroceso de llama

En los procesos de combustión donde se empleen gases inflamables y comburentes debe acoplarse, como mínimo a la salida de cada regulador, un sistema de antirretroceso de llama adecuado a la instalación.

- Mantenimiento

El usuario debe establecer un plan de mantenimiento preventivo de las instalaciones y de todos los accesorios necesarios para la correcta utilización de gases.

- Equipos

Los equipos, canalizaciones, manorreductores, válvulas antirretorno, mangueras, sopletes, etc. deben ser adecuados a la presión y gas a utilizar.

Asegurarse de que los acoplamientos de las conexiones de los reguladores con las válvulas de las botellas son coincidentes. No forzar nunca las conexiones que no ajusten bien, ni utilizar piezas intermedias.

- Regulación

Utilizar siempre los gases contenidos en las botellas a través de un medio adecuado de regulación de presión. Los reguladores, caudalímetros, mangueras, etc. destinados a usarse con un gas o un grupo de gases no deben ser empleados en otros gases.

- Conexión y desconexión

Después de conectar el regulador y antes de abrir la válvula de la botella, comprobar que el tornillo de regulación del regulador está completamente aflojado. Antes de desconectar el equipo de regulación de las botellas cerrar su válvula y eliminar la presión del dispositivo de regulación.

Estas precauciones deben, así mismo, tenerse en cuenta en las interrupciones del trabajo y en el cambio de botella.

- Apertura

- Las válvulas de las botellas se abrirán siempre lentamente. El operario se debe situar en el lado de la botella opuesto a la salida de la válvula; esta nunca estará en dirección hacia otras personas.

“Definición y Desarrollo de Procedimientos de Soldadura en Tuberías de Aceros Inoxidables para un Proyecto Offshore”

- Abrir las válvulas con la mano. No emplear herramientas sobre las válvulas equipadas con volante manual.

- Si las válvulas presentan dificultades para su apertura o cierre, o están agarrotadas, pedir instrucciones a proveedor de gases

- Evitar salida de caudales de las botellas superiores a los prescritos por proveedor de gases.

- Fugas

- Si existe una fuga en la válvula, cerrarla y avisar a proveedor de gases.

- Si la fuga no puede contenerse, aplicar las medidas recomendadas por proveedor de gases.

- Actuar de igual modo con botellas afectadas por el fuego, la corrosión o que presenten cualquier otro defecto.

- No emplear nunca llama para detectar fugas.

- Cuidado de botellas

- No usar nunca las botellas para funciones diferentes a la de almacenar gases (rodillo, soporte, contrapeso, etc.).

- No soldar nunca pieza alguna a las botellas. Se crean zonas frágiles que pueden agrietarse.

- No introducirlas en recipientes, hornos, calderas, etc.

- No someterlas a bajas temperaturas.

- Mantenerlas alejadas de fuentes de calor.

- No ponerlas en contacto con circuitos eléctricos (no cebar el arco en ellas, no acercar a su superficie el portaelectrodos ni la pinza de masa del equipo de soldadura).

- No colgar de ellas el soplete de soldadura o corte.

- No calentar la botella con el soplete.

- No quitar ni cambiar las etiquetas de identificación del contenido. El repintado de botellas sólo debe hacerlo proveedor de gases .

- No desmontar las válvulas.

- Precauciones

- Está prohibido fumar durante la manipulación de gases inflamables y comburentes.

- Está prohibido trasvasar gases de una botella a otra.

“Definición y Desarrollo de Procedimientos de Soldadura en Tuberías de Aceros Inoxidables para un Proyecto Offshore”

- Se recomienda el uso de calzado de seguridad y guantes adecuados, en la manipulación de botellas.
- En el manejo de gases tóxicos o corrosivos deben utilizarse máscaras con filtro adecuado o aparatos de respiración autónomos.
- Los equipos deben situarse fuera de la zona de contaminación, en lugar próximo y accesible.

ANEXO 5
ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

ANEXO 5 – ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

5.1. INSPECCION VISUAL

5.1.1 DESARROLLO DE LA INSPECCIÓN

La Inspección Visual de la soldadura, aunque pueda parecer una tarea simple, resulta de gran alcance si se ejecuta correctamente.

El Inspector Visual empieza su trabajo recepcionando y examinando los materiales base a unir. En función de los requisitos exigidos en el WPS preliminar, debe asegurarse que aquellos son correctos en cuanto a calidad y dimensiones. A continuación observa dichos materiales en las superficies accesibles a fin de detectar incrustaciones, óxidos, grietas, laminaciones, cortes defectuosos o cualquier otra discontinuidad que pudiese afectar a la soldadura posterior.

Una vez posicionadas las piezas a unir, comprobará la preparación de bordes, midiendo la abertura y la raíz para asegurarse que están de acuerdo con el diseño de junta especificado en el procedimientos. El inspector debe vigilar también la calidad del acabado, alineaciones y limpieza requeridas.

Otra de sus responsabilidades son los materiales de aporte, debiendo comprobar que los electrodos, varillas y gases cumplen con los requisitos exigidos. Cuando se empleen electrodos de bajo contenido en hidrógeno verificará que estos consumibles se almacenan y manejan siguiendo las recomendaciones de su fabricante y que son retirados para su uso de recipientes estancos y de estufas en las que se mantiene la temperatura correcta.

Durante la ejecución de la soldadura el Inspector revisará la zona donde se lleva a cabo el procedimiento comprobando que se aplican correctamente las variables de soldadura previamente definidas. Observará el depósito de los cordones prestando especial atención a la pasada de raíz, mas susceptible de fisurarse que las de relleno. Se asegurará que se están utilizando los materiales de aporte idóneos, los parámetros de soldadura especificados y los gases de protección requeridos. También verificará por medios adecuados la temperatura de precalentamiento y entre pasadas.

Al finalizar la soldadura, el Inspector examina la unión para verificar que cumple con lo requerido en cuanto a aspecto y requisitos de calidad. Tratará de detectar posibles imperfecciones, tales como mordeduras, salpicaduras, grietas, rugosidades y material de aporte en exceso o en defecto.

5.1.2 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

De las observaciones efectuadas, el Inspector puede obtener una información muy provechosa acerca del grado de calidad alcanzado. A la vista del conjunto terminado, puede detectar si se han producido deformaciones. Estudiando la superficie de la soldadura, puede conocer si el trabajo se ejecutó de forma correcta, ya que cuando se suelda con los parámetros adecuados la soldadura adquiere un contorno regular con aguas y penetración uniformes.

Los inspectores examinan y estudian las discontinuidades visibles para evaluar sus características en función de los códigos o especificaciones aplicables al trabajo que inspeccionan las grietas no se admiten en ningún caso.

5.1.3 CÓDIGOS Y ESPECIFICACIONES

Los requisitos de la inspección visual se encuentran incluidos en numerosos códigos y normas de construcción. La norma UNE EN 15614-1 indica que el examen visual de los procedimientos de soldadura se llevará a cabo de acuerdo con EN 970.

5.1.4 MEDIOS Y EQUIPOS

Para efectuar en las mejores condiciones la inspección visual, son necesarias ciertas herramientas y/o instrumentos. Al ser la inspección visual fundamentalmente un medio óptico, los inspectores deben procurarse los utensilios que les permita efectuar las inspecciones de la forma más sencilla, rápida y precisa.

- **Cintas métricas y de reglas.** Su tipo y longitud se elige en función de las dimensiones a verificar.
- **Galgas.** Se debe disponer de galgas que permitan confirmar el correcto montaje y dimensiones finales de los cordones.
- **Falsas escuadras, plomadas, reglas, niveles,...** Son de gran utilidad para verificar tanto la dimensión como la alineación de boquillas e injertos.

- **Equipos para medir temperaturas.** Para comprobación de temperaturas de precalentamiento o entre pasadas se pueden emplear lápices sensibles a la temperatura o termómetros.
- **Dispositivos de Iluminación.** La Norma EN 970: 1997 “Examen no destructivo de soldaduras por fusión. Examen visual” establece que la inspección visual debe realizarse con una iluminación mínima de la superficie de 350 lx, si bien se recomienda que al menos sea de 500 lx. Para cumplir este requisito se pueden emplear linternas, bombillas, etc. En general, son preferibles dispositivos de iluminación focalizados que permiten modificar la orientación del haz, de este modo la luz se puede hacer incidir de forma rasante sobre la superficie para detectar con mayor facilidad la presencia de defectos.
- **Medios ópticos auxiliares.** Proporcionan un medio para remediar las limitaciones de agudeza visual del inspector, mejorando la percepción de la imperfección. Estos pueden ser:
 - o **Proyectores de perfiles.** Permiten mejorar las condiciones de observación de piezas pequeñas.
 - o **Endoscopios.** Permiten la inspección visual directa del interior de tubos, cavidades y superficies internas en general. Pueden ser rígidos (ópticos) o flexibles (fibra óptica).
 - o **Sistemas fotoeléctricos.** Permiten a veces reemplazar la inspección visual directa compensando de esta manera los errores debidos a la fatiga del operador.
 - o **Lupas.** Permiten una visión ampliada de la superficie entre 1.5 y 10 aumentos. Su forma y tamaño puede variar en función de su aplicación. A la hora de elegir una lupa es importante tener en cuenta los siguientes factores:
 - Aumentos
 - Distancia de trabajo
 - Campo de visión
 - Corrección cromática
 - Visión monocular o binocular
 - o **El comparador de superficie.** Es una lupa que permite comparar el acabado de una superficie con otra que se utiliza como referencia. El observador ve las dos superficies juntas en un único campo visual.

5.1.5 CUALIFICACIÓN DEL PERSONAL

De acuerdo con la Norma EN 970: 1997, el personal que lleve a cabo el examen de inspección visual debería:

- Estar familiarizado con las normas, reglas y especificaciones relevantes.
- Estar informado acerca del procedimiento de soldeo a utilizar.
- Tener una buena visión de acuerdo con los requisitos de la Norma EN 473, que debería verificarse cada 12 meses.

5.1.6 ETAPAS DEL ENSAYO.

La inspección visual tiene lugar antes, durante y después de la soldadura. Esta lista de comprobaciones relaciona las actividades a realizar en cada fase. La inspección visual no tiene que ajustarse necesariamente a estos conceptos, sino que su alcance debe establecerse en el correspondiente pedido y en la documentación aplicable a cada contrato.

5.1.6.1. Inspección previa al soldeo.

- Comprobación de los certificados de los materiales de base y de aportación, verificando si cumplen lo indicado en los planos y especificaciones.
- Medición de los materiales para asegurarse que los diámetros, longitudes, anchos y espesores cumplen los requisitos aplicables.
- Inspección de las superficies para detectar posibles defectos, examinando los bordes de las chapas en cuanto a laminaciones o cortes rugosos que puedan interferir la operación de soldadura.
- Verificación de las secciones punteadas para soldadura, comprobando que las aberturas de raíz y diseño de la unión cumplen las especificaciones aplicables. Debe verificarse:
 - Preparación de bordes, dimensiones y acabado de la superficie.
 - Dimensiones y tolerancias de las chapas de respaldo, anillos soporte y metales de aportación.
 - Alineación y fijación de los componentes.
 - Limpieza de las superficies, especialmente en los bordes a soldar.

- Revisión de las especificaciones de los procesos, procedimientos y consumibles, asegurándose que son perfectamente conocidos por los soldadores. Prestar especial atención al almacenamiento y manejo de los metales de aporte especialmente cuando se especifican consumibles con bajo contenido de hidrógeno.

5.1.6.2. Inspección durante el soldeo.

- Verificar que los soldadores emplean los parámetros de soldadura adecuados y que utilizan correctamente los consumibles (materiales de aporte, fundentes y gases de protección), las temperaturas de precalentamiento y las temperaturas entre pasadas.
- Inspeccionar la limpieza de la unión, el sistema de limpieza de los cordones y la secuencia de soldadura.
- Examinar la pasada de raíz para la detección de posibles grietas, debido a que esta pasada se enfría rápidamente y puede agrietarse o quedar escorias atrapadas en ella.
- Inspeccionar el saneado de la raíz para verificar si es adecuado para proseguir la soldadura.

5.1.6.3. Inspección después del soldeo.

- Examinar la terminación de la soldadura, mediante reglas, galgas y escuadras para verificar que sus dimensiones son correctas.
- Examinar el aspecto de las soldaduras, su rugosidad, salpicaduras y restos de escoria en las zonas colindantes.
- Detectar las posibles discontinuidades que puedan reducir la vida a la fatiga, tales como cráteres en los extremos de los cordones, grietas, falta de penetración, mordeduras y solapamientos, en relación con los códigos y reglamentación aplicables.
- Marcar con claridad las zonas a reparar empleando lápices marcadores u otros medios que no se borren fácilmente. Tras la reparación es preciso reinspeccionar nuevamente conforme a los requisitos originales.
- Preparar un informe escrito en el que se incluya el número y la denominación del trabajo, fecha, lugar y resultados de la inspección, así como el nombre y firma del inspector que la ha efectuado.

5.1.7 DEFECTOS DETECTABLES.

5.1.7.1. Defectos apreciables por inspección visual.

5.1.7.1.1.- Defectos apreciables previos a la soldadura.

Como se ha mencionado, la inspección visual incluye la inspección de las piezas previa al soldeo. En esta inspección se pueden encontrar diversos defectos de montaje tales como desalineaciones entre las piezas, deformaciones angulares, ajustes defectuosos, etc.

5.1.7.1.2.- Defectos apreciables por inspección de la soldadura.

Mediante la inspección visual se pueden detectar diferentes tipos de defectos, incluso algunos de ellos situados bajo la superficie.

- **Falta de fusión.** Se detectan por la aparición de depresiones entre el cordón y el metal base. También pueden apreciarse por un cierto solapamiento de los bordes del cordón sobre el material base, que denota que el baño desbordó sobre el material sólido. Las faltas de fusión no siempre son detectables por este método.

- **Falta de penetración.** Origina una cierta depresión a lo largo de la parte opuesta a la que se suelda, examinando la raíz puede detectarse esta anomalía, siempre que ello sea posible.

- **Mordeduras.** Son fácilmente identificables, vienen indicadas como depresiones del material base a lo largo de uno de los dos lados del cordón.

- **Faltas de material de aportación.** Son fácilmente identificables y aparecen donde el soldador no ha rellenado completamente la unión a soldar.

- **Escorias, óxidos y cascarillas** sólo son detectables si son superficiales, su detección y retirada suponen una mayor resistencia a la corrosión de la soldadura.

- **Grietas.** Las grietas se presentan de varias formas. Las grietas en caliente se desarrollan a lo largo del eje central de la soldadura. Las grietas en la zona afectada por el calor se producen a lo largo del borde del cordón de soldadura, estas grietas suelen

ser muy finas y los inspectores pueden necesitar el empleo de lupas para detectarlas. Las grietas de cráter aparecen en los finales de los cordones y suelen tener forma de estrella.

- **Cebados del arco** se originan cuando el arco se establece fuera de los bordes de la unión a soldar, y pueden contener diminutas grietas.

- **Salpicaduras o proyecciones.** Son pequeñas gotas de metal despedidas de la unión a soldar producen focos calientes sobre el metal base pero normalmente su tamaño es tan pequeño que no producen problemas serios. Cuando el aspecto sea un factor decisivo deben ser eliminadas aunque se consideren sus efectos poco perjudiciales.

- **Desviaciones dimensionales.** Son también fácilmente detectables, pudiendo ser evaluadas mediante instrumentos de sencillo manejo. Comentar desviaciones dimensionales respecto a las dimensiones de la pieza y desviaciones dimensionales del cordón de soldadura.

- **Deformaciones.** Observando el conjunto terminado se puede detectar si se han producido deformaciones. Estudiando la superficie de la soldadura se puede conocer si el trabajo se ejecutó de forma correcta, ya que cuando se suelda con una velocidad y parámetros adecuados, la soldadura tiene un contorno regular con aguas y penetración uniformes.

- **Defectos de forma.** Como pueden ser exceso de sobreespesor, asimetría, etc.

En la figura 1 se aprecian los principales defectos que pueden presentarse en la ejecución de la raíz, lo que justifica, nuevamente, la importancia de inspeccionar este cordón tras su ejecución.

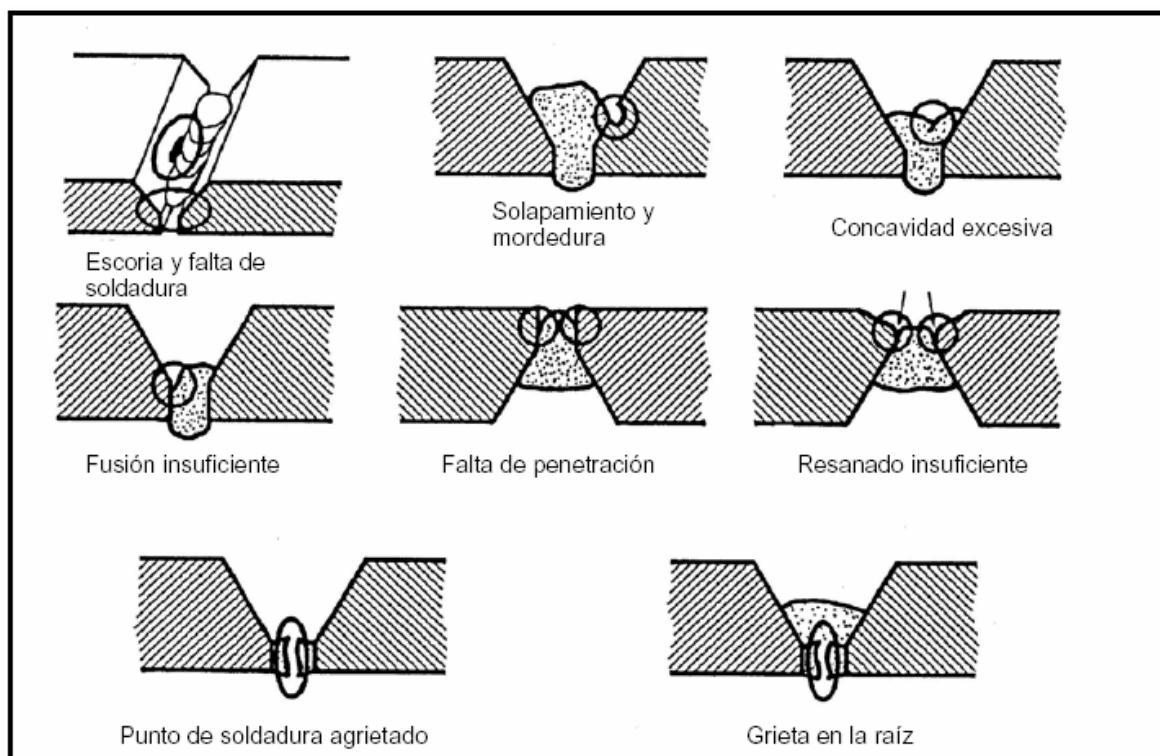


FIGURA 1

5.1.8 EVALUACIÓN DE LOS DEFECTOS.

Los defectos se evaluarán conforme indique la normativa aplicable. La normativa europea recoge las siguientes normas a tal respecto, si bien pueden ser aplicables otras distintas, así como la posibilidad de incorporar requisitos adicionales en el propio plano:

- UNE-EN-ISO 13920: 1997 “Soldeo. Tolerancias generales en construcciones soldadas. Dimensiones de longitudes y ángulos. Forma y posición”.
- UNE-EN-ISO 5817: 2004 “Uniones soldadas por arco de aceros. Guías sobre los niveles de calidad en función de las imperfecciones”.
- UNE-EN 30.042: 1995 “Uniones soldadas por arco de aluminio y sus aleaciones soldables. Guías sobre los niveles de calidad en función de las imperfecciones”.

