

# Innovative digital tools for training in the field of welding

## Materiales de aprendizaje digital para el simulador de soldadura

IO2 – MATERIALES DE APRENDIZAJE DIGITAL PARA EL SIMULADOR DE SOLDADURA

## Index

|  |            |
|--|------------|
| <b>1. Resumen Ejecutivo .....</b>  | <b>2</b>   |
| <b>2. Competencias digitales - Introducción a la informática y la simulación .....</b> | <b>3</b>   |
| Programa del curso .....   | 3          |
| Unidad didáctica .....   | 5          |
| <b>3. Procesos de soldadura .....</b>  | <b>20</b>  |
| 3.1. La soldadura por arco metálico con gas (GMAW) .....                               | 20         |
| Programa del curso .....   | 20         |
| Unidad didáctica .....   | 23         |
| 3.2. Soldadura de gas (GW) .....   | 51         |
| Programa del curso .....   | 51         |
| Unidad didáctica .....   | 54         |
| 3.3. Soldadura manual por arco metálico (MMA) .....                                    | 68         |
| Programa del curso .....   | 68         |
| Unidad didáctica .....   | 72         |
| 3.4. Soldadura con gas inerte de tungsteno (TIG) .....                                 | 97         |
| Programa del curso .....   | 97         |
| Unidad didáctica .....   | 100        |
| <b>4. Garantía de calidad en la soldadura .....</b>                                    | <b>129</b> |
| Programa del curso .....   | 129        |
| Unidad didáctica .....   | 133        |

## Executive Summary

**DIGIWELD Herramienta digital innovadora para la formación en el campo de la soldadura** es un proyecto financiado por Erasmus + que aborda la Comunicación del Consejo Europeo "Repensar la educación: invertir en habilidades para obtener mejores resultados socioeconómicos, que afirma la importancia de promover el uso de la tecnología para un aprendizaje eficaz y para reducir las barreras a la educación, permitiendo que las personas aprendan en cualquier lugar, en cualquier momento, en vías de aprendizaje individualizadas.

Este proyecto tiene como objetivo desarrollar:

- Una propuesta de actualización de la Guía europea EWF-IAB-o89r5-14 (es decir, la Guía europea del soldador) que apoya la introducción de un nuevo módulo sobre Competencias digitales y el uso de simuladores de soldadura en la formación práctica, en condiciones específicas, como viables y herramientas innovadoras para la educación y formación de los futuros soldadores,
- Una herramienta digital para ser insertada en simuladores como módulos dedicados a la formación de jóvenes aprendices (de 16 a 20 años).

En este sentido, DIGIWELD Partners (seis entidades de Bélgica, España, Italia y Rumanía con experiencia en Educación, Soldadura y en el desarrollo de simuladores de soldadura) se reunieron para proponer un componente actualizado de las Directrices europeas de educación y formación para la soldadura para atraer a jóvenes en formación a la Conocimientos y responsabilidades de la profesión de Soldador. Otro objetivo fue crear un sistema de aprendizaje digital abierto e innovador (SIMTRANET) en el campo de la tecnología de soldadura por arco y materiales educativos digitales que permitan a los aprendices acceder a información y realizar prácticas utilizando simuladores de soldadura. Para lograr los propósitos de DIGIWELD, los socios también están trabajando para la creación de condiciones para que grupos internacionales de aprendices participen activamente en concursos de soldadura y entrenamiento simultáneos en las condiciones más seguras posibles mediante el uso de simuladores independientes específicos o aulas virtuales.

El presente resultado es una de las tareas que se ha llevado a cabo en el ámbito de la **Salida Intelectual (IO) del proyecto DIGIWELD 2- Materiales didácticos digitales para simulador de soldadura**. Se centra en el trabajo realizado por los socios de DIGIWELD hacia el desarrollo de los materiales de aprendizaje digitales dedicados a los procesos de soldadura MIG / MAG, TIG y MMA y al Aseguramiento de la Calidad en la Soldadura, que se cargarán en SIMTRANET, un sistema de aprendizaje digital creado en el alcance de DIGIWELD. Además, teniendo en cuenta las restricciones impuestas por la pandemia COVID-19, los socios de DIGIWELD decidieron desarrollar material complementario para los procesos de soldadura: Soldadura por gas.

Pretende ser un análisis crítico hacia los puntos de vista de estandarización, aplicabilidad y relevancia, centrándose en la compatibilidad de estos contenidos con la European Welder Guideline teniendo en cuenta que estos materiales digitales de aprendizaje se basaron en las actualizaciones propuestas para la European Welder Guideline (EWF -IAB-o89r5-14 Directriz). Por lo tanto, los temas abordados por el Módulo 2 Procesos de Soldadura (procesos de soldadura MIG / MAG, TIG y MMA) y el Módulo 3 Garantía de Calidad en Soldadura, parte del curso DIGIWELD, están en línea con la referida Directriz.

Por lo tanto, este Informe Técnico explica cómo los socios de DIGIWELD involucrados en el desarrollo de los contenidos de aprendizaje aseguraron la alineación entre los temas / temas de la Guía europea para soldadores y cómo se llevó a cabo la revisión técnica hacia la versión final de los módulos / contenidos mencionados anteriormente, considerando su cumplimiento de la estandarización. Su aplicabilidad y relevancia para la educación y formación de los aprendices y los conocimientos teóricos cumplen con la Guía europea para soldadores y el estado de la técnica más actualizado.

## Digital Competences - Introducción a la computación y la simulación

### 1.1 Nombre del curso

Introducción a la computación y la simulación

### 1.2 Duración del curso

4 horas

### 1.3 Propósito del curso

El propósito del curso es asegurar la adquisición de los conocimientos digitales necesarios para el uso de los dispositivos digitales que crean la realidad virtual y aumentada. La implementación del entorno virtual y la realidad aumentada en la formación práctica de los futuros soldadores garantiza el acceso de la nueva generación a un modo de formación cercano a la realidad en la que viven y realizan sus actividades cotidianas. La unidad se centra en los aspectos relativos a la metodología y las herramientas utilizadas en la formación digital, los sistemas de gestión del aprendizaje y una breve presentación de los simuladores de soldadura.

### 1.4 Objetivos del curso

- Comprender cómo utilizar las herramientas digitales en la formación teórica y práctica.
- Poder utilizar y explotar los módulos desarrollados en LMS.
- Conocer el funcionamiento de los simuladores de soldadura.

### 1.5 Contenidos

#### 1. Herramientas y metodología digitales de formación.

- 1.1. Herramientas digitales utilizadas en la formación en soldadura.
- 1.2. Ventajas e inconvenientes de las herramientas digitales en soldadura.

#### 2. Sistema de gestión del aprendizaje (LMS).

- 2.1. Entornos virtuales de aprendizaje.
- 2.2. Definición y características del LMS.
- 2.3. Configuración y funcionalidades del LMS.
- 2.4. LMS - desafíos y ventajas.
- 2.5. Soluciones disponibles para el desarrollo del LMS.

#### 3. Simuladores de soldadura.

- 3.1. Sistemas de simuladores de soldadura.
- 3.2. Realidad aumentada.
- 3.3. Realidad virtual.
- 3.4. Diferencia entre el simulador de soldadura y el sistema de soldadura real.
- 3.5. Configuración de los simuladores de soldadura.

### 1.6 Participantes

Características del alumno:

*Estudiantes de FP en la especialización en soldadura.*

### 1.7 Requisitos de entrada

Requisito del nivel educativo:

*Certificado de estudios secundarios (EQF 3)*

|  |  |
|--|--|
| <b>Conocimientos previos necesarios:</b> | <i>Conocimientos básicos de soldadura<br/>Conocimientos básicos de las TIC</i> |
| <b>Requisitos de edad:</b>               | <i>Los estudiantes deben tener un mínimo de 16 años</i>                        |

### 1.8 Actividades de evaluación

- *Prueba teórica en cada unidad: preguntas de opción múltiple*
- *Configuración práctica del simulador*

### 1.9 Bibliografía (usada o suplementaria)

- [1] Savu SV – Welding simulator, alternative digital tool for practical training of the future welders, ASR Conference, Buzau, 2015
- [2] Open source (Moodle based) example: <https://themefisher.com/moodle-bootstrap-themes/>
- [3] Off-the-shelf LMS product: <https://learnbox.co.za/off-the-shelf-lms/>
- [4] University of Craiova, LMS - <https://ciso1.central.ucv.ro/evstud/>
- [5] Susannah J. Whitney, Ashley K. W. Stephens – Use of Simulation to Improve the Effectiveness of Army Welding Training, Commonwealth of Australia, 2014
- [6] Soldamatic – Augmented Training for Welding, <http://www.soldamatic.com/soldamatic2018/>
- [7] Lincoln Electric – VRTEX360 Virtual Welding Trainer, <https://www.lincolnelectric.com/en-gb/equipment/training-equipment/vrtex360/pages/vrtex-360.aspx>
- [8] BEApplied Research, HoloLens Plant Maintenance, <https://www.youtube.com/channel/UCdXVL3uTXP-icWKB7K2Yivw>
- [9] Phoenix Contact - Augmented reality in use for industry 4.0 and building technology, <https://www.youtube.com/watch?v=UHW12bLH7U>
- [10] Lily Prasuethsut, Meta thinks Pokémon Go is perfect for the AR headset, <https://www.wearable.com/ar/meta-pokemon-go-2962>
- [11] Industry Reports, Global Augmented Reality Market to Witness a Pronounce Growth During 2024– Top Key players like Google Inc., Microsoft Corporation, Vuzix Corporation, Samsung Electronics Co., Ltd., Qualcomm Inc., Oculus VR, LLC, EON Reality, Inc. Infinity Augmented Reality Inc & Others, <https://industryreports24.com/430907/global-augmented-reality-market-to-witness-a-pronounce-growth-during-2024-top-key-players-like-google-inc-microsoft-corporation-vuzix-corporation-samsung-electronics-co-ltd-qualcomm-i/>
- [12] Husain Sumra, The best augmented reality glasses 2019: Snap, Vuzix, Microsoft, North & more, <https://www.wearable.com/ar/the-best-smartglasses-google-glass-and-the-rest>
- [13] Google, <https://virtualrealitypop.com/what-is-real-vr-content-3e66e3810894>
- [14] MindRend Technologies, VR Robotics Simulator, <https://www.youtube.com/channel/UCDWYIQAzV8qlhxa4yXbjmpQ>
- [15] Fronius Virtual Welding, <http://www.funworld.com/en/funworldtech/projects-and-partners/fronius-virtual-welding>
- [16] Weld VR simulator, <http://weld-vr.com/en/>
- [17] Lincoln Electric VRTEX 360, , <https://www.lincolnelectric.com/de-de/support/application-stories/Pages/Pitt-Community-College.aspx>

**NÚMERO DE UNIDAD: Unidad Didáctica 1****TÍTULO DE LA UNIDAD: *Introducción a la computación y la simulación*****PRESENTACIÓN DE LA UNIDAD**

La presente unidad de aprendizaje asegura la acumulación de los conocimientos digitales necesarios para el uso de los dispositivos digitales que crean la realidad virtual y aumentada. La aplicación del entorno virtual y la realidad aumentada en la formación práctica de los futuros soldadores garantiza el acceso de la nueva generación a un modo de formación cercano a la realidad en la que viven y realizan sus actividades cotidianas.

La unidad se ocupa de los aspectos relativos a la metodología y los instrumentos utilizados en la formación digital, los sistemas de gestión del aprendizaje y una breve presentación de los simuladores de soldadura. En el primer módulo se abordan los temas relacionados con las herramientas digitales utilizadas en la formación en materia de soldadura y cuáles son las ventajas y los inconvenientes del uso de las herramientas digitales en la soldadura. El segundo módulo introduce a los alumnos en los entornos de aprendizaje virtual donde pueden aprender e interactuar con las herramientas digitales o con otros alumnos. Los sistemas de gestión del aprendizaje (LMS) son los mejores instrumentos digitales para registrar a los usuarios, proporcionar contenido y evaluar el rendimiento de los alumnos. En este módulo se presenta cómo se puede definir, configurar y cuáles son las funcionalidades del LMS, así como las ventajas y los inconvenientes del LMS. Los alumnos también conocerán las soluciones disponibles para desarrollar su propio LMS. El tercer módulo trata de los simuladores de soldadura. En la introducción del módulo se presenta un sistema típico de simulador de soldadura. La realidad virtual (RV) y la realidad aumentada (RA) se explican con el fin de proporcionar a los alumnos los conocimientos necesarios para poder comprender y utilizar el funcionamiento de estas tecnologías. Al final del módulo se hace una breve presentación de la diferencia entre el simulador de soldadura y el sistema de soldadura real, así como un breve ejemplo sobre la configuración de un simulador de soldadura.

**OBJETIVOS**

The objectives of the teaching unit are:

- Comprender cómo utilizar las herramientas digitales en la formación teórica y práctica.
- Poder utilizar y explotar los módulos desarrollados en LMS.
- Conocer el funcionamiento de los simuladores de soldadura.

**CONTENIDOS****4. Herramientas y metodología digitales de formación.**

- 4.1. Herramientas digitales utilizadas en la formación en soldadura.
- 4.2. Ventajas e inconvenientes de las herramientas digitales en soldadura.

**5. Sistema de gestión del aprendizaje (LMS).**

- 5.1. Entornos virtuales de aprendizaje.
- 5.2. Definición y características del LMS.
- 5.3. Configuración y funcionalidades del LMS.
- 5.4. LMS - desafíos y ventajas.
- 5.5. Soluciones disponibles para el desarrollo del LMS.

**6. Simuladores de soldadura.**

- 6.1. Sistemas de simuladores de soldadura.
- 6.2. Realidad aumentada.
- 6.3. Realidad virtual.
- 6.4. Diferencia entre el simulador de soldadura y el sistema de soldadura real.

## 6.5. Configuración de los simuladores de soldadura.

### DESARROLLO DE CONTENIDOS

#### 1. Herramientas y metodología digitales de formación.

Este módulo abarca temas relacionados con las herramientas digitales utilizadas en la formación en materia de soldadura y cuáles son las ventajas y los inconvenientes de utilizar herramientas digitales en la soldadura. Se presentan varias aplicaciones informáticas utilizadas en la formación de soldadores para mostrar la importancia y la relevancia de las herramientas digitales en el proceso de aprendizaje.

Hay dos formas de transmitir la información a los estudiantes: la primera se refiere a que el profesor está en el centro de la actividad de aprendizaje, y la segunda pone al estudiante en medio de todas las actividades. El uso de herramientas digitales en la actividad de aprendizaje puede aplicarse con éxito a la segunda opción, considerando la afinidad de los jóvenes por todo lo que significa la conectividad y hacer que la información esté disponible en cualquier lugar, tiempo y forma.



Fig. 1.1 Aprendizaje centrado en el estudiante

El aprendizaje centrado en el estudiante puede lograrse si se siguen algunas reglas:

- Ser claro sobre cómo promoverá, medirá y fomentará el entendimiento.
- Modelar **cómo pensar** para los estudiantes.
- Ayudar a los estudiantes a entender lo que merece la pena entender.
- Diversificando lo que usted acepta como evidencia de entendimiento.
- Creando un plan de estudios e instrucción en torno a la necesidad de conocimientos.
- Colaborar con los estudiantes para crear la pauta o guía de puntuación.
- Dejar que los estudiantes escojan el propósito del proyecto.
- Dejar que los estudiantes escojan su propio medio de comunicación que refleje el propósito de la lectura.
- Usando el aviso de escritura a demanda como evaluación sumativa.
- Enmarcar el aprendizaje en términos de proceso y crecimiento y propósito.

#### 1.1. Herramientas digitales utilizadas en la formación en soldadura.

Las herramientas digitales utilizadas principalmente en la formación de las personas que ejercen la profesión en soldadura se dedican en gran medida a los aspectos teóricos presentados en formato digital (doc., pdf., ppt., imágenes y vídeos), así como al proceso de evaluación relacionado con las materias impartidas. Recientemente, la información se incorpora en aplicaciones dedicadas al aprendizaje que incluyen tanto documentos electrónicos como imágenes y animaciones de vídeo, todas ellas recopiladas de forma interactiva.



a.

b.



c.

d.

Figura. 1.2 Ejemplo de herramientas digitales utilizadas en la formación en soldadura

a. Aplicación de aprendizaje FutureWeld, b. Aplicación de evaluación FutureWeld, c. Aplicación de aprendizaje Microbond, d. Aplicación de evaluación Microbond

El siguiente paso es combinar el entrenamiento teórico y práctico y esto se puede lograr a través de simuladores de soldadura. Los simuladores de soldadura pueden apoyar tanto la evaluación teórica, práctica y online o sin conexión del estudiante.



Figura. 1.3 Simuladores de soldadura [1]

**REMEMBER TIPS**

1. Por herramientas digitales se entiende cualquier aplicación de software o dispositivo electrónico que se utilice en la formación.

2. Las aplicaciones informáticas se utilizan principalmente para la formación teórica y el examen de los conocimientos de los alumnos.
3. Los simuladores de soldadura pueden utilizarse tanto para el entrenamiento teórico y práctico de la soldadura como para el proceso de examen.

### 1.2. Ventajas e inconvenientes de las herramientas digitales en soldadura.

El uso de herramientas digitales de soldadura presenta tanto ventajas como inconvenientes para el proceso de aprendizaje y formación de futuros soldadores. Las principales ventajas de la soldadura simulada son:

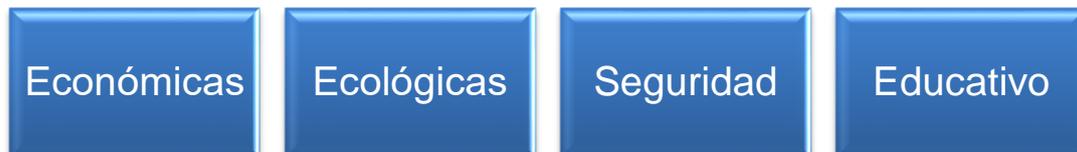


Figura. 1.4 Ventajas del uso de herramientas digitales en el proceso de aprendizaje.

#### Económicas:

- Reducción de costes con la energía y el servicio del simulador.
- Reducción de los costes con los maestros/formadores.
- Reducción de los costes con la preparación de los materiales base y el aumento del tiempo de soldeo de los aprendices.
- Se pueden simular componentes industriales específicos para estructuras soldadas.

#### Ecológicas:

- No hay emisiones teniendo en cuenta que todas las operaciones de soldadura son simuladas.
- No hay materiales de desecho que puedan afectar al medio ambiente.
- Baja huella de carbono teniendo en cuenta el bajo consumo de energía.

#### Seguridad:

- El entrenamiento se lleva a cabo en un ambiente seguro sin los peligros del calor, radiación y gas.
- No hay riesgos con respecto a la energía eléctrica trifásica.

#### Educativo:

- Fácil interacción con el usuario en el entorno VR/AR.
- Mayor potencial de autoaprendizaje y autoevaluación.
- Desarrollo del sistema de puntuación de la competición, que permitirá aumentar la preparación de los alumnos para el aprendizaje.
- Diferentes niveles de dificultad para los ejercicios prácticos.
- Cubre los principales procesos de soldadura por arco.
- Aprendizaje a distancia mediante conexión a Internet entre servidores y simuladores de soldadura.
- Análisis en profundidad de las soldaduras y los procesos de soldadura realizados por los aprendices.

En cuanto a los inconvenientes, la simulación de los procesos de soldadura no puede sustituir a la soldadura real. Se han identificado dos categorías de desventajas:



Figura. 1.5 Inconvenientes del uso de herramientas digitales en el proceso de aprendizaje

**Recursos Humanos:**

- Falta de habilidades digitales de los profesores/entrenadores en cuanto a la integración de los simuladores de soldadura en el proceso de aprendizaje.
- Falta de conocimientos digitales de los profesores/formadores en cuanto a la integración de las aplicaciones de software de soldadura en el proceso de aprendizaje.

**Tecnología limitada:**

- Los simuladores de soldadura permiten el entrenamiento práctico con el fin de mejorar las habilidades de los aprendices, pero no cubren los demás aspectos relacionados, por ejemplo, con la preparación del material base.
- Hay algunas limitaciones tecnológicas con respecto al encendido del arco que son diferentes a las de la soldadura real.
- No todos los procesos de soldadura pueden ser digitalizados en un simulador de soldadura.

**2. Sistema de gestión del aprendizaje (LMS).**

Las herramientas digitales pueden definirse como cualquier dispositivo y tecnología de transmisión de conocimientos del profesor al estudiante con aplicaciones informáticas, medios de cursos online o formación práctica a través de dispositivos que utilizan la realidad aumentada, la realidad virtual, etc.

Las herramientas digitales están diseñadas para ayudar a los estudiantes y al profesor en el proceso de aprendizaje. Este subcapítulo contiene información básica sobre las herramientas digitales y las metodologías específicas para el proceso de aprendizaje en un entorno digital.

**2.1. Entornos virtuales de aprendizaje.**

El Entorno de Aprendizaje Virtual (VLE) consiste en un sistema digital que proporciona materiales educativos (cursos, presentaciones, vídeos, animaciones y aplicaciones informáticas) a los estudiantes utilizando páginas web online. Utilizando una conexión a Internet con sus propias herramientas digitales (ordenadores, tabletas, teléfonos inteligentes, etc.) los usuarios pueden acceder a la información tanto dentro como fuera de la escuela las 24 horas del día y los 7 días de la semana. Un VLE apoya el registro de los estudiantes, el seguimiento de sus actividades, la colaboración y la comunicación entre los estudiantes, los profesores y la evaluación. Hay tres tipos diferentes de VLEs:

- Código abierto - se ofrecen gratuitamente para su uso y adaptación, pero en la mayoría de los casos se requiere algún tipo de pago para las actividades de apoyo.

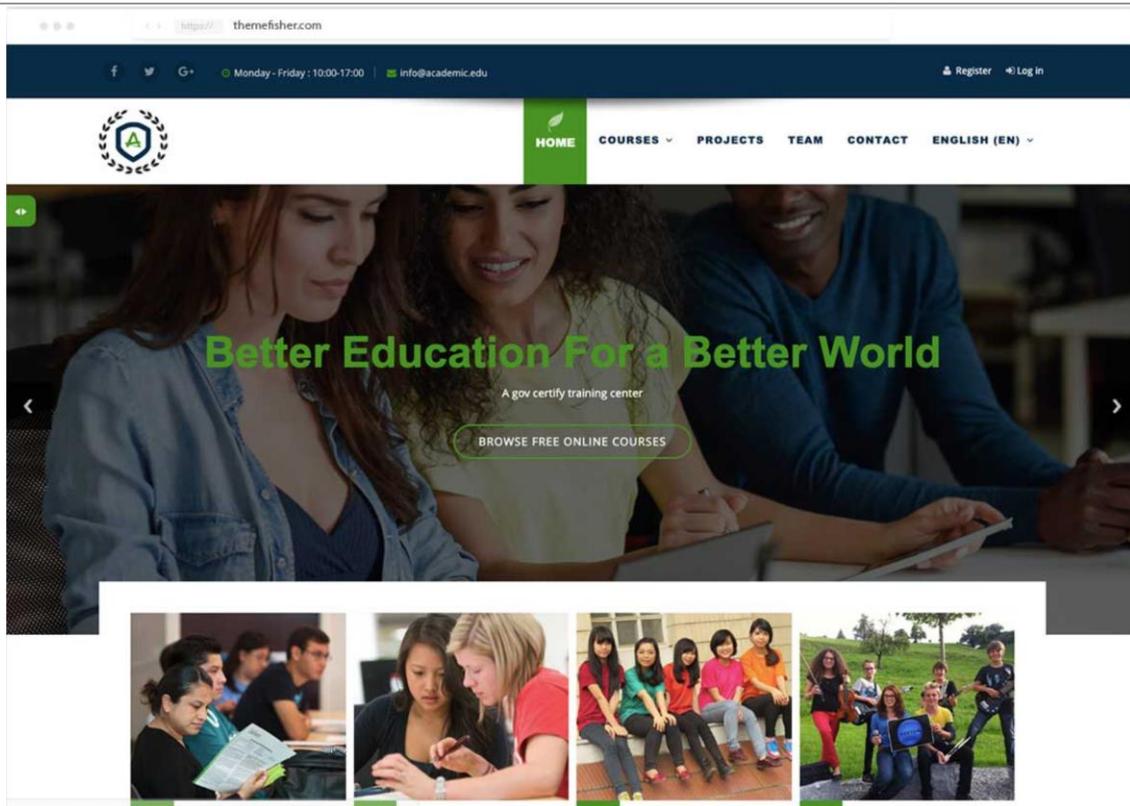


Figura. 2.1 Código abierto VLE [2]

- A medida - son desarrollados por los centros educativos y de formación con el fin de cumplir con sus propias necesidades.



Figura. 2.2 A medida VLE [4]

- Los productos de venta al público son soluciones empaquetadas que luego se adaptan para satisfacer las necesidades de la organización compradora, en lugar de encargar productos a medida.



Figura. 2.3 Producto de venta al público LMS [3]

## 2.2. Definición y características del LMS.

Un Sistema de Gestión de Aprendizaje (LMS) es lo mismo que un Entorno de Aprendizaje Virtual (VLE). Otro nombre para el LMS es Sistema de Gestión del Curso (CMS). Como definición general, el Sistema de Gestión del Aprendizaje es una aplicación de software o tecnología basada en la web para planificar, implementar y evaluar un proceso de aprendizaje específico. Las principales características del LMS son:

- Posibilidad de subir o crear y entregar contenido relacionado con materiales educativos.
- Supervisar la participación de los estudiantes y la evaluación continua para mejorar el proceso de aprendizaje y el rendimiento de los estudiantes.
- Herramienta para características interactivas tales como debates, videoconferencias, foros, etc.

## 2.3. Configuración y funcionalidades del LMS.

Las funcionalidades de un LMS son definidas en la mayoría de los casos por el desarrollador. Sin embargo, las funcionalidades mínimas deben ser proporcionadas por cualquier LMS.

### Informes:

Los profesores pueden beneficiarse de los informes del LMS para evaluar el rendimiento de los estudiantes. La información relativa al tiempo de estudio individual, los módulos utilizados durante el proceso de aprendizaje, los estudios de casos y cualquier otra actividad realizada por los estudiantes representarán aportaciones para el análisis.

### Análisis:

Esta característica permitirá al profesor evaluar el rendimiento de los estudiantes, así como encontrar la mejor solución para llenar los vacíos de conocimiento.

### Personalización:

Las plataformas de soporte de LMS permiten al desarrollador personalizar la experiencia de aprendizaje electrónico. Empezar con el logotipo de la empresa e integrar todos los materiales educativos en una estructura consolidada aumentará el rendimiento del sistema de gestión del aprendizaje. El desarrollador también puede crear una ruta de aprendizaje personalizada para cada estudiante con el fin de mejorar el proceso de aprendizaje. En caso de utilizar herramientas digitales como simuladores para la formación práctica, el profesor/formador puede decidir qué evaluación, método puede utilizarse para la evaluación de las competencias y habilidades del estudiante. Otro componente importante está relacionado con los tipos y formatos de los materiales didácticos. El LMS debería aceptar por lo menos documentos en formato doc y pdf, presentaciones y los tipos de vídeo comunes como avi, mp4, etc.

### Evaluación:

Representa una de las características más importantes del LMS. El sistema permite la evaluación durante el curso a través de pruebas de opción múltiple para determinar cuán bien lo conocen los estudiantes, así como la forma en que son capaces de aplicar la información en entornos del mundo real.

Comunicación:

Esta característica permite a los participantes compartir conocimientos y experiencias para mejorar el proceso de aprendizaje. Además, los estudiantes pueden trabajar juntos en los mismos proyectos y estudios de casos en el mismo tiempo.

#### 2.4. LMS - desafíos y ventajas.

Las ventajas del LMS en el proceso de aprendizaje son bien conocidas por las instituciones que utilizan el sistema. Se pueden identificar por lo menos tres beneficios principales cuando se aplica y se utiliza un LMS en el proceso de aprendizaje.

Los retos son también elevados cuando un LMS se aplica para más de un programa de estudio. Las plantillas digitales para cursos, presentaciones, vídeos y aplicaciones informáticas deben abarcar todos los aspectos relacionados con la elaboración de materiales didácticos. Uno de los principales retos está relacionado con la armonización y el intercambio de información entre dos sistemas de gestión del aprendizaje. Los estudiantes de diferentes escuelas deben poder intercambiar información con otros colegas utilizando las características del LMS.

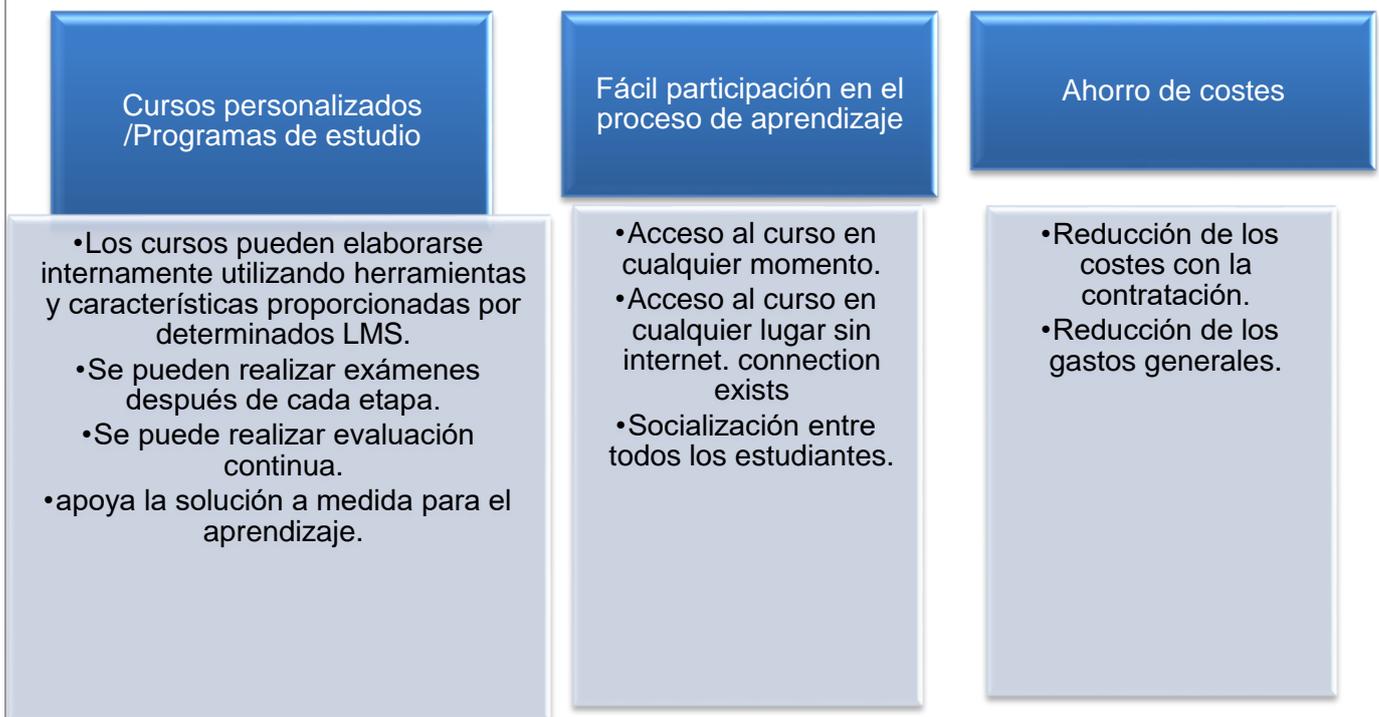


Figura. 2.4 Beneficios del uso del LMS en el proceso de aprendizaje

#### 2.5. Soluciones disponibles para el desarrollo del LMS.

Hay varias opciones disponibles con respecto al desarrollo de un LMS. Las opciones para desarrollar un LMS están en directa correlación tanto con los aspectos técnicos (plataforma, estructura, etc.) como con los financieros. A continuación se presenta un diagrama de las opciones del LMS.