Aparte de la normativa mencionada, numerosos códigos de construcción incluyen requisitos de inspección visual, pudiendo incluir otras normas de aplicación.

5.2. INSPECCIÓN RADIOGRÁFICA

5.2.1. INTRODUCCIÓN

La radiografía de las soldaduras estudia la forma de obtener e interpretar la imagen fotográfica producida al incidir rayos X o gamma sobre una placa sensible, después de haber atravesado una unión soldada.

La finalidad de este ensayo es conseguir una imagen nítida y estable de los defectos que puedan existir en la soldadura.

5.2.2. FUENTES DE GENERACIÓN DE RAYOS X Y GAMMA

Para el análisis radiográfico se pueden utilizar dos tipos de fuentes fundamentalmente: generadores de rayos X y emisores de rayos γ .

Los rayos X y γ son las radiaciones convencionales que se utilizan habitualmente en la radiografía industrial de soldaduras. Son radiaciones electromagnéticas al igual que la luz visible, pero de longitud de onda inferiores y por tanto, de mayor energía.

Los rayos X se producen cuando un haz de electrones animados de gran velocidad chocan contra un metal, mientras que los rayos γ son emitidos por el núcleo de átomos radiactivos. Ambas radiaciones se desplazan en línea recta a la velocidad de la luz.

5.2.2.1. Rayos X

Los rayos X son radiaciones electromagnéticas con una longitud de onda mucho más corta que la de la luz pero una energía irradiada mucho mayor.

Las fuentes de rayos X son tubos electrónicos cuyo funcionamiento exige cierto consumo de energía eléctrica suministrada a través de un circuito especialmente diseñado para esta finalidad.

Los tubos de rayos X consisten esencialmente en una ampolla de vidrio en la que se ha practicado el vacío en cuyo interior se encuentra un filamento emisor de electrones o cátodo y una placa de metal de choque o anticátodo.

El cátodo consiste en un filamento de wolframio que, cuando se calienta por efecto de una corriente eléctrica auxiliar, emite electrones que son acelerados hasta precipitarse sobre el anticátodo al aplicar una diferencia de potencial entre ambos.

A causa de las fuertes interacciones producidas en el choque de los electrones, la radiación X emitida por el anticátodo ofrece un espectro continuo conocido como “espectro blanco”.

5.2.2.2. Fuentes isotópicas: Emisores de rayos γ .

La emisión de rayos γ obedece a reacciones nucleares en las cuales un átomo radioactivo o isótopo se descompone de forma natural dando lugar a la emisión mencionada.

Las fuentes de rayos γ son pequeñas cantidades de materia que contienen una sustancia radioactiva capaz de emitir rayos α , β y γ . Por el pequeño poder de penetración que poseen los rayos α y β , en radiografía solo se aprovechan los rayos γ .

Se denomina actividad la cantidad o intensidad de radiación que una fuente de rayos γ puede proporcionar en un instante dado y representa la velocidad de desintegración de la misma en ese momento.

Las fuentes de rayos γ se encuentran encerradas en cápsulas y se guardan en contenedores forrados de plomo, denominados gammágrafos para evitar que los operadores que las manipulan resulten irradiados. Se accionan con mando a distancia, extrayendo la cápsula radioactiva en el momento de realizar la radiografía.

La actividad de una fuente radiactiva disminuye con el tiempo, ya que de la desintegración de un átomo resulta una emisión de rayos y la transformación de átomo radioactivo o inestable en otro átomo estable.

Las fuentes de rayos γ de uso más corriente en España son:

Isótopo	Vida media
Iridio 192 (^{192}Ir)	72 días
Cesio 137 (^{137}Cs)	26,6 años
Cobalto 60 (^{60}Co)	5,3 años

5.2.2.3 Comparación entre ambas fuentes

Imagen

La diferencia principal entre una fuente de rayos X y otra de rayos γ es el cromatismo de su radiación. Los rayos X ofrecen un espectro continuo de frecuencias y cuando encuentran un cambio localizado de absorción, como el que presenta una porosidad en la soldadura, son absorbidos selectivamente en función de su energía. Para los rayos γ esta absorción se convierte en una cuestión de “pasa o no pasa”.

Por tanto, los rayos X ofrecen una imagen con mejor contraste que los rayos γ .

Manipulación

La fuente de rayos X requiere un suministro externo de energía eléctrica, por lo que su utilización es más frecuente en instalaciones fijas de taller.

La fuente de rayos γ , en este sentido, goza de una mayor autonomía siendo la idónea para su empleo en obra, por resultar más manejable y versátil.

Seguridad

El uso de isótopos radioactivos requiere en España un control por parte de la Junta de Energía Nuclear.

Economía

En este aspecto, la fuente de rayos γ resulta más favorable medida en términos de retorno de la inversión necesaria.

5.2.3. PELÍCULA RADIOGRÁFICA. PROCESO FOTOGRÁFICO

5.2.3.1. Película Fotográfica

Una vez que la radiación ha atravesado la unión soldada es capaz de impresionar una película radiográfica sensible a la intensidad de flujo pasante.

La película radiográfica, similar a la utilizada en fotografía, consiste en una emulsión de un haluro de plata en gelatina, extendida por las dos caras de una hoja transparente de acetato de celulosa. El haluro de plata es el componente sensible que queda afectado cuando la radiación incide en el y que durante el revelado posterior se descompone en plata metálica, que se ennegrece, y en el halógeno, que pasa a la gelatina. Las partes de la emulsión que han recibido más intensidad de flujo pasante tendrán mayor proporción de granos de haluro sensibilizados por unidad de superficie, resultando más oscura esta zona después del revelado.

La película fotográfica, figura 2, presenta la siguiente estructura:

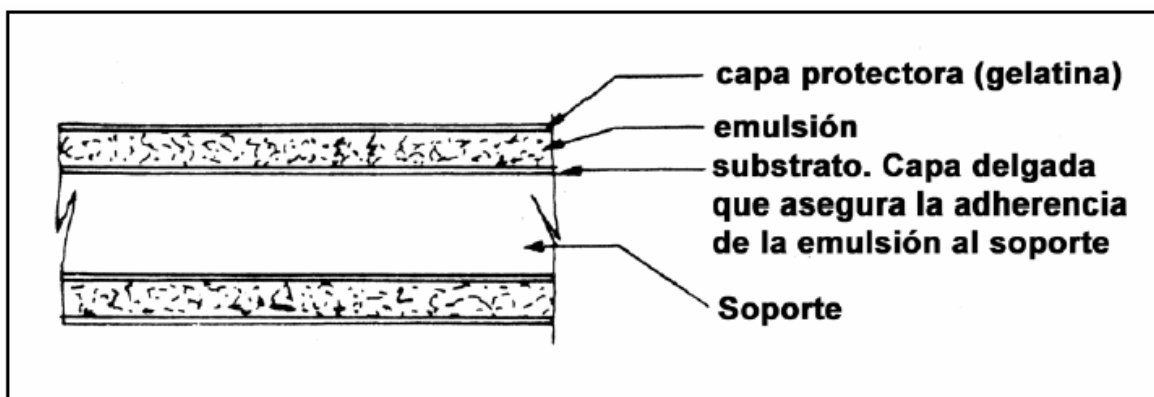


Figura 2 – Corte esquemático de una película radiográfica

- Lámina soporte: Fabricada de acetato de celulosa o poliéster.
- Sustrato: Capa delgada para asegurar la fijación de la emulsión con el soporte.
- Emulsión: Doble capa de una suspensión de haluros de plata en gelatina.
 - o Doble capa → Mitad del tiempo de exposición.
 - o Haluros: AgBr.
 - o Tamaño de grano: 0,2 – 0,7 μm .

Una vez impresionada la película radiográfica se procede al revelado y fijado de la imagen, de forma similar aun proceso fotográfico.

5.2.3.2. Proceso radiográfico.

El proceso radiográfico consiste en lo siguiente:

- Incidencia de la radiación sobre el objeto.
 - Parte de la energía es absorbida por el material.
 - Parte lo atraviesa llegando hasta la película fotográfica impresionándola. La cantidad de energía que llega dependerá de espesor del objeto, densidad,... quedando la película sensibilizada.
 - Reducción del haluro de plata sensibilizado: Revelado → Aparición de plata metálica → Ennegrecimiento de la película.

Las zonas de la emulsión que hayan recibido más radiación, tendrán mayor proporción de granos sensibilizados por unidad de superficie y después de revelado, esta zona resultará más oscura por la mayor cantidad de plata liberada.

- **Fijado:** consiste en someter la película a un producto capaz de disolver el haluro no revelado, eliminándolo y dejando transparentes e insensibles las zonas no impresionadas.
- **Lavado:** mediante agua caliente y se introduce en una solución de detergente con alcohol o un detergente suave que activa la evaporación del agua y distribuye uniformemente la humedad sobre la película.

Terminado el proceso de revelado de la película, se obtiene una imagen con áreas más o menos opacas que van desde el negro denso, de las zonas fuertemente impresionadas, al casi perfectamente transparente, de las partes que no han recibido radiación. Esta imagen debe observarse por transparencia en un negatoscopio, distinguiendo:

- **Contraste:** Diferencia entre dos zonas adyacentes.
- **Definición:** Paso de una densidad a otra en dos regiones contiguas no tiene lugar de una forma brusca, sino que existe una zona más o menos amplia en la que se puede observar una serie de densidades intermedias, cuanto más estrecha sea esta zona mejor es la definición.

- **Sensibilidad:** Defecto de menor tamaño que el ensayo es capaz de detectar.

5.2.4 CALIDAD RADIOGRÁFICA

Una vez revelada la película radiográfica es necesario que la imagen obtenida presente una calidad idónea para poderla interpretar.

Esta imagen que se observa en un negatoscopio por transparencia, tendrá una densidad que permita al inspector observar nítidamente todos los detalles. La densidad idónea en radiografías de soldaduras es la comprendida entre los valores 2 y 4, si bien para el valor 4 el negatoscopio deberá tener la adecuada intensidad lumínica.

Las características de las películas varían según las marcas comerciales pero pueden clasificarse en:

- a) Películas de grano muy fino, alto contraste y baja velocidad. (Tipo I, según ASTM)
- b) Películas de grano fino, alto contraste y velocidad media. (Tipo II, según ASTM)
- c) Películas de grano medio, contraste medio y alta velocidad. (Tipo III, según ASTM)

El grado de definición que presenten los bordes de las imágenes depende del tamaño de grano del haluro de plata, que será tanto mayor cuanto menor sea el grano.

El contraste se define como la diferencia de luminosidad que percibe un observador entre dos zonas de la misma imagen radiográfica. Esta posibilidad de percepción depende de:

- los medios para visualizar la imagen,
- la naturaleza y forma del objeto,
- la película utilizada y del revelado,
- la fuente empleada,
- la técnica operatoria.

Para evaluar la calidad de una radiografía se recurre a los llamados indicadores de calidad de imagen o penetrámetros. Son dispositivos contruidos por un material con un

poder de absorción de la radiación semejante a la del objeto que se radiografía. Permiten cuantificar la calidad de imagen de la radiografía.

Debe poseer las características esenciales siguientes:

- Sensible en sus lecturas a los cambios en la técnica radiográfica seguida.
- Método de lectura sencillo y concreto.
- Versátil y de fácil aplicación.
- Pequeño para que su imagen no oculte partes útiles del elemento radiografiado.
- De fácil normalización y económico.
- Incorporará marcas para su identificación.

En Europa se encuentran recogidos en las Normas:

- EN 462-1: Ensayos no destructivos. Calidad de imagen de las radiografías. Parte 1: Indicadores de calidad de imagen (Tipo hilos). Determinación del valor de calidad de imagen.

- EN 462-2: Ensayos no destructivos. Calidad de imagen de las radiografías. Parte 2: Indicadores de calidad de imagen (Tipo taladros y escalones). Determinación del valor de calidad de imagen.

Existen una gran diversidad de indicadores de calidad de imagen entre los que destacan:

- de escalones
- de agujeros
- de hilos.

Los indicadores de escalones consisten en una placa de espesores crecientes, los de agujeros en una serie de placas de espesor uniforme con tres taladros de diámetros función de dicho espesor y los de hilos, en una serie de alambres de diámetros crecientes. De estos indicadores, su utilización según los distintos códigos es la siguiente:

- DIN, IIV y ISO, de hilos
- BWRA, AFNOR y API, de escalones

- ASTM y ASME, de agujeros.

El material del alambre tiene que ser similar al material que se va a radiografiar: *Fe* para materiales férreos, *Al* para aleaciones de aluminio y *Cu* para aleaciones de cobre.

Ejemplo: Indicadores de hilos.

Están contruidos por siete hilos de 50 mm. de longitud equidistantes 5 mm entre si y encapsulados en un material plástico flexible y transparente (figura 3), normalizados para distintos materiales: aluminio, acero y cobre.

La sensibilidad, expresada en tanto por ciento, queda definido por la magnitud D.E. y es la relación del diámetro del hilo más fino visible en la radiografía al espesor total radiografiado:

$$D.E. = \frac{\phi \text{ hilo más fino visible}}{\text{espesor radiografiado}} \times 100$$

El índice de calidad de imagen, IQI es un valor absoluto independiente del espesor radiografiado y corresponde al número de orden del hilo más fino que se ve en la radiografía.

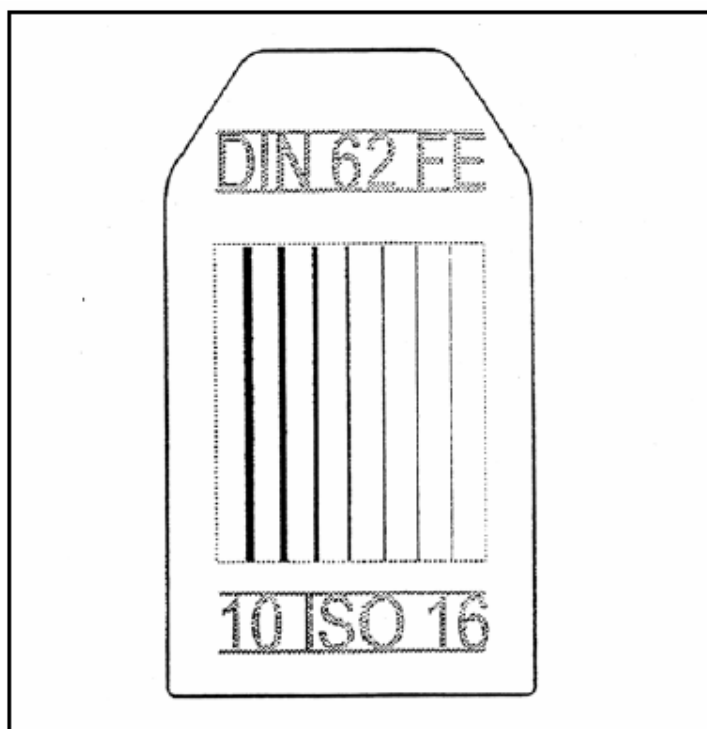


FIGURA 3 – Indicador de calidad de imagen de hilos

La Norma EN 1435:1997 establece en su anexo B, con carácter normativo, los índices de calidad de imagen mínimos que se deben exigir en una radiografía, en función de la técnica radiográfica aplicada. A continuación se exponen algunas tablas a modo de ejemplo.

Calidad de imagen clase A			
Espesor nominal t mm			Valor del IQI
		hasta 1,2	W 18
mayor de	1,2	hasta 2,0	W 17
mayor de	2,0	hasta 3,5	W 16
mayor de	3,5	hasta 5,0	W 15
mayor de	5,0	hasta 7	W 14
mayor de	7	hasta 10	W 13
mayor de	10	hasta 15	W 12
mayor de	15	hasta 25	W 11
mayor de	25	hasta 32	W 10
mayor de	32	hasta 40	W 9
mayor de	40	hasta 55	W 8
mayor de	55	hasta 85	W 7
mayor de	85	hasta 150	W 6
mayor de	150	hasta 250	W 5
mayor de	250	hasta	W 4

INDICES DE CALIDAD DE IMAGEN

5.2.7 TÉCNICAS RADIOGRÁFICAS DE UNIONES SOLDADAS

La técnica para realizar la radiografía de una soldadura depende fundamentalmente de su geometría.

Desde el punto de vista radiográfico, las soldaduras se pueden clasificar como:

- planas, a tope
- circulares, a tope
- en ángulo.

5.2.5.1 Soldaduras planas a tope

Si se trata de soldaduras de bisel con preparación en V, la película se colocará en la zona de la raíz y la fuente de acuerdo con todas las consideraciones anteriormente citadas para que se cumplan las condiciones óptimas relativas a definición y penumbra.

Los indicadores de calidad de imagen se colocarán, siempre que sea posible, del lado de la fuente, los escalones y agujeros paralelos al cordón y los hilos perpendiculares.

Las placas se colocarán solapadas para conseguir una cobertura total del cordón de soldadura siempre que se radiografía al 100%.

5.2.5.2 Soldaduras en ángulo

En general estas soldaduras son difícilmente radiografiadas, siendo necesario estudiar cada caso en particular.

5.2.5.3 Soldaduras circulares a tope

Para realizar las radiografías de estas soldaduras existen tres alternativas:

- a) Fuente interior y película exterior.
- b) Fuente exterior y película interior.
- c) Fuente exterior y película exterior.

Las alternativas a) y b) se agrupan en el método de pared sencilla, mientras que la c) es de doble pared porque la radiación atraviesa dos veces la pared del material que se radiografía.

• Técnica de pared simple.

- Si la unión es accesible por ambos lados → la fuente de radiación se colocará en el interior del tubo o cilindro y la película en el exterior, siempre que las dimensiones del objeto permitan alcanzar la D.F.P. requerida.
- Si ello no fuera posible y la radiografía se podría obtener colocando la película en el interior del cuerpo cilíndrico y la fuente en el exterior.

• **Técnica de pared doble.** La técnica de doble pared, se puede realizar con interpretación de una o de doble pared, la elección de una u otra técnica dependerá únicamente del diámetro exterior del tubo o cuerpo cilíndrico.

- Diámetro grande → Interpretación a una sola pared. Para la radiografía total de la unión, en este caso se precisan por lo menos tres exposiciones a 120°.
- Diámetro pequeño → Interpretación a doble pared. En este caso el eje del haz de radiación debe formar un ángulo suficiente respecto al plano de la soldadura para evitar la superposición de las dos imágenes a que dan lugar la parte de la unión próxima a la fuente de radiación y la que se encuentra junto a la película. La inspección completa de una de estas uniones puede ser realizada con dos exposiciones a 90°.

Las figuras 4 y 5 presenta algunos ejemplos para las disposiciones mencionadas.

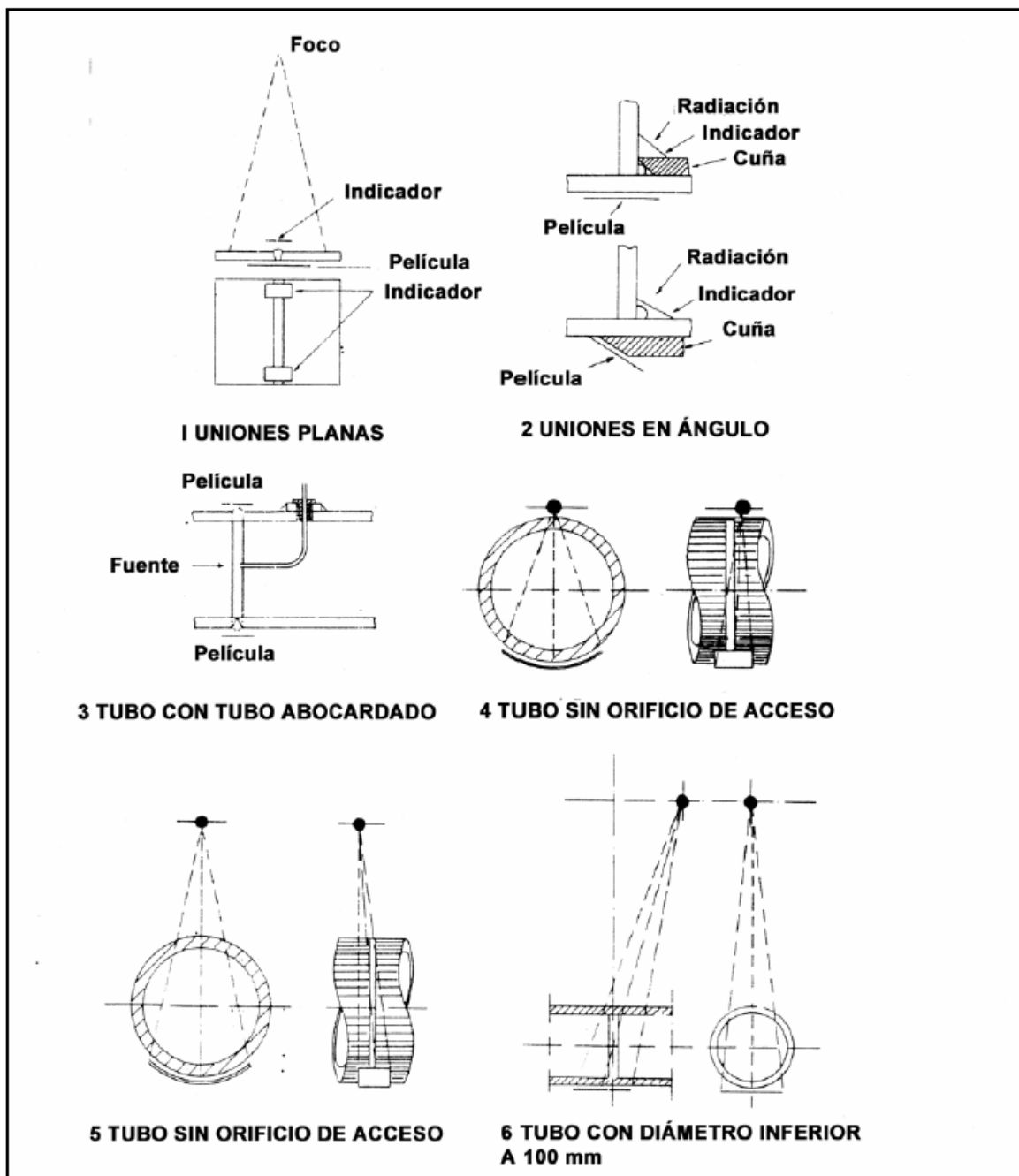


FIGURA 4 – Disposición de elementos que intervienen en una radiografía

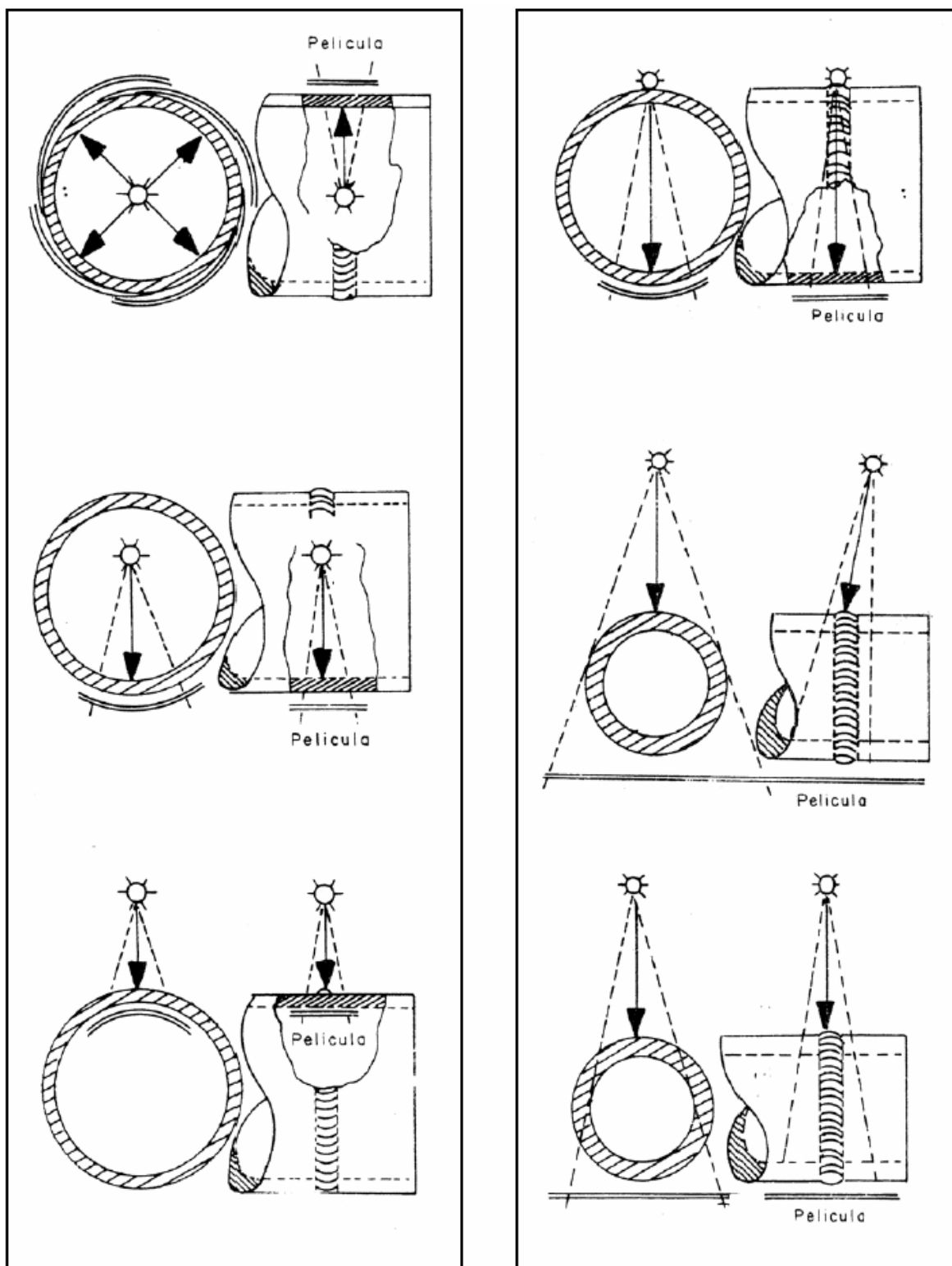


FIGURA 5 – Disposiciones usuales para la radiografía de tuberías.

La Norma UNE-EN 1435: 1998 “*Examen no destructivo de uniones soldadas. Examen radiográfico de uniones soldadas.*” regula todos los aspectos relativos a la realización de las radiografías, incluyendo las distintas técnicas aplicables, cuya clasificación, según norma, es la siguiente:

- Fuente de radiación situada en frente del objeto y con la película por el lado opuesto.
- Fuente de radiación situada en el exterior del objeto con la película en el interior.
- Fuente de radiación centrada en el interior del objeto con la película en el exterior.
- Fuente de radiación descentrada en el interior del objeto, con la película en el exterior.
- Técnica de elíptica.
- Técnica perpendicular.
- Fuente de radiación situada en el exterior del objeto con la película en el otro lado.
- Técnicas para diferentes espesores de material

5.2.8. DISCONTINUIDADES.

Veamos una breve descripción de las indicaciones que se obtienen en función del defecto existente en la pieza radiografiada, relacionándolos con los procesos de soldeo susceptibles de generar este defecto.

- **Falta de penetración.**

- Imagen radiográfica: Línea oscura, continua o intermitente en el centro del cordón de soldadura.

- **Falta de fusión**

- Imagen radiográfica: Línea oscura delgada con bordes muy definidos. La línea puede tender a ser ondulada y difusa, según sea la orientación del defecto respecto a la dirección de la radiación.

El defecto de falta de fusión no siempre es detectable por radiografía. En el caso de que el baño de fusión se derrame sobre la superficie sólida del metal base, este solidificará quedando íntimamente unido, por lo que la radiografía no detectará variaciones volumétricas. El defecto sólo se detecta cuando queda una cavidad como consecuencia de esta falta de fusión.

Este tipo de defecto es especialmente peligroso en soldaduras bajo protección gaseosa, y normalmente se suele presentar entre la pasada de raíz y la segunda pasada.

• **Porosidad.**

o Imagen radiográfica: Aparecen representadas por manchas negras, muy definidas.

Dependiendo del tipo de porosidad pueden presentar distinta morfología, distinguiéndose las que presentan un aspecto circular, poros ordinarios y las que presentan un aspecto de gusano, poros vermiculares.

• **Inclusiones.**

o Imagen radiográfica: Manchas de contorno irregular. Dependiendo del material causante de la inclusión presentan las siguientes tonalidades:

- Manchas oscuras. Inclusiones de óxidos, escorias, restos de flux,...
- Manchas claras: Inclusiones de metales pesados, principalmente tungsteno. Este tipo de defecto aparece en el soldeo TIG, cuando por fusión del electrodo de tungsteno se introduce parte del mismo en el cordón de soldadura. El Tungsteno absorbe en mayor medida la radiación por lo que la presencia de este hace que aparezca en forma de manchas blancas sobre el cordón.

• **Exceso de penetración: Descolgadura.**

o Imagen radiográfica: Aparece como una mancha blanca situada en el centro del cordón con un carácter más o menos continuo.

- **Mordedura.**

o Imagen radiográfica. Aparece como una mancha oscura situada sobre los bordes de la pieza. Cuanto más oscura, más profundidad presenta el defecto. Además si el cambio de tonalidad cambia bruscamente denota un cambio brusco de la mordedura y por tanto una transición menos suaves, lo que resulta especialmente perjudicial para las propiedades de la unión.

Las mordeduras pueden aparecer tanto en el cordón de raíz como en el de peinado.

- **Falta de sobreespesor.**

o Imagen radiográfica. Aparece con un color ligeramente más oscuro respecto al fondo de la pieza.

- **Grietas.**

o Imagen radiográfica. Aparece como una línea oscura, más o menos perfilada.

5.2.9. NIVELES DE ACEPTACIÓN.

Los niveles de aceptación de los defectos vienen referenciados por la Norma UNE-EN 12517: 1998 “Examen no destructivo de soldaduras. Examen radiográfico de uniones soldadas. Niveles de aceptación.”

En función del nivel de calidad de la soldadura, de acuerdo con la Norma EN 25817 o EN 30042, y de conformidad con la Norma EN 1435, se utiliza la técnica radiográfica A o B tal y como aparece en la siguiente tabla, teniendo un cierto nivel de aceptación según la Norma EN 12517.

Niveles de calidad según las Normas EN 25817 o EN 30042	Técnicas de examen y niveles según la Norma EN 1435	Niveles de aceptación según la Norma EN 12517
B	B	1
C	B ¹⁾	2
D	A	3

1) La superficie de una única exposición debe cumplir los requisitos de la clase A de la Norma 1435.

Los niveles de aceptación para las indicaciones aparecen en la tabla de la página siguiente. Los tipos de defectos son los enumerados en la Norma EN 25817.

Los símbolos empleados son los siguientes:

- l longitud de la imperfección, en milímetros;
- s espesor mínimo de la soldadura a tope, en milímetros;
- L longitud examinada de la unión soldada, en milímetros;
- h altura de la imperfección, en milímetros;
- b anchura del refuerzo de la soldadura, en milímetros.

“Definición y Desarrollo de Procedimientos de Soldadura en Tuberías de Aceros Inoxidables para un Proyecto Offshore”

N	Tipo de imperfecciones de conformidad con la Norma EN 26520	Nivel de aceptación 3	Nivel de aceptación 2	Nivel de aceptación 1
1	Grietas (100)	No permitido	No permitido	No permitido
2	Grietas de cráter (104)	Permitido uno por cada 40 mm de la soldadura	No permitido	No permitido
3	Porosidad y poros gaseosos (2011, 2013, 2014 y 2017)	$l \leq \min(0,5 s; 5 \text{ mm})$ $\Sigma l \leq s$ para $L = \min(12 s; 150 \text{ mm})$	$l \leq \min(0,4 s; 4 \text{ mm})$ $\Sigma l \leq s$ para $L = \min(12 s; 150 \text{ mm})$	$l \leq \min(0,3 s; 3 \text{ mm})$ $\Sigma l \leq s$ para $L = \min(12 s; 150 \text{ mm})$
4	Sopladuras (2016)	$l \leq \min(0,5 s; 4 \text{ mm})$ $\Sigma l \leq s$ para $L = \min(12 s; 150 \text{ mm})$	$l \leq \min(0,4 s; 3 \text{ mm})$ $\Sigma l \leq s$ para $L = \min(12 s; 150 \text{ mm})$	$l \leq \min(0,3 s; 2 \text{ mm})$ $\Sigma l \leq s$ para $L = \min(12 s; 150 \text{ mm})$
5	Inclusiones sólida metálicas (300) y sopladuras alargadas (2015)	$l \leq 2 s$ $\Sigma l \leq L / 10$	$l \leq s$ $\Sigma l \leq L / 10$	$l \leq \max(0,3 s; 6 \text{ mm})$ y $l \leq 25 \text{ mm}$ $\Sigma l \leq s$ para $L = \min(12 s; 150 \text{ mm})$
6	Inclusiones de cobre (3042)	No permitido	No permitido	No permitido
7	Falta de fusión (401)	Permitido pero sólo intermitentemente y si no rompe a superficie $l \leq 25 \text{ mm}$ y $\Sigma l \leq 25 \text{ mm}$ para $L = \min(12 s; 150 \text{ mm})$	No permitido	No permitido
8	Falta de penetración (402)	$l \leq 25 \text{ mm}$ y $\Sigma l \leq 25 \text{ mm}$ para $L = \min(12 s; 150 \text{ mm})$	Permitido si no rompe a superficie $l \leq 12 \text{ mm}$ y $\Sigma l \leq 15 \text{ mm}$ para $L = \min(12 s; 150 \text{ mm})$	No permitido
9	Mordedura (501)	Se requiere una suave transición $h \leq 1,5 \text{ mm}$	Se requiere una suave transición $h \leq 1 \text{ mm}$	Se requiere una suave transición $h \leq 0,5 \text{ mm}$
10	Exceso de penetración (504)	Moderadamente alto $h \leq \min[5 \text{ mm}; (1 \text{ mm} + 1,2 b)]$	Bastante alto $h \leq \min[4 \text{ mm}; (1 \text{ mm} + 0,6 b)]$	Con la forma correcta Suave transición al metal base $h \leq \min[3 \text{ mm}; (1 \text{ mm} + 0,3 b)]$
11	Descolgadas (5041)	Permitido	Exceso puntual permitido si la transición es suave	
12	Cebado de arco, salpicaduras o proyecciones (601), (602)	La aceptación del cebado de arco depende del tipo de metal base y de la probabilidad de fisura		
		La aceptación de salpicaduras y proyecciones depende del tipo de metal base		

- 1) Los niveles de aceptación 3 y 2 pueden especificarse con el prefijo X que indica que todas las indicaciones superiores a 25 mm son inaceptables.
- 2) Imperfecciones de la superficie: Los niveles de aceptación son los establecidos para el examen visual. Estos son, normalmente, aceptados o rechazados en el examen visual.

5.3. LÍQUIDOS PENETRANTES

5.3.1. INTRODUCCIÓN

El examen por líquidos penetrantes es un método de ensayo no destructivo, mediante el cual es posible detectar discontinuidades abiertas a la superficie, en materiales sólidos no porosos.

Básicamente el ensayo consta de las siguientes etapas:

- Se aplica un líquido sobre la superficie de la muestra previamente limpiada que penetra por capilaridad en las discontinuidades o grietas.
- Se elimina el exceso de líquido penetrante y
- se aplica un revelador que extrae el líquido contenido en las discontinuidades que emerge a la superficie y puede ser observado.

5.3.2. MATERIALES Y EQUIPOS

5.3.2.1. Tipos de Líquidos Penetrantes.

Los líquido penetrantes se clasifican conforme a dos criterios distintos:

En función de sus propiedades ópticas:

- **Penetrantes coloreados.** Contienen una mezcla de pigmentos y colorantes rojos, resultando observables con luz natural, razón por la cual son interesantes en sus aplicaciones a la inspección a pie de obra. Suelen emplear eliminadores especiales que hacen innecesaria el agua del lavado.

- **Penetrantes fluorescentes.** Generalmente son de color amarillo. Incorporan en su composición, un pigmento fluorescente sensible y visible bajo iluminación con luz negra adecuada. En general, presentan mayor sensibilidad que los coloreados.

Atendiendo a su composición química y el sistema de eliminación del exceso de penetrante que haya quedado por la superficie:

• **Penetrantes lavables con agua.** Son penetrantes que se eliminan directamente con agua debido a que en su formulación se les ha incorporado tensoactivos o detergentes que les hace solubles en agua. Lavando la pieza con agua, bien por inmersión o por pulverización, la pieza quedará limpia y libre del exceso de penetrante. Son de uso muy cómodo y su empleo está bastante extendido, a pesar de su menor sensibilidad.

• **Penetrantes post-emulsionables.** El penetrante no es por sí soluble en agua y necesita una etapa intermedia entre la penetración y el lavado con agua. En esta etapa se aplica un agente tensoactivo al que se denomina emulsificador.

De la unión penetrante-emulsificador resulta una mezcla que es soluble y lavable con agua.