Figura. 2.5 LMS – development options

**Instalado vs Basado en la web:**

Hay una gran diferencia entre LMS instalado en su propio ordenador/servidor como una aplicación dedicada y un sistema de gestión de aprendizaje desarrollado en una plataforma web. Adoptar una solución instalada en su propio servidor significa tanto la necesidad de un soporte técnico adecuado como mayores costos de instalación de la aplicación. El apoyo técnico y el mantenimiento de la aplicación serán realizados por el propio personal, y los costes financieros están principalmente relacionados con el coste real de la aplicación. Si se trata de una aplicación personalizada, los costos de adquisición serán más elevados. La segunda opción es también la más recomendada. La implementación de un LMS en línea reducirá los costos de adquisición, y el personal de TI de la plataforma en línea apoyará el mantenimiento. Además, el LMS está en continuo desarrollo y actualización, y los costes corren a cargo de quienes apoyan la plataforma en línea.

**Gratuito vs Comercial:**

Los LMS gratuitos están disponibles en una variedad de soluciones de software. Si el presupuesto asignado al desarrollo de LMS es pequeño, entonces esta opción es la mejor a considerar. Sin embargo, existe una gran desventaja, a saber, que la instalación de la plataforma y su mantenimiento será responsabilidad de su propio personal. Se recomienda adquirir una plataforma de LMS que ofrezca una muy buena experiencia en términos de apariencia, interfaz, acceso a documentos, evaluación del rendimiento, etc.

**Nube vs Hosteado:**

Estas opciones también son importantes cuando se implementa un LMS. Si se adopta la variante HOST, el control del LMS está disponible exclusivamente para el desarrollador. La ventaja de esta opción es que el desarrollador del LMS tendrá un control total sobre la aplicación y podrá hacer todos los cambios que considere oportunos. Sin embargo, el control total también conlleva responsabilidades en cuanto a la seguridad de los datos y las actualizaciones disponibles en el servidor. La segunda variante, NUBE, no proporciona un control total sobre la aplicación, sino sólo su uso. Desde el punto de vista del proceso de aprendizaje y de los profesores/entrenadores esta opción es la mejor considerando que se prestará toda la atención al desarrollo de los cursos, presentaciones, videos y casos prácticos que los usuarios van a utilizar.

**Código abierto vs Código cerrado:**

El software de código abierto (OSS) se distribuye en virtud de un acuerdo de licencia que permite que el código informático sea compartido, visto y modificado por otros usuarios y organizaciones. El software de código abierto está disponible para que el público en general lo utilice y modifique desde su diseño original de forma gratuita. Lo que significa es que una pieza de software puede evolucionar y ser iterada por otros desarrolladores en cualquier parte del mundo. Idealmente, esto significa que el software se mejora con el tiempo, pero a menudo puede tomar muchos giros interesantes con toda esa evolución y puede cambiar de forma y de tamaño por completo. Sin embargo, el software de código abierto es vulnerable a los desarrolladores deshonestos que eligen romper las cosas para su propio beneficio.

El software de código cerrado (CSM) puede definirse como el software propietario distribuido en virtud de un acuerdo de licencia a usuarios autorizados con restricciones de modificación, copia y reedición privadas. Por lo general, los principales diferenciadores entre abierto y cerrado se reducen a unos pocos factores:



Figura. 2.6 Diferencias clave entre el OSS y el CSM

### 3. Simuladores de soldadura.

La evolución tecnológica ha permitido el uso de simuladores para la formación de aprendices de soldadura con el fin de obtener los conocimientos necesarios para la inserción en el mercado laboral. La mayoría de los simuladores modernos funcionan con un ordenador personal y utilizan programas informáticos que permiten realizar una gran variedad de procesos. Entre ellos figuran la preparación (es decir, la selección de materiales, el tipo y los ajustes de soldeo), la evaluación del rendimiento y el suministro de retroinformación, de conformidad con los principios de formación segundo y tercero. [5]

#### 3.1. Sistemas de simuladores de soldadura.

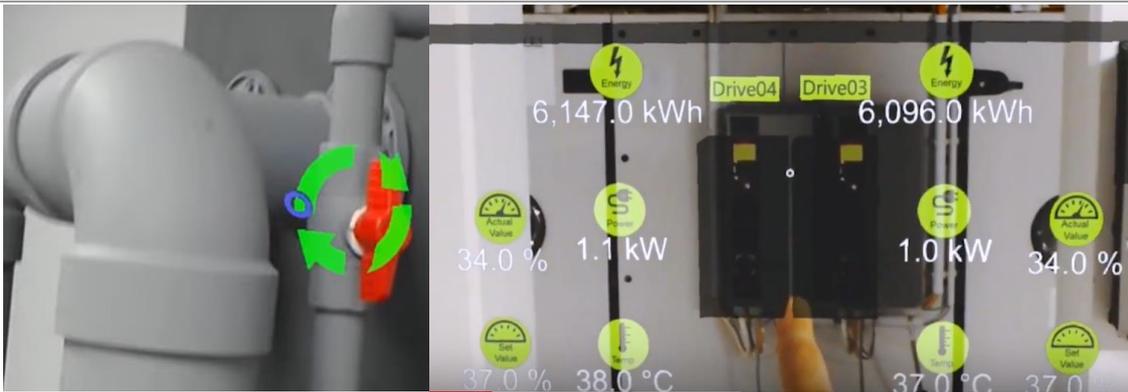
Los simuladores de soldadura se construyen utilizando tecnologías modernas como la Realidad Virtual (VR) o la Realidad Aumentada (AR). Estas tecnologías proporcionan al simulador una visualización y retroalimentación visual. En los sistemas de RV, una pantalla montada en la cabeza (HMD) crea el LVE. El soldador no puede ver la pistola real y las superficies de soldadura, sino que ve una representación virtual de éstas proyectadas en el HMD. En los sistemas AR, una imagen digital o animación se superpone a la imagen real que se puede ver a través de los monitores. A diferencia de los sistemas VR, en los sistemas AR, el soldador puede ver la pistola y las superficies de soldadura con las que está interactuando. Tanto en los sistemas VR como en los AR, las imágenes virtuales se utilizan para proporcionar una retroalimentación visual. Por lo general, también se incluye un monitor separado para permitir que los instructores vean el rendimiento de los estudiantes y revisen la retroalimentación después de la finalización de la soldadura.



Figura. 3.1 Simuladores de soldadura Ar y VR  
a. Simulador AR [6], b. Simulador VR [7]

#### 3.2. Realidad aumentada.

La tecnología de Realidad Aumentada (AR) permite la mezcla de los mundos real y virtual. Las aplicaciones AR pueden traducir esa imagen codificada en particular en un elemento virtual en la pantalla. Algunas aplicaciones de cámara incluso incluyen la opción de añadir elementos virtuales a una foto, junto con alguna medida de detección 3D que les permite moverse por la imagen como si fueran parte de la escena. AR es una vista directa o compuesta en vivo de un entorno físico del mundo real superpuesta con elementos virtuales, que han sido aumentados (mejorados) por una entrada sensorial generada por computadora como sonido, video, gráficos o datos de GPS. Las aplicaciones más comunes conocidas por los usuarios están relacionadas con códigos de escaneo QR y juegos como Pokemon Go.



a. b.

Figura. 3.2 Aplicaciones de la tecnología AR

a. HoloLens Plant Maintenance, BEApplied Research, [8], b. Phoenix Contact - Realidad aumentada en uso para la industria 4.0 y tecnología de la construcción, [9]

Los tres componentes principales de la tecnología AR son: hardware, software y un servidor remoto.



Figura. 3.3 Arquitectura básica del sistema AR

Hardware:

Los componentes de hardware de un sistema de AR consisten en un procesador para fines computacionales, un dispositivo de visualización como las pantallas montadas en la cabeza (HMD), la pantalla de un teléfono inteligente (SS), las gafas (EG), un dispositivo de entrada que puede ser una cámara web y sensores de posición como el GPS, el giroscopio, el acelerómetro. También para una mejor interactividad, los sistemas AR tienen sensores.



a. b. c.

Figura. 3.4 Pantallas para aplicaciones de AR

a. HMD [10], b. SS [11], c. EG [12]

Software:

Las imágenes virtuales, utilizadas para superponerse a la imagen real en vivo, pueden ser generadas usando software 3D. El software puede ser AutoCad3D, StudioMax o Cinema4D. Los datos de CT y MRI también pueden ser añadidos al mundo real. Además, para experimentar la realidad aumentada, el usuario final tiene que descargar una aplicación de software o un plug-in para el navegador.

Servidor Remoto:

El servidor remoto es necesario para almacenar las imágenes virtuales creadas con el software. El servidor remoto puede proporcionar imágenes virtuales almacenadas desde un servidor web o en la nube.

### 3.3. Realidad virtual.

La tecnología de Realidad Virtual (RV) tiene como objetivo crear un entorno 3D realista que el usuario pueda percibir como real. El usuario puede incluso interactuar con él de forma realista. La LVE puede ser creada en un ordenador con pantalla o en unos auriculares de RV (HMD). Un auricular de RV puede integrar tanto componentes de hardware

como de software y puede incluir sólo componentes de software pero, en este caso, se requiere una computadora. Un dispositivo de VR completo debe contener los componentes necesarios para proporcionar la mejor experiencia.



Figura. 3.5 Sistema completo de VR

#### Contenido de las fuentes:

Los contenidos son suministrados por hardware, normalmente el hardware de una computadora, consola o teléfono. Estos son los datos que componen el mundo digital, y deben venir de algún lugar. La experiencia de entrenamiento en VR puede lograrse dentro de una sola aplicación o juego. Además, al utilizar las tecnologías de VR, los estudiantes pueden comunicarse y compartir sus proyectos o casos de estudio. Según Google [13], por contenido de VR se entiende una simulación generada por ordenador de una imagen o un entorno tridimensional con el que puede interactuar una persona de manera aparentemente real o física utilizando un equipo electrónico especial, como un casco con una pantalla en su interior o unos guantes dotados de sensores.

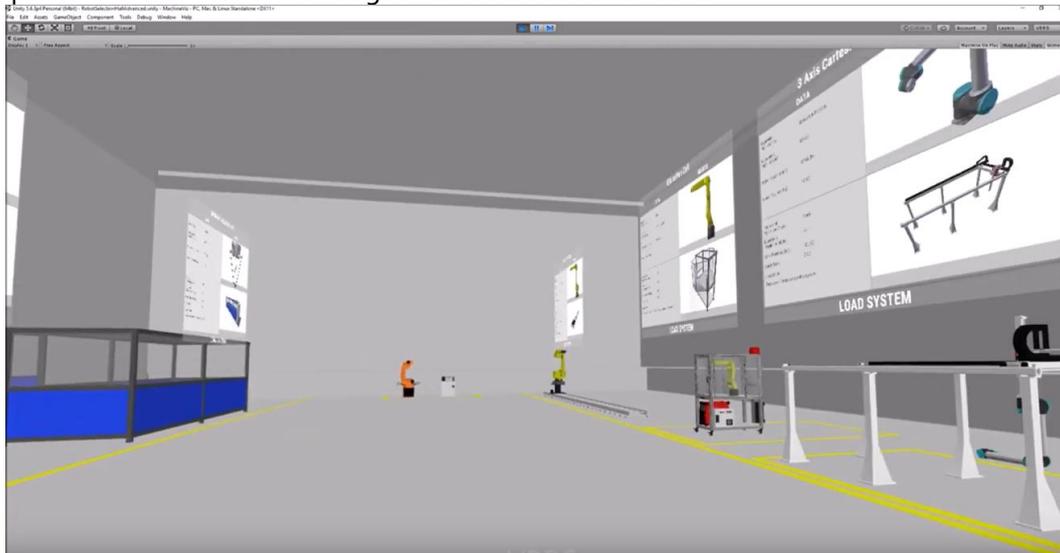


Figura. 3.6 Contenido VR [14]

#### Controles:

Los auriculares de VR muy simples permiten una exploración básica y la interacción con unos pocos botones situados en el auricular. Los auriculares más avanzados ofrecen controles de mano (Nintendo Wii). Los más avanzados ofrecen controladores que imitan los dispositivos reales, como la pistola de soldar y los electrodos. Interactúan directamente con el hardware que envía la fuente de alimentación.



Figura. 3.7 Controles VR [15]

### Pantallas:

La pantalla es donde la imagen VR es llevada a los ojos. En los viejos tiempos, se incluían dos pantallas separadas, una para cada ojo, en las gafas, y esto sigue siendo un enfoque popular para cabezas como la Grieta del Óculo. Pero debido al costo extra y a los componentes, esto es menos común hoy en día. Muchos auriculares baratos simplemente usan la pantalla completa del smartphone como una pantalla, o una sola pantalla OLED. En realidad, los simuladores de soldadura VR utilizan pantallas integradas en el casco de soldadura para estar más cerca de la soldadura real.



a.



b.

Fig. 3.8 Pantallas para simuladores de soldadura VR  
a. Smartphone [16], b. Casco VR [17]

### Lentes:

El papel de las lentes en los ojos humanos es alterar la luz entrante de manera que se enfoque en nuestros receptores en la parte posterior de los ojos. La lente se dobla dependiendo de la distancia entre los ojos y la cosa en la que el ojo se está enfocando. Si el usuario mira algo muy de cerca, sus lentes tienen que doblarse mucho para darle una imagen nítida. Si el usuario mira algo a la distancia el lente no tiene que doblarse mucho. Muchos auriculares incluyen lentes que ayudan a enfocar los ojos en la pantalla para que parezca que el usuario está mirando un entorno real. Esto es lo que permite que la VR funcione en pantallas individuales como las de los smartphones. Las versiones más avanzadas también permiten el ajuste de las lentes, lo cual es muy importante tanto para la vista como para el realismo.

### Campo de vision:

Un campo de visión perfecto sería, por supuesto, de 360 grados. Como esto no es posible en un casco, la mayoría de los creadores de cascos de VR se conforman con unos 100 a 120 grados, lo que ayuda a mejorar la inmersión. Sin embargo, si las imágenes virtuales se generan en monitores, se puede lograr la vista de 360 grados.

### Velocidad de fotogramas:

Cuanto mayor sea la velocidad de fotogramas, mejor será la exposición, por lo que el objetivo aquí es frecuentemente de 60 FPS a 120 FPS y un potente hardware para respaldarlo. Las experiencias menos ambiciosas pueden no

preocuparse mucho por la velocidad de fotogramas, pero si comienza a disminuir, entonces se pierde toda la exposición y a menudo se producen dolores de cabeza.

#### Sensores de rastreo:

Los cascos avanzados necesitan saber cuándo el usuario mueve la cabeza, las manos e incluso el cuerpo, para poder mover el contenido de la alimentación de forma similar. Así que los cascos también vienen con sensores de movimiento, y a veces también con hardware adicional para trazar un mapa de su espacio. La mayoría de los sensores de rastreo utilizan campos magnéticos que requieren una fuente de energía adicional para generar la corriente necesaria para su funcionamiento.

#### Audio:

El audio se suministra como parte de la alimentación de contenido en el propio auricular, o como una alimentación separada que utiliza un auricular de altavoz adicional que el usuario debe usar.

### 3.4. Diferencia entre el simulador de soldadura y el sistema de soldadura real.

El uso de la simulación de soldadura presenta muchas diferencias con el sistema de soldadura real. La siguiente tabla muestra las más relevantes:

| Simulador de soldadura  | Sistema real de soldadura  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>•Prácticas en simulador.</li> <li>•Menos contaminación.</li> <li>•Más seguro – Menos accidentes.</li> <li>•Menos costes.</li> <li>•Prácticas ilimitadas.</li> <li>•Menos tiempo.</li> <li>•Menor impacto medioambiental.</li> <li>•Soldadores más cualificados.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>•Prácticas en espacios pequeños</li> <li>•Emisiones de gas</li> <li>•Riesgos de quemado</li> <li>•Caro</li> <li>•Numerosas repeticiones</li> <li>•Mayor tiempo</li> <li>•Mayores emisiones</li> <li>•Soldadores menos cualificados</li> </ul> |

Figura. 3.9 Diferencias entre el simulador de soldadura y el sistema de soldadura real

### 3.5. Configuración de los simuladores de soldadura.

Podemos encontrar diferentes configuraciones dependiendo del fabricante que elijamos. En todos los casos, el simulador de soldadura incluye un completo manual de usuario (pdf-doc, online o ambos). Éstos suelen ser más o menos extensos dependiendo de los beneficios que ofrecen. Por ejemplo, la primera y más completa solución de simulación de soldadura llamada "SOLDAMATIC" incluye un manual de usuario con una sección dedicada a las tareas de configuración. Normalmente estas tareas se agrupan en:

| General   | Registro  | SOLDAMATIC<br>Página de inicio  | Selección del curso  | Parámetros de<br>soldeo  |
|---|---|---|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Idioma</li> <li>• Modo</li> <li>• Fecha y hora</li> <li>• Unidades</li> <li>• Normativa</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nombre de usuario</li> <li>• Contraseña</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cursos</li> <li>• Prácticas predefinidas</li> <li>• Guías y tutoriales</li> <li>• Prácticas y demos</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cursos generales</li> <li>• Cursos específicos</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Proceso de soldeo</li> <li>• Tipo de unión</li> <li>• Posición</li> <li>• Material base</li> <li>• Espesor</li> <li>• Material de aporte</li> <li>• Diámetro del aporte</li> <li>• Gas</li> </ul> |

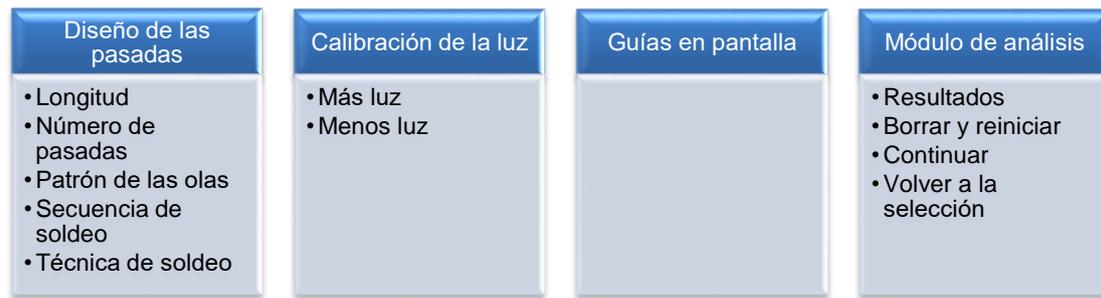


Figura. 3.10 Configurar el simulador de soldadura SOLDAMATIC

## BIBLIOGRAFÍA DE LA UNIDAD

- [1] Savu SV – Welding simulator, alternative digital tool for practical training of the future welders, ASR Conference, Buzau, 2015
- [2] Open source (Moodle based) example: <https://themefisher.com/moodle-bootstrap-themes/>
- [3] Off-the-shelf LMS product: <https://learnbox.co.za/off-the-shelf-lms/>
- [4] University of Craiova, LMS - <https://ciso1.central.ucv.ro/evstud/>
- [5] Susannah J. Whitney, Ashley K. W. Stephens – Use of Simulation to Improve the Effectiveness of Army Welding Training, Commonwealth of Australia, 2014
- [6] Soldamatic – Augmented Training for Welding, <http://www.soldamatic.com/soldamatic2018/>
- [7] Lincoln Electric – VRTEX360 Virtual Welding Trainer, <https://www.lincolnelectric.com/en-gb/equipment/training-equipment/vrtex360/pages/vrtex-360.aspx>
- [8] BEApplied Research, HoloLens Plant Maintenance, <https://www.youtube.com/channel/UCdXVL3uTXP-icWKB7K2Yivw>
- [9] Phoenix Contact - Augmented reality in use for industry 4.0 and building technology, <https://www.youtube.com/watch?v=UhW12bLH7U>
- [10] Lily Prasuethsut, Meta thinks Pokémon Go is perfect for the AR headset, <https://www.wareable.com/ar/meta-pokemon-go-2962>
- [11] Industry Reports, Global Augmented Reality Market to Witness a Pronounce Growth During 2024– Top Key players like Google Inc., Microsoft Corporation, Vuzix Corporation, Samsung Electronics Co., Ltd., Qualcomm Inc., Oculus VR, LLC, EON Reality, Inc. Infinity Augmented Reality Inc & Others, <https://industryreports24.com/430907/global-augmented-reality-market-to-witness-a-pronounce-growth-during-2024-top-key-players-like-google-inc-microsoft-corporation-vuzix-corporation-samsung-electronics-co-ltd-qualcomm-i/>
- [12] Husain Sumra, The best augmented reality glasses 2019: Snap, Vuzix, Microsoft, North & more, <https://www.wareable.com/ar/the-best-smartglasses-google-glass-and-the-rest>
- [13] Google, <https://virtualrealitypop.com/what-is-real-vr-content-3e66e3810894>
- [14] MindRend Technologies, VR Robotics Simulator, <https://www.youtube.com/channel/UCDWYIOAzV8qLhxa4yXbjmpQ>
- [15] Fronius Virtual Welding, <http://www.funworld.com/en/funworldtech/projects-and-partners/fronius-virtual-welding>
- [16] Weld VR simulator, <http://weld-vr.com/en/>
- [17] Lincoln Electric VRTEX 360, <https://www.lincolnelectric.com/de-de/support/application-stories/Pages/Pitt-Community-College.aspx>

## GLOSARIO

Incluye los principales conceptos, nuevos y/o complejos vistos en la unidad, como un diccionario. Este tipo de recurso es importante sobre todo cuando el curso está dirigido a estudiantes sin conocimiento del tema. Las entradas del glosario están ordenadas alfabéticamente.

## Welding Processes - GMAW

### 1.1 Nombre del curso

*Soldadura GMAW*

### 1.2 Duración del curso

*5 horas*

### 1.3 Propósito del curso

En esta unidad se muestran temas específicos relacionados con el proceso de soldadura GMAW, específicamente relacionados con el equipo de soldadura, los parámetros de soldeo, las técnicas típicas y los metales de aporte empleados.

El alumno en esta unidad aprenderá nociones del equipo de soldadura, parámetros, técnicas; le hará mejorar en los conocimientos del proceso GMAW.

### 1.4 Objetivos del curso

| Conocimiento   | Destrezas   | Actitudes  |
|--|---|--|
| Asumir competencias generales sobre el proceso de soldadura GMAW   | Introducción general al proceso de soldadura GMAW   | Los estudiantes deberán demostrar durante el curso una buena cooperación con el profesor y con los compañeros de clase, para mejorar el conocimiento y compartir información |
| Identificar los principales componentes del equipo de soldadura y saber su mantenimiento                           | Identificar los componentes de la máquina de soldar.<br>Identificar la competencia general en materia de mantenimiento                                    |  |
| Mejorar la competencia en la medición de los parámetros de soldadura   | Identificar los principales parámetros GMAW<br>Medición y control de los parámetros de soldeo   |  |
| Mejorar la competencia en la protección con gases  | Identificar los gases de protección.<br>La elección del gas protector correcto y sus principales propiedades  |  |
| Mejorar la competencia en el metal de aporte   | Identificar la diferencia en el metal de aporte<br>Elegir el metal de aporte correcto como consecuencia de las propiedades de la unión                    |  |
| Identificar los modos de transferencia en GMAW   | Aplicar diferentes modos de transferencia en el proceso de soldadura.<br>Elegir el modo de transferencia correcto como consecuencia del tipo de soldadura |  |
| Identificar las diferentes técnicas de soldadura con una explicación específica sobre la manera correcta de soldar | Asumir la competencia en las diferentes técnicas de soldadura   |  |

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Conocer la técnica de soldeo correcta en diferentes posiciones  |  |
| Mejorar la competencia en las prácticas de soldadura | Saber cómo preparar una pieza<br>Tener competencia sobre los principales defectos de soldadura y cómo evitarlos |  |

## 1.5 Contenidos

1. Introducción a la soldadura GMAW
  - 1.1 Características principales
  - 1.2 Componentes principales
2. Equipo
  - 2.1 Fuente de alimentación
  - 2.2 Alimentador del hilo
  - 2.3 Antorcha
  - 2.4 Punta de contacto y stick-out
  - 2.5 Boquilla
  - 2.6 Agrupación de hilos
3. Tecnología de soldeo
  - 3.1 Medición de los parámetros de soldeo
    - 3.1.1 Voltaje y corriente
    - 3.1.2 Velocidad de avance
    - 3.1.3 Cálculo del aporte de calor
    - 3.1.4 Flujo de gas de protección
  - 3.2 Consumibles
    - 3.2.1 Gas de protección
    - 3.2.2 Soldadura con gas inerte
    - 3.2.3 Soldadura con gas activo
  - 3.3 Hilos
    - 3.3.1 Hilos sólidos
    - 3.3.2 Hilos tubulares
  - 3.4 Parámetros y modo de transferencia
  - 3.5 Técnica
    - 3.5.1 Parámetros
    - 3.5.2 Posición de la antorcha y stick-out
    - 3.5.3 Velocidad de avance y técnicas
  - 3.6 Práctica de soldadura
    - 3.6.1 Preparación de la pieza
    - 3.6.2 Cebado de arco
    - 3.6.3 Técnica de soldeo
    - 3.6.4 Final de la soldadura
    - 3.6.5 Reinicio de la soldadura
4. Seguridad e Higiene en la soldadura GMAW
  - 4.1 Agentes químicos relacionados con la soldadura
  - 4.2 Agentes físicos relacionados con la soldadura

## 1.6 Participantes

|                            |                               |
|----------------------------|-------------------------------|
| Características del alumno | Competencias técnicas básicas |
|----------------------------|-------------------------------|

## 1.7 Requisitos de entrada

|                                   |  |
|-----------------------------------|--|
| Requisito del nivel educativo:    | Alumnos de escuelas de formación profesional |
| Conocimientos previos necesarios: | Conocimientos básicos de soldadura           |
| Requisitos de edad:               | 16-20 años                                   |

## 1.8 Actividades de evaluación

Evaluación sumativa: no se requiere nada

## 1.9 Bibliografía (usada o suplementaria)

[1] Curso general de soldadura GMAW: Material de formación del IIS

**NÚMERO DE LA UNIDAD: Unidad Didáctica 2****Título: Soldeo GMAW****Presentación**

En esta unidad se muestran temas específicos relacionados con el proceso de soldadura GMAW, específicamente relacionados con el equipo de soldadura, los parámetros de soldeo, las técnicas típicas y los metales de aporte empleados.

El alumno en esta unidad aprenderá nociones del equipo de soldadura, parámetros, técnicas; le hará mejorar en los conocimientos del proceso GMAW.

**Objetivos del curso**

| Conocimiento   | Destrezas   | Actitudes  |
|--|---|--|
| Asumir competencias generales sobre el proceso de soldadura GMAW   | Introducción general al proceso de soldadura GMAW   | Los estudiantes deberán demostrar durante el curso una buena cooperación con el profesor y con los compañeros de clase, para mejorar el conocimiento y compartir información |
| Identificar los principales componentes del equipo de soldadura y saber su mantenimiento                           | Identificar los componentes de la máquina de soldar.<br>Identificar la competencia general en materia de mantenimiento                                    |  |
| Mejorar la competencia en la medición de los parámetros de soldadura   | Identificar los principales parámetros GMAW<br>Medición y control de los parámetros de soldeo   |  |
| Mejorar la competencia en la protección con gases  | Identificar los gases de protección.<br>La elección del gas protector correcto y sus principales propiedades  |  |
| Mejorar la competencia en el metal de aporte   | Identificar la diferencia en el metal de aporte<br>Elegir el metal de aporte correcto como consecuencia de las propiedades de la unión                    |  |
| Identificar los modos de transferencia en GMAW   | Aplicar diferentes modos de transferencia en el proceso de soldadura.<br>Elegir el modo de transferencia correcto como consecuencia del tipo de soldadura |  |
| Identificar las diferentes técnicas de soldadura con una explicación específica sobre la manera correcta de soldar | Asumir la competencia en las diferentes técnicas de soldadura<br>Conocer la técnica de soldeo correcta en diferentes posiciones                           |  |
| Mejorar la competencia en las prácticas de soldadura   | Saber cómo preparar una pieza<br>Tener competencia sobre los principales defectos de soldadura y cómo evitarlos   |  |

## CONTENIDOS

1. Introducción a la soldadura GMAW
  - 1.1 Características principales
  - 1.2 Componentes principales
2. Equipo
  - 2.1 Fuente de alimentación
  - 2.2 Alimentador del hilo
  - 2.3 Antorcha
  - 2.4 Punta de contacto y stick-out
  - 2.5 Boquilla
  - 2.6 Agrupación de hilos
3. Tecnología de soldeo
  - 3.1 Medición de los parámetros de soldeo
    - 3.1.1 Voltaje y corriente
    - 3.1.2 Velocidad de avance
    - 3.1.3 Cálculo del aporte de calor
    - 3.1.4 Flujo de gas protección
  - 3.2 Consumibles
    - 3.2.1 Gas de protección
    - 3.2.2 Soldadura con gas inerte
    - 3.2.3 Soldadura con gas activo
  - 3.3 Hilos
    - 3.3.1 Hilos sólidos
    - 3.3.2 Hilos tubulares
  - 3.4 Parámetros y modo de transferencia
  - 3.5 Técnica
    - 3.5.1 Parámetros
    - 3.5.2 Posición de la antorcha y stick-out
    - 3.5.3 Velocidad de avance y técnicas
  - 3.6 Práctica de soldadura
    - 3.6.1 Preparación de la pieza
    - 3.6.2 Cebado del arco
    - 3.6.3 Técnica de soldadura
    - 3.6.4 Final de la soldadura
    - 3.6.5 Reinicio de la soldadura
4. Seguridad e Higiene en la soldadura GMAW
  - 4.1 Agentes químicos relacionados con la soldadura
  - 4.2 Agentes físicos relacionados con la soldadura

## DESARROLLO DE LOS CONTENIDOS

### 1. Introducción

#### 1.1 Características principales

La soldadura por arco metálico con gas de protección es un proceso en el que el calor se genera por un arco que se golpea entre un hilo y la pieza. Por consiguiente, el hilo cumple tanto la función de electrodo como la de aportar material a la unión, ya que el paso de la corriente provoca su fusión y se introduce continuamente en la zona de soldadura mediante una antorcha (imagen 1).