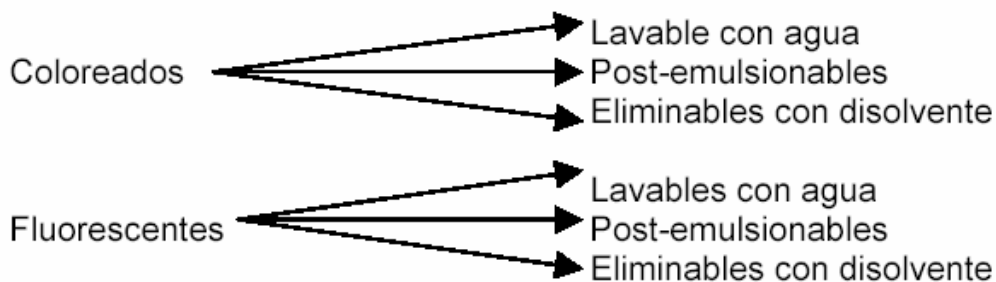
En este tipo de penetrantes, el tiempo de contacto penetrante-emulsificador, es crítico y debe ser el más corto posible ya que, si el tiempo de contacto aumenta, puede ocurrir que el emulsificador se mezcle con el penetrante que se encuentra en el interior de la discontinuidad, lo que de producirse daría lugar a que al lavar se extraería esta parte del penetrante y haría ineficaz el ensayo.

• **Penetrantes eliminables con disolvente.** Estos penetrantes requieren para su eliminación el empleo de un disolvente especial al que se llama eliminador. Por lo general los eliminadores a base de disolventes, son productos especiales, particularmente formulados por cada fabricante y apropiados para eliminar sus propios penetrantes.

Al igual que en el caso anterior, el eliminador solo debe estar en contacto con el penetrante el tiempo suficiente para eliminar el exceso del mismo, pero este tiempo debe ser el mínimo posible, ya que si se abusa se corre el riesgo de eliminar, parte o todo, el penetrante que se encontraba en el interior de la discontinuidad.

Generalmente, el eliminador a base de disolventes es el que se utiliza cuando el proceso se realiza por pulverización con aerosol.

Por cada uno de los tipos de líquidos penetrantes se pueden utilizar cada una de las tres clasificaciones con lo cual podríamos hacer la siguiente clasificación general:



5.3.2.2. Eliminadores

El exceso de penetrante que no ha entrado en los defectos tiene que ser eliminado sin eliminar simultáneamente el que penetró en la discontinuidad. El modo de eliminación depende del tipo de penetrante empleado, por lo que se pueden presentar los siguientes casos:

5.3.2.2.1. Caso de penetrantes eliminables con agua.

Se eliminan con agua. No requieren nada especial.

5.3.2.2.2. Caso de penetrantes post-emulsionables.

Requieren un agente emulsificador que al ser incorporado al penetrante de lugar a una mezcla que sea lavable con agua. Existen dos tipos de emulsificadores: base aceite y base agua.

Los emulsificadores base aceite o lipofílicos, son una mezcla de agentes tensoactivos en aceites que se mezclan y disuelven el penetrante, dando lugar a una emulsión cuando el agua actúa sobre esta mezcla, siendo esta emulsión eliminable por el mismo agua.

Los emulsificadores hidrofílicos o base agua, son una mezcla de agentes tensoactivos e inhibidores de corrosión, que actúan por un proceso de humectación que reduce la tensión superficial de los aceites que contienen los penetrantes los cuales son desplazados por el eliminador acuoso y el agua.

5.3.2.2.3 Caso de penetrantes eliminables con disolventes.

Actúan por su acción disolvente sobre el penetrante.

Suelen ser productos especiales, particularmente fabricados por cada fabricante y adecuados para un tipo determinado de sus propios penetrantes. Se pueden ser clasificados en dos grandes grupos según sean o no inflamables.

5.3.2.3. Reveladores

Los reveladores están formados por polvo seco o una dispersión de una sustancia pulverulenta en un líquido, con una gran capacidad de absorción, capaz de extraer el penetrante retenido en la discontinuidad, quedando manchado con el color característico de dicho penetrante que se extiende a través de él por capilaridad.

La imagen que se hace visible, suele ser algo más grande que el defecto real.

Los reveladores suelen ser blancos para mejorar el contraste respecto al color o la fluorescencia de los penetrantes utilizados.

5.3.2.3.1. Propiedades de los reveladores.

Los reveladores deben cumplir, en mayor o menor grado, con las siguientes características:

- Deben ser absorbentes para asegurar un máximo en el poder secante.
- Deben estar finamente divididos para conseguir una buena definición del contorno de las discontinuidades.
- Deben tener el suficiente poder cubriente para enmascarar los colores de fondo de la muestra que pudieran interferir.
- Deben ser fácilmente aplicables dando una capa continua de espesor uniforme.
- Deben ser fácilmente eliminables después de la inspección y no deben contener productos nocivos o tóxicos para el operador.

5.3.2.3.2. Tipos de reveladores.

Básicamente tenemos tres tipos de reveladores:

- **Reveladores secos.** Deben ser ligeros, esponjosos y capaces de adherirse con facilidad a las superficies metálicas, formando sobre ellas una capa continua, sin dar lugar a capas gruesas, ya que, el espesor de la capa de revelado puede influir en la obtención de indicadores que enmascararían las que pueden producirse procedentes de las discontinuidades.

Es importante también que el revelador no tenga tendencia a flotar en el aire dando lugar a nubes de polvo que dificulten la inspección. Ejemplos de reveladores secos son el yeso, el talco y actualmente otros como la sílice amorfa pulverizada que son más ligeros y proporcionan mejores resultados.

- **Suspensiones de polvo en agua.** Presentan la ventaja de no dar lugar a la formación de nubes de polvo, son de fácil aplicación y pueden llegar a cubrir zonas no accesibles al polvo seco, como desventaja, en general, son menos sensibles y además presentan el problema de mantenimiento de la suspensión.

El empleo de estos reveladores acuosos presenta ciertas limitaciones a la temperatura. Necesitan un cierto tiempo para que se evapore el agua, lo cual influye en una mayor duración del ensayo.

- **Suspensiones de polvo en disolventes.** En general se utilizan para los penetrantes rojos y están formados por un polvo blanco en suspensión en un disolvente orgánico volátil. Estos productos suelen presentarse envasados en forma de aerosoles, lo que facilita su aplicación por pulverización, sobre la superficie a examinar.

5.3.2.4. Equipos e instalaciones

Los equipos e instalaciones que se utilicen al realizar una inspección por líquidos penetrante, deberán garantizar la correcta ejecución y control de todas las operaciones del proceso de inspección. Como equipos podemos mencionar la utilización de lámparas que nos proporcionen la iluminación necesaria. (tanto luz negra para los penetrantes fluorescentes como luz blanca para los coloreados).

5.3.3. PROCESO DE INSPECCIÓN

La figura 6 muestra un esquema de las principales etapas necesarias para la realización de este ensayo.

En el anexo A se incluye un flujograma de las operaciones de acuerdo con la Norma EN 571-1.

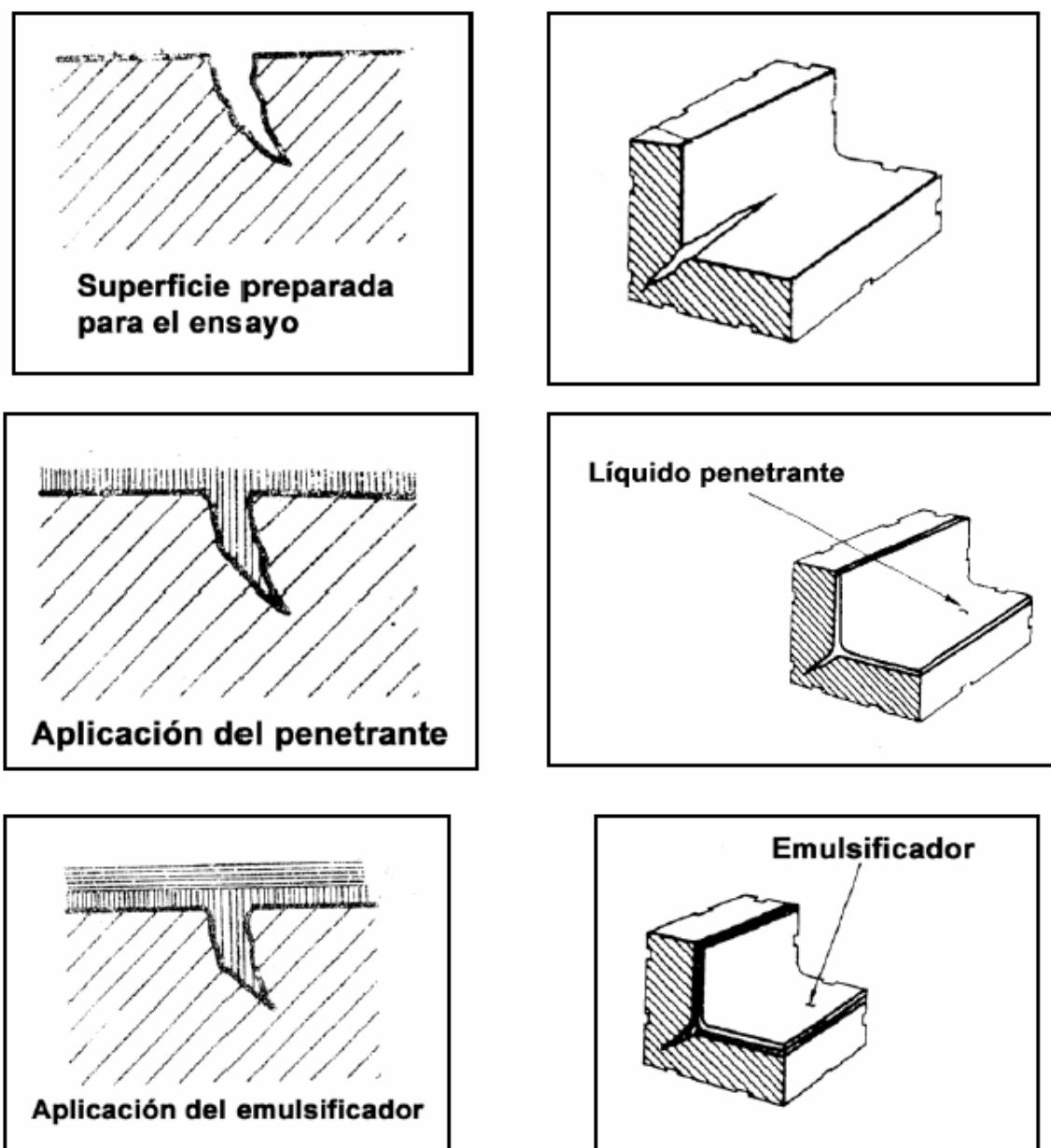


Figura 6 – Etapas del ensayo por líquidos penetrantes

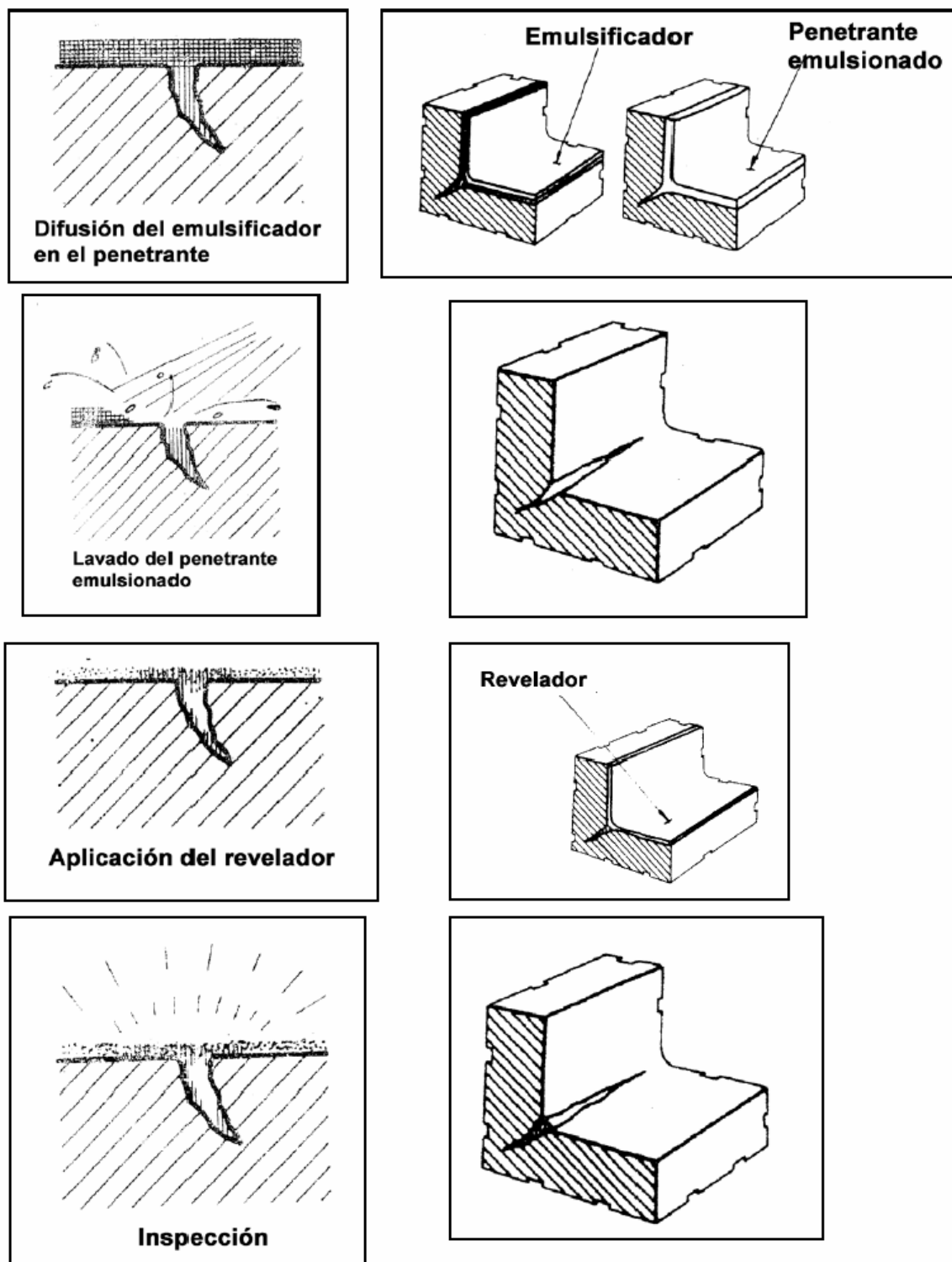


FIGURA 6 (continuación) – Etapas del ensayo por líquidos penetrantes

5.3.3.1. Preparación de superficies.

Todas las piezas y materiales, antes de la inspección líquidos penetrantes, deberán estar limpios, secos y exentos de todo tipo de contaminación y materiales

extraños que puedan enmascarar las discontinuidades que afloran a la superficie, producir indicaciones falsas, irrelevantes o interferir en el proceso de inspección.

La limpieza de la superficie puede realizarse por medios mecánicos o químicos.

Finalmente, después de la limpieza y preparación de la superficie, se procede a un secado de la misma.

5.3.3.2. Aplicación del penetrante.

En primer lugar se deberá elegir el penetrante adecuado en cada caso concreto de inspección. Las principales ventajas y limitaciones de los penetrantes se recogen en la tabla 1.

VENTAJAS Y LIMITACIONES EN EL EMPLEO DE LÍQUIDOS PENETRANTES	
PENETRANTE FLUORESCENTE AUTOEMULSIONABLE	
VENTAJAS	LIMITACIONES
<p>La fluorescencia le proporciona una muy buena visibilidad.</p> <p>Se puede lavar directamente con agua.</p> <p>Se puede utilizar en superficies rugosas.</p> <p>Gran economía de tiempo en el proceso.</p> <p>Bueno para una amplia gama de discontinuidades.</p>	<p>El lavado excesivo puede disminuir la sensibilidad.</p> <p>El anodizado puede afectar su sensibilidad.</p> <p>El cromado puede afectar su sensibilidad.</p> <p>No es adecuado para discontinuidades de poca profundidad.</p> <p>Precisa de cámara oscura, dotada de luz negra, para la observación</p>
PENETRANTE FLUORESCENTE POSTEMULSIONABLE	
VENTAJAS	LIMITACIONES
<p>La fluorescencia le proporciona una muy buena visibilidad.</p> <p>Tiene alta sensibilidad para discontinuidades pequeñas.</p> <p>Puede detectar discontinuidades abiertas y de poca profundidad.</p> <p>Tiempo de penetración corto.</p> <p>Puede utilizarse en piezas cromadas o anodizadas.</p>	<p>No es lavable directamente con agua.</p> <p>La aplicación del emulsificador alarga el tiempo del ensayo.</p> <p>Precisa de cámara oscura, dotada de luz negra, para la observación.</p> <p>Difícil de aplicar en productos rugosos.</p> <p>A veces se hace difícil el lavado en zonas inaccesibles.</p> <p>Suele ser inflamable.</p>

TABLA 1 – Ventajas y limitaciones en el empleo de los líquidos penetrantes

VENTAJAS Y LIMITACIONES EN EL EMPLEO DE LÍQUIDOS PENETRANTES	
PENETRANTE COLOREADO	
VENTAJAS	LIMITACIONES
Se puede emplear en equipos portátiles.	Suele ser inflamable.
No es necesaria luz negra para su observación.	Las indicaciones son menos visibles que las obtenidas con penetrantes fluorescentes.
Puede emplearse en piezas en las que no esté permitido el uso de agua para su lavado.	Difícil de aplicar en piezas rugosas, tales como piezas moldeadas en arena.
Puede utilizarse sobre piezas anodizadas.	
Es muy sensible para pequeñas discontinuidades.	

TABLA 1 – Ventajas y limitaciones en el empleo de los líquidos penetrantes (continuación)

5.3.3.2.1. Elección del penetrante

A la vista de los datos expuestos en la tabla se deduce:

- Los penetrantes fluorescentes post-emulsionables son los que presentan mayor sensibilidad y su aplicación permite detectar pequeñas discontinuidades y requiere un tiempo corto de penetración, sin embargo la aplicación del emulsificador alarga el tiempo de ensayo. Es el sistema ideal para ensayos de gran producción.

- Los penetrantes fluorescentes lavables con agua, aunque menos sensibles que los anteriores, resultan más económicos, siendo su sensibilidad suficiente para una gran parte de las discontinuidades, no es adecuado para discontinuidades poco profundas. Su mayor inconveniente es que un lavado excesivo puede disminuir la sensibilidad.

Ambos sistemas presentan como desventaja la necesidad de tener que emplear una cámara oscura, dotada de luz negra para la observación.

- Los penetrantes fluorescentes eliminables con disolventes, emplean un procedimiento que se puede equiparar al seguido por los post-emulsionables. Está particularmente recomendado para la inspección por zonas y en aquellos casos en que no puede ser utilizado el agua. Es más sensible que el penetrante fluorescente lavable con agua.

- El sistema más simple y de aplicación más rápida es el de los penetrantes coloreados lavables con agua. Sin embargo es el sistema menos sensible.

- El sistema que resulta más indicado para su utilización en instalaciones portátiles, (inspecciones a pie de obra) es el de los penetrantes coloreados eliminables con disolventes. El sistema es muy sensible para pequeñas discontinuidades aunque las indicaciones son menos visibles que las obtenidas con penetrantes fluorescentes. Un inconveniente importante es su aplicación en superficies rugosas.

- Por último los penetrantes coloreados post-emulsionables, presentan mayor sensibilidad que sus equivalentes eliminables directamente con agua, pero la aplicación del emulsificador encarece el proceso.

5.3.3.2.2. Aplicación del penetrante

Para la aplicación del penetrante se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones:

- El penetrante podrá ser aplicado por inmersión, con brocha o pulverización.
- El tiempo de penetración es crítico.
- El penetrante deberá aplicarse a temperaturas entre 10°C y 50°C, según Norma EN 571-1.

5.3.3.2.3. Tiempos de penetración

En todos los sistemas y sea cual sea el tipo de penetrante que se utilice, el tiempo necesario para una correcta penetración depende fundamentalmente del tipo de discontinuidad, del propio penetrante, de la temperatura de la pieza y del material de que esté constituida.

Este tiempo suele oscilar entre 5 y 60 minutos, si bien se aconseja tener en consideración los tiempos de penetración recomendados por el fabricante. En cualquier caso debería ser igual al tiempo utilizado para determinar la sensibilidad del ensayo, de acuerdo con EN 571-1.

5.3.3.3. Aplicación del emulsificador.

La función del emulsificador es la de permitir la eliminación del exceso de líquido penetrante mediante el lavado con agua de la superficie.

Su aplicación sólo es precisa cuando se trabaja con penetrantes post-emulsionables. El tiempo de emulsificación no debe sobrepasarse para evitar emulsificar el penetrante introducido en los posibles defectos. Inmediatamente tras dicho tiempo es preciso lavar la superficie con agua.

5.3.3.4. Eliminación del exceso de líquido penetrante.

El objetivo consiste en eliminar el líquido que no ha penetrado en las discontinuidades, de manera que en la observación final haya suficiente contraste de las posibles indicaciones sobre el fondo limpio.

Se lleva a cabo de diversas formas según el carácter del líquido penetrante:

- **Penetrantes lavables con agua.** El exceso de penetrante puede ser eliminado por lavado con agua, bien por inmersión de la pieza o pulverizando con agua sobre ella. El tiempo de lavado dependerá del estado de rugosidad de la superficie, si bien, de una forma general, se puede decir que varía entre 15 segundos y 2 minutos.

- **Penetrantes post-emulsionables.** El emulsificador puede ser aplicado por pulverización o inmersión, empleándose uno u otro sistema según sea el tamaño de la pieza. Como ya hemos dicho antes el tiempo de emulsificación sí es crítico, estando muy influenciado por el estado de la superficie y el tipo de discontinuidad que se busca. Este tiempo puede variar entre pocos segundos y algunos minutos.

Después de la emulsificación, la mezcla de penetrante más emulsificador debe ser eliminada con agua empleando el procedimiento descrito para los penetrantes lavables con agua.

- **Penetrantes eliminables con disolvente.** En este caso el exceso de penetrante debe ser eliminado lo más rápidamente posible. La eliminación o limpieza se hará frotando la superficie con trapos impregnados con el disolvente y repitiendo la operación hasta la total eliminación del penetrante pero teniendo la precaución de no extraer el

penetrante de las discontinuidades. La limpieza de la superficie con chorro de disolvente, esta prohibida.

En la eliminación del exceso de penetrante hay que evitar arrastrar el líquido atrapado en los posibles defectos, por lo que esta etapa debe realizarse con sumo cuidado.

5.3.3.5. Secado

Eliminado el exceso de penetrante y antes de aplicar el revelador, las zonas a inspeccionar deberán secarse. La forma de operar será la siguiente:

- Cuando se hayan empleado penetrantes lavables con agua o post-emulsionables, la superficie se secará con trapos limpios o con corrientes de aire caliente con temperaturas entre 80°C y 105°C y no sobrepasando la temperatura de la superficie por encima de 52°C.

Los reveladores acuosos podrán ser aplicados sobre las superficies húmedas o después de haber sido secadas con aire caliente pero no con trapos.

- Cuando se empleen penetrantes eliminables con disolventes, la superficies se podrán secar por evaporación normal con trapos o con corrientes de aire.

5.3.3.6. Aplicación del revelador

El revelador se aplicará tan pronto como sea posible, una vez que el exceso de penetrante haya sido eliminado de la superficie a examinar. Pueden emplearse tanto reveladores secos como húmedos para penetrantes fluorescentes, y solamente reveladores húmedos para penetración coloreados.

- Reveladores secos. Podrán aplicarse con brocha, con pulverizador manual, con pistola en cámara de pulverización o por inmersión.

- Reveladores húmedos. Constituidos por una solución o una suspensión de un polvo en agua o en un disolvente volátil, pueden ser aplicados por inmersión, con brocha o por pulverización, de forma que se obtenga una capa delgada sobre la superficie a inspeccionar. Se aplicarán normalmente por pulverización. En primer lugar

se debe seleccionar el revelador adecuado El espesor de la capa de revelador, debe ser tal que la película seca que resulta de la evaporación del vehículo acuoso o no acuoso en el que va dispersado el polvo, debe de ser de espesor uniforme.

Si el espesor de la capa es grueso, produce enmascaramiento de las grietas muy finas, mientras que una capa demasiado fina y no homogénea en espesor da lugar a que la interpretación presente ciertas dificultades.

Aunque el tiempo de revelado no suele ser crítico, un exceso en él podía dar lugar a una difuminación de las indicaciones. De una forma aproximada podemos considerar que el tiempo de revelado se dará la mitad del tiempo de penetración.

5.3.3.7. Observación.

La observación se puede realizar a simple vista con luz natural si se trata de penetrantes coloreados o bajo luz negra, en el caso de que se hayan empleado penetrantes fluorescentes.

Antes de realizar esta inspección es preciso dejar un tiempo prudencial de revelado, pasado el cual se examinará los elementos tan pronto como sea posible para evitar la pérdida de definición.

Cualquiera que sea el tipo de penetrante empleado, la indicación a que da lugar es consecuencia de una discontinuidad que aflora a la superficie del objeto y señala su situación, poniéndose de manifiesto por el contraste de color o fluorescencia sobre el fondo del revelador, de las cantidades de penetrante extraídas y retenidas en la capa del revelador.

5.3.3.8. Interpretación de las indicaciones.

5.3.3.8.1. Introducción.

Normalmente, las indicaciones obtenidas por líquidos penetrantes no permiten cuantificar adecuadamente las dimensiones de la imperfección que las ha generado. El verdadero tamaño y tipo de la discontinuidad no es fácil de evaluar si el penetrante se difunde excesivamente en el revelador.

En consecuencia, una buena práctica consiste en observar la superficie durante la aplicación del revelador con el fin de detectar la naturaleza de cualquier indicación que tienda a dispersarse o extenderse demasiado, dando lugar a que la indicación aparezca difusa.

Si la superficie a examinar es demasiado extensa, la observación podrá hacerse por zonas.

Dependiendo del penetrante utilizado puede ser necesario recurrir a distintos instrumentos para la interpretación, así pues:

- Penetrantes coloreados. La indicación de la discontinuidad se manifiesta por el contraste de color, generalmente rojo, sobre el fondo blanco de la capa más o menos uniforme del revelador. Para alcanzar una mayor sensibilidad, la inspección deberá hacerse bajo una iluminación adecuada.

- Penetrantes fluorescentes. El mecanismo de formación de la indicación, esencialmente, es el mismo que el expuesto anteriormente con la única diferencia de que la observación deberá realizarse iluminando la superficie a examinar con luz negra filtrada.

En la evaluación de las discontinuidades se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones.

- Todas las indicaciones serán evaluadas de acuerdo con los criterios de aceptación establecidos por la normativa aplicable.

- Cualquier discontinuidad abierta a la superficie dará lugar a una indicación. Sin embargo, irregularidades en las condiciones superficiales pueden dar lugar a falsas indicaciones.

- En el caso de producirse amplias o extensas zonas con coloración o fluorescencia, las cuales pueden enmascarar las indicaciones de las discontinuidades, el examen no será aceptable y deberán ser limpiadas y examinadas de nuevo.

Los líquidos penetrantes no pueden detectar inclusiones, segregaciones, presencias de materiales extraños, o cualquier otra heterogeneidad a menos que exista una abertura asociada al defecto.

Un caso particular en el examen por líquidos penetrantes es la detección de fugas en tubos, bridas, soldaduras y otros elementos de recipientes a presión donde la estanqueidad es el problema principal. En estos casos, el líquido penetrante se aplica por uno de los lados y el revelador por el otro, y la aparición de indicaciones pone de evidencia discontinuidades pasantes, demostrando, sin lugar a dudas, que el recipiente no podrá ser empleado sin reparaciones en trabajos a presión.

5.3.3.8.2. Aspecto de las indicaciones.

Las indicaciones pueden presentar cualquiera de las formas siguientes:

- **Indicaciones lineales continuas.** Son las indicaciones típicas procedentes de grietas (tales como grietas de fatiga, grietas de contracción en piezas moldeadas o en uniones soldadas, grietas de temple, grietas de corrosión bajo tensiones,... Naturalmente pueden presentar ramificaciones.

- **Indicaciones lineales intermitentes.** Suelen presentarse en pliegues de forja parcialmente soldados, en faltas de fusión en uniones soldadas. Algunos tipos de grieta, tales como las de corrosión bajo tensión suelen dar origen a indicaciones de este tipo.

- **Indicaciones redondeadas.** Suelen aparecer en productos moldeados como consecuencia de rechupes o sopladuras internas más o menos grandes que afloran a la superficie a través de pequeñas aberturas.

- **Indicaciones puntiformes agrupadas o dispersas.** Se corresponden con zonas de porosidad del material o bien zonas con presencia de microrrechupes.

- **Indicaciones difusas.** Pueden deberse a microrrechupes, si bien existe la posibilidad de que sean causadas por la propia rugosidad de la pieza.

Además, en función del aspecto de los bordes de la indicación, se puede asimilar las indicaciones con bordes nítidos con discontinuidades estrechas que retienen poco

penetrante. Por el contrario, discontinuidades difusas hacen pensar en cavidades más grandes.

Existen otros elementos de juicio para interpretar las indicaciones como son:

- **Brillo y extensión de la indicación.** La intensidad de la fluorescencia o del color de la indicación están en relación directa con el volumen de la discontinuidad. Lo mismo puede decirse de la extensión de la indicación.

- **Tiempo necesario para que aparezca la indicación.** Es inversamente proporcional al volumen de la discontinuidad. Así, las discontinuidades grandes aparecen rápidamente, mientras que habrá que dejar actuar al revelador un cierto tiempo para que vayan apareciendo las más pequeñas. En este caso influyen otras consideraciones como son la temperatura de la pieza, características del proceso,...

- **Persistencia de la indicación.** Es un buen indicio para estimar el tamaño de una discontinuidad. Si la indicación reaparece después de eliminar el revelador y volver a aplicarlo, es evidente que existía un remanente de líquido penetrante. La intensidad y extensión de esta nueva indicación puede dar la medida del volumen de la discontinuidad.

5.3.3.8.3. Indicaciones falsas.

Son aquellas indicaciones que no se corresponden con discontinuidades reales de la pieza. La aparición de estas puede estar originadas por tres causas diferentes:

- **Lavado defectuoso de las piezas.** Es la causa más frecuente.
- **Manipulación poco cuidadosa.** Por ejemplo si el revelador aparece contaminado con el penetrante.
- **Geometría y construcción de la pieza,** que permita retener el penetrante durante la eliminación del exceso del mismo,...

5.3.4. CRITERIOS DE ACEPTACIÓN SEGÚN LA NORMA UNE-EN 1289.

5.3.4.1. Generalidades.

La anchura de la superficie de ensayo debe incluir el metal de soldeo y la zona adyacente del metal base hasta una distancia de 10 mm de cada lado.

En general, las indicaciones obtenidas por el ensayo de líquidos penetrantes no representan la misma forma y medida que la imperfección que es la causa de la indicación. Para los fines de esta norma, debería evaluarse la medida de la indicación por relación con los valores indicados en la tabla 2.

Puede utilizarse un esmerilado local para mejorar la clasificación de toda o parte de la superficie a ensayar cuando sea necesario trabajar con un nivel de detección superior que el previsto por el estado de la superficie de la soldadura, según la tabla 2.

Los niveles de aceptación para las soldaduras de materiales metálicos están indicados en la tabla 2.

Tabla 2

Tipo de indicación	Nivel de aceptación ¹⁾		
	1	2	3
Indicación lineal <i>l</i> = longitud de la indicación	$l \leq 2$	$l \leq 4$	$l \leq 8$
Indicación no lineal <i>d</i> = Medida del eje mayor	$d \leq 4$	$d \leq 6$	$d \leq 8$

1) Los niveles de aceptación fijados para las indicaciones lineales son los correspondientes al nivel de evaluación. Las indicaciones de dimensiones inferiores no deben tenerse en cuenta. Normalmente, las indicaciones aceptables no deben registrarse.

5.3.4.2. Evaluación de las indicaciones.

La evaluación inicial debe efectuarse como se indica en la Norma 571-1 y la evaluación final de la dimensión de la indicación debe realizarse después de que el tiempo mínimo de desarrollo indicado ha transcurrido y antes de que la indicación haya decaído hasta el punto de no representar el origen de la imperfección.

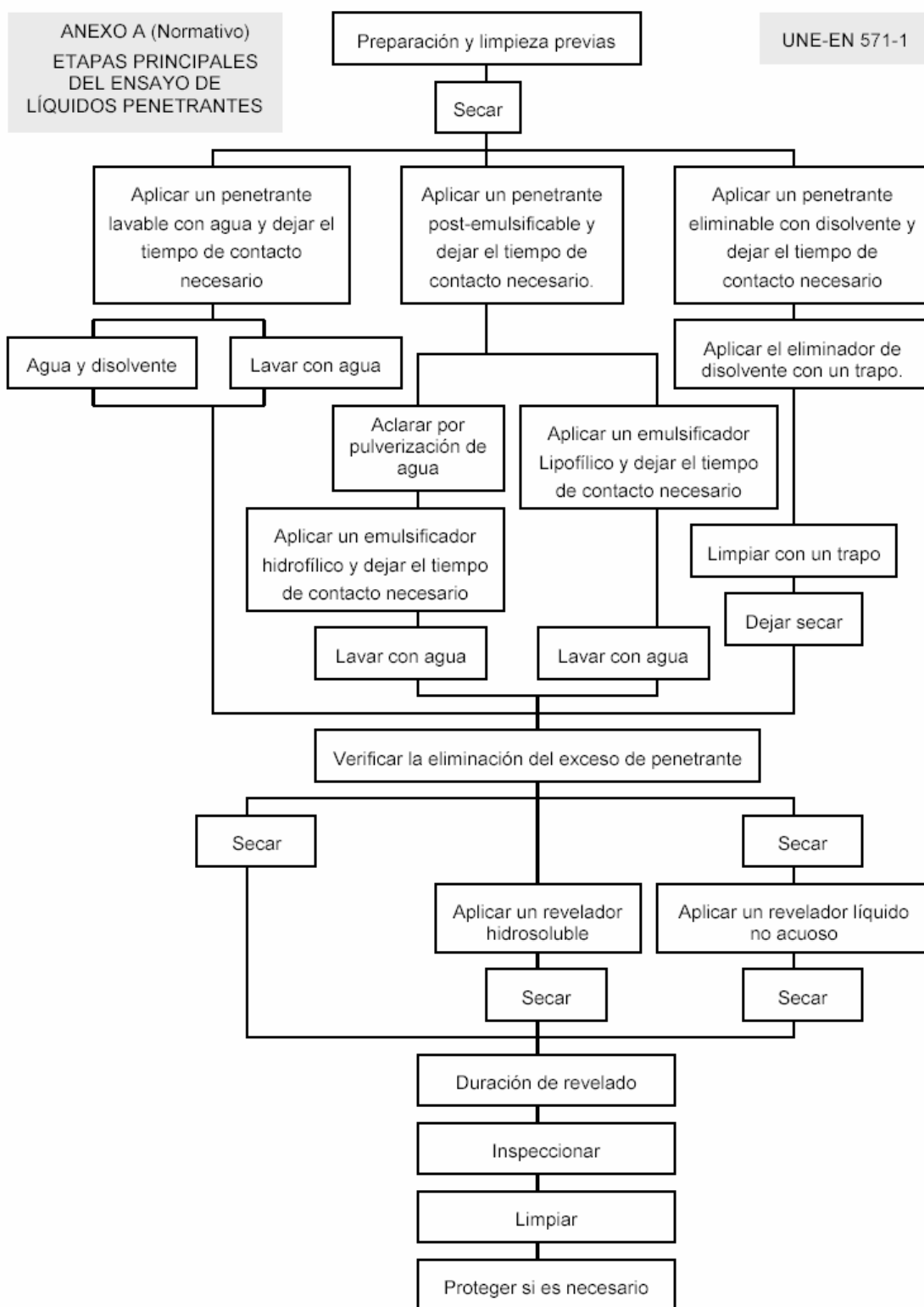
5.3.4.3. Indicaciones agrupadas.

Cuando dos indicaciones adyacentes están separadas por una distancia inferior a la mayor dimensión de la más pequeña de las dos indicaciones, deben tratarse como si fuera una sola indicación continua.

Las indicaciones agrupadas deben evaluarse de acuerdo con una norma de aplicación.

5.3.4.4. Eliminación de imperfecciones.

Cuando la especificación del producto lo permita, puede efectuarse un esmerilado local para reducir o eliminar las imperfecciones que son el origen de las indicaciones inaceptables. Todas las zonas así tratadas deben someterse a un nuevo ensayo con el mismo producto penetrante y la misma técnica.



Penetrante		Eliminador del exceso de penetrante		Revelador	
Tipo	Denominación	Método	Denominación	Forma	Denominación
I	Penetrante fluorescente	A	Agua	a	Seco
II		B	Emulsificador lipofílico; 1. Emulsificador base aceite 2. Aclarado con agua corriente	b	Soluble en agua
III	Penetrante coloreado Penetrante mixto (fluorescente y coloreado)	C	Disolvente (líquido)	c	Suspensión en agua
		D	Emulsificador hidrofílico; 1. Pre-aclarado opcional (agua); 2. Emulsificante (disuelto en agua); 3. Aclarado final (agua)	d	Base-disolvente (húmedo no acuoso)
		E	Agua y disolvente	e	Soluble en agua, suspensión en agua o base disolvente para aplicaciones especiales (por ejemplo revelador pelable)

ANEXO 6
ENSAYOS MECÁNICOS

ANEXO 6 – ENSAYOS MECÁNICOS

6.1.- INTRODUCCIÓN A LOS ENSAYOS MECÁNICOS

Las características o propiedades mecánicas son el resultado del comportamiento del material cuando se le somete a sollicitaciones sencillas, fácilmente reproducibles. Esas pruebas reciben el nombre de ensayos mecánicos y sus resultados permiten, en su conjunto, predecir, con una elevada probabilidad de acierto, la respuesta del material frente a los sistemas de carga, mucho más complejos, a que estará sometido en servicio.