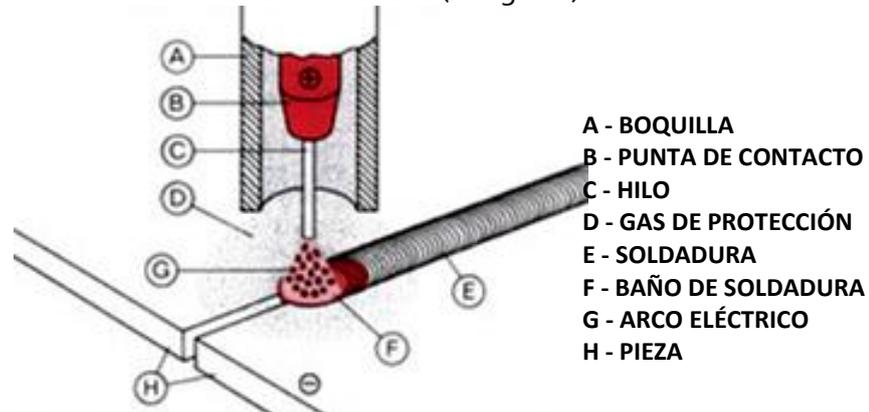


Imagen.1: Esquema GMAW

Este hilo puede ser sólido o con tubular, es decir, constituido por un electrodo tubular que contiene en su interior un flujo particular, que puede tener características diferentes según el uso al que se destine (imagen 2).

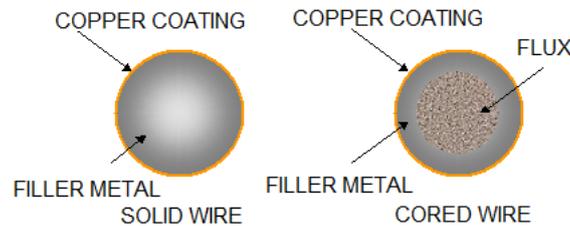


Imagen 2: hilo sólido y tubular

El ambiente de protección necesario para permitir el funcionamiento del arco eléctrico y evitar la contaminación de la soldadura por la atmósfera puede ser proporcionado por un gas que fluye desde la antorcha (soldadura con protección de gas) o directamente desde el hilo tubular, como en el caso de los electrodos revestidos (soldadura sin protección de gas)

Por consiguiente, se dispone de diferentes versiones de este proceso, como se indica en la siguiente tabla que muestra, además de una descripción sintética, la clasificación según las normas internacionales (UNE-EN ISO 4063: 2010) y según la terminología americana AWS A3.0.

| Descripción  | Clasificación    |          |
|--|------------------|----------|
|  | UNE- EN ISO 4063 | AWS A3.0 |
| Hilo de soldadura sólido con gas protector inerte (MIG - Metal Inert Gas)  | 131              | GMAW     |
| Hilo de soldadura sólido con gas protector activo (MAG - Metal Active Gas) | 135              | GMAW     |
| Soldadura de arco con hilo tubular con gas protector activo                | 136              | FCAW-G   |
| Soldadura de arco con hilo tubular (metal) con gas protector activo        | 138              | FCAW-G   |
| Soldadura de arco con hilo tubular sin gas protector                       | 114              | FCAW-S   |

Este proceso de soldadura también puede utilizarse en modo semiautomático, cuando el soldador maneja la antorcha, tanto en modo automático como robotizado, cuando la antorcha se mueve a través de los sistemas apropiados (vigas motorizadas, robots de soldadura, etc.). Por consiguiente, la soldadura por arco metálico protegido con gas representa uno de los procesos de soldadura más aplicados, gracias sobre todo a la alta productividad que se puede obtener por las elevadas corrientes y la gran cantidad de material que se puede depositar de forma continua y sin interrupciones.



Imagen.3: soldadura parcialmente mecanizada y completamente mecanizada

### 1.2 Componentes principales

La imagen 3 muestra el esquema de una planta de soldadura para el soldeo con protección gaseosa. Incluye una fuente de alimentación, un dispositivo de alimentación del hilo, una manguera flexible de alimentación de la antorcha y una antorcha.

En particular, el agua de refrigeración de la antorcha, utilizada para las altas corrientes de soldadura, el gas de protección (si se suministra), y para algunas aplicaciones particulares, los humos de la soldadura también se aspiran a través de la manguera de alimentación de la antorcha.

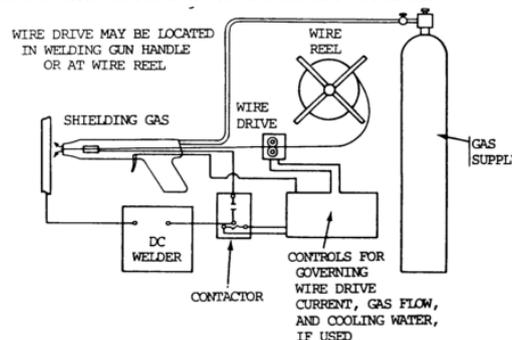


Figure 10-45. MIG welding process.

Imagen 4: Máquinas de soldadura por hilo

Estos elementos y su funcionamiento se describirán en detalle en los capítulos siguientes, en los que también se informará sobre las características de los consumibles, las técnicas de ejecución y los principales aspectos de la seguridad y la prevención de accidentes.

## 2. Equipo

### 2.1 Fuente de alimentación

En la soldadura por arco metálico con gas, la peculiaridad de tener un hilo que es conducido automáticamente a la antorcha, por ejemplo sin control directo del soldador, determina la necesidad de tener fuentes de alimentación de voltaje constante; esto está relacionado tanto con el hecho de que el encendido (cebado) del arco es posible también para valores pequeños del voltaje sin carga, como con el hecho de que esta característica permite, gracias al particular sistema operativo del proceso, mantener la corriente de soldeo estrictamente ligada a la velocidad de alimentación del hilo.

Por consiguiente, en las fuentes de alimentación para la soldadura con hilo no existe un comando de corriente (medido en Amperios), ya que ésta se ajusta directamente con la velocidad de alimentación del hilo, mientras que existe un comando de regulación de la tensión (medido en Voltios), que actúa sobre la característica de funcionamiento de la fuente de alimentación (Imagen 5).

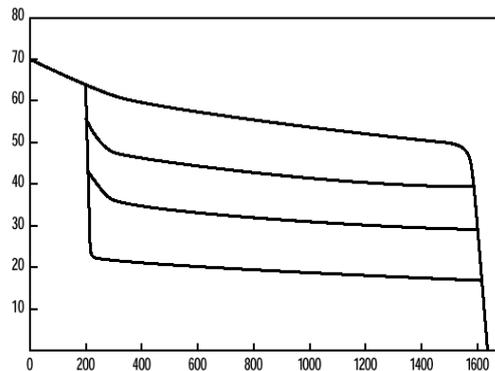


Imagen.5: Curva característica de la fuente de alimentación

En cuanto a los tipos de fuentes de alimentación, podemos considerar los dínamos (que ya no se utilizan), los transformadores-rectificadores (más baratos y fiables) y las máquinas o inversores controlados electrónicamente (más caros y ligeros).

Estos últimos, en particular, son máquinas caracterizadas por un peso y un tamaño relativamente bajos, combinados con una considerable versatilidad, ya que permiten la soldadura con técnicas particulares (por ejemplo, el arco pulsado - véase el capítulo 4) y con una gestión automática de los parámetros. Sin embargo, hay que considerar que estas máquinas pueden presentar a menudo una mayor dificultad en la utilización de los comandos, ya que éstos son generalmente complejos, por lo que se utilizan generalmente programas preestablecidos por el fabricante.

En cuanto al modo de alimentación del arco, rara vez se utiliza la corriente alterna, lo que provoca una inestabilidad de funcionamiento del arco debido a las fluctuaciones de la corriente y el voltaje, mientras que se prefiere el uso de la corriente continua con polaridad inversa (o CC inversa), por ejemplo, con la polaridad positiva conectada a la pinza y la negativa conectada a la pieza, lo que garantiza un funcionamiento más estable y una mejor transferencia del material de relleno del electrodo al baño.

### 2.2 Alimentador del hilo

El dispositivo de alimentación del hilo es uno de los elementos más importantes para el equipo; de hecho, debe permitir un avance regular del hilo dentro de la línea que conduce a la antorcha, a través de la propia

antorcha y hasta el arco eléctrico. Un mal funcionamiento del sistema (atascamiento del hilo, velocidad irregular del hilo) provocaría sin duda alguna la aparición de dificultades de funcionamiento o incluso defectos de soldadura.

La imagen 6 muestra el sistema típico de avance del hilo.

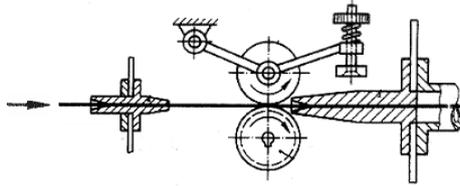


Imagen.6: Sistema de alimentación del hilo

En algunos casos, por ejemplo, cuando se suelda con materiales blandos (como el aluminio) o con longitudes de manguera de alimentación de antorcha especialmente altas (por ejemplo, por encima de los 3 metros clásicos), el motor de avance también puede estar presente en la antorcha (sistemas de empuje y tracción), desde los cuales también será posible ajustar la velocidad de alimentación del hilo.

Por último, la elección de la presión que debe ejercerse sobre el hilo a través del muelle de contacto y la geometría de los rodillos es fundamental para no deformar el hilo y evitar así el atasco del mismo dentro de la línea de hilo. La imagen 7 muestra dos geometrías típicas de los rodillos utilizados para soldar aceros y aluminio.

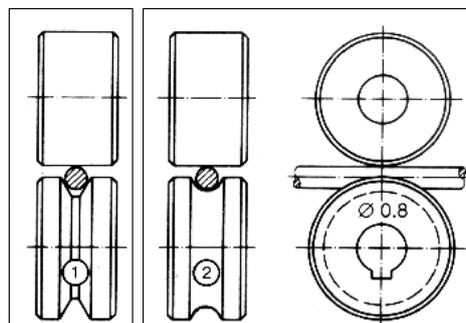


Imagen 7: diferente sistema de alimentación para el acero (izquierda) y el aluminio (derecha)

### 2.3 Antorcha

Hay diferentes tipos de antorchas, pero las más comunes son las de cuello de cisne, como la que se presenta en la imagen 8.

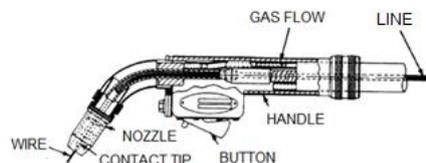


Imagen.8: antorcha

Cuando se utilizan valores de corriente elevados, las antorchas se caracterizan también por sistemas de refrigeración por agua para evitar que la antorcha se sobrecaliente.

### 2.4 Punta de contacto y stick out

La punta de contacto (imagen 9) tiene la finalidad de conducir el alambre regularmente y llevar la energía eléctrica al hilo; por lo tanto, es particularmente importante que este dispositivo tenga un diámetro correspondiente al alambre utilizado (generalmente se construye con diámetros de orificio superiores a unas pocas décimas de milímetro con respecto al hilo), y no presente un desgaste excesivo.

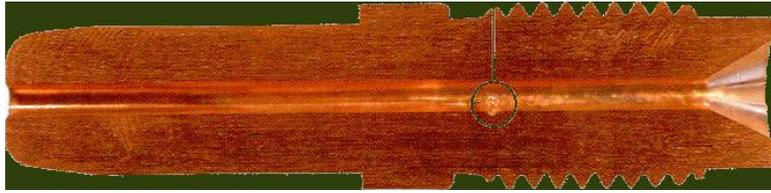


Imagen.9: Punta de contacto

Cabe señalar también que sólo la longitud del hilo que va de la punta de contacto al arco eléctrico es atravesada por una corriente (Imagen 10); esta sección se denomina "stick-out" o longitud libre del hilo y es particularmente importante en la soldadura, ya que afecta directamente a la corriente de soldeo y, por consiguiente, a la penetración (que disminuye a medida que aumenta este parámetro).

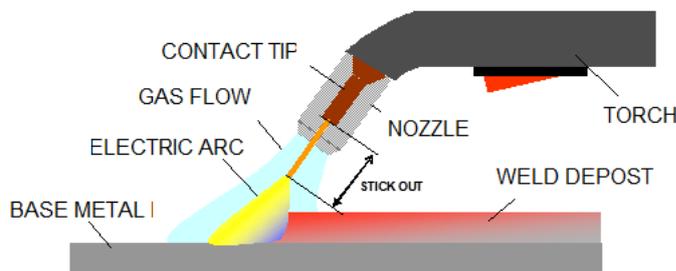


Imagen.10: stick-out

Este parámetro es controlado directamente por el soldador, que aumenta su extensión simplemente quitando la antorcha (disminuyendo por consiguiente la corriente y la profundidad de penetración) y disminuyendo su extensión actuando al revés.

## 2.5 Boquilla

La boquilla de gas protector puede tener diferentes diámetros dependiendo de la tasa de flujo de gas, y longitudes variables, ya que se necesitan boquillas más largas cuando se suelda con valores de stick-out particularmente altos.

Por último, es muy importante evitar que durante el período de soldeo se presente periódicamente el estado de la boquilla, a fin de evitar el bloqueo de la boquilla por salpicaduras de material (que aparecen como una serie de "bolitas" pegadas), para asegurar un flujo laminar de gas protector, reduciendo así el riesgo de porosidad en el baño de soldadura.

En general, también se pueden comercializar boquillas de diferentes longitudes, ya que las de mayor extensión son útiles para proteger el baño de soldadura cuando se trabaja con valores de stick-out elevados.

## 2.6 Cable de la pieza de trabajo

El cable de tierra conecta la fuente de alimentación a la pieza, cerrando así el circuito eléctrico. En consecuencia, se aplican las siguientes consideraciones:

- dado que en el circuito no deben producirse pérdidas de corriente, lo que daría lugar a una pérdida de eficacia del proceso, la conexión de la pieza debe estar siempre firmemente sujeta a la pieza (se recomienda encarecidamente que los elementos metálicos se coloquen simplemente sobre las piezas, o que se conecten tomas de masa a la plantilla de posicionamiento);

- dado que en el plomo corre la misma intensidad de corriente utilizada para el soldeo, es aconsejable que

el cable de la pieza de trabajo tenga una sección adecuada y también que esté en buenas condiciones y no esté deshilachado o dañado;

- dado que el calor producido por el paso de la corriente aumenta a medida que ésta aumenta, el punto en el que se coloca la pinza de la pieza de trabajo puede estar sujeto a sobrecalentamiento, especialmente si la pinza no está bien fijada.

Además, el funcionamiento del arco eléctrico puede estar sujeto a fuertes desviaciones, llamado "soplo magnético", debido a la acción magnética de la corriente que pasa del arco a la pieza, hasta la pinza de la pieza (Imagen 11).

Esto es generalmente posible para cualquier tipo de material (tanto magnético como "no magnético"), además el fenómeno tiende a desarrollarse con cierta facilidad en el caso de una soldadura cercana a un extremo de la pieza en la soldadura de aceros de baja aleación.

La consecuencia puede ser una considerable perturbación para el soldador, haciendo muy difícil el control del baño de soldadura, y puede llevar a la aparición de graves defectos de soldadura (por ejemplo, falta de fusión, inclusiones gaseosas).

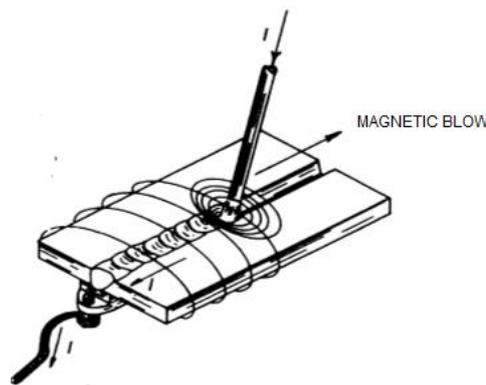


Imagen.11: golpe magnético

Para minimizar la perturbación causada por el soplo magnético (que sólo se produce en la soldadura con corriente continua) es necesario posicionar correctamente las pinzas de la pieza para favorecer las situaciones en las que la corriente atraviesa simétricamente la pieza, como se muestra por ejemplo en la imagen 12. Como alternativa, es posible considerar el suministro de corriente alterna que elimina el problema, aunque, como ya se ha mencionado, pueden surgir problemas de inestabilidad del arco.

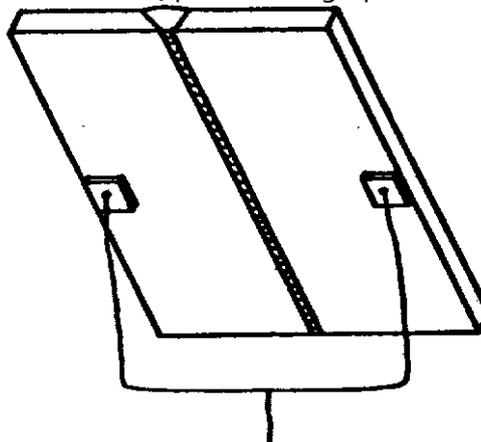


Imagen.12: posicionamiento de las pinzas de la pieza

### 3. Tecnología de soldeo

#### 3.1 Medición de los parámetros de soldeo

Durante las operaciones de soldeo, es importante evaluar los principales parámetros, a fin de comprobar que son los óptimos (por ejemplo, evaluados con la calificación del procedimiento de soldeo), obviamente mantenidos dentro de una tolerancia adecuada.

##### 3.1.1 Voltaje y corriente:

Las herramientas para medir estos parámetros de soldeo son:

- el voltímetro (para medir el voltaje, en Voltios)
- el amperímetro (para medir la corriente, en Amperios)

Estos instrumentos suelen estar incorporados en las máquinas de soldar, aunque para aplicaciones específicas (por ejemplo, la calificación del proceso de soldadura) puede ser necesario utilizar instrumentos separados, de mayor precisión y posiblemente calibrados adecuadamente.

La siguiente imagen muestra la pinza voltamperométrica, que es sin duda el instrumento más utilizado para estas operaciones.



Imagen.13: Pinza voltamperométrica

##### 3.1.2 Velocidad de avance

Este parámetro se mide generalmente en centímetros de soldadura realizada en un minuto.

Por lo tanto, la medición es bastante cómoda, ya que basta con medir la distancia recorrida con un centímetro durante un minuto de soldadura, marcado por un cronómetro.

##### 3.1.3 Cálculo del aporte térmico

Un parámetro muy importante desde el punto de vista de la soldadura es el llamado "aporte térmico", una indicación de cuánto se calienta la unión durante el soldeo. Depende de los parámetros de tensión y corriente, y de la velocidad de soldeo.

El aporte térmico se indica generalmente con el símbolo  $Q_1$ , o con la sigla H.I y se mide en julios por centímetro [J / cm]; se deriva de la siguiente fórmula:

$$Q_1 = \frac{\text{Voltio} \times \text{Amperio}}{\text{cm/min}} \times 60$$

Por ejemplo, el soldeo con una corriente de 300 amperios, un voltaje de 24 voltios y una velocidad de soldeo de 36 cm / min produce un aporte térmico de 12.000 J / cm a veces expresada como 12 kJ / cm o 1,2 kJ / mm.

Sin embargo, algunas normas, como la UNE-EN ISO 1011 y la UNE-EN ISO 15614, consideran un factor multiplicador de 0,8 para calcular el aporte de calor, para evaluar la cantidad de calor disipado durante la soldadura en el calentamiento de gas, y en la cantidad de luz emitida. En este caso, con referencia al ejemplo anterior, se obtiene un aporte térmico de 9600 J / cm (o 0,96 kJ / mm).

### 3.1.4 Flujo de gas protector

La velocidad de flujo del gas de protección se establece generalmente actuando sobre el medidor de flujo situado cerca del cilindro de gas o la conexión al suministro de la línea de gas.

Además, se puede realizar, antes de la soldadura, utilizando un simple instrumento (llamado flujómetro portátil), que se apoya directamente en la antorcha. Consiste en un tubo transparente, que muestra una escala graduada, dentro de la cual una pequeña esfera de acero es empujada por el gas de protección, mostrando así un flujo (Imagen. 14).

Es muy importante que este instrumento sea el previsto para el tipo de gas de protección considerado, a fin de tener una medición fiable de la tasa de flujo. Por ejemplo, la imagen 14 muestra un flujómetro que presenta dos escalas, una para el gas de protección Ar y otra para el gas CO<sub>2</sub>.

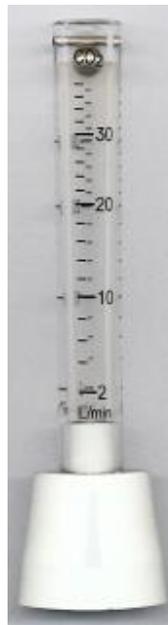


Imagen.14: flujómetro portátil

## 3.2 Consumibles

### 3.2.1 Gas protector

Durante la soldadura, el gas de protección que sale de la antorcha realiza dos tareas esenciales:

- favorece el funcionamiento del arco eléctrico de la soldadura, creando una atmósfera más estable que el aire;

- protege el baño de soldadura del aire, cuyas características también podrían verse seriamente afectadas por elementos como el oxígeno, el hidrógeno, el nitrógeno, etc.

En el caso de que, en cambio, se utilicen hilos para soldar sin gas, el flujo contenido en los hilos generará una atmósfera gaseosa adecuada, cuyo efecto será, en principio, equivalente al del gas de protección exterior.

En general, los gases de soldadura pueden dividirse en dos categorías principales:

- los gases inertes, que son el argón (símbolo químico Ar), el helio (símbolo químico He), o las mezclas entre los dos gases;

- gases activos, que son todas las mezclas que contienen también porcentajes muy pequeños de gases distintos del argón y el helio, como el dióxido de carbono (símbolo químico  $\text{CO}_2$ ), el oxígeno (indicado por el símbolo  $\text{O}_2$ ), el nitrógeno (indicado por el símbolo  $\text{N}_2$ ) o el hidrógeno (indicado por el símbolo  $\text{H}_2$ ); en esta categoría se incluye también el dióxido de carbono puro, utilizado a menudo en la soldadura con hilos tubulares.

En la tabla 2 se muestra un extracto de la norma europea UNE-EN ISO 14175, relativa a la clasificación de los gases utilizados para la soldadura y el corte de materiales metálicos, que se tratará en detalle en los párrafos siguientes.

La tabla 3 es relativa a la clasificación americana AWS A5.32, para los mismos gases.

| Símbolo |        | Elementos en % |              |         |      |              |              | Notas          |
|---------|--------|----------------|--------------|---------|------|--------------|--------------|----------------|
| Grupo   | Ident. | Oxidación      |              | Inertes |      | Reducción    | No reactivos |                |
|         |        | $\text{CO}_2$  | $\text{O}_2$ | Ar      | He   | $\text{H}_2$ | $\text{N}_2$ |                |
| R       | 1      |                |              | Bal.    |      | 0÷15         |              | Reducción      |
|         | 2      |                |              | Bal.    |      | 15÷35        |              |                |
| I       | 1      |                |              | 100     |      |              |              | Inerte         |
|         | 2      |                |              |         | 100  |              |              |                |
|         | 3      |                |              | Bal.    | 0÷95 |              |              |                |
| M1      | 1      | 0÷5            |              | Bal.    |      |              |              | Poca oxidación |
|         | 2      | 0÷5            |              | Bal.    |      |              |              |                |
|         | 3      |                | 0÷3          | Bal.    |      |              |              |                |
|         | 4      | 0÷5            | 0÷3          | Bal.    |      |              |              |                |
| M2      | 1      | 5÷25           |              | Bal.    |      |              |              | Oxidación      |
|         | 2      |                | 3÷10         | Bal.    |      |              |              |                |
|         | 3      | 0÷5            | 3÷10         | Bal.    |      |              |              |                |
|         | 4      | 5÷25           | 0÷8          | Bal.    |      |              |              |                |
| M3      | 1      | 25÷50          |              | Bal.    |      |              |              | Alta oxidación |
|         | 2      |                | 10÷15        | Bal.    |      |              |              |                |
|         | 3      | 5÷50           | 8÷15         | Bal.    |      |              |              |                |
| C       | 1      | 100            |              |         |      |              |              | Oxidación      |
|         | 2      | Resto          | 0÷30         |         |      |              |              |                |
| F       | 1      |                |              |         |      |              | 100          | No reactivos   |
|         | 2      |                |              |         |      | 0÷50         | Resto        | Reducción      |

Tabla 2

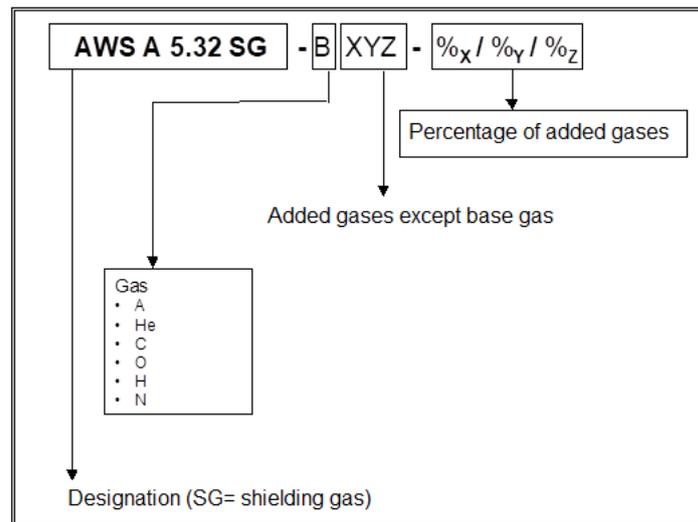


Tabla 3

### 3.2.2 Soldadura con gas inerte

En la soldadura de hilo sólido, utilizando gases inertes, el término MIG (acrónimo de Metal Inert Gas) también se utiliza para indicar este proceso de soldadura.

Estos gases se caracterizan por el mínimo efecto en el baño de soldadura como:

- son insolubles en el baño de fusión, reduciendo el riesgo de porosidad sólo a la contaminación de la atmósfera del baño de soldadura por el aire o la suciedad presente en los bordes.
- son inertes desde el punto de vista químico, por lo que cualquiera que sea la composición del alambre, se encuentra sin cambios en el depósito.
- generar un arco estable.

Dado el alto coste de estos gases, su uso se limita a los casos en que sea absolutamente necesario, como por ejemplo en la soldadura de aluminio y aleaciones ligeras.

Sin embargo, las características de la soldadura están influenciadas por los porcentajes de argón y helio contenidos, como se describe a continuación.

#### Soldadura con Argón puro (UNE-EN ISO 14175 - I1)

Las características de este gas permiten una buena estabilidad del arco y, en consecuencia, una considerable regularidad en la transferencia del material de relleno.

Desde el punto de vista operacional, este gas permite tener un baño de soldadura en frío, que es poco fluido, y por lo tanto más fácilmente manejable. Además, el gas es más pesado que el aire, y por consiguiente es necesario, dependiendo de las condiciones de funcionamiento:

- Cuando se suelde en posición horizontal de PC, soldar con la antorcha ligeramente inclinada hacia arriba (unos pocos grados), para asegurar una protección efectiva de la parte superior de la piscina.
- En la posición bajo techo, utilice tasas de flujo de gas ligeramente aumentadas para compensar la caída del gas.

El argón determina finalmente una forma del cordón típico, con penetración "a dedo" (imagen 15); debido a la escasa anchura del cordón, también pueden surgir problemas de encolado en caso de velocidades de soldeo excesivamente altas.

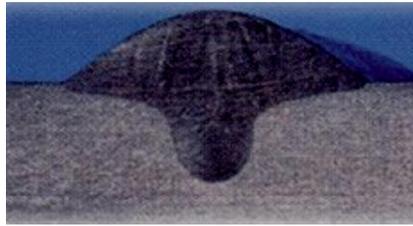


Imagen. 15: soldadura con Argón

Soldadura con helio puro (UNE-EN ISO 14175 - I2)

Las características de este gas hacen que el arco sea más inestable de lo que se ha observado para el argón; esto significa que para cada flujo de gas, la corriente requerida para el arco en una atmósfera de helio es mayor que la de una atmósfera de argón. Por consiguiente, cuanto mayor es la energía eléctrica (o la potencia) consumida, se obtiene un baño más caliente, útil por ejemplo en espesores elevados o cuando se desea trabajar con altas velocidades de soldeo.

El helio tiene densidades inferiores a la del argón, por lo que:

- Se necesita el doble de flujo de gas que el del argón, para tener el mismo efecto protector.
  - En la posición superior, los flujos de gas ligeramente inferiores al plano son suficientes, gracias a la subida natural del gas hacia arriba.
  - Puede ser útil, en la soldadura horizontal PC, soldar con la antorcha ligeramente inclinada hacia arriba (unos pocos grados), para asegurar una protección efectiva también de la parte inferior del baño.
- Finalmente, el argón determina una forma del cordón típico, con penetración en "copa" (fig. 16), situación que también permite la soldadura a altas velocidades.

Debido a la alta potencia térmica del arco con este gas, se utiliza como gas de protección puro en las plantas de soldadura automática, donde son posibles velocidades ejecutivas más altas.

Por último, cabe destacar que el helio cuesta aproximadamente el doble que el argón y, dadas las mayores velocidades de flujo necesarias, el coste de las operaciones de soldadura suele ser muy elevado.



Imagen. 16: soldadura con He

Soldadura con Argón - Mezclas de He (UNE-EN ISO 14175 - I3)

La finalidad de estas mezclas es lograr un compromiso entre los dos gases descritos anteriormente; en consecuencia, se obtienen buenas penetraciones (helio) pero con buenas características de transferencia del material de relleno (argón).

Por lo tanto, existen en el mercado mezclas muy diferentes que contienen helio en porcentajes que oscilan generalmente entre el 10% y el 80%.

### 3.2.3 Soldadura con gas activo

En la soldadura de hilo sólido, utilizando gases activos, el término MAG (acrónimo de Metal Active Gas) también se utiliza para indicar este proceso de soldadura.