6.2.- ENSAYOS MECÁNICOS

La determinación de ciertas propiedades de los materiales, llamadas características o propiedades mecánicas corresponden al comportamiento de los materiales cuando se les somete a sollicitaciones sencillas, fácilmente reproducibles. Esas pruebas reciben el nombre de ensayos mecánicos.

Se acostumbra a clasificar las propiedades mecánicas de los metales en dos grandes grupos: las relacionadas con la resistencia, que miden la aptitud del material para resistir cargas estáticas, y las relacionadas con la ductilidad, que, de una parte, gobiernan en gran medida su capacidad para soportar sin romperse cargas dinámicas y, de otra, su aptitud para aceptar, sin agrietarse o romperse, la deformación plástica que se requiere en ciertos procesos de conformación.

Los ensayos mecánicos son ensayos destructivos y permiten analizar los materiales bajo las mismas condiciones que deberán soportar en la práctica, pudiendo el ensayo estar relacionado con un producto, proceso o con ambos. En este anexo se van a examinar tan sólo los ensayos mecánicos aplicables en la cualificación de nuestros procedimientos.

6.2.1. Ensayo de tracción

El ensayo de tracción consiste en someter a una muestra del material estudiado, de forma y dimensiones normalizadas, a una fuerza de tracción axial que crece lenta y gradualmente hasta la rotura de la misma.

Durante la prueba se miden ciertas propiedades del material que proporcionan una información sobre su aptitud para resistir cargas estáticas (resistencia) y sobre su deformabilidad (ductilidad).

Las probetas de ensayo pueden ser de sección circular (probetas cilíndricas) o rectangular (probetas primásticas) y sus dimensiones principales deben acomodarse a lo que establecen las normas o especificaciones del ensayo utilizadas.

En todo caso, las probetas tienen un cuerpo central de sección constante, llamado también parte calibrada que se une, a través de acuerdos, con las cabezas reforzadas sobre las que se realiza el agarre con las mordazas de la máquina de tracción. En la parte calibrada de la barreta se practican dos marcas separadas por una distancia L_0 llamada longitud inicial o entre puntos.

El cuerpo central de la probeta y sus cabezas están adecuadamente dimensionados para asegurar que la rotura siempre tiene lugar entre referencias. De no ser así, el ensayo sería nulo y habría de repetirse sobre otra probeta del mismo material.

Cuando se carga la probeta, la longitud entre puntos aumenta con la fuerza de tracción, de forma que un valor F de ésta corresponde una distancia entre referencias L . La máquina de ensayos mide continuamente el valor F de la carga y la variación $L-L_0$ de la distancia entre puntos o el desplazamiento del actuador, relacionando ambas magnitudes mediante un gráfico. La extensión de la probeta va acompañada de una contracción lateral, es decir, de una reducción de la sección recta, que si, inicialmente, tenía un valor S_0 , valdrá S cuando la fuerza sobre la probeta sea F .

En realidad, la relación entre F y $L-L_0$ que proporciona el gráfico dibujado por la máquina, no informa sobre el comportamiento del material, pues el desplazamiento $L-L_0$

tiene distinto significado según se haya producido en una probeta más corta o más larga y la fuerza F tampoco dice nada sobre la intensidad de la sollicitación que soporta el material, que dependerá del área de la sección recta de la probeta.

Para la obtención de valores que sean independientes de la geometría de la muestra ensayada, lo que se hace es normalizarlos, utilizando en vez de la fuerza aplicada la tensión:

$$\sigma = F/S_0 \text{ [N/m}^2\text{]}$$

y en vez del desplazamiento el alargamiento unitario:

ambas magnitudes son independientes de las dimensiones de la probeta hasta la carga de rotura.

$$\varepsilon = \Delta L / L_0 = \frac{L - L_0}{L_0}$$

Obsérvese que ε , como es el cociente de dos longitudes se expresa por un número adimensional.

De esta forma, el diagrama que traza la máquina, con las adecuadas correcciones de escala, proporciona una relación entre la tensión y el alargamiento unitario, o sea, entre la sollicitación de la probeta medida por σ y su deformación ε , magnitudes éstas independientes ya de la geometría de la probeta, por lo que dicha relación es ya una característica del material. La gráfica proporcionada por la máquina se llama curva convencional de tracción (engineering stress-strain curve).

6.2.1.1. Propiedades obtenidas en el ensayo de tracción

Módulo de elasticidad. En la primera parte del ensayo de tensión, la deformación que efectúa el metal es de naturaleza elástica. Esto es, si se retira la carga colocada sobre la muestra, la muestra volverá a su longitud original. Para los metales la máxima deformación elástica es normalmente inferior al 0.5 por 100. En general, los metales y las

aleaciones muestran una relación lineal entre el esfuerzo y la deformación en la región elástica del diagrama esfuerzo-deformación que está descrito por la ley de Hooke:

$$\sigma \text{ (esfuerzo)} = E \varepsilon \text{ (deformación)}$$

donde E es el módulo de elasticidad o módulo de Young.

La mayor parte de los metales muestran una curva convencional de tracción como la de la Figura 1.

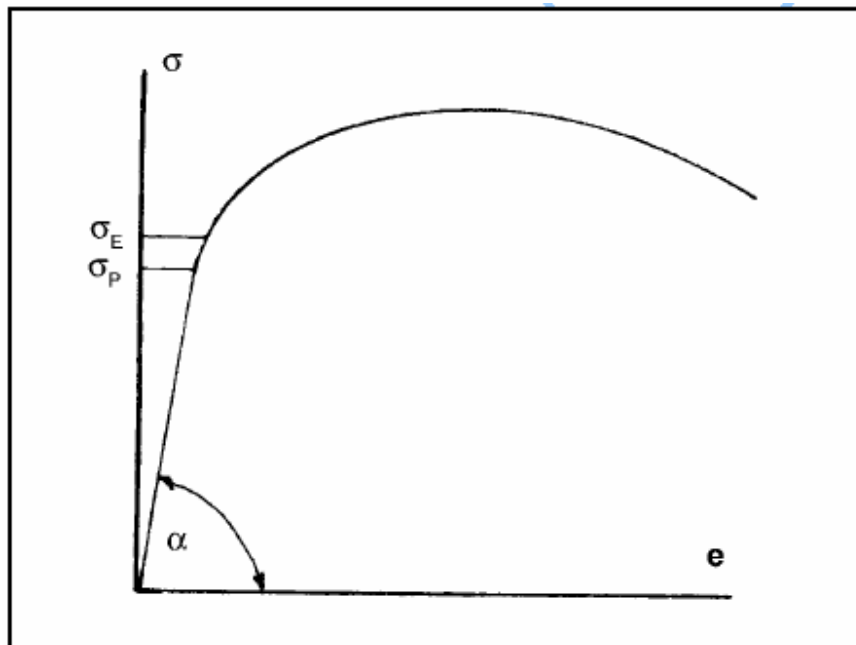


FIGURA 1 - CURVA APARENTE TENSIÓN-DEFORMACIÓN

Límite elástico. Es la fuerza a la que un metal o aleación muestra una deformación plástica significativa. Debido a que no hay un punto definido en la curva de esfuerzo-deformación donde termina la deformación elástica y empieza la deformación plástica, el límite elástico se elige como aquel esfuerzo para el que se produce una cantidad definida de deformación plástica.

El límite elástico para una deformación del 0.2 por 100, también llamado límite elástico convencional a 0.2 por 100, se determina a partir del diagrama de la figura 2. Primero se traza una línea paralela a la parte elástica (lineal) de la gráfica esfuerzo-

deformación a 0.002 m/m de la deformación. Después, en el punto donde esta línea corta a la parte superior de la curva esfuerzo-deformación, se traza una línea horizontal al eje de esfuerzo. El límite elástico convencional a 0.2 por 100 es el esfuerzo donde la línea horizontal corta al eje del esfuerzo.

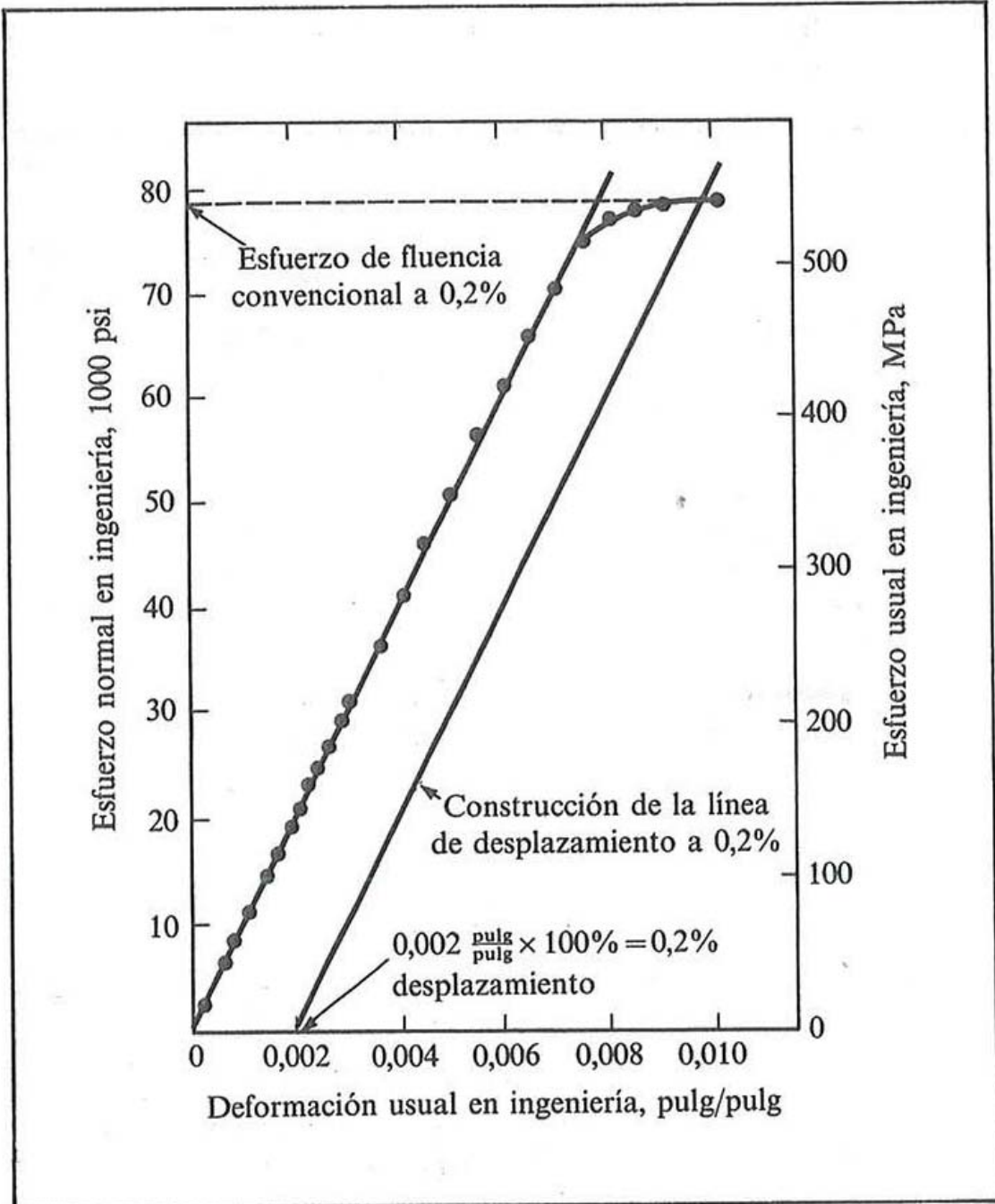


Figura 2

Tensión de rotura. La tensión de rotura es la máxima fuerza alcanzada en la curva esfuerzo-deformación. Si la muestra desarrolla una disminución localizada en el área de la sección transversal (comúnmente llamada garganta o estricción) (figura 3), el esfuerzo usual en ingeniería disminuirá con la deformación hasta que se produzca la rotura, puesto que el esfuerzo usual en ingeniería se determina usando el área de la sección transversal original de la muestra. Cuanto más dúctil es un metal, más se alargará la muestra antes de la rotura, por consiguiente, mayor será la disminución en el esfuerzo sobre la curva esfuerzo-deformación más allá del esfuerzo máximo.

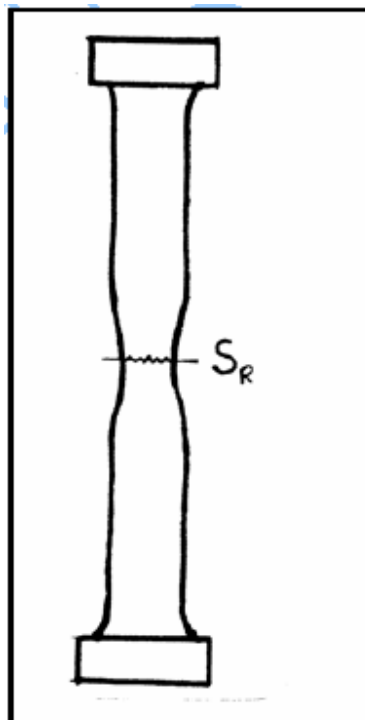


Figura 3
Estricción producida en una probeta ensayada a tracción

La tensión de rotura de un metal se determina trazando una línea horizontal desde el punto máximo de la curva esfuerzo-deformación al eje del esfuerzo. El esfuerzo donde esta línea corta al eje de esfuerzo se llama tensión de rotura o, a veces, simplemente resistencia a la tensión.

Porcentaje de alargamiento. El alargamiento representa la máxima extensión plástica unitaria que el metal puede soportar antes de romperse. La cantidad de alargamiento que una muestra extensible experimenta durante la prueba proporciona un

valor de la ductilidad de un metal. En general, a mayor ductilidad (cuanto más deformable es el metal) mayor es el porcentaje de alargamiento.

$$\% \text{ alargamiento} = \frac{\text{Longitud final}^* - \text{Longitud inicial}^*}{\text{Longitud inicial}^*} \times 100\%$$

*La longitud inicial es la longitud entre la marca de calibración sobre la muestra antes de la prueba. La longitud final es la longitud entre esa misma marca de calibración después de la prueba cuando se unen las superficies fracturadas de la muestra.

El porcentaje de alargamiento a la fractura es de importancia no sólo como medida de ductilidad, sino también como un índice de la calidad del metal. Si hay porosidad o inclusiones en el metal o si ha ocurrido un daño debido al sobrecalentamiento, el porcentaje de alargamiento de la muestra tratada disminuiría por debajo de lo normal.

Porcentaje de estricción. La ductilidad de un metal se puede expresar en términos de porcentaje de tracción. Esta cantidad se obtiene generalmente a partir de la prueba de tracción usando una muestra de 0.50 pulg (12.7 mm) de diámetro. Después del ensayo se mide el diámetro de la sección transversal reducido en la fractura. Usando las medidas de los diámetros inicial y final, el porcentaje de estricción puede ser determinado de la ecuación:

$$\% \text{ estricción} = \frac{\text{Area inicial} - \text{Area final}}{\text{Area inicial}} \times 100\%$$

El porcentaje de estricción, como el porcentaje de alargamiento, es una medida de la ductilidad del metal y proporciona también una idea de la calidad. El porcentaje de estricción podría disminuir por la presencia de defectos tales como inclusiones y/o porosidades en la muestra.

Trabajo absorbido o energía absorbida: Durante la realización de un ensayo de tracción el material absorberá una cierta cantidad de energía mientras se deforma y parte

la almacenará, transformando el trabajo que contra él realizan las fuerzas exteriores en energía de deformación.

La capacidad del material para absorber energía mientras se deforma elásticamente y restituirla mientras se descarga, en un proceso reversible, se llama energía elástica o también energía interna elástica. Se define como el trabajo absorbido por el material, por unidad de volumen, durante la deformación elástica y equivale al área OAB de la Figura 4. Su valor se expresa así:

$$\sigma_E^2 / 2E$$

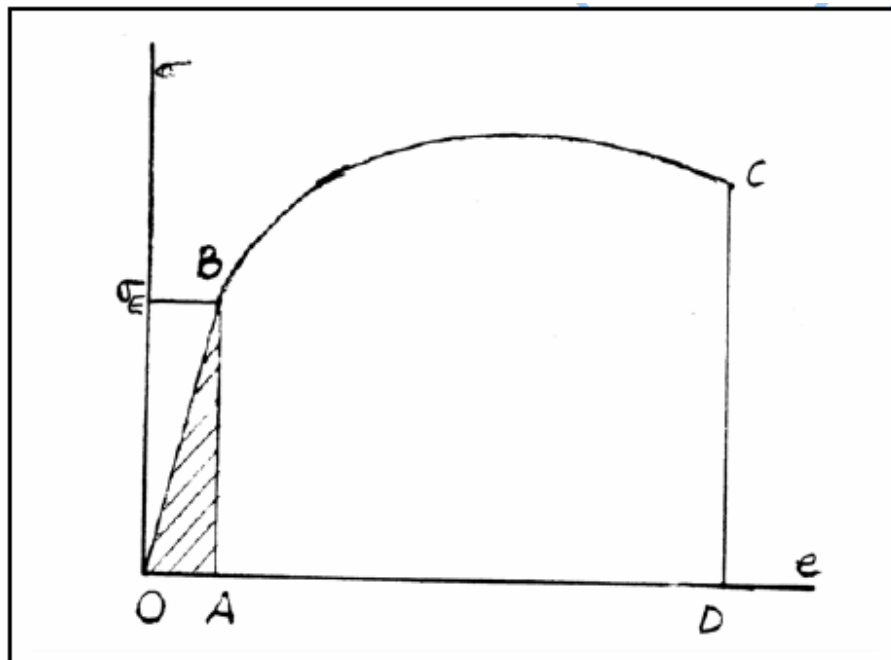


Figura 4 – Trabajo absorbido durante la deformación elástica.

Se ve que los materiales que tuvieran un elevado límite elástico, σ_E , y un módulo elástico, E, reducido poseerían una energía elástica muy alta. Esas dos propiedades no se dan, sin embargo, simultáneamente en los metales, que tienen, en general, módulos elásticos grandes. Por tanto, se consigue mejorar su energía elástica mediante tratamientos, como el temple en los aceros o el estirado en frío, que incrementan el límite elástico. Se consiguen así materiales que son capaces de almacenar gran cantidad de

energía elástica mientras se deforman y devolverla cuando se los descarga, cualidad que se precisa en muelles, ballestas, etc.

Llamamos energía plástica de un material a su capacidad para absorber trabajo mientras se deforma plásticamente. De ella depende su aptitud para resistir sin romperse tensiones ocasionales, de corta duración, superiores al límite elástico, lo que es de gran utilidad en elementos tales como cadenas de fondo de buques, acoplamientos de vagones, ganchos de grúa, etc.

6.2.2. Ensayo de dureza

La dureza es una propiedad de los materiales que identifica el comportamiento de su superficie al interactuar con otros materiales.