Todos los gases que causan algún efecto en la composición química del baño de soldadura son gases activos; por lo tanto, todos los gases o el argón, el helio y sus mezclas excluidos se consideran activos.

En general, el uso de gases activos en la soldadura está vinculado a la obtención de efectos beneficiosos en términos de productividad de la soldadura o facilidad operativa.

Soldadura con CO<sub>2</sub> puro o con mezclas a base de CO<sub>2</sub> (UNE-EN ISO 14175 - C1 y C2)

Se puede añadir dióxido de carbono, en porcentajes muy elevados, para obtener un baño de soldadura más caliente y penetrante; por lo tanto, el gas permite velocidades de soldeo muy elevadas y, por consiguiente, una alta productividad.

Sin embargo, este gas tiene algunos efectos negativos, entre ellos:

- Una cierta inestabilidad del arco, por lo que es difícil que haya una transferencia regular del material de aporte, y varias salpicaduras en la soldadura.
- Una contaminación muy marcada del baño de soldadura (oxidación), lo que hace que la mezcla sea inutilizable en materiales particularmente oxidables (por ejemplo, aceros ricos en cromo).

Por estas razones, esta atmósfera protectora se utiliza generalmente sólo con hilos tubulares (que permiten una mayor regularidad de depósito) y sobre aceros sin aleación.

Soldadura con mezclas a base de gases inertes y mediante gases activos (UNE-EN ISO 14175 -M11 M34)

Debido a la inestabilidad del uso de mezclas a base de dióxido de carbono, las mezclas de argón y CO<sub>2</sub> se utilizan a menudo para lograr resultados de compromiso, consiguiendo así una buena estabilidad (también se utilizan a menudo hilos sólidos) y una buena productividad.

En el caso de materiales fácilmente oxidables (como los aceros inoxidables o todos los aceros ricos en cromo), se utilizan mezclas de gases que contienen pequeños porcentajes de dióxido de carbono (menos del 5%) para hacer el baño más fluido y la transferencia más regular.

Además de lo que hemos visto, otros gases pueden estar presentes en pequeños porcentajes (nunca más del 5% en total), para algunos propósitos específicos:

- Oxígeno, para suavizar el cordón de soldadura y reducir las salpicaduras.
- Hidrógeno (sólo para los aceros inoxidables, de tipo austenítico); para obtener un cordón menos oxidado y mayores velocidades de soldeo.

- Nitrógeno (sólo para los aceros inoxidable austeníticos - ferríticos), utilizado en porcentajes muy pequeños para obtener efectos metalúrgicos específicos.

### 3.1 Hilos

En la soldadura continua con hilo, el material de aporte es llevado a la antorcha por el motor de avance que lo desenrolla de una bobina.

Independientemente del tipo de material y de hilo que se considere, es importante el desenrollado, que debe ser regular, sin dobleces, para evitar un avance desigual o irregular, que podría causar fluctuaciones excesivas en los valores de corriente de soldeo (la corriente está correlacionada con la velocidad de avance del hilo).

En general, los hilos tienen un revestimiento de cobre o níquel o, en cualquier caso, están provistos de un tratamiento especial de superficie para facilitar el contacto eléctrico en el tubo portador de corriente y también, cuando sea necesario, para evitar la oxidación del hilo. Como ya se ha mencionado en el capítulo 1, es posible distinguir entre los hilos sólidos y los hilos tubulares, cuyas características se describirán en los párrafos siguientes; en la tabla se muestran, en cambio, los diámetros esperados y las tolerancias relativas, basadas en la norma europea UNE-EN ISO 544.

| DIÁMETRO [mm] | TOLERANCIA [mm] |         |
|---------------|-----------------|---------|
|               | SÓLIDO          | TUBULAR |
| 0,6           | +0,01<br>-0,03  | -       |
| 0,8           | +0,01<br>-0,04  |         |
| 0,9           |                 |         |
| 1,0           |                 |         |
| 1,2           |                 |         |
| 1,4           |                 |         |
| 1,6           |                 | ±0,04   |
| 1,8           |                 |         |
| 2,0           |                 |         |
| 2,4           |                 |         |
| 2,5           |                 |         |
| 2,8           | +0,01<br>-0,07  | ±0,06   |
| 3,0           |                 |         |
| 3,2           |                 |         |
| 4             |                 |         |

Tabla 4

#### 3.3.1 Hilos sólidos

En la soldadura de hilo macizo, las características del depósito están directamente relacionadas con la composición química del hilo.

Por consiguiente, no hay diferencias operativas entre los distintos tipos de hilo, salvo las características de los distintos metales soldados.

Desde el punto de vista de la clasificación, las normas de clasificación europeas y americanas (AWS) se resumen en la siguiente tabla.

A modo de ejemplo, las Tablas 6 y 7 también muestran un diagrama relativo a la clasificación europea de los hilos sólidos para la soldadura de aceros al carbono y de grano fino. La Tabla 8 se refiere en cambio a la clasificación AWS de los hilos para soldar aceros al carbono, mientras que la Tabla 9 se refiere a la de los hilos para soldar aceros inoxidable.

| Materiales                           | Norma Europea    | Norma AWS  |
|--------------------------------------|------------------|------------|
| Aceros al carbono y de baja aleación | UNE-EN ISO 14341 | AWS A5.18  |
| Aceros resistentes al arrastre       | UNE-EN ISO 21952 | AWS A5.28  |
| Acero inoxidable                     | UNE-EN ISO 14343 | AWS A5.9   |
| Aceros de alta Resistencia           | UNE-EN ISO 13347 | AWS A5.28  |
| Aluminio                             | UNE-EN ISO 18273 | AWS A 5.10 |
| Níquel y aleaciones de níquel        | UNE-EN ISO 18274 | AWS A 5.14 |
| Cobre                                | UNE-EN EN 13347  | AWS A5.7   |
| Hierro                               | UNE-EN ISO 1071  | AWS A5.15  |

Tabla 5

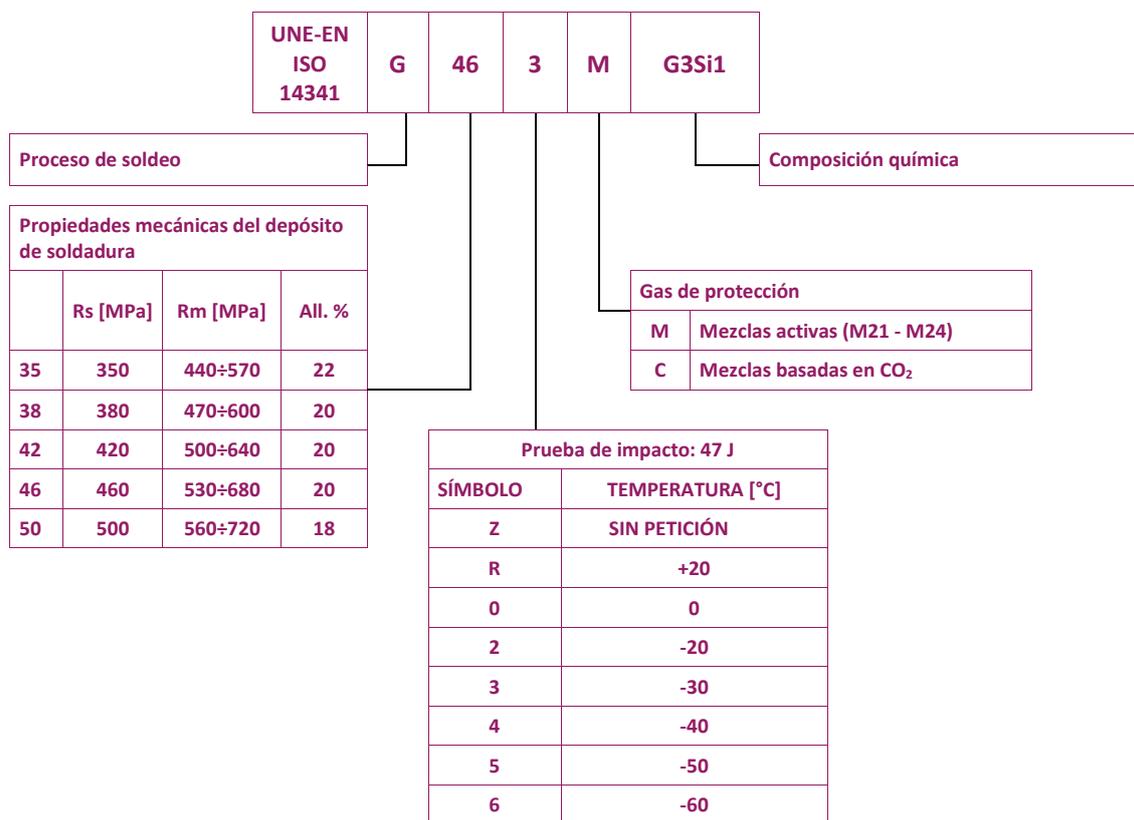


Tabla 6

| Símbolo | Composición química %                                  |           |           |       |       |      |      |           |           |
|---------|--|-----------|-----------|-------|-------|------|------|-----------|-----------|
|         | C  | Si        | Mn        | P     | S     | Ni   | Mo   | Al        | Ti+Zr     |
| G0      | Cualquier composición química no prevista por la norma |           |           |       |       |      |      |           |           |
| G2Si    | 0,06÷0,14  | 0,50÷0,80 | 0,90÷1,30 | 0,025 | 0,025 | 0,15 | 0,15 | 0,02      | 0,15      |
| G3Si1   | 0,06÷0,14  | 0,70÷1,00 | 1,30÷1,60 | 0,025 | 0,025 | 0,15 | 0,15 | 0,02      | 0,15      |
| G4Si1   | 0,06÷0,14  | 0,80÷1,20 | 1,60÷1,90 | 0,025 | 0,025 | 0,15 | 0,15 | 0,02      | 0,15      |
| G3Si2   | 0,06÷0,14  | 1,00÷1,30 | 1,30÷1,60 | 0,025 | 0,025 | 0,15 | 0,15 | 0,02      | 0,15      |
| G2Ti    | 0,04÷0,14  | 0,40÷0,80 | 0,90÷1,40 | 0,025 | 0,025 | 0,15 | 0,15 | 0,05÷0,20 | 0,05÷0,25 |

|       |           |           |           |       |       |           |           |           |      |
|-------|-----------|-----------|-----------|-------|-------|-----------|-----------|-----------|------|
| G3Ni1 | 0,06÷0,14 | 0,50÷0,90 | 1,00÷1,60 | 0,020 | 0,020 | 0,80÷1,50 | 0,15      | 0,02      | 0,15 |
| G2Ni2 | 0,06÷0,14 | 0,40÷0,80 | 0,80÷1,40 | 0,020 | 0,020 | 2,10÷2,70 | 0,15      | 0,02      | 0,15 |
| G2Mo  | 0,08÷0,12 | 0,30÷0,70 | 0,90÷1,30 | 0,020 | 0,020 | 0,15      | 0,40÷0,60 | 0,02      | 0,15 |
| G4Mo  | 0,06÷0,14 | 0,50÷0,80 | 1,70÷2,10 | 0,025 | 0,025 | 0,15      | 0,40÷0,60 | 0,02      | 0,15 |
| G2Al  | 0,08÷0,14 | 0,30÷0,70 | 0,90÷1,30 | 0,025 | 0,025 | 0,15      | 0,15      | 0,35÷0,75 | 0,15 |

Tabla 7

|                  |           |           |          |          |
|------------------|-----------|-----------|----------|----------|
| <b>AWS A5.18</b> | <b>ER</b> | <b>70</b> | <b>S</b> | <b>6</b> |
|------------------|-----------|-----------|----------|----------|

Hilo o varilla TIG

Hilos sólidos

| Resistencia a la tracción (Blindaje CO <sub>2</sub> ) |          |          |       |
|---|----------|----------|-------|
| Rm [Ksi]  | Rm [MPa] | Rs [MPa] | All % |
| 70  | 500      | 420      | 22    |

| DEPÓSITO                            |                     |          |           |  |              |
|-------------------------------------|---------------------|----------|-----------|--|--------------|
| N°                                  | Composición química |          |           |  | Impacto      |
|                                     | C                   | Mn       | Si        | Otro   |              |
| 2                                   | 0,07 Max            | 0,9÷1,4  | 0,4÷0,7   | Ti = 0,05÷0,15<br>Zr = 0,02÷0,12<br>Al = 0,05÷0,15 | 27 J a -29°C |
| 3                                   | 0,06÷0,15           | 0,9÷1,4  | 0,45÷0,7  | Al = 0,05÷0,9                                      | 27 J a -18°C |
| 4                                   | 0,07÷0,15           | 1,0÷1,5  | 0,65÷0,85 |  | --           |
| 5                                   | 0,07÷0,19           | 0,9÷1,4  | 0,3÷0,6   |  | --           |
| 6                                   | 0,07÷0,15           | 1,4÷1,85 | 0,8÷1,15  |  | 27 J a -29°C |
| 7                                   | 0,07÷0,15           | 1,5÷2,0  | 0,5÷0,8   |  |              |
| P=0,025 Max, S=0,035 Max, Cu=0,5Max |                     |          |           |  |              |

Tabla 8

|                 |           |               |
|-----------------|-----------|---------------|
| <b>AWS A5.9</b> | <b>ER</b> | <b>308 Mo</b> |
|-----------------|-----------|---------------|

Hilo o varilla TIG

| Composición química |           |           |           |         |            |           |      |      |           |      |             |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|---------|------------|-----------|------|------|-----------|------|-------------|
| TIPO                | C         | Cr        | Ni        | Mo      | Mn         | Si        | P    | S    | N         | Cu   | Otros       |
| 209                 | 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 |
| 218                 | 0.10      | 10.0-18.0 | 8.0-9.0   | 0.75    | 7.0-9.0    | 3.4-4.5   | 0.03 | 0.03 | 0.08-0.18 | 0.75 | --          |
| 219                 | 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 | --          |
| 240                 | 0.05      | 17.0-1q.0 | 4.0-6.0   | 0.75    | 10.5-1.3.5 | 1.00      | 0.03 | 0.03 | 0.10-0.30 | 0.75 | --          |
| 307                 | 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 | --          |
| 308                 | 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 | --          |
| 308H                | 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 | --          |
| 308L                | 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 | --          |
| 308Mo               | 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 | --          |
| 30LMo               | 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 | --          |
| 308Si               | 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 | --          |
| 308LSi              | 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 | --          |
| 309                 | 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 | --          |
| 309L                | 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 | --          |
| 309Mo               | 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 | --          |
| 309LMo              | 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 | --          |
| 309Si               | 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 | --          |
| 309LSi              | 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 | --          |
| 310                 | 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 | --          |
| 312                 | 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 | --          |

|                |           |           |           |         |         |           |       |      |    |          |                         |
|----------------|-----------|-----------|-----------|---------|---------|-----------|-------|------|----|----------|-------------------------|
| <b>316</b>     | 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     | --                      |
| <b>316H</b>    | 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     | --                      |
| <b>316L</b>    | 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     | --                      |
| <b>316Si</b>   | 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     | --                      |
| <b>316LSi</b>  | 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     | --                      |
| <b>317</b>     | 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     | --                      |
| <b>317L</b>    | 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     | --                      |
| <b>318</b>     | 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     | Nb 8 x C min 1.0 máx.   |
| <b>320</b>     | 0.07      | 19.0-21.0 | 32.0-36.0 | 2.0-3.0 | 2.5     | 0.60      | 0-03  | 0.03 | -- | 3.0-4.0  | Nb 8 x C min 1.0 máx.   |
| <b>320LR</b>   | 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  | Nb 8 x C min 1.0 máx.   |
| <b>321</b>     | 0.08      | 18.5-20.5 | 9.0-10.5  | 0.75    | 1.0-2.5 | 0.30-0.65 | 0.03  | 0.03 | -- | 0.75     | Ti 9 x C min/1.0 máx.   |
| <b>330</b>     | 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     | --                      |
| <b>347</b>     | 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     | Nb 10 x C min/1.0 máx.  |
| <b>347Si</b>   | 0.08      | 19.0-21.5 | 9.0-11.0  | 0.75    | 1.0-2.5 | 0.65-1.00 | 0.03  | 0.03 | -- | 0.75     | Nb 10 x C min/1.0 máx.  |
| <b>383</b>     | 0.025     | 20.5-28.5 | 30.0-33.0 | 3.2-4.2 | 1.0-2.5 | 0.50      | 0.02  | 0.03 | -- | 0.70-1.5 | --                      |
| <b>385</b>     | 0.025     | 19.5-21.5 | 24.0-26.0 | 4.2-5.2 | 1.0-2.5 | 0.50      | 0.02  | 0.03 | -- | 1.2-2.0  | --                      |
| <b>409</b>     | 0.08      | 10.5-13.5 | 0.6       | 0.50    | 0.8     | 0.8       | 0.03  | 0.03 | -- | 0.75     | Ti 10 x C min/1.5 máx.  |
| <b>409Cb</b>   | 0.08      | 10.5-13.5 | 0.6       | 0.50    | 0.8     | 1.0       | 0.04  | 0.03 | -- | 0.75     | Nb 10 x C min/0.75 máx. |
| <b>410</b>     | 0.12      | 11.5-13.5 | 0.6       | 0.75    | 0.6     | 0.5       | 0.03  | 0.03 | -- | 0.75     | --                      |
| <b>410NiMo</b> | 0.06      | 11.0-12.5 | 4.0-5.0   | 0.4-0.7 | 0.6     | 0.5       | 0.03  | 0.03 | -- | 0.75     | --                      |

Tabla 9

### 3.3.2 Hilos tubulares

Los hilos tubulares consisten en un elemento tubular que contiene en su interior un flujo o polvo metálico (Imagen. 17); la principal ventaja es la de obtener una mayor eficiencia del proceso (para la misma corriente un hilo tubular deposita más material que un hilo sólido) y una mayor estabilidad del arco.

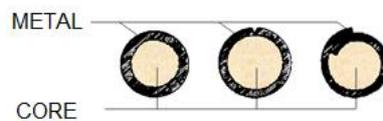


Imagen.17: Hilos tubulares

Durante la soldadura, el flujo contenido en el interior del hilo se funde, termina en el baño de fusión y, gracias a sus propiedades de fluidez, flota en el baño produciendo en general una escoria (Imagen. 18) que debe ser eliminada entre las pasadas.

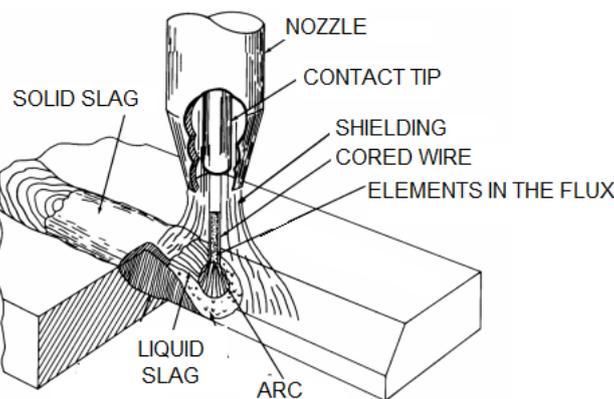


Imagen.18: soldadura en arco con hilo tubular

A partir de las sustancias contenidas en el flujo o el polvo metálico, es posible distinguir diferentes tipos de hilo tubular:

- Hilos tubulares de rutilo; son los más utilizados porque permiten una excelente regularidad de depósito, y una alta estabilidad del arco (también se utilizan con CO<sub>2</sub> puro).

- Hilos tubulares básicos; permiten obtener excelentes propiedades de soldadura, gracias a la formación de una capa relativamente gruesa que tiene por objeto purificar de impurezas la zona fundida.

- Hilos con núcleo metálico; tienen el mayor rendimiento hasta ahora, ya que el núcleo contiene esencialmente polvo metálico y, por consiguiente, produce muy poca quemadura; se utilizan ampliamente en la soldadura con CO<sub>2</sub> puro.

- Hilos tubulares auto-protegidos para la soldadura sin gas; se utilizan in situ y en general cuando existe la preocupación de la presencia de corrientes de aire que podrían eliminar la protección gaseosa de otros tipos de soldadura, y cuando la ausencia de sistemas de suministro de gases de protección simplifica su uso; sin embargo, producen niveles de humos claramente superiores a los de otros tipos de alambre.

Debido a las complejas técnicas de producción necesarias para su fabricación, los hilos tubulares tienen un coste más elevado que los sólidos.

En la siguiente tabla se enumeran las principales normas europeas y americanas de la AWS disponibles actualmente para la clasificación de los hilos tubulares; la tabla 11 se refiere a la clasificación de la AWS de los hilos tubulares (con o sin gas protector) para la soldadura de aceros de baja aleación; la tabla 12 se refiere en cambio a la clasificación europea.

| Material                       | EN           | AWS        |
|--------------------------------|--------------|------------|
| Aceros al carbono y grano fino | EN ISO 17632 | AWS A 5.20 |
| Aceros resistentes             | EN ISO 17634 | AWS A 5.29 |
| Acero inoxidable               | EN ISO 17633 | AWS A 5.22 |
| Aceros de alta resistencia     | EN ISO 18276 | AWS A 5.29 |