En los metales, la dureza, es la resistencia que oponen esos materiales a ser penetrados superficialmente por otros cuerpos. Fundándose en ella se han ideado diversos sistemas de medir la dureza, que coinciden en esencia y consisten en aplicar un penetrador, de forma y dimensiones fijas, contra la superficie preparada de una superficie a ensayar, bajo una carga suficientemente grande como para asegurar una deformación permanente localizada. Se mide, después, la dimensión de la huella causada por el penetrador o la recuperación de la superficie después de retirada la carga aplicada. La dureza se obtiene numéricamente como función de esa dimensión o recuperación experimentada por el material.

A continuación, se describirán los sistemas de medida de durezas de uso más corriente utilizados en metales, analizando el de dureza Vickers por ser el que nos aplica.

6.2.2.1. Dureza Brinell

Este ensayo utiliza un penetrador consistente en una bola de acero de 10 mm de diámetro, que se comprime contra la superficie de la muestra mediante una fuerza de 3.000 kg. El valor de dureza se calcula a partir de la medida del diámetro de la huella y es

igual al cociente de dividir la carga F por la superficie de la huella considerada como un casquete esférico. La dureza Brinell se designa por HB (Hardness Brinell).

6.2.2.2. Dureza Vickers

Emplea como penetrador una pirámide de diamante de base cuadrada en la que las caras opuestas forman un ángulo diedro de $136^\circ \pm 1$. La carga que actúa sobre el penetrador puede ser de 1, 5, 10, 30, 50, 100 y 150 Kg. En nuestro caso utilizaremos una carga de 10 kg, Hv10.

La carga debe actuar durante un tiempo de 15 seg.

La dureza Vickers (HV) al igual que la Brinell, se obtiene de dividir la carga en kg por la superficie verdadera de la huella en mm. Esta superficie se expresa en función de la diagonal de la huella.

Las huellas estarán separadas unas de otras, y de los bordes de la muestra, una distancia no inferior a 2,5 l.

6.2.2.3. Dureza Rockwell

El ensayo Rockwell fue ideado especialmente para materiales duros que no podían ser ensayados adecuadamente por el método Brinell. En el ensayo Rockwell se utilizan alternativamente, un penetrador cónico de diamante o un penetrador esférico de acero, cuyo diámetro puede ser 1/16", 1/8", 1/4" ó 1/2". El penetrador cónico tiene un ángulo en el vértice de 120° y la punta está redondeada con un radio de 0,2 mm.

En el ensayo Rockwell actúan dos cargas diferentes. Primero se aplica una carga pequeña de 10 kg, y luego además de aquella, actúa otra carga mayor de 90 o 140 kg, según se emplee como penetrador una bola o un diamante. La dureza Rockwell es función de la diferencia entre la penetración conseguida cuando actúa la carga pequeña y la profundidad de la huella permanente que hicieron las dos cargas actuando simultáneamente.

Para piezas de dureza alta se emplea como cuerpo penetrador el cono de diamante y las durezas obtenidas se denominan Rockwell-C a partir de 22HRc, sino emplear HRb.

Para materiales blandos se utiliza la bola de acero templado de 1/16” y las durezas obtenidas se denominan Rockwell-B

La dureza Rockwell se expresa con las iniciales HR seguidas de la que corresponde a la escala empleada.

Los ensayos de dureza aparecen reguladas en distintas normativas y códigos. En Europa son de aplicación las siguientes Normas:

- EN-1043-1:1996 “Ensayos destructivos de soldaduras en materiales metálicos. Ensayo de dureza. Parte 1: Ensayo de dureza en uniones soldadas por arco”.
- EN-1043-2:1997 “Ensayos destructivos de soldaduras en materiales metálicos. Ensayo de dureza. Parte 2: Ensayo de microdureza en uniones soldadas”
- ISO 6507-1:1997 “Materiales metálicos. Ensayo de dureza Vickers. Parte 1: Método de ensayo”
- ISO 6507-2:1997 “Materiales metálicos. Ensayo de dureza Vickers. Parte 2: Comprobación de las máquinas de ensayo”.
- ISO 6507-3:1997 “Materiales metálicos. Ensayo de dureza Vickers. Parte 3: Calibración de bloques de referencia”.

6.2.3. Ensayo de doblado

La medición de la ductilidad se realiza en el ensayo de tracción por medio del alargamiento, que nos determina la ductilidad general del material, como conjunto todo él, y por medio de la estricción, que nos determina la ductilidad localizada en la zona de fractura, pero en dicho ensayo no es posible determinar si existen secciones fragilizadas en la probeta, es por ello que se hace necesario el ensayo de doblado o plegado, para la confirmación de dicha ductilidad.

Dado que la ductilidad se define como la medida de la deformación plástica que puede soportar el material antes de romper, el ensayo se realiza doblando la probeta con una curvatura determinada hasta que las dos ramas de la misma queden paralelas o formando un ángulo determinado.

Al doblar la probeta, su cara exterior queda sometida a tracción, debiendo ser observada durante el ensayo para poder apreciar la posible formación de grietas que correspondería a una rotura del material por tracción.

6.2.3.1. Probetas

Las probetas a utilizar deberán estar de acuerdo con la norma o especificación con la que se vaya a ensayar, aunque en general éstas tienen cierta similitud.

La norma UNE 7-292 es la que define las probetas a usar en el ensayo de doblado.

6.2.3.2. Realización del ensayo

El ensayo se realiza colocando la probeta sobre dos apoyos cilíndricos con la parte a someter a tracción en contacto con dichos apoyos.

Por la parte superior de la probeta y en el centro de los apoyos se presionará con un mandril cilíndrico, cuya longitud deberá ser mayor que el ancho de la probeta.

Uno de los parámetros más importante del ensayo es el diámetro del mandril, ya que es el que define la curvatura y por tanto la sollicitación a la que se somete la parte traccionada de la probeta. A mayor radio de mandril, menor curvatura y por tanto menor esfuerzo. El diámetro del mandril viene fijado por las normas, atendiendo al tipo de material a ensayar.

El diámetro de los rodillos de apoyo, así como su separación y la fuerza con que se aplica el mandril no tienen influencia en el ensayo, puesto que no afecta a la curvatura que se produce en la probeta. A pesar de ello las normas definen estas magnitudes con la finalidad de evitar flechas excesivas.

La carga se aplica lentamente hasta alcanzar el ángulo de doblado especificado o hasta la aparición de grietas. Si el doblado es hasta 180° y no puede terminarse con el dispositivo del mandril, se finalizará con un tornillo de banco o mediante compresión hasta que las ramas queden paralelas y a una distancia igual al diámetro del mandril, lo que se obtienen interponiendo suplementos entre las dos ramas.

6.2.4 Ensayos de impacto

Existen diferentes procesos para determinar el comportamiento de los materiales bajo la acción de cargas dinámicas. Todos ellos tratan de evaluar la existencia de una cierta deformación plástica antes de que se produzca la rotura. Es decir de la capacidad de absorción de energía del material cuando la aplicación de la carga se realiza en un intervalo muy corto de tiempo. Nos centraremos en los ensayos Charpy, por ser los que aplican a los procedimientos de soldadura que se estamos diseñando.

6.2.4.1. Ensayo Charpy

El Charpy o ensayo de resiliencia representa bastante bien la tenacidad o resistencia de un material a la rotura frágil, por lo que su uso está muy generalizado. El ensayo relaciona el comportamiento de un material sometido a la aplicación de una carga resultante de las tensiones multiaxiales asociadas con una entalla, simultáneamente con una alta velocidad de aplicación de la carga y la temperatura a la que se realiza el ensayo.

La probeta se rompe por la acción de un péndulo de elevada masa que parte de una posición inicial a una altura H_0 . Cuando el péndulo atraviesa la posición más baja, la cuchilla situado en ella, golpea sobre la probeta en la sección entallada, por la parte opuesta a la entalla y rompe la muestra. El péndulo asciende entonces hasta una altura H_F . La energía consumida en la rotura de la probeta, será la diferencia de energía potencial entre la altura antes y después de la rotura.

Las pérdidas en el cojinete y por resistencia del aire son muy pequeñas y la esfera de la máquina tiene ya una corrección para que su lectura proporcione de manera directa la energía consumida en la rotura, que se denomina resiliencia del material.

Las probetas que se utilizan para el ensayo se representan en la Figura 5. Debe observarse que las más empleadas son las ISO V que aseguran una mejor reproducibilidad de la prueba. De todas formas una característica del ensayo de resiliencia es que adolece de marcada dispersión de resultados por lo que, generalmente, se prescribe dar como valor de esa propiedad la media de las resiliencias obtenidas en tres ensayos.

Las resiliencias medidas en probetas ISO con entalla en V se representan con las letras KV si se expresan en Julios (J). Si se emplean probetas ISO con entalla en U la resiliencia se designa con las letras KU si se da en J. Todos los péndulos se calibran (E-23 ASTM) o (EN-10045-1): es crítica esa calibración.

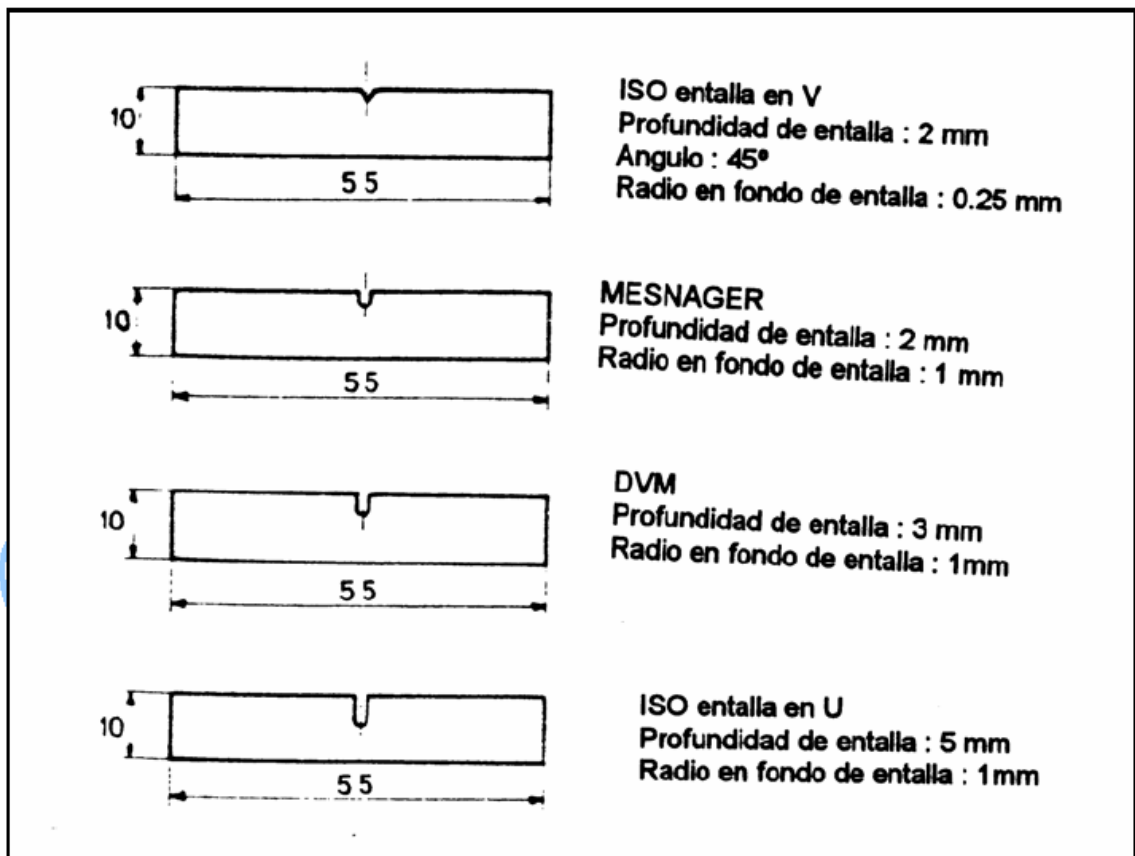


FIGURA 5 – PROBETAS NORMALIZADAS PARA EL ENSAYO CHARPY

Para ensayar las probetas a bajas temperaturas se las enfría en un medio refrigerante adecuado. Desde el momento en que se extrae la probeta del baño hasta que se rompe no deben transcurrir más de 5 segundos.

6.3. OTROS ENSAYOS MECÁNICOS

Los ensayos expuestos hasta ahora son ensayos de utilización general para la caracterización de los materiales. En ocasiones, por las particulares circunstancias de trabajo en servicio, puede ser necesario verificar el comportamiento de los materiales en condiciones especiales, haciéndose necesario el determinar otras propiedades mecánicas adicionales a las obtenidas anteriormente. Por ejemplo, la norma NORSOK M-601 exige la realización de ciertos ensayos mecánicos para la soldadura de aceros inoxidables tipo 6Mo y duplex. A continuación se describirán aquellos que aplican a los procedimientos de soldadura que se están definiendo:

6.3.1 Ensayo de Corrosión

NORSOK M-601 establece que las soldaduras de acero inoxidable tipo 6Mo, duplex 25Cr y aleaciones de níquel que vayan a ser utilizadas en servicio marino deben llevar ensayo de corrosión de acuerdo con ASTM G48 Método A.

Las dimensiones de la probeta deben ser de 25 mm a lo largo de la soldadura por 50 mm transversal a la soldadura y por el espesor de pared total de la pieza.

El ensayo se realizará sobre las superficies internas y externas así como sobre el corte transversal de la soldadura, incluyendo la zona soldada en todo su espesor.

La probeta llevará unos cortes o entallas de acuerdo con ASTM G48. La pieza será atacada (20% HNO_3 + 5% HF , 60°C, 5 min). El tiempo de exposición será 24 horas y la temperatura de ensayo, 40°C.

Una vez concluido en ataque, se comprobará que no existe corrosión por picaduras a una magnificación de 20x y que la pérdida de peso de la pieza debido al ataque no excede los 4.0 g/m².

6.3.2 Examen Microestructural

De acuerdo con NORSOK M-601, debe examinarse la microestructura de los aceros inoxidables duplex tipo 22Cr y 25Cr. El ensayo debe comprender el metal soldado, la zona afectada térmicamente y el metal base del tubo.

Se examinará la microestructura a 400x de magnificación y se comprobará que esta libre de carburos en los bordes de grano y de precipitados.

Para los aceros inoxidables duplex tipo 22Cr y 25Cr, se determinará el contenido en ferrita en la raíz y el peinado del metal de soldadura de acuerdo con ASTM E 562 y deberá estar en el rango entre 25-65%.

ANEXO 7
FORMATOS DE WPS Y WPQR

ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDEO WELDING PROCEDURE SPECIFICATION WPS		WPS:			
		PAGINA 1 DE 2			
		REV	FECHA	REV	FECHA
ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO No.: _____ SOPORTADO POR EL W.P.Q.R. No. _____ FABRICANTE _____ CÓDIGO / NORMA _____ PROCESO(S) DE SOLDADURA _____					
UNIONES TIPO DE UNIÓN Y TIPO DE SOLDADURA _____ RESPALDO _____ DETALLES DEL RESANADO / RESPALDO _____ METODO DE PREPARACION Y LIMPIEZA _____					
DISEÑO DE LA UNIÓN		SECUENCIA DE SOLDEO			
METALES BASE DESIGNACION DEL METAL BASE _____ ESPEJOR DEL MATERIAL _____ DIAMETRO EXTERIOR _____ OTROS _____		GRUPO O SUBGRUPO CUALIFICADO _____ RANGO DE ESPESOR CALIFICADO _____ RANGO DE DIAMETRO CALIFICADO _____			
METALES DE APORTE DESIGNACION DE LOS CONSUMIBLES _____ MARCA DE LOS CONSUMIBLES _____ REQUISITOS ESPECIALES DE SECADO _____ TAMAÑO METAL APORTE _____					
POSICIONES POSICION (ES) DE SOLDEO _____ POSICION(ES) CUALIFICADA(S) _____					
PRECALENTAMIENTO TEMP. MIN. PRECALENTAMIENTO (°C) _____ TEMP. MAX. ENTRE PASADAS (°C) _____ POST-CALENTAMIENTO _____ MANTENIMIENTO PRECALENTAMIENTO _____					
FABRICANTE		APROBADO POR			
FECHA		FECHA			

ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDEO
WELDING PROCEDURE SPECIFICATION
WPS

WPS:			
PAGINA 2 DE 2			
REV	FECHA	REV	FECHA

TRATAMIENTO TERMICO POSTSOLDEO

RANGO DE TEMPERATURAS _____
 VEL. DE CALENTAMIENTO (°C/hora) _____
 RANGO DE PERMANENCIA (min) _____
 VEL. DE ENFRIAMIENTO (°C/hora) _____

GAS

	GAS(ES)	COMPOSICION %	CAUDAL
PROTECCION	_____	_____	_____
ARRASTRE	_____	_____	_____
RESPALDO	_____	_____	_____

CARACTERISTICAS ELECTRICAS (QW-409)

CORRIENTE (AC or DC) _____ RANGO INTENSIDAD _____
 POLARIDAD _____ RANGO DE VOLTAJE _____
 TAMAÑO Y TIPO ELEC. TUGSTENO _____
 MODO DE TRANSFERENCIA (GSFCAW) _____
 VEL. ALIMENT. DEL ALAMBRE (mm/min) _____

DETALLES DE SOLDEO

CARA	PASADA	PROCESO	METAL DE APORTE		CORRIENTE			RANGO VELOCIDAD (mm/min)	HEAT INPUT (KJ/mm)
			CLASIFICACION	DIAM.	TIPO POLAR.	RANGO AMP.	RANGO VOLT.		