Tabla 10

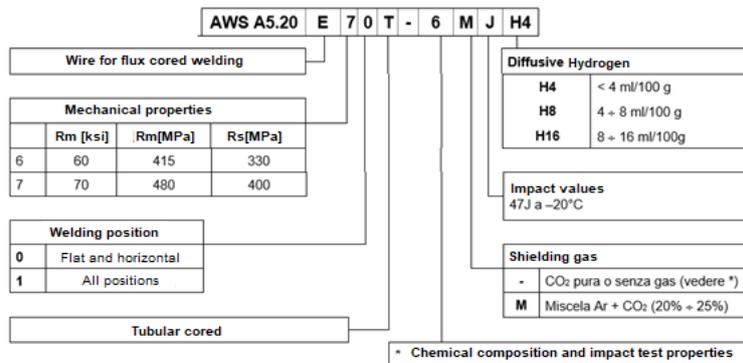


Tabla 11

| EN17632  |                              |                |                 | T  | 46               | 3        | 1Ni | B    | M   | 4       | H5 |    |             |         |               |      |                |         |                |     |     |  |    |       |     |         |    |   |     |          |                      |           |     |               |                |       |                        |                |              |       |                |         |             |                |           |                |             |  |                              |                |   |                              |                |   |       |                |    |           |                 |    |         |  |         |    |         |  |         |    |         |  |         |
|--|------------------------------|----------------|-----------------|--|------------------|----------|-----|------|-----|---------|----|----|-------------|---------|---------------|------|----------------|---------|----------------|-----|-----|--|----|-------|-----|---------|----|---|-----|----------|----------------------|-----------|-----|---------------|----------------|-------|------------------------|----------------|--------------|-------|----------------|---------|-------------|----------------|-----------|----------------|-------------|--|------------------------------|----------------|---|------------------------------|----------------|---|-------|----------------|----|-----------|-----------------|----|---------|--|---------|----|---------|--|---------|----|---------|--|---------|
| Cored wire   |                              |                |                 | Hydrogen   |                  |          |     |      |     |         |    |    |             |         |               |      |                |         |                |     |     |  |    |       |     |         |    |   |     |          |                      |           |     |               |                |       |                        |                |              |       |                |         |             |                |           |                |             |  |                              |                |   |                              |                |   |       |                |    |           |                 |    |         |  |         |    |         |  |         |    |         |  |         |
|  |                              |                |                 | <table border="1"> <tr><td>H3</td><td>&lt; 3 ml/100g</td></tr> <tr><td>H5</td><td>3 + 5 ml/100g</td></tr> <tr><td>H10</td><td>5 + 10 ml/100g</td></tr> <tr><td>H15</td><td>5 + 10 ml/100g</td></tr> </table> |                  |          |     |      |     |         |    | H3 | < 3 ml/100g | H5      | 3 + 5 ml/100g | H10  | 5 + 10 ml/100g | H15     | 5 + 10 ml/100g |     |     |  |    |       |     |         |    |   |     |          |                      |           |     |               |                |       |                        |                |              |       |                |         |             |                |           |                |             |  |                              |                |   |                              |                |   |       |                |    |           |                 |    |         |  |         |    |         |  |         |    |         |  |         |
| H3   | < 3 ml/100g                  |                |                 |  |                  |          |     |      |     |         |    |    |             |         |               |      |                |         |                |     |     |  |    |       |     |         |    |   |     |          |                      |           |     |               |                |       |                        |                |              |       |                |         |             |                |           |                |             |  |                              |                |   |                              |                |   |       |                |    |           |                 |    |         |  |         |    |         |  |         |    |         |  |         |
| H5   | 3 + 5 ml/100g                |                |                 |  |                  |          |     |      |     |         |    |    |             |         |               |      |                |         |                |     |     |  |    |       |     |         |    |   |     |          |                      |           |     |               |                |       |                        |                |              |       |                |         |             |                |           |                |             |  |                              |                |   |                              |                |   |       |                |    |           |                 |    |         |  |         |    |         |  |         |    |         |  |         |
| H10  | 5 + 10 ml/100g               |                |                 |  |                  |          |     |      |     |         |    |    |             |         |               |      |                |         |                |     |     |  |    |       |     |         |    |   |     |          |                      |           |     |               |                |       |                        |                |              |       |                |         |             |                |           |                |             |  |                              |                |   |                              |                |   |       |                |    |           |                 |    |         |  |         |    |         |  |         |    |         |  |         |
| H15  | 5 + 10 ml/100g               |                |                 |  |                  |          |     |      |     |         |    |    |             |         |               |      |                |         |                |     |     |  |    |       |     |         |    |   |     |          |                      |           |     |               |                |       |                        |                |              |       |                |         |             |                |           |                |             |  |                              |                |   |                              |                |   |       |                |    |           |                 |    |         |  |         |    |         |  |         |    |         |  |         |
| Mechanical properties  |                              |                |                 | Welding position   |                  |          |     |      |     |         |    |    |             |         |               |      |                |         |                |     |     |  |    |       |     |         |    |   |     |          |                      |           |     |               |                |       |                        |                |              |       |                |         |             |                |           |                |             |  |                              |                |   |                              |                |   |       |                |    |           |                 |    |         |  |         |    |         |  |         |    |         |  |         |
| <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Rs [MPa]</th> <th>Rm [MPa]</th> <th>A%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>35</td><td>350</td><td>440-570</td><td>22</td></tr> <tr><td>38</td><td>380</td><td>470-600</td><td>20</td></tr> <tr><td>42</td><td>420</td><td>500-640</td><td>20</td></tr> <tr><td>46</td><td>460</td><td>530-660</td><td>20</td></tr> <tr><td>50</td><td>500</td><td>560-720</td><td>18</td></tr> </tbody> </table>   |                              |                |                 |  | Rs [MPa]         | Rm [MPa] | A%  | 35   | 350 | 440-570 | 22 | 38 | 380         | 470-600 | 20            | 42   | 420            | 500-640 | 20             | 46  | 460 | 530-660  | 20 | 50    | 500 | 560-720 | 18 | <table border="1"> <tr><td>1</td><td>All</td></tr> <tr><td>2</td><td>1) Except PG</td></tr> <tr><td>3</td><td>PA e PB</td></tr> <tr><td>4</td><td>PA</td></tr> <tr><td>5</td><td>3) and PG</td></tr> </table> |     |          |                      |           |     |               |                | 1     | All                    | 2              | 1) Except PG | 3     | PA e PB        | 4       | PA          | 5              | 3) and PG |                |             |  |                              |                |   |                              |                |   |       |                |    |           |                 |    |         |  |         |    |         |  |         |    |         |  |         |
|  | Rs [MPa]                     | Rm [MPa]       | A%              |  |                  |          |     |      |     |         |    |    |             |         |               |      |                |         |                |     |     |  |    |       |     |         |    |   |     |          |                      |           |     |               |                |       |                        |                |              |       |                |         |             |                |           |                |             |  |                              |                |   |                              |                |   |       |                |    |           |                 |    |         |  |         |    |         |  |         |    |         |  |         |
| 35   | 350                          | 440-570        | 22              |  |                  |          |     |      |     |         |    |    |             |         |               |      |                |         |                |     |     |  |    |       |     |         |    |   |     |          |                      |           |     |               |                |       |                        |                |              |       |                |         |             |                |           |                |             |  |                              |                |   |                              |                |   |       |                |    |           |                 |    |         |  |         |    |         |  |         |    |         |  |         |
| 38   | 380                          | 470-600        | 20              |  |                  |          |     |      |     |         |    |    |             |         |               |      |                |         |                |     |     |  |    |       |     |         |    |   |     |          |                      |           |     |               |                |       |                        |                |              |       |                |         |             |                |           |                |             |  |                              |                |   |                              |                |   |       |                |    |           |                 |    |         |  |         |    |         |  |         |    |         |  |         |
| 42   | 420                          | 500-640        | 20              |  |                  |          |     |      |     |         |    |    |             |         |               |      |                |         |                |     |     |  |    |       |     |         |    |   |     |          |                      |           |     |               |                |       |                        |                |              |       |                |         |             |                |           |                |             |  |                              |                |   |                              |                |   |       |                |    |           |                 |    |         |  |         |    |         |  |         |    |         |  |         |
| 46   | 460                          | 530-660        | 20              |  |                  |          |     |      |     |         |    |    |             |         |               |      |                |         |                |     |     |  |    |       |     |         |    |   |     |          |                      |           |     |               |                |       |                        |                |              |       |                |         |             |                |           |                |             |  |                              |                |   |                              |                |   |       |                |    |           |                 |    |         |  |         |    |         |  |         |    |         |  |         |
| 50   | 500                          | 560-720        | 18              |  |                  |          |     |      |     |         |    |    |             |         |               |      |                |         |                |     |     |  |    |       |     |         |    |   |     |          |                      |           |     |               |                |       |                        |                |              |       |                |         |             |                |           |                |             |  |                              |                |   |                              |                |   |       |                |    |           |                 |    |         |  |         |    |         |  |         |    |         |  |         |
| 1  | All                          |                |                 |  |                  |          |     |      |     |         |    |    |             |         |               |      |                |         |                |     |     |  |    |       |     |         |    |   |     |          |                      |           |     |               |                |       |                        |                |              |       |                |         |             |                |           |                |             |  |                              |                |   |                              |                |   |       |                |    |           |                 |    |         |  |         |    |         |  |         |    |         |  |         |
| 2  | 1) Except PG                 |                |                 |  |                  |          |     |      |     |         |    |    |             |         |               |      |                |         |                |     |     |  |    |       |     |         |    |   |     |          |                      |           |     |               |                |       |                        |                |              |       |                |         |             |                |           |                |             |  |                              |                |   |                              |                |   |       |                |    |           |                 |    |         |  |         |    |         |  |         |    |         |  |         |
| 3  | PA e PB                      |                |                 |  |                  |          |     |      |     |         |    |    |             |         |               |      |                |         |                |     |     |  |    |       |     |         |    |   |     |          |                      |           |     |               |                |       |                        |                |              |       |                |         |             |                |           |                |             |  |                              |                |   |                              |                |   |       |                |    |           |                 |    |         |  |         |    |         |  |         |    |         |  |         |
| 4  | PA                           |                |                 |  |                  |          |     |      |     |         |    |    |             |         |               |      |                |         |                |     |     |  |    |       |     |         |    |   |     |          |                      |           |     |               |                |       |                        |                |              |       |                |         |             |                |           |                |             |  |                              |                |   |                              |                |   |       |                |    |           |                 |    |         |  |         |    |         |  |         |    |         |  |         |
| 5  | 3) and PG                    |                |                 |  |                  |          |     |      |     |         |    |    |             |         |               |      |                |         |                |     |     |  |    |       |     |         |    |   |     |          |                      |           |     |               |                |       |                        |                |              |       |                |         |             |                |           |                |             |  |                              |                |   |                              |                |   |       |                |    |           |                 |    |         |  |         |    |         |  |         |    |         |  |         |
| Impact: 47 J   |                              |                |                 | Shielding  |                  |          |     |      |     |         |    |    |             |         |               |      |                |         |                |     |     |  |    |       |     |         |    |   |     |          |                      |           |     |               |                |       |                        |                |              |       |                |         |             |                |           |                |             |  |                              |                |   |                              |                |   |       |                |    |           |                 |    |         |  |         |    |         |  |         |    |         |  |         |
| <table border="1"> <thead> <tr> <th>Symbol</th> <th>TEMPERATURE [°C]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Z</td><td>--</td></tr> <tr><td>R</td><td>+20</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>2</td><td>-20</td></tr> <tr><td>3</td><td>-30</td></tr> <tr><td>4</td><td>-40</td></tr> <tr><td>5</td><td>-50</td></tr> <tr><td>6</td><td>-60</td></tr> </tbody> </table>  |                              |                |                 | Symbol   | TEMPERATURE [°C] | Z        | --  | R    | +20 | 0       | 0  | 2  | -20         | 3       | -30           | 4    | -40            | 5       | -50            | 6   | -60 | <table border="1"> <thead> <tr> <th>Chemical</th> <th>Single or multi-pass</th> <th>Shielding</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>R</td><td>Rutile - slow</td><td>S e M Required</td></tr> <tr><td>P</td><td>Rutile - fast freezing</td><td>S e M Required</td></tr> <tr><td>B</td><td>Basic</td><td>S e M Required</td></tr> <tr><td>M</td><td>Metal cored</td><td>S e M Required</td></tr> <tr><td>V</td><td>Fluoride-basic</td><td>S* Not req.</td></tr> <tr><td>W</td><td>Fluoride-basic freezing slow</td><td>S e M Not req.</td></tr> <tr><td>Y</td><td>Fluoride-basic freezing fast</td><td>S e M Not req.</td></tr> <tr><td>S</td><td>Other</td><td>S e M Not req.</td></tr> </tbody> </table> |    |       |     |         |    |   |     | Chemical | Single or multi-pass | Shielding | R   | Rutile - slow | S e M Required | P     | Rutile - fast freezing | S e M Required | B            | Basic | S e M Required | M       | Metal cored | S e M Required | V         | Fluoride-basic | S* Not req. | W  | Fluoride-basic freezing slow | S e M Not req. | Y | Fluoride-basic freezing fast | S e M Not req. | S | Other | S e M Not req. |    |           |                 |    |         |  |         |    |         |  |         |    |         |  |         |
| Symbol   | TEMPERATURE [°C]             |                |                 |  |                  |          |     |      |     |         |    |    |             |         |               |      |                |         |                |     |     |  |    |       |     |         |    |   |     |          |                      |           |     |               |                |       |                        |                |              |       |                |         |             |                |           |                |             |  |                              |                |   |                              |                |   |       |                |    |           |                 |    |         |  |         |    |         |  |         |    |         |  |         |
| Z  | --                           |                |                 |  |                  |          |     |      |     |         |    |    |             |         |               |      |                |         |                |     |     |  |    |       |     |         |    |   |     |          |                      |           |     |               |                |       |                        |                |              |       |                |         |             |                |           |                |             |  |                              |                |   |                              |                |   |       |                |    |           |                 |    |         |  |         |    |         |  |         |    |         |  |         |
| R  | +20                          |                |                 |  |                  |          |     |      |     |         |    |    |             |         |               |      |                |         |                |     |     |  |    |       |     |         |    |   |     |          |                      |           |     |               |                |       |                        |                |              |       |                |         |             |                |           |                |             |  |                              |                |   |                              |                |   |       |                |    |           |                 |    |         |  |         |    |         |  |         |    |         |  |         |
| 0  | 0                            |                |                 |  |                  |          |     |      |     |         |    |    |             |         |               |      |                |         |                |     |     |  |    |       |     |         |    |   |     |          |                      |           |     |               |                |       |                        |                |              |       |                |         |             |                |           |                |             |  |                              |                |   |                              |                |   |       |                |    |           |                 |    |         |  |         |    |         |  |         |    |         |  |         |
| 2  | -20                          |                |                 |  |                  |          |     |      |     |         |    |    |             |         |               |      |                |         |                |     |     |  |    |       |     |         |    |   |     |          |                      |           |     |               |                |       |                        |                |              |       |                |         |             |                |           |                |             |  |                              |                |   |                              |                |   |       |                |    |           |                 |    |         |  |         |    |         |  |         |    |         |  |         |
| 3  | -30                          |                |                 |  |                  |          |     |      |     |         |    |    |             |         |               |      |                |         |                |     |     |  |    |       |     |         |    |   |     |          |                      |           |     |               |                |       |                        |                |              |       |                |         |             |                |           |                |             |  |                              |                |   |                              |                |   |       |                |    |           |                 |    |         |  |         |    |         |  |         |    |         |  |         |
| 4  | -40                          |                |                 |  |                  |          |     |      |     |         |    |    |             |         |               |      |                |         |                |     |     |  |    |       |     |         |    |   |     |          |                      |           |     |               |                |       |                        |                |              |       |                |         |             |                |           |                |             |  |                              |                |   |                              |                |   |       |                |    |           |                 |    |         |  |         |    |         |  |         |    |         |  |         |
| 5  | -50                          |                |                 |  |                  |          |     |      |     |         |    |    |             |         |               |      |                |         |                |     |     |  |    |       |     |         |    |   |     |          |                      |           |     |               |                |       |                        |                |              |       |                |         |             |                |           |                |             |  |                              |                |   |                              |                |   |       |                |    |           |                 |    |         |  |         |    |         |  |         |    |         |  |         |
| 6  | -60                          |                |                 |  |                  |          |     |      |     |         |    |    |             |         |               |      |                |         |                |     |     |  |    |       |     |         |    |   |     |          |                      |           |     |               |                |       |                        |                |              |       |                |         |             |                |           |                |             |  |                              |                |   |                              |                |   |       |                |    |           |                 |    |         |  |         |    |         |  |         |    |         |  |         |
| Chemical   | Single or multi-pass         | Shielding      |                 |  |                  |          |     |      |     |         |    |    |             |         |               |      |                |         |                |     |     |  |    |       |     |         |    |   |     |          |                      |           |     |               |                |       |                        |                |              |       |                |         |             |                |           |                |             |  |                              |                |   |                              |                |   |       |                |    |           |                 |    |         |  |         |    |         |  |         |    |         |  |         |
| R  | Rutile - slow                | S e M Required |                 |  |                  |          |     |      |     |         |    |    |             |         |               |      |                |         |                |     |     |  |    |       |     |         |    |   |     |          |                      |           |     |               |                |       |                        |                |              |       |                |         |             |                |           |                |             |  |                              |                |   |                              |                |   |       |                |    |           |                 |    |         |  |         |    |         |  |         |    |         |  |         |
| P  | Rutile - fast freezing       | S e M Required |                 |  |                  |          |     |      |     |         |    |    |             |         |               |      |                |         |                |     |     |  |    |       |     |         |    |   |     |          |                      |           |     |               |                |       |                        |                |              |       |                |         |             |                |           |                |             |  |                              |                |   |                              |                |   |       |                |    |           |                 |    |         |  |         |    |         |  |         |    |         |  |         |
| B  | Basic                        | S e M Required |                 |  |                  |          |     |      |     |         |    |    |             |         |               |      |                |         |                |     |     |  |    |       |     |         |    |   |     |          |                      |           |     |               |                |       |                        |                |              |       |                |         |             |                |           |                |             |  |                              |                |   |                              |                |   |       |                |    |           |                 |    |         |  |         |    |         |  |         |    |         |  |         |
| M  | Metal cored                  | S e M Required |                 |  |                  |          |     |      |     |         |    |    |             |         |               |      |                |         |                |     |     |  |    |       |     |         |    |   |     |          |                      |           |     |               |                |       |                        |                |              |       |                |         |             |                |           |                |             |  |                              |                |   |                              |                |   |       |                |    |           |                 |    |         |  |         |    |         |  |         |    |         |  |         |
| V  | Fluoride-basic               | S* Not req.    |                 |  |                  |          |     |      |     |         |    |    |             |         |               |      |                |         |                |     |     |  |    |       |     |         |    |   |     |          |                      |           |     |               |                |       |                        |                |              |       |                |         |             |                |           |                |             |  |                              |                |   |                              |                |   |       |                |    |           |                 |    |         |  |         |    |         |  |         |    |         |  |         |
| W  | Fluoride-basic freezing slow | S e M Not req. |                 |  |                  |          |     |      |     |         |    |    |             |         |               |      |                |         |                |     |     |  |    |       |     |         |    |   |     |          |                      |           |     |               |                |       |                        |                |              |       |                |         |             |                |           |                |             |  |                              |                |   |                              |                |   |       |                |    |           |                 |    |         |  |         |    |         |  |         |    |         |  |         |
| Y  | Fluoride-basic freezing fast | S e M Not req. |                 |  |                  |          |     |      |     |         |    |    |             |         |               |      |                |         |                |     |     |  |    |       |     |         |    |   |     |          |                      |           |     |               |                |       |                        |                |              |       |                |         |             |                |           |                |             |  |                              |                |   |                              |                |   |       |                |    |           |                 |    |         |  |         |    |         |  |         |    |         |  |         |
| S  | Other                        | S e M Not req. |                 |  |                  |          |     |      |     |         |    |    |             |         |               |      |                |         |                |     |     |  |    |       |     |         |    |   |     |          |                      |           |     |               |                |       |                        |                |              |       |                |         |             |                |           |                |             |  |                              |                |   |                              |                |   |       |                |    |           |                 |    |         |  |         |    |         |  |         |    |         |  |         |
| Chemical composition   |                              |                |                 | Flux features  |                  |          |     |      |     |         |    |    |             |         |               |      |                |         |                |     |     |  |    |       |     |         |    |   |     |          |                      |           |     |               |                |       |                        |                |              |       |                |         |             |                |           |                |             |  |                              |                |   |                              |                |   |       |                |    |           |                 |    |         |  |         |    |         |  |         |    |         |  |         |
| <table border="1"> <thead> <tr> <th>Symbol</th> <th>Mn</th> <th>Ni</th> <th>Mo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>None</td><td>2,0</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>Mo</td><td>1,4</td><td>-</td><td>0,3+0,6</td></tr> <tr><td>MnMo</td><td>1,4+2,0</td><td>-</td><td>0,3+0,6</td></tr> <tr><td>1Ni</td><td>1,4</td><td>0,6+1,2</td><td></td></tr> <tr><td>1,5Ni</td><td>1,6</td><td>1,2+1,8</td><td></td></tr> <tr><td>2 Ni</td><td>1,4</td><td>1,8+2,6</td><td></td></tr> <tr><td>3 Ni</td><td>1,4</td><td>2,6+3,8</td><td></td></tr> <tr><td>Mn1Ni</td><td>1,4+2,0</td><td>0,6+1,2</td><td></td></tr> <tr><td>1NiMo</td><td>1,4</td><td>0,6+1,2</td><td>0,3+0,6</td></tr> <tr><td>Z</td><td colspan="3">Other</td></tr> </tbody> </table> |                              |                |                 | Symbol   | Mn               | Ni       | Mo  | None | 2,0 | -       | -  | Mo | 1,4         | -       | 0,3+0,6       | MnMo | 1,4+2,0        | -       | 0,3+0,6        | 1Ni | 1,4 | 0,6+1,2  |    | 1,5Ni | 1,6 | 1,2+1,8 |    | 2 Ni  | 1,4 | 1,8+2,6  |                      | 3 Ni      | 1,4 | 2,6+3,8       |                | Mn1Ni | 1,4+2,0                | 0,6+1,2        |              | 1NiMo | 1,4            | 0,6+1,2 | 0,3+0,6     | Z              | Other     |                |             | <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Ys</th> <th>EM (min.)</th> <th>Ys weld deposit</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>3T</td><td>355 Mpa</td><td></td><td>470 Mpa</td></tr> <tr><td>4T</td><td>420 Mpa</td><td></td><td>520 Mpa</td></tr> <tr><td>5T</td><td>500 MPa</td><td></td><td>600 MPA</td></tr> </tbody> </table> |                              |                |   |                              |                |   |       |                | Ys | EM (min.) | Ys weld deposit | 3T | 355 Mpa |  | 470 Mpa | 4T | 420 Mpa |  | 520 Mpa | 5T | 500 MPa |  | 600 MPA |
| Symbol   | Mn                           | Ni             | Mo              |  |                  |          |     |      |     |         |    |    |             |         |               |      |                |         |                |     |     |  |    |       |     |         |    |   |     |          |                      |           |     |               |                |       |                        |                |              |       |                |         |             |                |           |                |             |  |                              |                |   |                              |                |   |       |                |    |           |                 |    |         |  |         |    |         |  |         |    |         |  |         |
| None   | 2,0                          | -              | -               |  |                  |          |     |      |     |         |    |    |             |         |               |      |                |         |                |     |     |  |    |       |     |         |    |   |     |          |                      |           |     |               |                |       |                        |                |              |       |                |         |             |                |           |                |             |  |                              |                |   |                              |                |   |       |                |    |           |                 |    |         |  |         |    |         |  |         |    |         |  |         |
| Mo   | 1,4                          | -              | 0,3+0,6         |  |                  |          |     |      |     |         |    |    |             |         |               |      |                |         |                |     |     |  |    |       |     |         |    |   |     |          |                      |           |     |               |                |       |                        |                |              |       |                |         |             |                |           |                |             |  |                              |                |   |                              |                |   |       |                |    |           |                 |    |         |  |         |    |         |  |         |    |         |  |         |
| MnMo   | 1,4+2,0                      | -              | 0,3+0,6         |  |                  |          |     |      |     |         |    |    |             |         |               |      |                |         |                |     |     |  |    |       |     |         |    |   |     |          |                      |           |     |               |                |       |                        |                |              |       |                |         |             |                |           |                |             |  |                              |                |   |                              |                |   |       |                |    |           |                 |    |         |  |         |    |         |  |         |    |         |  |         |
| 1Ni  | 1,4                          | 0,6+1,2        |                 |  |                  |          |     |      |     |         |    |    |             |         |               |      |                |         |                |     |     |  |    |       |     |         |    |   |     |          |                      |           |     |               |                |       |                        |                |              |       |                |         |             |                |           |                |             |  |                              |                |   |                              |                |   |       |                |    |           |                 |    |         |  |         |    |         |  |         |    |         |  |         |
| 1,5Ni  | 1,6                          | 1,2+1,8        |                 |  |                  |          |     |      |     |         |    |    |             |         |               |      |                |         |                |     |     |  |    |       |     |         |    |   |     |          |                      |           |     |               |                |       |                        |                |              |       |                |         |             |                |           |                |             |  |                              |                |   |                              |                |   |       |                |    |           |                 |    |         |  |         |    |         |  |         |    |         |  |         |
| 2 Ni   | 1,4                          | 1,8+2,6        |                 |  |                  |          |     |      |     |         |    |    |             |         |               |      |                |         |                |     |     |  |    |       |     |         |    |   |     |          |                      |           |     |               |                |       |                        |                |              |       |                |         |             |                |           |                |             |  |                              |                |   |                              |                |   |       |                |    |           |                 |    |         |  |         |    |         |  |         |    |         |  |         |
| 3 Ni   | 1,4                          | 2,6+3,8        |                 |  |                  |          |     |      |     |         |    |    |             |         |               |      |                |         |                |     |     |  |    |       |     |         |    |   |     |          |                      |           |     |               |                |       |                        |                |              |       |                |         |             |                |           |                |             |  |                              |                |   |                              |                |   |       |                |    |           |                 |    |         |  |         |    |         |  |         |    |         |  |         |
| Mn1Ni  | 1,4+2,0                      | 0,6+1,2        |                 |  |                  |          |     |      |     |         |    |    |             |         |               |      |                |         |                |     |     |  |    |       |     |         |    |   |     |          |                      |           |     |               |                |       |                        |                |              |       |                |         |             |                |           |                |             |  |                              |                |   |                              |                |   |       |                |    |           |                 |    |         |  |         |    |         |  |         |    |         |  |         |
| 1NiMo  | 1,4                          | 0,6+1,2        | 0,3+0,6         |  |                  |          |     |      |     |         |    |    |             |         |               |      |                |         |                |     |     |  |    |       |     |         |    |   |     |          |                      |           |     |               |                |       |                        |                |              |       |                |         |             |                |           |                |             |  |                              |                |   |                              |                |   |       |                |    |           |                 |    |         |  |         |    |         |  |         |    |         |  |         |
| Z  | Other                        |                |                 |  |                  |          |     |      |     |         |    |    |             |         |               |      |                |         |                |     |     |  |    |       |     |         |    |   |     |          |                      |           |     |               |                |       |                        |                |              |       |                |         |             |                |           |                |             |  |                              |                |   |                              |                |   |       |                |    |           |                 |    |         |  |         |    |         |  |         |    |         |  |         |
|  | Ys                           | EM (min.)      | Ys weld deposit |  |                  |          |     |      |     |         |    |    |             |         |               |      |                |         |                |     |     |  |    |       |     |         |    |   |     |          |                      |           |     |               |                |       |                        |                |              |       |                |         |             |                |           |                |             |  |                              |                |   |                              |                |   |       |                |    |           |                 |    |         |  |         |    |         |  |         |    |         |  |         |
| 3T   | 355 Mpa                      |                | 470 Mpa         |  |                  |          |     |      |     |         |    |    |             |         |               |      |                |         |                |     |     |  |    |       |     |         |    |   |     |          |                      |           |     |               |                |       |                        |                |              |       |                |         |             |                |           |                |             |  |                              |                |   |                              |                |   |       |                |    |           |                 |    |         |  |         |    |         |  |         |    |         |  |         |
| 4T   | 420 Mpa                      |                | 520 Mpa         |  |                  |          |     |      |     |         |    |    |             |         |               |      |                |         |                |     |     |  |    |       |     |         |    |   |     |          |                      |           |     |               |                |       |                        |                |              |       |                |         |             |                |           |                |             |  |                              |                |   |                              |                |   |       |                |    |           |                 |    |         |  |         |    |         |  |         |    |         |  |         |
| 5T   | 500 MPa                      |                | 600 MPA         |  |                  |          |     |      |     |         |    |    |             |         |               |      |                |         |                |     |     |  |    |       |     |         |    |   |     |          |                      |           |     |               |                |       |                        |                |              |       |                |         |             |                |           |                |             |  |                              |                |   |                              |                |   |       |                |    |           |                 |    |         |  |         |    |         |  |         |    |         |  |         |
|  |                              |                |                 | * Mechanical properties  |                  |          |     |      |     |         |    |    |             |         |               |      |                |         |                |     |     |  |    |       |     |         |    |   |     |          |                      |           |     |               |                |       |                        |                |              |       |                |         |             |                |           |                |             |  |                              |                |   |                              |                |   |       |                |    |           |                 |    |         |  |         |    |         |  |         |    |         |  |         |

Tabla 1

### 3.4 Parámetros y modos de transferencia

Dado que en la soldadura por arco metálico el electrodo utilizado es también el elemento que, calentado por el paso de la corriente se funde, es posible identificar un estrecho vínculo entre la corriente y la cantidad de metal depositado.

Los campos de parámetros dentro de los cuales se obtienen ciertos modos de transferencia también son una función del gas de protección, del diámetro y del tipo (sólido/conductor) del hilo.

Combinando estos efectos, se puede entender que la elección de los parámetros de soldeo puede implicar diferentes formas en las que las gotas de metal de relleno se desprenden del alambre y llegan al charco de fusión. Estos "modos de transferencia" son básicamente cuatro, como se describe a continuación.

- Transferencia por cortocircuito o arco corto. Este modo de transferencia se obtiene para valores de corriente y voltaje relativamente bajos, e implica la formación de grandes gotas de metal que se desprenden del hilo cuando tocan el baño de soldadura (Imagen. 19).



Imagen.19: Cortocircuito y arco corto

Esta técnica de soldadura permite realizar uniones en una posición diferente a la plana, aunque garantiza bajas tasas de depósito e implica un cierto riesgo de salpicaduras y falta de fusión.

- Transferencia globular. A medida que los valores actuales aumentan, las gotas que se forman son siempre más grandes, por lo que se obtiene una transferencia irregular. Se obtiene un cordón irregular, con un considerable desarrollo de salpicaduras (Imagen. 20). Por consiguiente, este modo de transferencia debe ser evitado, aunque tiende a realizarse fácilmente con el aumento del contenido de CO<sub>2</sub> en la mezcla de gases.

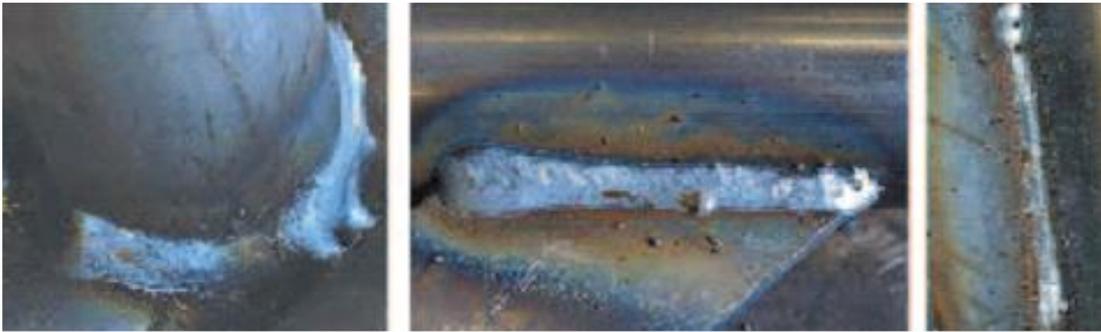


Imagen.20: Modo de transferencia globular

- Transferencia arco spray o pulverizador. Para valores de alta tensión y corriente, el arco es muy estable y direccional; en consecuencia, las gotas del material de aporte se "nebulizan" finamente y se depositan con considerable rapidez en el baño de soldadura (Imagen. 21): el depósito aparece, por tanto, muy regular. Esta técnica se utiliza generalmente y el cordón se ejecuta en la posición plana en materiales gruesos; sin embargo, como la gravedad tiene un papel fundamental, este modo se utiliza con poco éxito en la soldadura bajo techo y, a menudo, en posiciones distintas de la plana.



Imagen.21: Transferencia arco de pulverización

- Transferencia arco pulsado. Las fuentes de alimentación con inversor de corriente, permiten la aplicación de corrientes que varían a lo largo del tiempo (corriente modulada), generalmente caracterizadas por una corriente base, como para no causar depósito y una corriente de pico, como para causar el desprendimiento de una gota, por lo que se ajustan (Imagen. 22).

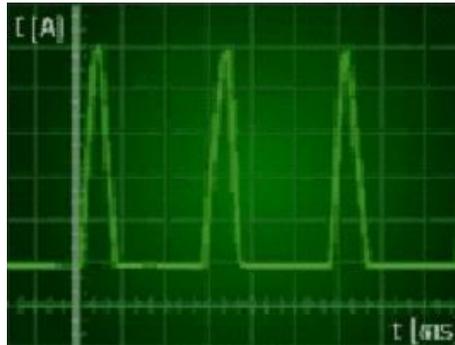


Imagen.22: corriente pulsada

Por consiguiente, es posible "controlar" el desprendimiento de las gotas (Imagen. 23) a través de ajustes apropiados (disponibles en la fuente de alimentación) en forma de programas. Al mismo tiempo, la entrada total de calor específico es lo suficientemente baja como para asegurar un baño de fusión bastante pequeño (baño "frío").

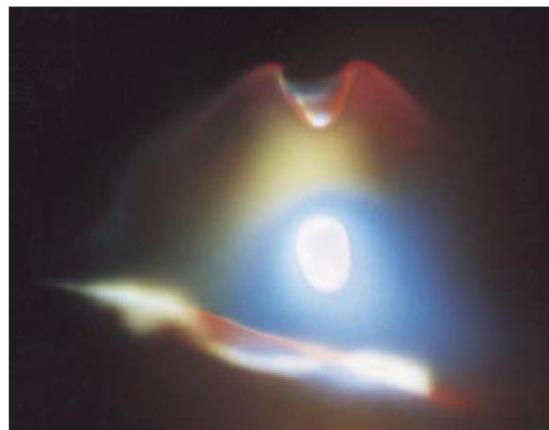


Imagen.23: Transferencia pulsada

Por lo tanto, parecerá evidente que las combinaciones particulares de parámetros influyen significativamente en la calidad y la operabilidad de la soldadura, incidiendo directamente en la cantidad de metal depositado, la posición de soldeo y el aspecto del recorrido de la misma. Los campos de parámetros dentro de los cuales se obtienen ciertos modos de transferencia también son una función del gas de protección, del diámetro y del tipo (sólido/tubular) del hilo, como ya se ha dicho. En particular, con el mismo metal soldado, el arco de pulverización se obtendrá más fácilmente cuando se reduzca el porcentaje de gases activos contenidos en el gas de protección y el diámetro del hilo.

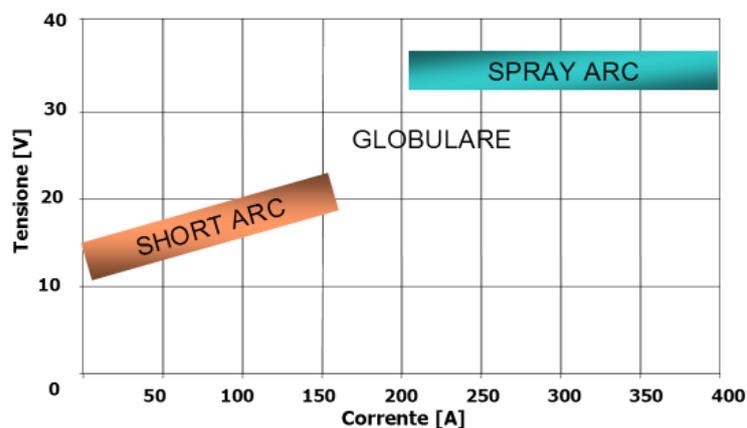


Imagen.24: curva del modo de transferencia para hilo sólido (0,8mm – mezcla 92% argón y 8% oxígeno)

### 3.5 Técnica

#### 3.5.1 Parámetros

A continuación, se muestran los principales parámetros de funcionamiento y se describe brevemente la influencia reactiva en las características del cordón.

#### 3.5.2 Posición de la antorcha y stick-out

Como ya se ha mencionado en el capítulo 2, en este proceso la característica particular del proceso y de la fuente de alimentación permite mantener la velocidad de fusión del hilo exactamente a la velocidad de alimentación del hilo. Esto significa que la intensidad de la corriente es gestionada por la máquina una vez que el soldador ha establecido una cierta velocidad de avance del hilo, dejando al soldador libre para gestionar el avance de la antorcha y su altura con respecto al baño de soldadura.

En particular, las variaciones en la posición de la antorcha con respecto al eje vertical provocan las consecuencias que se describen a continuación.

- Si se eleva la antorcha, después de un período transitorio muy breve, se produce un aumento del stick-out (longitud libre del hilo), con la consiguiente disminución de la corriente de soldadura (Amperio) y, por consiguiente, de la penetración; en cambio, la tensión (Voltio) permanece constante. Si la distancia de la antorcha es excesiva, la protección del gas (si está presente) se vuelve insuficiente, el arco comienza a ser inestable y se desarrollan salpicaduras y porosidad.

- Si se baja la antorcha, después de un período transitorio muy breve, se produce una disminución de la corriente de soldeo (Amperio) y, por consiguiente, de la penetración; en cambio, el voltaje (Voltio) permanece constante. Si la antorcha se baja demasiado, se desarrollan cortocircuitos (contactos de los cables con el baño) y el soldador siente un empuje de la antorcha para subir su posición.

Por consiguiente, puede deducirse que en este proceso la penetración y el stick-out se ajustan simplemente moviendo la antorcha hacia arriba (aumento) o hacia abajo (disminución). La imagen 25 muestra una comparación para tres posiciones diferentes de la antorcha, seguidas de diferentes valores de stick-out, corriente y penetración.

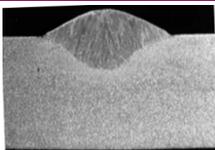
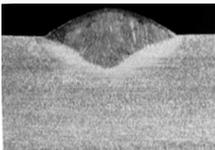
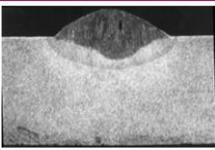
| Stick Out | Parámetros |       |                     | Hilo      |        | Protección                 |          | MACRO   |
|-----------|------------|-------|---------------------|-----------|--------|----------------------------|----------|---|
|           | V          | I     | Velocidad de avance | Speed     | Diám.  | Gas                        | Flow     |   |
| 9         | 31,5 V     | 263 A | 270 cm/min          | 3,4 m/min | 1,2 mm | Ar/CO <sub>2</sub> 80 - 20 | 16 l/min |  |
| 15        | 32,2 V     | 240 A |                     |           |        |                            |          |  |
| 25        | 33,4 V     | 228 A |                     |           |        |                            |          |  |

Imagen.25: efectos de la variación del stick-out

### 3.5.3 Velocidad de avance y técnicas de soldeo

La velocidad de avance, además de influir en el aporte de calor, también provoca variaciones en la soldadura: aunque el "factor forma" (relación anchura / profundidad) permanece constante, el tamaño puede variar; como es evidente, cuanto mayor es la velocidad, menor es el tamaño del recorrido en la soldadura.

Sin embargo, debido a la excesiva velocidad de soldeo, existe un cierto riesgo de que se produzcan fallos de fusión (falta de fusión, socavones), mientras que cuando la velocidad de soldeo es demasiado baja el cordón tiende a hincharse demasiado.

### 3.6 Prácticas de soldadura

A continuación, se presenta información útil para la realización de soldaduras en acero al carbono y bajas aleaciones.

También hay que destacar que la información que aquí se presenta debe considerarse como simples sugerencias, que no sustituyen en absoluto a una formación práctica adecuada, a la que, sobre todo en el caso de los puestos de soldadura más complejos, debe añadirse una experiencia de campo apropiada.

#### 3.6.1 Preparación de la pieza

Antes de realizar la soldadura, es aconsejable limpiar la pieza, con lijado, cepillado y, en algunos casos, con disolventes (por ejemplo, en la soldadura de aleaciones ligeras y aceros inoxidable austeníticos).

Teniendo en cuenta la longitud de los tramos que normalmente se depositan durante la soldadura, es aconsejable proceder a la fijación de las piezas a unir para evitar deformaciones importantes (por ejemplo, la soldadura por puntos).

#### 3.6.2 Cebado del arco

Al principio de la soldadura, se presiona el gatillo de la antorcha para activar el proceso, y tan pronto como el hilo toca la pieza, la fuente de alimentación suministra la máxima corriente disponible y enciende (ceba) el arco eléctrico. El encendido del arco eléctrico se produce, por lo tanto, por cortocircuito, es decir, por contacto entre el electrodo y la pieza.

Gracias al diámetro relativamente pequeño del hilo, el calor desarrollado en esta fase inicial permite la volatilización de una porción muy pequeña de hilo, liberando por consiguiente un espacio entre el electrodo y el material base dentro del cual puede encender el arco, que inicialmente tiene una longitud muy reducida y luego conduce rápidamente al de funcionamiento normal. Simultáneamente con el suministro de corriente de soldeo, un interruptor automático abre las válvulas del gas de protección y de cualquier agua de refrigeración.

Desde el punto de vista operativo, es muy importante lograr un calentamiento gradual del baño, lo que puede lograrse accionando el arco y esperando unos momentos hasta que se vea la formación de un baño de tamaño adecuado. Si no es posible utilizar un cordón (por ejemplo, en una soldadura "cerrada"), es necesario tener en cuenta que la zona de inicio debe eliminarse posteriormente con una radial cuando la estructura esté finalizada.

#### 3.6.3 Técnica de soldeo

Durante la soldadura, la antorcha se mantiene generalmente inclinada en la dirección del avance (técnica de derechas o "empuje") de unos 20 - 30 ° con respecto a la vertical; sin embargo, en la soldadura con hilos tubulares, debido a la presencia de la escoria, la antorcha debe inclinarse hacia el baño de soldadura (técnica

de revés o "tiro"), para evitar que la escoria cubra la zona de impacto del arco en el baño de soldadura, impidiendo el paso de la corriente y, en consecuencia, extinguiendo el propio arco (Imagen. 26).

Un caso especial es el de los hilos tubulares o los hilos tubulares metálicos, que no producen escoria y se utilizan como hilos sólidos.

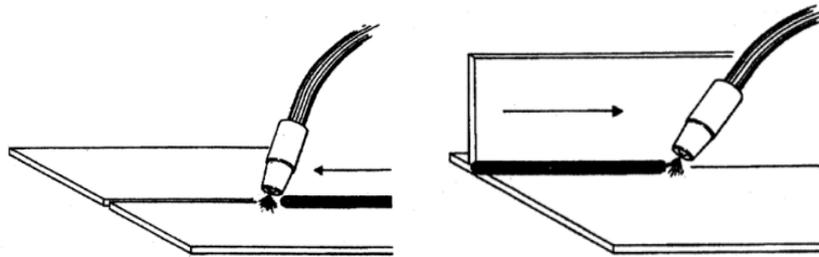


Imagen.26: técnicas de izquierda y derecha

Es sumamente importante que durante la soldadura la distancia entre la antorcha y la pieza se mantenga lo más constante posible para garantizar que el stick-out no sufra variaciones, con el consiguiente cambio de corriente y penetración del recorrido. Para obtener este resultado es aconsejable que el soldador sea conveniente con respecto a la pieza y al depósito a realizar, considerando una longitud útil de la sección no excesivamente depositada (que nunca debe superar el metro) para poder permanecer inmóvil en la posición de soldeo; también sería aconsejable considerar la posición del gatillo más alejada del torso y la posición de parada del depósito más cercano, ya que generalmente es más difícil manejar el baño de soldadura a medida que aumenta su temperatura.

Como ya se ha mencionado en el párrafo 4.1.2, el primer recorrido se realiza generalmente en un arco corto, o posiblemente en un arco pulsado, con el fin de obtener un baño fácilmente manejable.

Al final de la primera pasada y entre cada una es aconsejable realizar una limpieza adecuada, mediante la eliminación de las escorias que se hayan formado y asegurar una superficie correctamente limpia para acomodar las siguientes pasadas. Por lo tanto, es necesario recomendar la molienda de manera que se obtenga una "ranura" y no una "espalda de burro" o sección cuadrada (Imagen. 27).

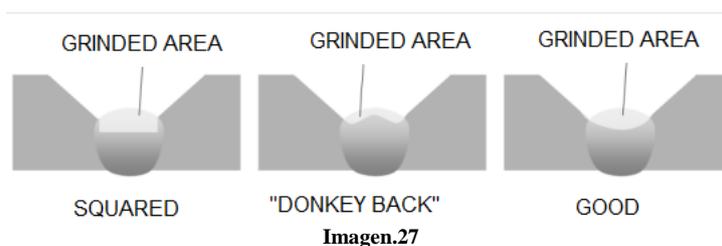


Imagen.27

## Soldadura en PA

Como ya se ha mencionado, en la soldadura plana, generalmente la primera capa se realiza con arco corto o arco pulsado seguida de cualquier capa de relleno, generalmente hecha con mayor corriente (y material de aporte).

## Soldadura vertical en PF

En este caso, la técnica de soldeo requiere parámetros eléctricos como para obtener la transferencia preferentemente en arco corto para todas las pasadas.

En este caso la técnica operativa es siempre de empuje, independientemente del tipo de hilo utilizado. Todo esto con el fin de apoyar el metal tratando de evitar el goteo con la presión del arco.

El relleno y el recubrimiento se realizan normalmente con movimientos que abarcan todo el ancho de la garganta y se curvan hacia arriba (a diferencia de lo que ocurre en la soldadura de electrodos revestidos). También es aconsejable tener en cuenta que en cada lado habrá un tope y cuando se mueva de un lado a otro esto se realizará lo más rápidamente posible, para garantizar la correcta fusión de las caras de la unión y, evitar las mordeduras. Como resultado, el baño de soldadura tendrá que ser elíptico; si los parámetros eléctricos son demasiado altos, el baño será excesivamente fluido o "caliente" y tenderá a gotear hacia abajo.

#### Soldadura en PE

En este caso, la condición particular coloca el baño de soldadura para trabajar contra las fuerzas de gravedad, situación que hace que la técnica de operación sea una de las más difíciles de lograr. Por esta razón es aún más importante posicionar al soldador con respecto a la pieza y se recomienda encarecidamente utilizar ambas manos, sosteniendo la antorcha con una, apoyando el antebrazo con la otra.

El modo de transferencia aplicable es el arco corto y pulsado. Al mismo tiempo, para evitar que haya demasiado fluido en el baño de soldadura, es necesario que haya altas velocidades de alimentación del hilo (cordones "tirados"), situación que, en consecuencia, conduce a valores de corriente más altos que los utilizados para la primera pasada plana.

En la soldadura bajo techo es finalmente apropiado aumentar ligeramente las tasas de flujo de gas a la antorcha, a fin de garantizar una protección adecuada del baño y del arco, especialmente si el gas de protección es el Argón.

La técnica operativa es generalmente empujar para los hilos sólidos o tirar para los hilos tubulares.

#### Soldadura en PC

En este caso la técnica de soldadura es similar a la del PE, tratando sin embargo de mantener el baño frío, limitando así la entrada de calor.

Hay que recordar que, para asegurar una protección adecuada del baño de soldadura, es necesario inclinar la antorcha ligeramente hacia arriba (soldadura con mezclas de Argón) o hacia abajo (soldadura con mezclas de Helio).

#### Soldadura en PG

La soldadura vertical descendente tiene como problema fundamental el hecho de que el movimiento de la antorcha se mueve en la misma dirección y en la dirección de la gravedad: en consecuencia, el descenso de la antorcha debe ser más rápido que la velocidad de caída del baño, para evitar que vaya a cubrir la raíz de la unión o los posteriores recorridos sin que éstos sean fusionados por el arco.

El resultado son altas velocidades de soldeo y bajas aportaciones térmicas, aunque el riesgo de falta de fusión es tan alto que se aconseja encarecidamente no soldar en esta posición.

### 3.6.4 Final de la soldadura

El final de la soldadura debe realizarse tratando de lograr un cierre gradual del arco (por ejemplo, con un aumento final de la velocidad de soldeo), para evitar la formación de cráteres al final de la soldadura (Imagen. 28).



Imagen.28: final del cráter

Por consiguiente, es aconsejable proceder al final de la soldadura en un recorrido, o, si esto no es posible (como por ejemplo en el cierre de una soldadura circunferencial), es conveniente preparar el cierre previamente realizando una especie de canalón de cierre.

En este caso, el cierre debe completarse al final del recorrido de soldadura y el material sobrante debe ser posteriormente reelaborado con una radial para devolver la unión a la altura normal.

Por último, cabe señalar que hay fuentes de alimentación que permiten una modulación de la corriente en el cierre de tal manera que permite una desconexión gradual que se produce en pocos momentos, posiblemente con el depósito de una sola gota de material de aporte, como si se tratara de un solo impulso de arco pulsado, para llenar el cráter (sistemas de "relleno de cráter").

### 3.6.5 Reanudación de los trabajos de soldeo

Cuando se hacen uniones de cierta longitud, como en la ejecución de la prueba de cualificación del soldador, puede ser necesario llevar a cabo reinicio de la soldadura. Esto puede hacerse haciendo una rampa de arranque en el lugar de inicio/parada, en la que se haga el arranque, con una velocidad adecuada para formar un baño de soldadura de tamaño apropiado.

Antes de comenzar el nuevo recorrido, en el cráter final del anterior recorrido de soldadura será conveniente eliminar el exceso de material con una piedra de afilar o una radial.

## 4. Seguridad e Higiene en GMAW

La evaluación de los aspectos de seguridad e higiene de la soldadura puede ser extremadamente difícil debido al gran número de disciplinas involucradas.

Los principales factores de riesgo pueden agruparse en las siguientes categorías:

- Agentes químicos relacionados con la soldadura
- Agentes físicos relacionados con la soldadura

### 4.1 Agentes químicos relacionados con la soldadura

La mayor atención en relación con los posibles agentes químicos se ha dedicado a los problemas de los humos de soldadura. En cuanto a las operaciones de soldadura más comunes, los agentes químicos más comunes se refieren al desarrollo de humos de soldadura, presentes en forma de gas de diversa naturaleza o de partículas metálicas y/o no metálicas. La ventilación general es el primer paso, que puede proteger a los trabajadores, pero puede ser insuficiente para los soldadores. Para mejorar las condiciones de trabajo se recomienda utilizar la ventilación por extracción local que en principio es necesaria la filtración y los extractores deben emitirse al ambiente exterior. En circunstancias específicas, el aire puede ser recalculado en el taller.

Para mejorar los sistemas de extracción, se podría adoptar, por ejemplo:

- Antorchas de aspiración
- Casco con respirador
- Sistemas de respiración (respiradores)

#### 4.2 Agentes físicos relacionados con la soldadura

En cuanto a la soldadura y las operaciones complementarias más comunes, los agentes físicos más comunes son:

- Uso de corrientes eléctricas de alta intensidad
- Radiación electromagnética (luminoso)
- Desarrollo del ruido y las vibraciones
- Temperaturas muy altas localizadas y ambientales
- Proyección de partículas sólidas fundidas a muy alta temperatura

Es esencial que los soldadores usen equipo de protección personal por su seguridad. Los principales equipos que utilizan son:

- Máscara de soldadura con gafas de soldar adecuadas
- Guantes de cuero
- Gafas de seguridad
- Ropa a prueba de fuego
- Chaleco de cuero para soldar
- Zapatos de seguridad

#### BIBLIOGRAFÍA DE LA UNIDAD

[1] Curso general de soldadura GMAW: Material de formación del IIS

## Welding Processes – Soldeo Oxiacetilénico

### 1.1 Nombre del curso

*Soldeo Oxiacetilénico (OXW)*

### 1.2 Duración del curso

*5 horas*

### 1.3 Propósito del curso

En esta unidad se muestran elementos específicos relacionados con el proceso de soldeo oxiacetilénico, específicamente relacionados con el equipo de soldeo, los parámetros de soldeo, las técnicas de soldeo típicas y los metales de aporte utilizados.

### 1.4 Objetivos del curso

| Conocimientos  | Habilidades  | Aptitudes   |
|--|--|---|
| Asumir competencias generales en el proceso de soldadura oxiacetilénica  | Introducción general al proceso de soldadura oxiacetilénica  | Los estudiantes deberán, durante el curso, demostrar una buena cooperación con el profesor y los compañeros de clase, con el fin de mejorar los conocimientos y compartir la información. |
| Identificar los principales componentes del equipo de soldadura y conocer su mantenimiento                         | Identificar los componentes de la máquina de soldar<br>Identificar la competencia general sobre el mantenimiento   |   |
| Mejorar la competencia en la medición de los parámetros de soldadura   | Identificar los principales parámetros del proceso de soldadura oxiacetilénica<br>Medir y controlar los parámetros de soldadura                          |   |
| Mejorar la competencia en materia de gases de protección   | Identificar los gases de protección<br>Elección del gas de protección correcto y sus principales propiedades   |   |
| Mejorar la habilidad en el metal de aporte   | Identificar la diferencia en el metal de aporte.<br>Elegir el metal de aporte correcto como consecuencia de las propiedades de la unión                  |   |
| Identificar las técnicas de operación en el proceso de soldadura oxiacetilénica                                    | Aplicar diferentes modos de transferencia en el proceso de soldadura<br>Elegir el modo de transferencia correcto como consecuencia del tipo de soldadura |   |
| Identificar las diferentes técnicas de soldadura, con una explicación específica sobre la forma correcta de soldar | Asumir la competencia en diferentes técnicas de soldeo   |   |

|   |   |  |
|---|---|--|
|   | Conocer la técnica de soldeo correcta en diferentes posiciones de soldeo                        |  |
| Mejorar la competencia en la práctica de la soldadura | Saber cómo preparar una pieza<br>Conocer los principales defectos de soldadura y cómo evitarlos |  |

## 1.5 Contenidos

### 1. Introducción

### 2. Llama oxiacetilénica

- 2.1. Regulación de la llama
- 2.2. Propiedades de la llama

### 3. Equipamiento

- 3.1. Oxígeno
- 3.2. Acetileno
- 3.3. Reductor de presión
- 3.4. Válvula de seguridad
- 3.5. Economizador
- 3.6. Mangueras
- 3.7. Soplete

### 4. Técnica operativa

- 4.1. Introducción
- 4.2. Cálculo del aporte térmico
- 4.3. Preparación de bordes
- 4.4. Funcionamiento correcto

### 5. Aplicación

- 5.1. Tipo de unión
- 5.2. Material base
- 5.3. Defectos típicos
- 5.4. Material de aporte

## 1.6 Participantes

|                             |                               |
|-----------------------------|-------------------------------|
| Características del alumno: | Competencias técnicas básicas |
|-----------------------------|-------------------------------|

## 1.7 Requisitos de acceso

|                                 |                                    |
|---------------------------------|------------------------------------|
| Requisito de nivel de estudios: | Estudiantes de centros de FP       |
| Conocimiento previo necesario:  | Conocimientos básicos de soldadura |
| Requisitos de edad:             | 16 - 20 años                       |

### 1.8 Actividades de evaluación

Evaluación: no se requiere nada

### 1.9 Bibliografía (utilizada o complementaria)

[1] Curso general de soldadura OXW: Material de formación del IIS

**NÚMERO DE LA UNIDAD:** Unidad didáctica \_\_  
**TÍTULO DE LA UNIDAD:** *Soldeo Oxiacetilénico (OXW)*

## PRESENTACIÓN DE LA UNIDAD

La presente unidad didáctica muestra elementos específicos relacionados con el proceso de soldadura oxiacetilénica, específicamente relacionados con el equipo de soldadura, los parámetros de soldeo y las técnicas típicas de soldeo.

## OBJETIVOS

Los objetivos de la unidad didáctica son:

- Asumir competencias generales en el proceso de soldadura oxiacetilénica.
- Identificar los principales componentes del equipo de soldadura y conocer su mantenimiento.
- Identificar las técnicas de operación en el proceso de soldadura oxiacetilénica.
- Mejorar la competencia en la práctica de la soldadura.

## CONTENIDOS

### 1. Introducción

### 2. Llama oxiacetilénica

- 2.1. Regulación de la llama
- 2.2. Propiedades de la llama

### 3. Equipamiento

- 3.1. Oxígeno
- 3.2. Acetileno
- 3.3. Reductor de presión
- 3.4. Válvula de seguridad
- 3.5. Economizador
- 3.6. Mangueras
- 3.7. Soplete

### 4. Técnica operativa

- 4.1. Introducción
- 4.2. Cálculo del aporte térmico
- 4.3. Preparación de bordes
- 4.4. Funcionamiento correcto

### 5. Aplicación

- 5.1. Tipo de unión
- 5.2. Material base
- 5.3. Defectos típicos
- 5.4. Material de aporte

## DESARROLLO DE CONTENIDOS

### 1. Introducción

En noviembre de 1895 el químico francés Le Châtelier descubrió que la combustión de cantidades iguales de gas acetileno y oxígeno puro producía una llama cuya temperatura era superior a las obtenidas hasta entonces.

A partir de esta realidad se desarrolló en pocos años un proceso de soldadura autógena llamado fusión, la soldadura oxiacetilénica (figura 1.1).

En combustión con oxígeno, el acetileno, aunque no tiene el máximo poder calorífico entre los gases disponibles para soldar, proporciona una potencia térmica considerablemente superior a la de los demás gases oxigenados (metano, propano, butano, hidrógeno, etc.).

Para la temperatura obtenida (de unos 3100°C), la temperatura del oxiacetileno es la única llama que permite soldar aleaciones férricas con material de aportación equivalente al material base.

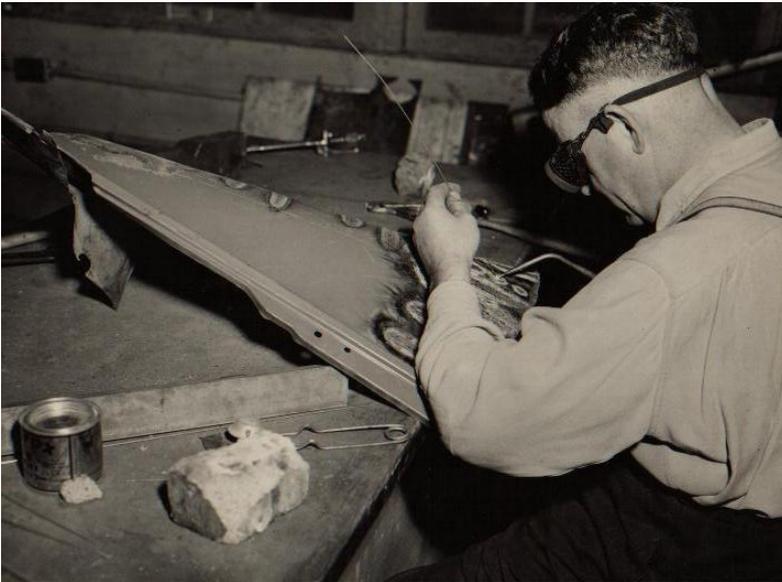


Figura 1.1: soldadura oxiacetilénica (reparación de chasis), 1949

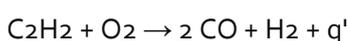
### 2. Llama oxiacetilénica

La llama oxiacetilénica es el efecto de la combustión entre el acetileno (fórmula química  $C_2H_2$  - figura 2.1) y el oxígeno, que llegan por separado al soplete del que salen juntos después de haberse mezclado íntimamente (la formación de la mezcla acetileno-oxígeno se ve favorecida por la forma especial del soplete, que se describirá más adelante).

A la salida del soplete, la combustión tiene lugar con una llama que es la más adecuada para satisfacer las principales necesidades de la fusión de un metal y su protección en estado fundido de la contaminación atmosférica.

Analizando la geometría de una llama correctamente regulada (figura 2.2), se pueden distinguir diferentes zonas, cada una de las cuales tiene propiedades especialmente significativas a efectos de las características del proceso.

En efecto, la combustión da lugar inicialmente a la formación de monóxido de carbono e hidrógeno y al desarrollo de una cierta cantidad de calor según la reacción de combustión primaria, que genera una primera cantidad de calor, indicada como  $q'$ :



Los productos de esta primera reacción química no son los productos finales de la combustión: esto se debe a que la cantidad de oxígeno suministrada al soplete es inferior a la necesaria para quemar completamente el acetileno. La combustión descrita toma por tanto el nombre de combustión primaria: tiene lugar en una superficie en forma de cono, situada cerca de la punta del soplete llamada dardo.

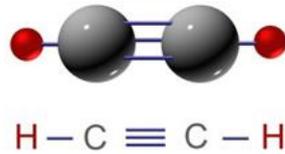


Fig.2.1: fórmula del acetileno

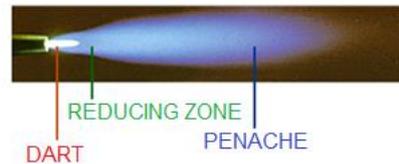
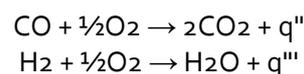


Fig.2.2: zonas de la llama

Como los productos finales de la combustión primaria siguen siendo combustibles y se encuentran a alta temperatura, completan espontáneamente su combustión a expensas de otro oxígeno, que no es suministrado por la instalación de soldadura, sino que se toma del aire circundante. De ello se desprende que inmediatamente después del dardo se establece una zona ávida de oxígeno; ésta se denomina zona reductora y en ella se produce la combustión secundaria que completa la oxidación de los productos de la reacción primaria con un mayor desarrollo de calor ( $q''$  y  $q'''$ ), según las dos reacciones:



La presencia de la zona reductora determina también la posibilidad de utilizar la llama oxiacetilénica sin ninguna forma de protección del oxígeno, encontrando el baño de soldadura y cualquier material de aportación en una atmósfera reductora; nótese también que entre los productos de la combustión se encuentra también el vapor de agua, que sin embargo puede considerarse no especialmente peligroso gracias a los ciclos térmicos especialmente suaves que se realizan con este proceso. El desarrollo del calor mantiene los productos finales de la combustión a alta temperatura: esto da lugar a un brillo considerable de los gases y vapores producidos, que dura un cierto espacio hasta que se desvanece debido a la caída de la temperatura. La zona luminosa que rodea al dardo (que a su vez es aún más brillante) se denomina penacho.

### 2.1 Regulación de la llama

La constitución de una llama con las características descritas está condicionada por la presencia de oxígeno en una medida volumétrica igual a la del acetileno, de forma que la combustión se inicia en correspondencia con el dardo y se completa en la primera parte del penacho, dando lugar a una zona con acción reductora; en estas condiciones la llama se denomina neutra (como la mostrada en la figura 2.2).

En caso de que el oxígeno llegue al soplete en exceso o en defecto respecto al acetileno, se modifican tanto la forma de la llama como sus propiedades (figura 2.3).

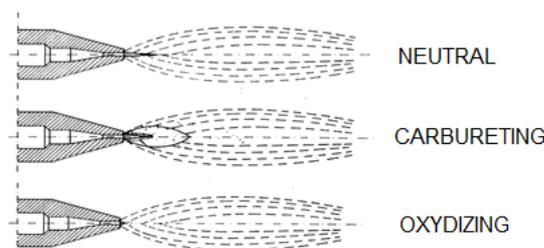


Fig. 2.3: regulación de la llama

#### 2.1.1 Soldeo con bajo oxígeno

Cuando el oxígeno es insuficiente para completar la combustión primaria, el acetileno debe procurarse oxígeno de la atmósfera circundante. Sin embargo, teniendo en cuenta el poco tiempo disponible (los gases salen del soplete a gran velocidad: unos 100 m/s), la combustión completa es prácticamente imposible. Por lo tanto, queda una cierta cantidad de gas de combustión: teniendo en cuenta que el acetileno está formado por hidrógeno y carbono, la parte de este último que no se quema queda libre en la llama y tiende a pasar al estanque lapeado por ella. Por esta circunstancia la llama toma entonces el nombre de combustible: a continuación del dardo aparece un penacho más extendido, a veces de color rojizo (Figura 2.4). Además, cabe destacar en este caso un marcado efecto reductor. Esto se utiliza para materiales como los aceros al carbono, para evitar el efecto nocivo del oxígeno.

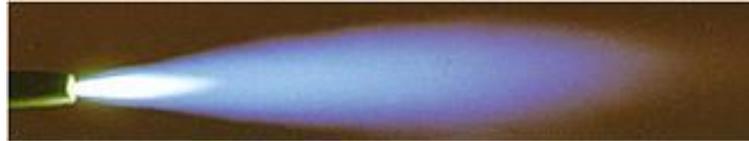


Fig.2.4: Llama reductora

### 2.1.2 Soldeo con alto oxígeno

En este caso no hay una zona de combustión primaria bien definida: la combustión tiene lugar completamente y casi inmediatamente al salir de la punta del tubo y, en consecuencia, la zona de reducción se reduce mucho o desaparece por completo, dependiendo de la cantidad de oxígeno en exceso.

La llama regulada de esta manera tiende a dar oxígeno al baño fundido y se denomina llama oxidante. Se utiliza para alcanzar más rápidamente la temperatura de fusión.



Fig.2.5: Llama oxidante

## 2.2 Propiedades de la llama

A partir de las propiedades físicas de la llama oxiacetilénica, es posible comprender algunas de las ventajas y/o características fundamentales que hacen que esta fuente de energía sea adecuada para las aplicaciones de soldadura.

Como ya se ha mencionado, de hecho, la llama oxiacetilénica permite alcanzar temperaturas suficientemente elevadas para obtener una correcta fusión de los metales a soldar; en particular, la distribución de las temperaturas es particularmente conveniente, ya que el valor máximo (del orden de 3100 °C) se alcanza justo después de la punta del dardo, es decir, en correspondencia con el baño de soldadura (figura 2.6).

El dardo está rodeado por la zona reductora y el penacho que se extiende considerablemente; inmediatamente después del dardo, la presencia de una zona ávida de oxígeno presenta propiedades reductoras y, por tanto, tiene una acción desoxidante con respecto al metal llevado a la fusión (baño de fusión). Sin embargo, estas características exigen que el volumen de oxígeno suministrado sea igual al del acetileno: de lo contrario, la llama tiende a oxidar o carburar el baño de fusión. Afortunadamente, cuando se producen estas operaciones anómalas, el aspecto de la llama cambia considerablemente, por lo que el soldador experto puede eliminar rápidamente el inconveniente ajustando fácilmente el caudal de oxígeno o acetileno.

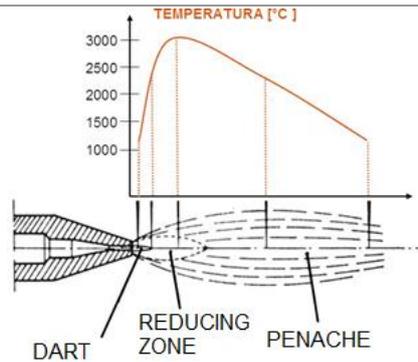


Fig.2.6: temperaturas de la llama

### 3. Equipamiento

La figura 3.1 ilustra la disposición de una estación de soldadura oxiacetilénica simple: en ella se encuentran las botellas de oxígeno y acetileno, los reductores de presión de éstas, las válvulas de seguridad, el soplete y el economizador.

Los requisitos generales para los sistemas de distribución de acetileno se enumeran en la norma UNE-EN ISO 14113: 2013 - Equipos de soldadura con gas - Tubos flexibles de goma y plástico para gas comprimido o licuado hasta la presión máxima de diseño de 4,50 bar.

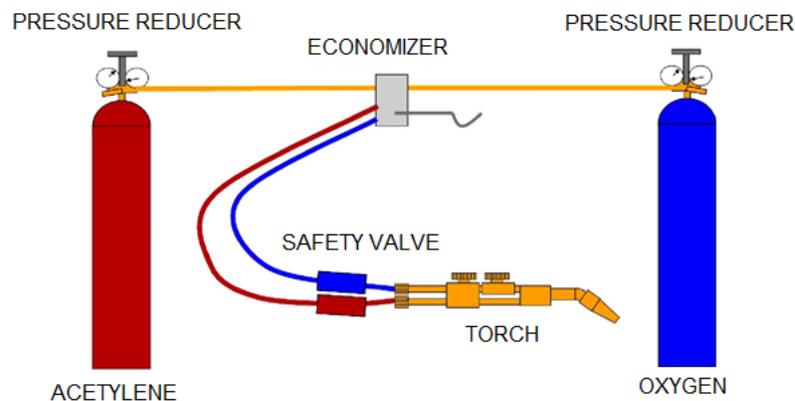


Fig.3.1: equipamiento

En particular, la norma exige que los sistemas de distribución de acetileno en cilindros incluyan los siguientes componentes:

- válvula antirretorno de alta presión, situada inmediatamente después de la salida de la botella o del paquete de botellas;
- tuberías de distribución de alta presión, una parte de las cuales puede consistir en tubos flexibles;
- dispositivo de interrupción rápida, manual o automática;
- reductor de presión de la botella o reductor de presión del sistema de distribución;
- indicadores de presión de los lados anterior y posterior del reductor de presión, por ejemplo manómetros;

-tuberías de baja presión después del reductor de presión del sistema de distribución, que van a los dispositivos de seguridad incluidos, situados inmediatamente después del reductor de presión;

-válvula antirretorno de baja presión;

-dispositivo de detención de llamas a baja presión;

-dispositivo de cierre térmico o de presión.

### 3.1 Oxígeno

El oxígeno es esencial para una combustión perfecta: sólo suministrándolo al soplete junto con el combustible, en una proporción volumétrica prácticamente unitaria, es posible obtener altas temperaturas de llama.

Se produce industrialmente por destilación fraccionada del aire líquido y se suministra en tubos de acero a una presión generalmente de 300 bar, o en forma líquida.

#### 3.1.1 Botella de oxígeno

Las botellas pueden ser de diferentes capacidades; normalmente se utilizan botellas de 4 ÷ 8 m<sup>3</sup> (valores referidos a la presión atmosférica). El volumen de oxígeno contenido en una botella es aproximadamente proporcional a la presión indicada por el manómetro; esto permite saber cuánto oxígeno queda en la botella después de su uso.