TECNICA

LIMPIEZA INICIAL Y ENTRE PASADAS _____
 METODO DE SANEAR LA RAIZ _____
 OSCILACION (ANCHO MAX. DE LA PASADA) _____
 OSCILACION: AMPLITUD, FRECUENCIA, TIEMPO DE PARADA _____
 DISTANCIA BOQUILLA - PIEZA (mm) _____
 DETALLES DEL SOLDEO POR PLASMA _____
 OTROS _____

FABRICANTE	APROBADO POR
FECHA	FECHA

CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA
WELDING PROCEDURE QUALIFICATION RECORD
WPQR

WPQR :

PAGINA 1 DE 3

REV	FECHA	REV	FECHA

CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO No. _____

ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO N° _____

PROCESO(S) DE SOLDADURA _____

CODIGO / NORMA DE PRUEBA _____

FABRICANTE _____

DIRECCION _____

NOMBRE / IDENTIFICACION DEL SOLDADOR _____

METALES BASE

ESPECIFICACION DEL MATERIAL _____

TIPO Y GRADO _____

GRUPO O SUBGRUPO DEL MATERIAL BASE _____

ESPEJOR DE LA PROBETA _____

DIAMETRO EXTERIOR DEL TUBO _____

OTROS _____

METALES DE APORTE

DESIGNACION _____

MARCA _____

DIMENSIONES _____

POSICIONES

TIPO DE UNION _____

POSICION _____

OTROS _____

PRECALENTAMIENTO

TEMP. PRECAL. (°C) _____

TEMP. ENTRE PASADAS (°C) _____

POST-CALENTAMIENTO _____

OTROS _____

TRATAMIENTO TERMICO POSTSOLDEO

TEMPERATURA _____

TIEMPO _____

OTROS _____

GAS

	DESIGNACION	GAS(ES)	MEZCLA %	CAUDAL
PROTECCION	_____	_____	_____	_____
ARRASTRE	_____	_____	_____	_____
RESPALDO	_____	_____	_____	_____

CARACTERISTICAS ELECTRICAS

CORRIENTE (AC or DC) _____

POLARIDAD _____

TIPO Y TAMAÑO ELEC. TUGSTENO _____

OTROS _____

TECNICA

OSCILACION (ANCHO MAX. PASADA) _____

DISTANCIA TUBO CONTACTO-PIEZA _____

OTROS _____

FABRICANTE

ORGANISMO EXAMINADOR

FECHA

FECHA

CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA
WELDING PROCEDURE QUALIFICATION RECORD
WPQR

WPQR :			
PAGINA 2 DE 3			
REV	FECHA	REV	FECHA

CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO No. _____

ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO N° _____

PROCESO(S) DE SOLDADURA _____

CODIGO / NORMA DE PRUEBA _____

FABRICANTE _____

DIRECCION _____

NOMBRE / IDENTIFICACION DEL SOLDADOR _____

DISEÑO DE LA UNIÓN	SECUENCIA DE SOLDEO

DETALLES DE SOLDEO

CARA	PASADA	PROCESO DE SOLDEO	METAL DE APORTE		CORRIENTE			VEL. DE AVANCE O LONG. DEPOSITADA POR ELECTRODO	APORTE TERMICO (KJ/mm)
			CLASIFICACION	DIAM.	POLARIDAD	INTENSIDAD, A	VOLTAJE, V		

FABRICANTE	ORGANISMO EXAMINADOR
FECHA	FECHA

**CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA
WELDING PROCEDURE QUALIFICATION RECORD
WPQR**

WPQR :

PAGINA 3 DE 3

REV	FECHA	REV	FECHA

ENSAYO DE TRACCION

PROBETA N°	CARGA DE ROTURA Re N/mm ²	TENSION DE ROTURA Rm N/mm ²	A%	Z%	TIPO DE ROTURA Y POSICION	OBSERVACIONES
REQUISITOS						

ENSAYO DE PLEGADO

DIAMETRO DEL MANDRIL:

TIPO / N°	ANGULO DE DOBLADO	RESULTADOS

ENSAYO DE RESILENCIA

REQUISITOS:

PROBETA N°	POSICION ENTALLA	DIMENSIONES PROBETA	TEMP (°C)	VALORES DE IMPACTO (J)				EXPANSION LATERAL (mm)				COMETARIO Rompe / No Rompe	
				1	2	3	MEDIA	1	2	3	MEDIA		

ENSAYO DE DUREZA

TIPO / CARGA:

METAL BASE _____
 ZAT _____
 CORDON SOLDADURA _____

OTROS ENSAYOS

	ESPECIFICACION	RESULTADOS	N° INFORME LABORATORIO
EXAMEN MACROGRAFICO			
EXAMEN MICROGRAFICO			
OTROS			

ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

INSPECCION VISUAL _____ INSPECCION UT _____
 INSPECCION RX _____ INSPECCION MPI / DP _____

N° REFERENCIA DEL INFORME DE LABORATORIO _____

LOS RESULTADOS FUERON: ACEPTABLES NO ACEPTABLES

Ensayos llevados a cabo en presencia de:

FABRICANTE	ORGANISMO EXAMINADOR
FECHA	FECHA

FACULTAD DE CIENCIAS
TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO



PROYECTO FIN DE CARRERA

**DEFINICIÓN Y DESARROLLO DE PROCEDIMIENTOS DE
SOLDADURA EN TUBERÍAS DE ACEROS INOXIDABLES
PARA UN PROYECTO OFFSHORE**

PLIEGO DE CONDICIONES

<u>INDICE</u>	Página
1 – DESCRIPCIÓN DEL PLIEGO DE CONDICIONES.....	2
2 – PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES.....	4
3 – PLIEGO DE CONDICIONES PARTICULARES.....	5

1. DESCRIPCIÓN DEL PLIEGO DE CONDICIONES

1.1 Objeto

El presente documento tiene por objeto la definición del conjunto de requisitos técnicos y normas aplicables para el desarrollo del proyecto: “Definición y desarrollo de procedimientos de soldadura en tuberías de acero inoxidable para un proyecto Offshore”.

1.2 Ámbito de Aplicación

Las condiciones que en este pliego se recogen son aplicables a todos los documentos que forman parte de este proyecto y que, en global, definen el diseño de los Procedimientos de Soldadura.

En caso de que el proyecto se llevase a cabo, durante la realización de la prueba de procedimiento de soldeo deberá existir una copia de las Especificaciones de Procedimiento de Soldeo Preliminares en el lugar donde se vayan a realizar los trabajos que se recogen en dichas especificaciones.

1.3 Idioma

Tanto este proyecto como los Registros y Especificaciones (pWPS, WPS y WPQR) han sido redactados en castellano, pero se contempla la traducción al inglés de los procedimientos dado que los principales clientes de las empresas offshore son extranjeros.

1.4 Definiciones

Con objeto de obtener una adecuada comprensión de la documentación de los procedimientos de soldadura, los términos específicos utilizados en dicha documentación son descritos a continuación:

- **Procedimiento de soldeo:** Programa de acciones a seguir para la realización de una soldadura, incluyendo proceso(s) de soldeo, referencias a los materiales, consumibles de soldeo, preparación,

precalentamiento (si es necesario), método y control del soldeo y del tratamiento térmico post-soldadura (si es aplicable), así como del equipo necesario.

- **Procesos de soldeo:** Esta norma sigue la nomenclatura y definiciones dadas en ISO 857-1 para los procesos de soldeo. Sigue también el sistema de numeración para procesos de soldeo de EN ISO 4063.

- **Especificación de procedimiento de soldeo preliminar (pWPS):** Documento que contiene las variables requeridas del procedimiento de soldeo que tiene que ser cualificado mediante uno de los métodos que se describen en la cláusula 6 de UNE EN ISO 15607.

- **Especificación de procedimiento de soldeo (WPS):** Documento que ha sido cualificado por uno de los métodos descritos en la cláusula 6 y que facilita las variables requeridas del procedimiento de soldeo para asegurar la repetibilidad durante el soldeo de producción.

- **Registro de cualificación de procedimiento de soldeo (WPQR):** Registro que comprende todos los datos necesarios para la cualificación de una especificación de procedimiento de soldeo preliminar.

- **Prueba de procedimiento de soldeo:** La realización y ensayo de un cupón de prueba normalizado, tal como se indica en la pWPS, con el fin de cualificar un procedimiento de soldeo.

2. PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES

2.1 Pliego de condiciones generales facultativas.

Este pliego regula las relaciones entre el contratista y el fabricante.

2.2 Pliego de condiciones generales económicas.

Este pliego de condiciones describe y regula la relación entre la propiedad y el contratista e indica y regula la función de control que ejerce el fabricante.

2.3 Pliego de condiciones generales legales.

Este pliego de condiciones fija las condiciones de tipo legal que debe cumplir el contratista y determina el tipo de contrato y de adjudicación que ha de regir.

NOTA: *Dadas las características de este proyecto, en el que no hay materialización de obra alguna, no son aplicables estos pliegos de condiciones generales puesto que no intervienen ninguna de las partes cuyas relaciones regula este pliego.*

3. PLIEGO DE CONDICIONES PARTICULARES

3.1 Normativa

En la redacción de este proyecto se ha tenido en cuenta la normativa europea de aplicación para la cualificación de procedimientos de soldeo. Las Normas utilizadas han sido:

- UNE EN ISO 15607 – Especificación y Cualificación de los Procedimientos de Soldeo para los Materiales Metálicos. Reglas Generales.

- UNE EN ISO 15614-1 – Especificación y Cualificación de los Procedimientos de Soldeo para los Materiales Metálicos. Parte 1: Soldeo por arco y con gas de aceros y soldeo por arco de níquel y sus aleaciones.

- NORSOK STANDARD M-601 – Welding and Inspection of Piping.

3.2 Desarrollo e implantación del proyecto

Las etapas que se han seguido en la elaboración de este proyecto son:

- 1) Análisis de las variables esenciales: Se ha procedido a la identificación de las variables esenciales para la definición los procedimientos de soldeo que puedan asegurar la continuidad metálica durante la fabricación de la construcción soldada.
- 2) Desarrollo: Redacción de la Especificación de Soldeo Preliminar (pWPS).

Una vez redactada la especificación de Soldeo Preliminar, el fabricante y la persona u organismo examinador deberá aprobar este documento. Aprobada la documentación, se realizarán y ensayarán los cupones de prueba normalizados, tal como se indica en los pWPS, con el fin de cualificar los procedimientos de soldeo. El soldeo y los ensayos de los cupones de prueba serán verificados por una persona u organismo examinador.

Se registrarán los datos necesarios en el WPQR y en el WPS. La documentación necesaria se encuentra recogida en el Anexo 7 de la Memoria Descriptiva de este proyecto. Estos documentos deberán ser aprobados por el fabricante y la persona u organismo examinador.

Una vez aprobada la documentación comenzaría la etapa de implantación en fabricación. Toda persona relacionada de forma directa o indirecta con la fabricación de construcciones soldadas deberá conocer las aplicaciones de los procedimientos de soldeo y considerarlos como un programa de acciones a seguir para la realización de las soldaduras durante el soldeo en producción.

Si además se quisiera cualificar los procedimientos de soldadura bajo otras normas, el procedimiento consistiría en adaptar los valores de los WPS y WPQR cualificados a las variables esenciales de la norma que desee considerarse.

FACULTAD DE CIENCIAS
TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO



PROYECTO FIN DE CARRERA

**DEFINICIÓN Y DESARROLLO DE PROCEDIMIENTOS DE
SOLDADURA EN TUBERÍAS DE ACEROS INOXIDABLES
PARA UN PROYECTO OFFSHORE**

PRESUPUESTO

<u>INDICE</u>	Página
1 – DESCRIPCIÓN DEL PRESUPUESTO.....	2
2 – GASTOS GENERALES.....	3
3 – GASTOS DE CUALIFICACION DE LOS PROCEDIMIENTOS.....	4
4 – PRESUPUESTO GENERAL.....	6

1. DESCRIPCIÓN DEL PRESUPUESTO

El objetivo de este presupuesto es presentar una valoración aproximada de cuál sería la inversión necesaria para la ejecución material de este proyecto.

Los elementos valorados en este presupuesto son:

- Gastos Generales: Considerados como las horas de Ingeniería empleadas en el diseño de los Procedimientos de Soldeo.

- Gastos de la Cualificación de los Procedimientos: Considerados como los gastos del soldeo y ensayo de los cupones de prueba de acuerdo con los pWPS definidos. Estos gastos estarán desglosados en:
 - o Costes materiales base.
 - o Costes consumibles
 - o Costes soldeo cupones de prueba
 - o Costes de ensayos no destructivos
 - o Costes de ensayos mecánicos

También estarán incluidos los costes de verificación del proceso de cualificación de los procedimientos, y aprobación de la documentación necesaria por parte de una persona u organismo examinador.

2. GASTOS GENERALES

Descripción	Desglose	Cantidad	Unidad	Precio unitario, €	Importe, €
Ingeniero	Horas de Ingeniería empleadas en el diseño de los Procedimientos de Soldeo	360	Horas	30 €	10.800 €
TOTAL DE LA PARTIDA					10.800 €

3. GASTOS DE CUALIFICACION DE LOS PROCEDIMIENTOS

Descripción	Desglose	Cantidad	Unidad	Precio unitario, €	Importe, €
Material base					
	Tubo 1" sch 10S inoxidable tp 316L	10	Metro	20.60 €	206.0 €
	Tubo 10" sch 80S inoxidable tp 316L	10	Metro	78.10 €	781.0 €
	Tubo 1" sch 10S inoxidable tp 6Mo	10	Metro	28.40 €	284.0 €
	Tubo 10" sch 80S inoxidable tp 6Mo	10	Metro	109.34 €	109.34 €
	Tubo 1" sch 10S inoxidable duplex 22Cr	10	Metro	32.96 €	329.60 €
	Tubo 10" sch 80S inoxidable duplex 22Cr	10	Metro	124.96 €	1249.60 €
TOTAL DE LA PARTIDA					2959.54 €
Coste consumibles					
	Varilla clasificación AWS A5.9 ER316LSi Φ 2.4 mm	1 (10 kg)	Paquete	293.10 €	293.10 €
	Electrodo clasificación AWS A5.4 E316L-16 Φ 2.5 mm	1 (135 und)	Paquete	67.59 €	67.59 €
	Electrodo clasificación AWS A5.4 E316L-16 Φ 3.25 mm	1 (150 und)	Paquete	116.34 €	116.34 €
	Varilla clasificación AWS A5.9 ER2209 Φ 2.4 mm	1 (10 kg)	Paquete	449.59 €	449.59 €
	Electrodo clasificación AWS A5.4 E2209-16 Φ 2.5 mm	1 (120 und)	Paquete	94.64 €	94.64 €
	Electrodo clasificación AWS A5.4 E2209-16 Φ 3.25 mm	1 (152 und)	Paquete	171.60 €	171.60 €
	Varilla clasificación AWS A5.14 ERNiCrMo-13 Φ 2.4 mm	1 (10 kg)	Paquete	364.17 €	364.17 €
	Electrodo clasificación AWS A5.11 ENiCrMo-13 Φ 2.5 mm	1 (94 und)	Paquete	177.62 €	177.62 €
	Electrodo clasificación AWS A5.11 ENiCrMo-13 Φ 3.25 mm	1 (61 und)	Paquete	202.35 €	202.35 €
	Botellas de gas Argón tipo I1	10	Botella	17.96 €	170.96 €
TOTAL DE LA PARTIDA					2107.96 €

Coste soldeo cupón de prueba

Corte y preparación cupones de prueba	12	Horas	18 €	216 €
Soldadura cupones de prueba	24	horas	12 €	288 €
TOTAL DE LA PARTIDA				504 €

Ensayos no destructivos

Inspección visual antes, durante y después del soldeo de los cupones de prueba	24	Horas	15 €	360 €
Ensayo por líquidos penetrantes después del soldeo de los cupones de prueba	3	Metros	4 €	12 €
Ensayo radiográfico en tubo de 1”	3	Procedimiento	30 €	90 €
Ensayo radiográfico en tubo de 10”	3	Procedimiento	55 €	165 €
Inspector	3	Día	180 €	540 €
TOTAL DE LA PARTIDA				2337 €

Organismo examinador

Presencia del organismo examinador durante el soldeo de los cupones de prueba. Firma de toda la documentación necesaria	6	Procedimiento	195 €	1170 €
TOTAL DE LA PARTIDA				1170 €

Ensayos mecánicos

Ensayo tracción transversal	12	Ensayo	54.26 €	651.12 €
Ensayo Impacto	6	Ensayo	88.33 €	529.98 €
Ensayo Plegado	24	Ensayo	38.23 €	917.52 €
Macrografía	12	Ensayo	39.47 €	473.64 €
Foto macro	12	Ensayo	27.74 €	332.88 €
Dureza	2	Ensayo	41.93 €	83.86 €
Examen micrográfico	2	Ensayo	128.23 €	256.46 €
Ensayo Corrosión	2	Ensayo	595.98 €	1191.96 €
Presencia de organismo examinador durante los ensayos	6	Procedimiento	200 €	1200 €
TOTAL DE LA PARTIDA				5637.42 €

WPS y WPQR

Elaboración del WPS y WPQR	16	Horas	18 €	288 €
TOTAL DE LA PARTIDA				288 €

4. PRESUPUESTO GENERAL

Total Gastos		Importe, €
Gastos generales		10.800 €
	Ingeniero	
Gastos cualificación procedimientos		
	Material base	2959.54 €
	Coste consumibles	2107.96 € €
	Coste soldeo cupón de prueba	504 €
	Ensayos no destructivos	2337 €
	Organismo examinador	1170 €
	Ensayos mecánicos	5637.42 €
	WPS y WPQR	288 €

**TOTAL
PRESUPUESTO** **52803.92 €**

El presupuesto total asciende a cincuenta y dos mil ochocientos tres euros con noventa y dos céntimos.

Puerto Real, Febrero 2008

Almudena Calzada Sánchez
Ingeniero Químico

FACULTAD DE CIENCIAS
TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO



PROYECTO FIN DE CARRERA

**DEFINICIÓN Y DESARROLLO DE PROCEDIMIENTOS DE
SOLDADURA EN TUBERÍAS DE ACEROS INOXIDABLES
PARA UN PROYECTO OFFSHORE**

BIBLIOGRAFIA

1. BIBLIOGRAFÍA

Soldadura de los Aceros. Aplicaciones. Manuel Reina Gómez. 4ª Edición.

Manual del Soldador. German Hernández Riesco. 7ª edición.

Welding Handbook, 7ª Edición. American Welding Society

Metals Handbook. 9ª Edición. American Society for Metals

Documentación Seminario para Ingenierías 2007 (Lincoln Electric Europe).

The Procedure Handbook of Arc Welding. The James F. Lincoln Arc Welding Foundation. Ed 14th

Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales. William F. Smith. 2ª Ed. McGraw-Hill.

Guidelines on the Welded Fabrication of Stainless Steel. Materials and Applications Series, Volume 9. The European Stainless Steel Development Association.

Design Guidelines for the Selection and use of Stainless Steel. Specialty Steel Industry of North America. [http:// www.ssina.com](http://www.ssina.com)

UNE-EN ISO 15607 – Especificación y cualificación de los procedimientos de soldeo para materiales metálicos. Reglas generales.

UNE-EN ISO 15614-1 – Especificación y cualificación de procedimientos de soldeo para materiales metálicos. Ensayo del procedimiento de soldeo. Parte 1: Soldero por arco y con gas de aceros y soldero por arco de níquel y sus aleaciones.

UNE EN 10088-1 – Aceros Inoxidables. Parte 1: Relación de Aceros Inoxidables.

BS EN 1011-3 – Welding Recommendations for welding of metallic materials – Part 3: Arc welding of stainless steel.

CR ISO 15608 - Soldeo. Directrices para el sistema de agrupamiento de materiales metálicos (ISO/TR 15608: 2000).

NORSOK STANDARD M-601, Rev. 2 (Nov.1997) – WELDING AND INSPECTION OF PIPING.

ANSI/AWS A5.9-93 – Specification for Bare Stainless Steel Welding Electrodes and Rods.

ANSI/AWS A5.4-92 – Specification for Stainless Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding.

ANSI/AWS A5.14/A5.14M-97 - Specification for Nickel and Nickel-Alloy Bare Welding Electrodes and Rods.

ANSI/AWS A5.11/A5.11M-97 - Specification for Nickel and Nickel-Alloy Electrodes for Shielded Metal Arc Welding.