Las botellas de oxígeno están equipadas con una válvula de latón con rosca a la derecha y se pueden identificar gracias a una banda blanca en la parte superior de la ojiva. En la válvula se enrosca el reductor de presión, que tiene la misión de mantener la presión en el valor requerido en el tubo de suministro al soplete.

#### 3.1.2 Seguridad

Dado que la grasa y el aceite pueden inflamarse espontáneamente y explotar en contacto con el oxígeno puro bajo presión, no deben utilizarse nunca en ninguna parte del equipo y, en particular, en las roscas de los reductores. También se recomienda abrir sólo un cuarto de vuelta del grifo.

Las pérdidas de oxígeno pueden detectarse aplicando una solución jabonosa. Nunca utilice una llama abierta para buscar pérdidas.

En el caso del oxígeno en botella, ésta debe colocarse en posición vertical, convenientemente fijada (por ejemplo con cadenas) y alejada de fuentes de calor, para protegerla de aumentos de presión con el consiguiente riesgo de explosiones graves.

### 3.2 Acetileno

El acetileno es un hidrocarburo insaturado de la serie acíclica, que no se encuentra en la naturaleza, sino que se produce por reacción entre el agua y el carburo de calcio o por el etileno derivado del petróleo.

El acetileno puro es prácticamente inoloro; el olor característico a ajo que se percibe a menudo se debe en realidad al hidrógeno fosforado (PH<sub>3</sub>), presente como impureza.

Es un gas inestable que tiende a descomponerse con una fuerte reacción exotérmica, es decir, que genera calor, tanto más violento cuanto mayor sea su presión.

#### 3.2.1 Botella de acetileno

Para evitar el peligro de explosión, el acetileno se almacena dentro de los cilindros en estado disuelto y sin comprimir.

Normalmente se disuelve en acetona, que impregna una masa porosa que ocupa todo el volumen de la botella. La acetona puede disolver a presión ambiente un volumen de acetileno 25 veces superior al suyo propio; además, por cada aumento de presión de un bar, puede absorber otro tanto (por lo que a 15 bar un litro de acetona puede recibir hasta 375 litros de acetileno). La presión del acetileno disuelto no puede, por ley, superar los 15 bares a 15°C.

Para garantizar la mayor estabilidad del acetileno y evitar que se genere una descomposición local del acetileno bajo la acción de un impacto mecánico o un aumento de la temperatura, el cilindro se rellena con masas porosas que absorben el acetileno.

These are, in particular, granulated or powdery materials (for example granulated charcoal, which also has the advantage of slightly swelling by filling the voids when it is soaked in acetylene).

En consecuencia, un cilindro contiene acetona, acetileno disuelto, material poroso y espacio libre ocupado por la fase gaseosa (vapores de acetileno y acetona) en equilibrio con la fase líquida, con los porcentajes medios indicados en la figura 3.2.

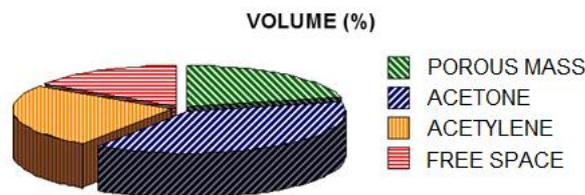


Fig. 3.2: Contenido de una botella de acetileno

### 3.2.2 Seguridad

El acetileno es un gas inflamable y por lo tanto es necesario evitar con precisión la violencia de las llamas abiertas a los cilindros, tubos y tuberías.

Además, el acetileno puede en parte remos fuertemente condicionado con el cobre formando un compuesto (acetiluro de cobre) que es explosivo. Por lo tanto, la norma internacional UNE-EN ISO 9539:2011 impone que las tuberías, los accesorios y los materiales con los que el gas está en contacto (válvulas reductoras, etc.), tengan un bajo contenido de cobre.

### 3.3 Reductor de presión

El acetileno y el oxígeno están contenidos en botellas a una presión superior a la necesaria para el funcionamiento del soplete. Por lo tanto, es necesario que la presión se reduzca y se mantenga constante en el valor adecuado, independientemente del caudal de gas requerido. Esta función la realiza el reductor de presión, mostrado en la figura 3.3.

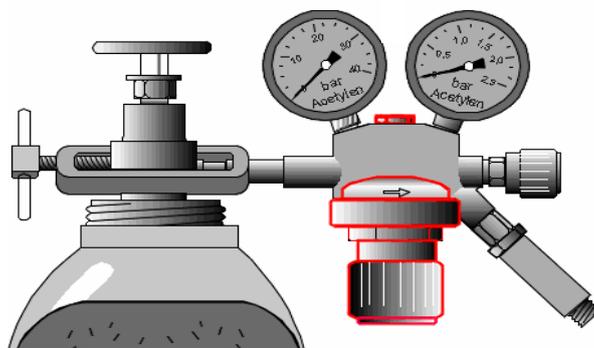


Fig. 3.3: reductor de presión

### 3.4 Válvula de seguridad

En la mayoría de las aplicaciones, las presiones del acetileno y del oxígeno también pueden ser muy diferentes entre sí (incluso de algún orden de magnitud). Esto puede hacer que la mezcla acetileno / oxígeno vuelva a la línea de presión inferior; considerando además que este retorno parte del soplete, se puede considerar que este retroceso va acompañado de la combustión de la mezcla (es el "backfire").

### 3.5 Economizador

El economizador es un componente típico de las estaciones fijas, con la misión de permitir el flujo de los dos gases sólo durante la soldadura, eliminando su consumo durante las paradas de trabajo. Consiste esencialmente en una válvula que cierra el paso de ambos gases a la línea de descarga a la antorcha. La válvula, normalmente abierta, está controlada por una palanca de gancho, cuya bajada determina su cierre.

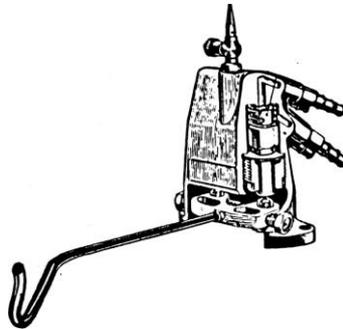


Fig. 3.4: economizador

### 3.6 Mangueras

A la salida del economizador, o desde los reductores de presión, los gases son conducidos a la antorcha a través de mangueras de goma flexibles, para permitir al soldador una adecuada movilidad de la llama. Estos tubos consisten en una serie de vainas de goma, reforzadas con un refuerzo metálico o no metálico.

### 3.7 Soplete / Antorcha

Es el aparato al que llegan el gas combustible y el gas comburente y en el que se produce su mezcla íntima, necesaria para permitir una combustión regular a la salida del punto. El cumplimiento de estas funciones y la necesidad de una máxima maniobrabilidad (para no cansar al soldador) requieren una construcción adecuada.

En función de la presión del gas para el funcionamiento del soplete, distinguimos los sopletes de baja presión (oxígeno regulado entre 1 y 2 bares, acetileno entre 0,01 y 0,02 bares) y los de alta presión (oxígeno y acetileno a la misma presión de 0,5 - 0,75 bares).

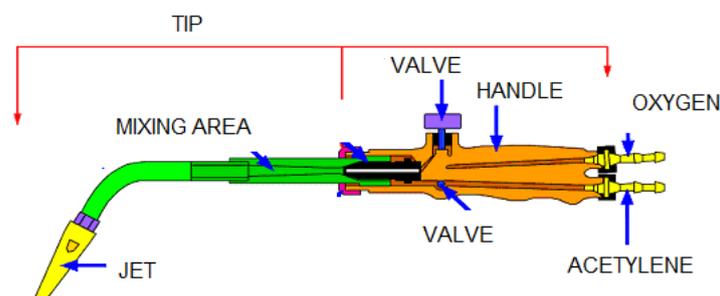


Fig. 3.5 Soplete

## 4. Técnica operativa

#### 4.1 Introducción

Las técnicas operativas utilizadas con el proceso oxiacetilénico son diferentes según la posición de soldadura. En consecuencia, los parámetros de soldadura también son diferentes. Independientemente de las técnicas de las posiciones, sigue siendo importante que la punta de la varilla y el baño de fusión se mantengan siempre dentro de la zona de protección de la llama (zona de reducción).

##### 4.1.1 Soldeo en PA

La soldadura plana puede realizarse con una técnica hacia la izquierda (en la que la antorcha apunta en la dirección de avance) o hacia la derecha (con la antorcha apuntando en la dirección opuesta), como se muestra en la figura 4.1.

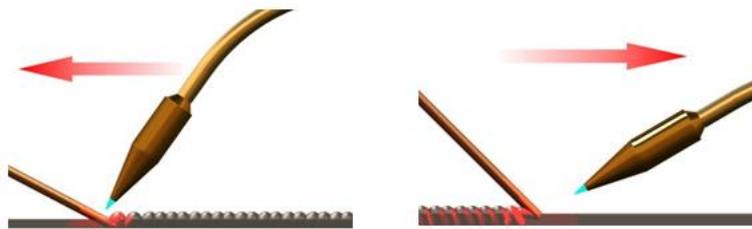


Fig. 4.1: técnicas de soldeo (a izquierdas, en el lado izquierdo y a derechas, en el lado derecho)

La técnica a izquierdas implica un movimiento rectilíneo de la antorcha con un ángulo de  $30 \div 40^\circ$  con respecto al plano horizontal, la punta del dardo a  $2 \div 3$  mm con respecto al baño fundido y utiliza la varilla con movimientos laterales transversales en forma de U (Figura 4.2), a fin de llevar el dardo al fondo a tiempo para asegurar la fusión del borde inferior y, si es necesario (soldadura de espesores superiores a 3 mm), para ampliar la fusión a toda la anchura de la abertura.

Esta técnica es especialmente adecuada para soldar chapas finas con bordes rectos, aunque exista el riesgo de crecimiento del grano, ya que el aporte térmico abarca una gran superficie.

En cambio, se utiliza la técnica de operación hacia la izquierda con el dardo apuntando constantemente hacia el baño de soldadura con un ángulo que varía entre  $45^\circ$  y  $75^\circ$  según el espesor. Sólo en el caso de espesores superiores se añade a este movimiento un pequeño movimiento circular para obtener una buena fusión.

La varilla de aporte está constantemente en contacto con el baño de soldadura (figura 4.3).

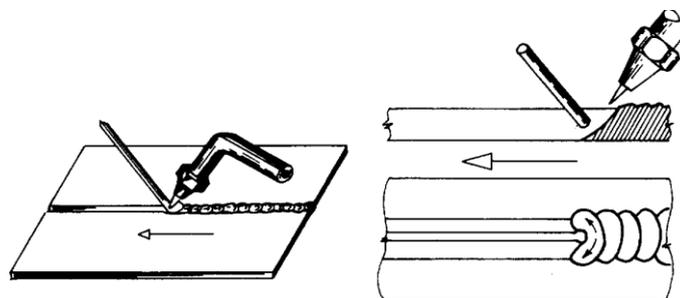


Fig.4.2: a izquierdas

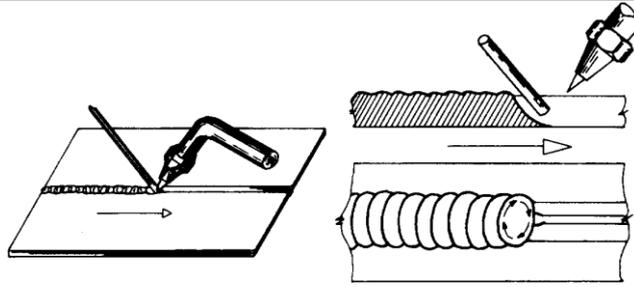


Fig. 4.3: a derechas

| Técnica                           | Flujo de acetileno [l/h] | Velocidad de avance [mm/min] | Diámetro material aporte [mm] |
|-----------------------------------|--------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| Izquierdas                        | 100 s*                   | 200 / s*                     | s*/2 +1                       |
| Derechas                          | 100 s*                   | 250 / s*                     | s*/2                          |
| s* es el espesor de la unión (mm) |                          |                              |                               |

4.1.2 Soldeo en PF

Cuando la junta a soldar es vertical, la soldadura puede realizarse de arriba a abajo (método descendente) o de abajo a arriba (método ascendente). Sin duda, es preferible este último, ya que permite un mejor control del baño y de la penetración, con las consiguientes mejores características de la unión.

Para la realización de este tipo de uniones, se utiliza una posición de la antorcha inclinada 30° por debajo de la horizontal y la varilla de aporte inclinada a 20 ÷ 30° sobre la propia horizontal. El soplete tiene simplemente un movimiento longitudinal de traslación, y una velocidad tal que produzca y mantenga un orificio abierto que permita que el metal fundido penetre en el dorso y lo convierta en un cordón continuo. La punta del dardo debe rozar la superficie del baño de fusión y no desprenderse hasta el momento en que permita la introducción de la varilla de aporte en el baño de fusión (figura 4.4).

La varilla de aporte está caracterizada por un movimiento de avance vertical acompañado de una sucesión de aproximaciones y retrocesos rápidos del orden de 3 ÷ 4 mm, con el fin de depositar sucesivas gotas de metal fundido en el baño fundido.

Para espesores superiores (más de 4 mm) también es necesario dar a la varilla un ligero movimiento oscilatorio transversal. En cualquier caso, la técnica es aplicable para espesores no superiores a 6 mm.

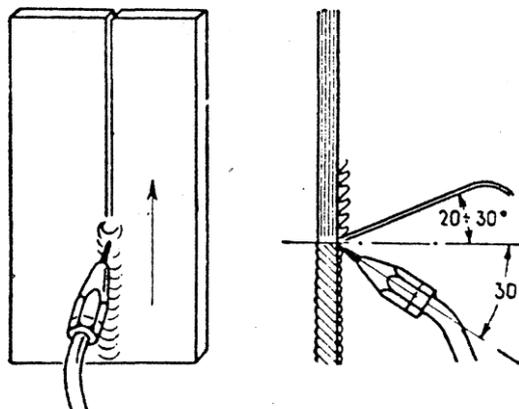


Fig. 4.4: soldeo vertical

| Técnica                           | Flujo acetileno [l/h] | Velocidad de avance [mm/min] | Diámetro material de aporte [mm] |
|-----------------------------------|-----------------------|------------------------------|----------------------------------|
| Vertical ascendente               | 60 s*                 | 150 / s*                     | s*/2                             |
| s* Es el espesor de la unión (mm) |                       |                              |                                  |

#### 4.1.3 Soldeo en PC

Mientras el espesor sea fino ( $s < 3$  mm) se opera de forma similar a las posiciones anteriores.

#### 4.2 Cálculo del aporte térmico

En el caso de la soldadura por arco, el aporte térmico específico se calcula con referencia a los parámetros eléctricos y como la relación entre la potencia eléctrica utilizada (en W) y la velocidad de soldadura. Del mismo modo, en el caso de la soldadura oxiacetilénica, el aporte térmico puede calcularse con una buena aproximación haciendo referencia al poder calorífico inferior del acetileno ( $H_i$ ) del acetileno, suponiendo una combustión perfecta.

En consecuencia, siendo  $H_i$  igual a  $36$  kJ / dm<sup>3</sup>, el aporte térmico específico ( $Q_1$ ) puede calcularse a partir de la siguiente relación:

$$Q_1 = \frac{P \cdot H_i}{V_{\text{sald}}} = \frac{36 \cdot P}{V_{\text{sald}}} \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{mm}} \right]$$

ya que  $P$  es el caudal en l/min y  $v_{\text{sald}}$  la velocidad de avance en mm/min.

#### 4.3 Preparación de bordes

La preparación de bordes para la soldadura oxiacetilénica puede ser cuadrada o en forma de V, como se muestra a continuación.

La preparación con bordes cuadrados es posible hasta espesores de unos 6 mm, como se indica a continuación:

-Para espesores "s" de hasta 3 mm, la separación entre bordes debe estar entre 0 y 2 mm;

-Para espesores "s" de 3 a 6 mm (sólo para soldaduras realizadas en plano o en vertical), la distancia entre los bordes debe estar comprendida entre  $s/2$  y  $(s/2 + 1)$  mm.

La preparación en V puede utilizarse para espesores superiores a 6 mm, aunque el uso de la soldadura oxiacetilénica para espesores superiores a 8 mm debe considerarse bastante excepcional.

-Para espesores "s" comprendidos entre 3 y 6 mm, el ángulo de apertura de la unión debe ser como mínimo de  $80^\circ$ , el talón de 0 mm y la separación entre  $s/4$  y  $(s/4 + 1)$  mm;

-Para espesores "s" entre 6 y 12 mm, el ángulo de apertura de la unión debe estar entre  $60^\circ$  y  $70^\circ$ , el talón 0 mm y la separación como en el caso anterior.

#### 4.4 Funcionamiento correcto

Suponiendo que el soldador ya ha ajustado la presión del gas a los valores esperados, el procedimiento de encendido del soplete debe comenzar por el acetileno. Por lo tanto, proceda abriendo la llave de acetileno y encendiendo el gas utilizando un encendedor especial de pedernal o la llama del economizador; de esta manera se obtiene una llama larga y con hollín. En este punto se procede a la apertura de la llave de oxígeno, ajustando la llama (neutra, oxidante

o comburente) según sea necesario. En cuanto al apagado, se procederá de forma similar interrumpiendo primero el flujo de acetileno y posteriormente el de oxígeno, dejando que el flujo de este último enfríe la punta del soplete. Un soplete en buen estado de mantenimiento y bien utilizado no debería dar lugar a accidentes graves en el transcurso de su uso; sin embargo, es una norma general detener la llegada del acetileno y el oxígeno en caso de cualquier accidente, limitando así su alcance.

## 5. Aplicación

Teniendo en cuenta las características de la fuente de calor (y en particular la baja concentración de energía), es fácil ver que el proceso de soldadura por llama oxiacetilénica se limita generalmente a la ejecución de uniones entre elementos de espesor limitado (6 u 8 mm como máximo), también en consideración de los altos aportes térmicos, que en espesores superiores a 2 mm pueden superar fácilmente los 10 kJ / mm, con las consiguientes implicaciones en términos metalúrgicos y mecánicos (tensiones y deformaciones de soldadura).

En la actualidad, este proceso se utiliza raramente en la industria para soldar, pero su mayor aplicación es en el proceso de corte de aceros al carbono.

### 5.1 Tipo de unión

En primer lugar es necesaria una buena preparación de la unión a soldar, ya que los óxidos tienen que ser eliminados, de lo contrario podría producirse una falta de fusión.

La posibilidad de tener la fuente térmica separada del metal de aportación y la buena controlabilidad del baño de soldadura hacen que el proceso sea especialmente útil en los casos en los que no es posible realizar la soldadura por ambos lados (por ejemplo, en el caso de uniones de tubos de pequeño diámetro y, por supuesto, de espesor limitado). De hecho, se permite al soldador gestionar un foco térmico tranquilo y metódico, adaptable a las circunstancias para cada sección de la unión, sin necesidad de intervenciones continuas y puntuales, que siempre dan lugar a irregularidades más o menos evidentes en la parte posterior de la unión (como recarga defectuosa, goteo, porosidad, falta de penetración local).

Por último, cabe señalar que el proceso oxiacetilénico permite fácilmente en los casos en que la accesibilidad se ve considerablemente comprometida por los obstáculos que pueden encontrarse cerca de la unión.

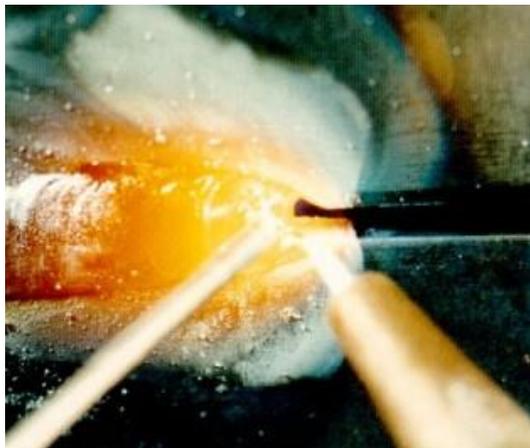


Fig. 5.1: soldeo de una tubería

### 5.2 Material base

La potencia térmica de la llama oxiacetilénica puede dar lugar a fenómenos de crecimiento del grano. Se produce principalmente en la zona afectada por el calor del material base, debido a la permanencia relativamente larga a alta temperatura y al lento enfriamiento de la zona que rodea la unión, debido a la modesta velocidad de soldadura. El crecimiento de grano es, en cierto modo, inevitable con un procedimiento "lento" como el oxiacetilénico, pero puede manifestarse de forma más o menos aceptable en función de la capacidad operativa del soldador. El crecimiento del grano reduce la tenacidad de la unión. Es especialmente temible en los aceros de grano fino (como los destinados a tuberías de servicio a baja temperatura, por lo que el uso del procedimiento oxiacetilénico es sustancialmente

desaconsejable) y en los de baja aleación (como los de Mo y Cr-Mo, para calderas, por lo que una verificación de la tenacidad de las uniones, con ensayos porcentuales, parece deseable en este caso).

En consecuencia, los materiales sobre los que se puede aplicar el proceso se limitan hoy en día principalmente a los aceros al carbono y de baja aleación (con un límite máximo representado por el acero de 1,25 Cr - 0,5 Mo). Para otros materiales, como los aceros Cr-Mo aleados, las aleaciones, los aceros inoxidables Cr y Cr-Ni, el aluminio y sus aleaciones, el cobre y sus aleaciones, etc., los procesos con protección de gas inerte (TIG y MIG) han sustituido completamente la aplicación del proceso oxiacetilénico. Por último, el proceso se utiliza ampliamente para aplicaciones de soldeo, donde la "suavidad" de la llama y sus características reductoras se prestan especialmente a las características del propio soldeo.

### 5.3 Defectos típicos

Las imperfecciones de la soldadura pueden estar relacionadas con problemas metalúrgicos (como en el caso de las grietas calientes o en frío) o con problemas operativos, es decir, con la combinación del proceso de soldadura, las condiciones de trabajo y la capacidad del soldador.

Los principales defectos son la falta de fusión: esto puede evitarse con una buena preparación de la unión, lo que significa que hay que eliminar los óxidos. También es posible, durante el soldeo, calentar demasiado el baño de soldadura: en este caso pueden generarse óxidos, lo que puede provocar una falta de fusión.

El proceso de soldadura con la llama oxiacetilénica, debido a sus características, puede provocar principalmente falta de fusión e irregularidades en el cordón de soldadura. El soldador, para hacer un buen trabajo, tiene que mantener el baño de soldadura en la zona de reducción de la llama y tiene que ser bastante hábil, porque el soplete es pesado y el metal de aporte tiene que ser introducido en el baño de soldadura regularmente.

### 5.4 Material de aporte

El proceso de soldeo por llama oxiacetilénica se aplica al caso de los aceros al carbono y de baja aleación. Las dos normativas actualmente en uso están dedicadas a estos materiales. La clasificación europea es tratada por la norma EN ISO 20378:2019, que proporciona un símbolo que consiste en la letra de identificación del proceso (una "O"), seguida de un número romano que hace referencia a la composición química y al comportamiento en la soldadura.

La clasificación AWS A 5.2: 2007 "Especificación para varillas de acero al carbono y de baja aleación para soldadura oxiacetilénica con gas" también utiliza un código alfanumérico, caracterizado por una R, seguido de un número que indica la carga de rotura del depósito, medida con ensayo de tracción longitudinal y expresada en kPSi.

| Símbolo | Composición química |               |               |           |           |           |               |               | Comportamiento |                |             |
|---------|---------------------|---------------|---------------|-----------|-----------|-----------|---------------|---------------|----------------|----------------|-------------|
|         | C                   | Si            | Mn            | P*        | *S        | Mo        | Ni            | Cr            | Fluidez**      | Salpicaduras** | Porosidad** |
| O Z     | No requerido        |               |               |           |           |           |               |               |                |                |             |
| O I     | 0,03±0,1<br>2       | 0,02±0,2<br>0 | 0,35±0,6<br>5 | 0,03      | 0,02<br>5 | -         | -             |               | A              | A              | A           |
| O II    | 0,03±0,2<br>0       | 0,05±0,2<br>5 | 0,50±1,2<br>0 | 0,02<br>5 | 0,02<br>5 | -         | -             |               | M              | M              | A           |
| O III   | 0,05±0,1<br>5       | 0,05±0,2<br>5 | 0,95±1,2<br>5 | 0,02      | 0,02      | -         | 0,35±0,8<br>0 |               | B              | B              | B           |
| O IV    | 0,8±0,15            | 0,10±0,2<br>5 | 0,90±1,2      | 0,02      | 0,02      | 0,45±0,65 |               |               | B              | B              | B           |
| O V     | 0,10±0,1<br>5       | 0,10±0,2<br>5 | 0,80±1,2      | 0,02      | 0,02      | 0,45±0,65 |               | 0,80±1,2<br>0 | B              | B              | B           |
| O VI    | 0,03±0,1<br>0       | 0,10±0,2<br>5 | 0,40±0,7<br>0 | 0,02      | 0,02      | 0,90±1,20 |               | 2,00±2,2<br>0 | B              | B              | B           |

Notas:  
 \* Valores máximos  
 \*\* A = Alto; M = Medio; B = Bajo

| Símbolo  | Resistencia a la tracción (Rm) |     | A%           |
|--|--------------------------------|-----|--------------|
|  | ksi                            | MPa |              |
| R45  | No requerido                   |     |              |
| R60  | 60                             | 410 | 20           |
| R65  | 65                             | 450 | 16           |
| R100   | 100                            | 690 | 14           |
| RXXX-G   | XXX*                           |     | No requerido |
| * Valores admitidos 45, 60, 65, 70, 80, 90, 100. |                                |     |              |

## BIBLIOGRAFÍA DE LA UNIDAD

[1]

## GLOSARIO

*Incluye los principales conceptos, nuevos y/o complejos vistos en la unidad, a modo de diccionario. Este tipo de recurso es importante sobre todo cuando el curso va dirigido a alumnos sin conocimientos de la materia. Las entradas del glosario están ordenadas alfabéticamente.*

## Welding Processes – MMA

### 1.1 Nombre del curso

*Soldadura MMA*

### 1.2 Duración del curso

*5 horas*

### 1.3 Propósito del curso

En esta unidad se muestran temas específicos relacionados con el proceso de soldadura MMA, específicamente relacionados con el equipo de soldadura, la influencia de los parámetros de soldeo en la calidad de la misma y la seguridad e higiene.

Para desarrollar adecuadamente las tareas como soldador, el estudiante deberá familiarizarse con el uso del equipo y la influencia de los parámetros de soldeo en la calidad, por lo que esta unidad didáctica es realmente importante para el estudiante que quiera aplicar la soldadura MMA en su vida profesional, por supuesto, cuidado todos los aspectos de seguridad e higiene.

### 1.4 Objetivos del curso

*Descripción de los objetivos del curso*

- *El alumno puede:*

| Conocimiento  | Destrezas  | Actitudes  | Competencias del aprendizaje   |
|---|--|--|--|
| Explicar la terminología asociada a los procedimientos de soldadura de MMA                                  | Utilizar términos y definiciones que sean coherentes con la terminología de soldadura generalmente aceptada como se registra en las normas de soldadura nacionales e internacionales;<br><br>Describir las aplicaciones, ventajas y limitaciones del proceso de soldadura MMA; | Colaborar con los miembros del equipo de trabajo para cumplir con la tarea;<br><br>Asumir las responsabilidades dentro del equipo. | Introducción a la soldadura de MMA.<br><br>Proceso de soldadura usando electrodos revestidos |
| Identificar los componentes básicos y principales del equipo de soldadura por arco con escoria protectora y | Identificar, seleccionar y preparar el equipo de soldadura y los elementos específicos utilizados en el proceso de soldadura MMA: fuentes  |  | Equipo y elementos específicos utilizados en el proceso de soldadura MMA;                    |

|  |   |  |   |  |
|--|---|--|---|--|
| <p>explicar su función y propósito.<br/>Explicar la importancia de un montaje correcto del equipo de soldadura y las consecuencias de un montaje incorrecto.</p> <p>Explicar la importancia de la configuración correcta de la fuente de alimentación del electrodo y las consecuencias de una selección incorrecta.<br/>Explicar el espesor de los materiales en relación al tamaño y al tipo de electrodo utilizado y la influencia de la manipulación de los electrodos durante el proceso de soldadura</p> | <p>de alimentación, portaelectrodos;</p> <p>Elegir los materiales y equipos necesarios para realizar el ensamblaje por soldadura MMA;</p> <p>Demostrar los procedimientos de montaje utilizando un simulador/equipo real.</p>   |  | <p>Fuente de alimentación,</p> <p>Portaelectrodos,</p> <p>Conexión a tierra</p> |  |
| <p>Establecer los parámetros de uso del arco eléctrico y la parte del mismo;</p> <p>Identificar qué tipo de electrodo se debe usar con la corriente continua o alterna;</p>  | <p>Preparar el ambiente de la soldadura</p> <p>Identificar las posibles causas de los defectos o imperfecciones de la soldadura antes de la soldadura, y cumplir los requisitos.</p> <p>Elegir los consumibles de soldadura/aditivos para soldar las uniones a través de procesos de soldadura;</p> <p>Practicar la soldadura MMA de productos semiacabados/piezas usando un simulador/equipo real.</p> |  | <p>Tecnologías de soldadura MMA</p>   |  |

|  |   |   |  |  |
|--|---|---|--|--|
|  |   | <p>Ejecutar la soldadura (Soldadura MMA) de las uniones de soldadura comunes en todas las posiciones usando un simulador/equipo real</p> <p>Inspeccionar el producto final para comprobar que cumple las especificaciones reflejadas en la WPS.</p> <p>Identificar las diferentes posiciones de soldeo definidas en la norma UNE-EN ISO 6947: 2011.</p> |  |  |
|  | <p>Identificar los peligros de la soldadura y eliminarlos de acuerdo con las prácticas de trabajo</p> | <p>Seguir las precauciones de seguridad.</p> <p>Aplicar las medidas a tener en cuenta para prevenir accidentes relacionados con sonidos, humos, fuegos, descargas eléctricas.</p>   |  | <p>Medidas de seguridad e higiene en la soldadura MMA.</p> |

## 1.5 Contenidos

### 1. Introducción a la soldadura MMA

#### 2. Equipo de soldadura

- 2.1. Fuente de alimentación
- 2.2. Portaelectrodos
- 2.3. Conexión a tierra
- 2.4. Cables y terminales

#### 3. Tecnología de soldeo

- 3.1. Característica del arco
- 3.2. Parámetros de soldeo
- 3.3. Encendido del arco
- 3.4. Electrodo revestido
- 3.5. Posiciones de soldeo

#### 4. Seguridad e higiene en la soldadura de MMA

## 1.6 Participantes

|  |   |
|--|---|
| Características del alumno:<br><i>(perfil del grupo de estudiantes a los que se dirige el curso)</i> | <i>Conocimientos básicos de soldadura</i> |
|--|---|

## 1.7 Requisitos de ingreso

*(Descripción de los requisitos de ingreso al curso – si fuera necesario)*

|   |  |
|---|--|
| <b>Requisitos del nivel educativo:</b>  | <i>Alumnos de centros de Formación Profesional Students from VET schools</i> |
| <b>Conocimientos previos necesarios</b> | <i>Conocimiento básico de soldadura</i>                                      |
| <b>Requisitos de edad:</b>              | <i>Entre 16-20 años</i>  |

## 1.8 Actividades de evaluación

*Evaluación sumativa*

- *Examen teórico usandoun simulador o aula virtual SIMTRANET*

## 1.9 Bibliografía (utilizada o suplementaria)

- [1] General Course on Welding Technology. Training Fund-CESOL. Module 1 and 2. 1994.
- [2] Documentation of the course "European Welding Specialist". Modules 1 and 2. 1995.
- [3] UNE-EN ISO 17633:2006, Welding consumables. Tubular wires and rods for arc welding with or without gas protection of stainless and heat-resistant steels. Classification.
- [4] AWS A5.1-04: Specification for Carbon Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding.
- [5] AWS A5.4-06: Specification for Stainless Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding.
- [6] AWS A5.30-07: Specification for Consumable Inserts.

## NÚMERO DE LA UNIDAD: Unidad Didáctica 2

### Título: Soldeo MMA

#### Presentación

En esta unidad se muestran temas específicos relacionados con el proceso de soldadura MMA, específicamente relacionados con el equipo de soldadura, la influencia de los parámetros de soldeo en la calidad de la misma y la seguridad e higiene.

Para desarrollar adecuadamente las tareas como soldador, el estudiante deberá familiarizarse con el uso del equipo y la influencia de los parámetros de soldeo en la calidad, por lo que esta unidad didáctica es realmente importante para el estudiante que quiera aplicar la soldadura MMA en su vida profesional, por supuesto, cuidado todos los aspectos de seguridad e higiene.

#### Objetivos del curso

| Conocimiento   | Destrezas  | Actitudes  | Competencias del aprendizaje  |
|--|--|--|---|
| Explicar la terminología asociada a los procedimientos de soldadura de MMA   | Utilizar términos y definiciones que sean coherentes con la terminología de soldadura generalmente aceptada como se registra en las normas de soldadura nacionales e internacionales;<br><br>Describir las aplicaciones, ventajas y limitaciones del proceso de soldadura MMA; | Colaborar con los miembros del equipo de trabajo para cumplir con la tarea;<br><br>Asumir las responsabilidades dentro del equipo. | Introducción a la soldadura de MMA.<br><br>Proceso de soldadura usando electrodos revestidos  |
| Identificar los componentes básicos y principales del equipo de soldadura por arco con escoria protectora y explicar su función y propósito.<br>Explicar la importancia de un montaje correcto del equipo de soldadura y las consecuencias de un montaje incorrecto. | Identificar, seleccionar y preparar el equipo de soldadura y los elementos específicos utilizados en el proceso de soldadura MMA: fuentes de alimentación, portaelectrodos;<br><br>Elegir los materiales y equipos necesarios para realizar el ensamblaje por soldadura MMA;   |  | Equipo y elementos específicos utilizados en el proceso de soldadura MMA;<br><br>Fuente de alimentación,<br><br>Portaelectrodos,<br><br>Conexión a tierra |

|  |  |  |                                     |  |
|--|--|--|-------------------------------------|--|
| <p>Explicar la importancia de la configuración correcta de la fuente de alimentación del electrodo y las consecuencias de una selección incorrecta.</p> <p>Explicar el espesor de los materiales en relación al tamaño y al tipo de electrodo utilizado y la influencia de la manipulación de los electrodos durante el proceso de soldadura</p> | <p>Demostrar los procedimientos de montaje utilizando un simulador/equipo real.</p>  |  |                                     |  |
| <p>Establecer los parámetros de uso del arco eléctrico y la parte del mismo;</p> <p>Identificar qué tipo de electrodo se debe usar con la corriente continua o alterna;</p>  | <p>Preparar el ambiente de la soldadura</p> <p>Identificar las posibles causas de los defectos o imperfecciones de la soldadura antes de la soldadura, y cumplir los requisitos.</p> <p>Elegir los consumibles de soldadura/aditivos para soldar las uniones a través de procesos de soldadura;</p> <p>Practicar la soldadura MMA de productos semiacabados/piezas usando un simulador/equipo real.</p> <p>Ejecutar la soldadura (Soldadura MMA) de las uniones de soldadura comunes en todas las posiciones usando un simulador/equipo real</p> |  | <p>Tecnologías de soldadura MMA</p> |  |

|  |   |  |  |  |
|--|---|--|--|--|
|  |   | <p>Inspeccionar el producto final para comprobar que cumple las especificaciones reflejadas en la WPS.</p> <p>Identificar las diferentes posiciones de soldeo definidas en la norma UNE-EN ISO 6947: 2011.</p> |  |  |
|  | <p>Identificar los peligros de la soldadura y eliminarlos de acuerdo con las prácticas de trabajo</p> | <p>Seguir las precauciones de seguridad.</p> <p>Aplicar las medidas a tener en cuenta para prevenir accidentes relacionados con sonidos, humos, fuegos, descargas eléctricas.</p>                              |  | <p>Medidas de seguridad e higiene en la soldadura MMA.</p> |

## CONTENIDOS

1. Introducción a la soldadura MMA
2. Equipo de soldadura
  - 2.1. Fuente de alimentación
  - 2.2. Portaelectrodos
  - 2.3. Conexión a tierra
  - 2.4. Cables y Terminales
3. Tecnología de soldeo
  - 3.1. Características del arco
  - 3.2. Parámetros de soldeo
  - 3.3. Encendido del Arco
  - 3.4. Electrodo Revestido
  - 3.5. Posiciones de soldeo
4. Seguridad e Higiene en la soldadura MMA

## DESARROLLO DE CONTENIDOS

### 1. Introducción a la soldadura MMA

La soldadura manual por arco con electrodo revestido es un proceso en el que la fusión del metal se logra mediante la energía calorífica producida por un arco eléctrico establecido entre el extremo de un electrodo revestido y el metal base de la unión que se va a soldar.

El material de aporte se funde en forma de pequeñas gotas que junto con el material base fundido se convierten en la soldadura. Se obtiene una escoria por el recubrimiento del electrodo que actúa como protección del baño de fusión frente al medio ambiente (ver imagen 1).

La soldadura manual por arco con electrodo revestido se conoce por las siguientes designaciones:

- SMAW, Shielded Metal-Arc Welding (ANSI/AWS A3.0).
- 111, Soldadura manual por arco metálico (soldadura por arco metálico con electrodo revestido) (EN ISO 4063).
- MMAW, Soldadura manual de arco metálico (Reino Unido).



*Imagen 1. Proceso de soldadura utilizando electrodos revestidos*

### Aplicaciones, ventajas y limitaciones

Este tipo de proceso de soldadura es el más extendido entre todos los procesos, principalmente debido a su versatilidad. Además, el equipo necesario para su realización es sencillo, portátil y más barato que otros.

Por otro lado, la soldadura manual por arco con electrodo revestido es aplicable a casi todos los tipos de acero: al carbono, bajas aleaciones, inoxidable, resistente al calor, etc.; y a muchas aleaciones como el cobre-zinc, cobre-estaño (bronce), níquel y aleaciones de níquel.

El metal de aporte y los medios para su protección durante el soldeo provienen del propio electrodo revestido. No es necesario una protección adicional con gases auxiliares o flujos granulares.

Es menos sensible al viento y las corrientes de aire que los procesos de arco con protección de gas. Esto lo hace ideal para el trabajo in situ. Pero el proceso debe usarse siempre que esté protegido del viento, lluvia y nieve, a menos que se disponga del equipo adecuado.

Además, la soldadura MMA puede usarse en todo tipo de uniones y posiciones. Sin embargo, factores como la productividad y la mayor uniformidad de las soldaduras obtenidas para ciertas aplicaciones, aunque numerosas, hacen que otros procesos de soldadura estén apartando la soldadura con electrodo revestido por otros procesos con arco eléctrico.

La soldadura MMA no es aplicable a los metales de bajo punto de fusión como el plomo, el estaño, el zinc y sus aleaciones, porque el intenso calor del arco es demasiado para ellos. Tampoco es aplicable a los metales de alta sensibilidad a la oxidación, como el titanio, el circonio, el tántalo o el niobio, ya que la protección que proporciona el revestimiento es insuficiente para evitar la contaminación de oxígeno de la soldadura. Tampoco se aplica a los espesores superiores a 38 mm, porque hay procesos más productivos para espesores grandes. Para espesores pequeños, existen pequeños electrodos de 1,6 y 2 mm que permiten soldar chapas de 1,5 mm de espesor, aunque para estos espesores existen otros procesos más eficientes.

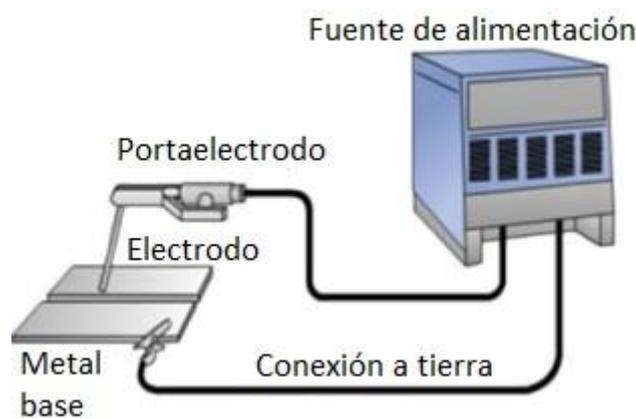
La soldadura MMA puede utilizarse en combinación con otros procesos de soldadura, aplicando el paso de raíz o como relleno (generalmente se utiliza en combinación con el proceso TIG para la soldadura de tuberías, donde la raíz se hace con TIG y las capas de relleno se hacen con soldadura MMA).

Los principales sectores de aplicación son la construcción naval, la maquinaria, las estructuras, los tanques y esferas de almacenamiento, los puentes, los recipientes a presión y las calderas, las refinerías de petróleo, los oleoductos y gasoductos y cualquier otro trabajo similar. Este proceso también es adecuado para realizar reparaciones.

## 2. Equipo de soldadura

Esencialmente, el método consiste en establecer un circuito eléctrico cerrado. Requiere una fuente de energía adecuada equipada con dos terminales, una conectada por un cable al portaelectrodo en el que se sujeta un electrodo revestido y el otro conectado a la pieza por un cable de retorno y una pinza a tierra.

El circuito se cierra a través del arco que se establece entre la punta del electrodo y la pieza a soldar (imagen 2).



*Imagen 2: Equipo de soldadura*

### 2.1. Fuente de alimentación

Este proceso requiere un voltaje bajo y una corriente alta. Esto es justo lo contrario de lo que las compañías de energía proporcionan al lugar de trabajo. La fuente de energía es el elemento responsable de transformar y/o convertir la red

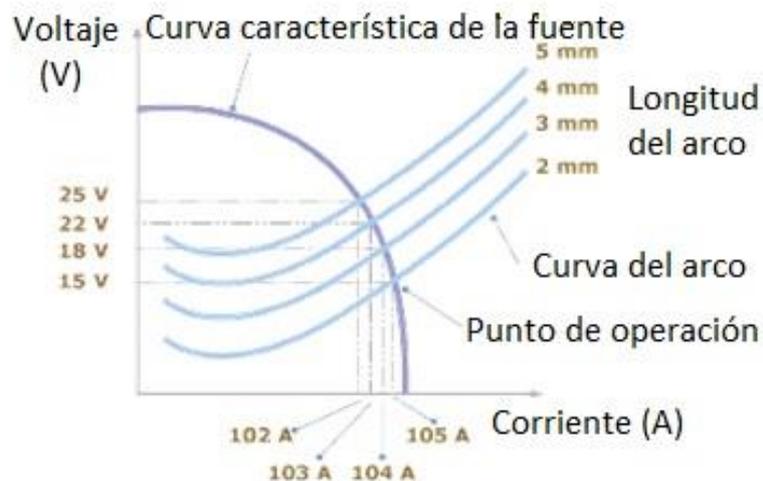
de energía eléctrica en otra, de corriente alterna o continua, con un voltaje y una corriente adecuados para el establecimiento y la estabilización del arco. Estas fuentes de energía son máquinas eléctricas que, según su estructura, se denominan transformadores, rectificadores o convertidores.

En la elección de la fuente de energía debe considerarse el electrodo que se va a utilizar, para que pueda proporcionar el tipo de corriente (AC o DC), el rango de corriente y el voltaje sin carga necesarios.

### Características de la fuente de alimentación.

Cada fuente de alimentación para soldar tiene su propia curva característica de voltaje-corriente, como se muestra en la imagen 3.

La característica de la fuente de alimentación es una representación gráfica de la relación entre el voltaje y la corriente de la fuente. La corriente y el voltaje obtenidos en el proceso de soldadura real se determinan por la intersección de las curvas características de la máquina y el arco. Este es el punto de operación o punto de trabajo definido por la corriente y el voltaje de la soldadura.



**Imagen 3: Variación de la longitud de arco.**

La fuente de alimentación debe presentar una característica de pendiente descendente (corriente constante), de modo que la corriente de soldadura no sea afectada por las variaciones en la longitud de arco.

Para entender cómo controlar la característica de la fuente es importante entender los parámetros claves: voltaje de circuito abierto y corriente de cortocircuito.

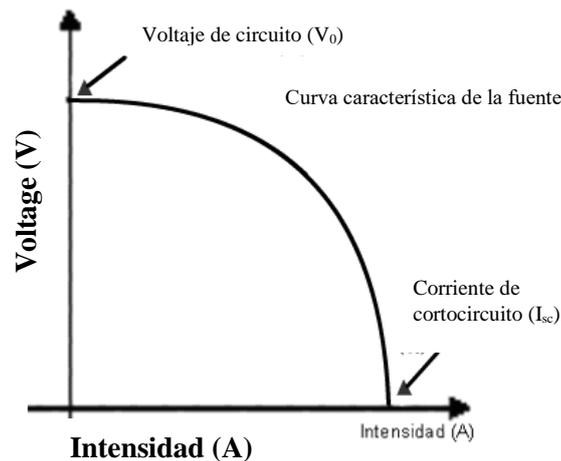


Imagen 4. Curva característica de la fuente de soldadura

#### Voltaje de circuito abierto

El voltaje de circuito abierto ( $V_0$ ) es el voltaje máximo que la fuente de energía puede suministrar y es el voltaje en los terminales de la fuente cuando no está soldando. El voltaje de circuito abierto del circuito suele ser mayor que el doble del voltaje de soldeo. Se utiliza principalmente para asegurar la facilidad de encendido (cebado) y estabilidad del arco, por lo que debido a la mayor inestabilidad del arco cuando se suelda con AC, los transformadores tienen mayor voltaje de circuito abierto que los rectificadores.

#### Corriente de cortocircuito

La corriente de cortocircuito ( $I_{sc}$ ) es la máxima corriente suministrada por la fuente de alimentación. Para encender el arco, se produce un cortocircuito, en este momento la tensión desaparece, y la corriente que fluye es la máxima ( $I_{sc}$ ), gracias a esto el electrodo se calienta y puede estabilizar el arco.

Estos dos parámetros son de particular relevancia en la soldadura TIG, ayudando a facilitar el establecimiento del arco.

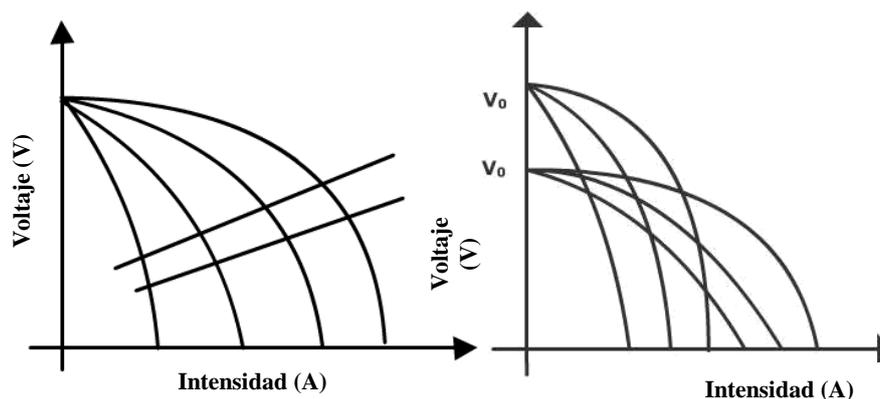


Imagen 5. Curva característica de la fuente de soldadura

En general podemos decir que la variación de la pendiente de la curva se consigue actuando sobre el campo magnético generado en el transformador, mientras que las variaciones de tensión en circuito abierto se realizan por derivación en el circuito primario o secundario

#### Tipos de fuentes de alimentación

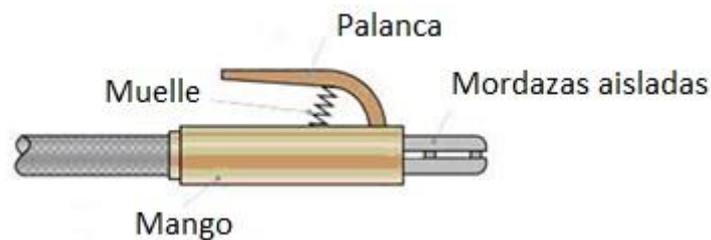
Los componentes más importantes de la fuente de alimentación son:

- **Transformador** . Es el dispositivo que transporta la energía eléctrica. La corriente con cierto voltaje y amperaje entra al transformador y sale con un amperaje y voltaje diferente, siendo la potencia inicial de entrada y salida prácticamente la misma.  
**Aunque hay muchos transformadores complejos, aquí se mostrará uno muy simple que aporta al lector una referencia.**
- **Rectificador** . Es un dispositivo que permite el paso de la corriente en una sola dirección, convirtiendo así la corriente alterna en corriente continua. El elemento rectificador, el diodo, puede describirse como el equivalente eléctrico de una válvula unidireccional.
- **Convertidos y grupos electrógenos** : Los convertidores y grupos electrógenos consisten en un motor que puede ser eléctrico o de combustión interna y de un generador, que puede ser de corriente continua (llamado también alternador) o de corriente alterna.

## 2.2. Portaelectrodos

El portaelectrodo conduce la electricidad al electrodo y la mantiene. Para evitar el sobrecalentamiento, deben mantenerse en perfecto estado.

El sobrecalentamiento daría lugar a una reducción de la calidad y a un difícil rendimiento de la soldadura.



**Imagen 6: Portaelectrodos**

Siempre se debe seleccionar una pinza adecuada según el diámetro del electrodo.

Durante la soldadura, no se aconseja fundir toda la longitud del electrodo revestido, porque el calentamiento producido en el electrodo puede afectar a las zonas aisladas, quemándolas. Normalmente se dejan unos 60 mm sin consumir. La imagen 6 representa el típico portaelectrodo.

## 2.3. Conexión a tierra

La posición de la pinza de la pieza tiene especial relevancia en la soldadura con corriente continua. Una ubicación inadecuada puede causar el golpe magnético que dificulte el control del arco.

El método de fijación de la abrazadera de la pieza de trabajo también es importante porque una pieza mal sujeta no proporciona contacto eléctrico consistente y la conexión se calentará causando la interrupción en el circuito y la desaparición del arco. El mejor método es usar una almohadilla de contacto de cobre sujeta a una pinza. Si debido a este dispositivo la contaminación del metal base por cobre fuera perjudicial, la zapata de cobre debe adherirse a una chapa que sea compatible con la pieza, que está sujeta a la pieza.

En el caso de piezas giratorias, el contacto debe hacerse con zapatas que se deslicen sobre la pieza o con cojinetes en el eje en el que se monta la pieza. Cuando se utilizan zapatas deslizantes deben colocarse al menos dos, porque si se produce una pérdida de contacto en una zapata, el arco se extinguiría.

## 2.4. Cables y Terminales

Los cables deben conducir la energía desde la Fuente de alimentación hasta el portaelectrodo y conexión de pieza de trabajo.

El cable utilizado debe ser adecuado para la corriente empleada (ver sección de Seguridad e Higiene). Los cables se calientan debido al flujo de corriente eléctrica que los atraviesa por un efecto conocido como "Joule". A mayor corriente usada requiere un mayor diámetro.

Los terminales son los elementos utilizados para conectar cables a la fuente de alimentación. Es importante que esas conexiones sean firmes, para evitar la aparición de falsos arcos que pueden producir soldaduras en estos terminales, lo que inutilizaría parcialmente el equipo.

## 3. Tecnología de soldeo

Es muy importante conocer y estudiar la tecnología de cada proceso de soldadura, ya que hay varios parámetros que deben considerarse al soldar. En lo que respecta a la soldadura MMA, nos centraremos en las propiedades del arco, los parámetros de soldeo, encendido (cebado) del arco, el electrodo revestido y las posiciones de soldeo.

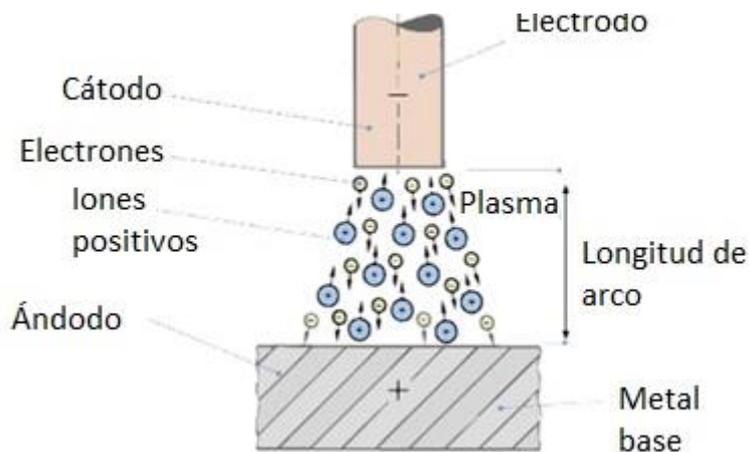
### 3.1. Características del arco

El arco se define como una descarga eléctrica a través de un gas ionizado, llamado plasma, entre un electrodo y la pieza de trabajo.

Si el arco se mantiene, el flujo de la corriente eléctrica pasa por él, liberando una gran cantidad de energía, como calor y radiación electromagnética. El calor produce una alta temperatura y causa la fusión del electrodo y pieza en contacto con el arco

El arco consiste en dos partes concéntricas, la interna llamada plasma y la externa llamada llama.

- **Llama.** Es el área fuera del arco. Es más fría que el plasma y generalmente está compuesta por átomos generados por las moléculas de gas que al entrar en contacto con la superficie de la columna de plasma se disocian, o una vez disociados se desprenden de ella, en la llama se recombinan formando moléculas y liberando la energía absorbida para su disociación, en forma de calor.



**Imagen 7: Descripción del arco eléctrico.**

- **Plasma.** El plasma es un gas ionizado que transporta corriente y los siguientes componentes:
  - Los electrodos que se mueven del polo negativo (cátodo) al polo positivo (ánodo)
  - Iones metálicos que se mueven en dirección opuesta
  - Metales fundidos, mayoritariamente, del electrodo
  - Escorias
  - Vapores metálicos y no metálicos
  - Átomos y moléculas gaseosas, algunas ionizadas.

Los electrones e iones negativos son fuertemente acelerados por el campo eléctrico establecido entre el cátodo y el ánodo y chocan violentamente contra él, transformando su energía cinética en calor, mientras que los iones metálicos hacen lo contrario, golpeando el cátodo y produciendo el aumento de su temperatura.

Las colisiones entre partículas que viajan en direcciones opuestas también se producen dentro del plasma, lo que, a su vez, contribuye a la alta emisión de energía térmica y a la radiación de alta intensidad.

El calor es un efecto de la alta energía cinética de las partículas debido a su movimiento dentro del plasma, el cual se incrementa por el efecto de la corriente y el voltaje a través del arco. El calor se genera por el frenado de la partícula, debido a la colisión o impacto de la partícula,

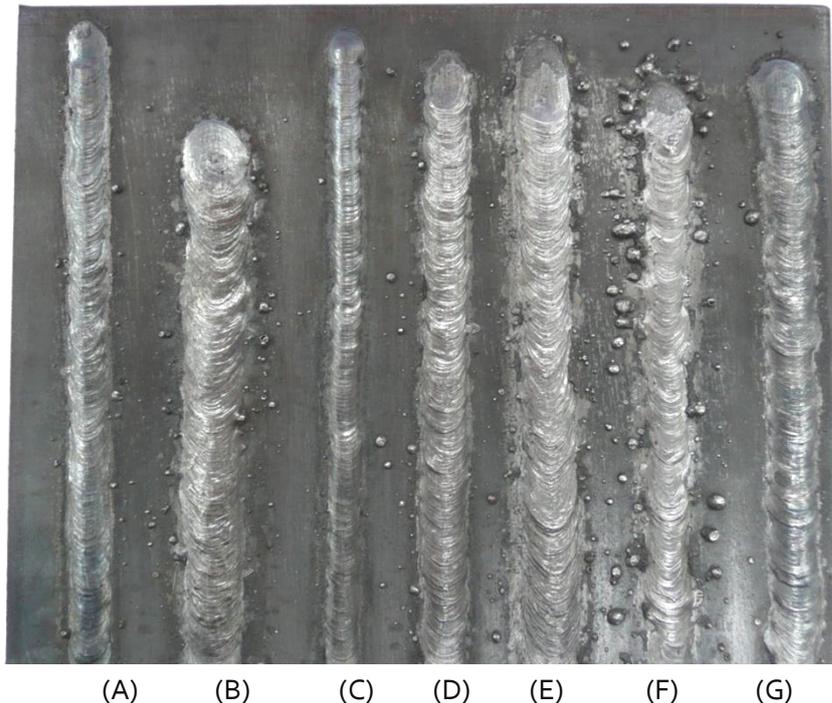
Por todo lo desarrollado anteriormente, se pueden observar tres áreas de generación de calor, dependiendo de las causas de frenado que predominen:

- **Cátodo:** El impacto de los iones positivos es el fenómeno predominante, pero también contribuye de alguna manera a que el fenómeno se acompañe de una liberación de calor debido a la emisión de electrones.
- **Plasma:** Se producen colisiones entre electrones, iones, átomos y otras partículas, que producen una gran emisión de calor.
- **Ánodo:** El impacto de los electrones, animados por una alta velocidad, es la razón de la transformación de su alta energía cinética en calor.

### 3.2. Parámetros de soldeo

Los principales parámetros que deben controlarse en el proceso de soldadura manual por arco con electrodo revestido son los siguientes:

- **Corriente:** En las fuentes de alimentación de MMA, antes de soldar, el soldador debe ajustar la corriente. El amperaje se selecciona dependiendo del diámetro del electrodo utilizado, el grosor de las piezas, la posición y el tipo de unión, es decir, si se trata de una soldadura a tope o en ángulo. Normalmente, el fabricante del electrodo limita un rango de la corriente, aunque los valores de la tabla 1 se podrían utilizar.



**Imagen 8: Efectos del amperaje, longitud de arco y velocidad de avance.**

Las soldaduras se han hecho con una chapa de acero al carbono de 5 mm de espesor usando electrodos de rutilo (E 6013) con 2.5 mm de diámetro.

- (A) Alta velocidad de avance
- (B) Baja velocidad de soldeo
- (C) Amperaje demasiado bajo (50 A)
- (D) Voltaje, corriente (75 A) y velocidad de avance óptimos.
- (E) Amperaje demasiado alto (90 A)
- (F) Voltaje demasiado alto
- (G) Voltaje demasiado bajo

No se debe utilizar un electrodo a amperajes más altos, porque se produciría socavones, proyecciones, intensificando los efectos del golpe magnético e incluso grietas.

La imagen 8 (B y C) muestra el efecto de la corriente en la soldadura. Cuando más alta sea la corriente, mayor será la penetración.

**Table 1: Rangos de corriente aproximados según el diámetro del electrodo en la soldadura de acero.**

| Diámetro | Rango de corriente |
|----------|--------------------|
| 2,5 mm   | 60 – 90 A          |
| 3,25 mm  | 90 – 150 A         |

4 mm

120 – 180 A

La corriente utilizada depende de la posición de soldeo, el tipo de unión, espesor del material, etc. Cuando mayor sea la corriente utilizada, mayor será la entrada de calor y mayor será el baño de fusión.

- **Voltaje del arco.** El voltaje del arco depende del tipo de electrodo, diámetros, posición de soldadura y corriente. En general, debe ser igual al diámetro del electrodo (el electrodo de rutilo celulósico), excepto en el caso de que se utilice un electrodo básico, en el que el voltaje debe ser la mitad del diámetro del electrodo.

La longitud de arco debe mantenerse siempre igual para evitar oscilaciones en la intensidad de la tensión y la corriente y, por tanto, una penetración irregular.

En general, cualquier arco eléctrico tiene forma cónica con un ángulo de apertura que depende de la polaridad usada, pero es prácticamente independiente de los demás parámetros de soldeo utilizados.

Si la longitud de arco aumenta, el arco actúa en una superficie mayor, disipando aún más el calor generado en el arco, por lo que la penetración se reduciría.

- **Velocidad de avance.** La velocidad de avance debe ser ajustada para que el arco avance ligeramente hacia el baño de fusión. Cuanto mayor sea la velocidad de avance, menor será el ancho del cordón, menor será la entrada de calor y la soldadura se enfriará más rápido.

Si la velocidad de avance es excesiva se producen mordeduras, se dificulta la eliminación de la escoria y se favorece la aparición de poros. En la imagen 8 (F y G) se muestra el efecto de la velocidad de avance.

- **Diámetro del electrodo.** El diámetro del electrodo es un parámetro indirecto del proceso, porque una vez que se ha elegido el electrodo y se conoce el material, la posición y el espesor de la chapa a soldar, el soldador establece la corriente de soldadura, que es un parámetro directo.

En general, debe elegirse un diámetro que sea lo más grande posible para garantizar los requisitos de entrada de calor y permitir un uso fácil, dependiendo de la posición, el grosor del material y el tipo de unión que son los parámetros de los que depende el diámetro del electrodo de selección.

Los electrodos de mayor diámetro se seleccionan para la soldadura de materiales de mayor espesor y para el soldeo en posición plana.

En posición horizontal, vertical y por encima de la cabeza, el baño de fusión tiende a caer por gravedad. Este efecto es mucho más pronunciado, por lo que el uso de electrodos de menos diámetro es adecuado cuando se suelda en estas posiciones.

- **Tipo de corriente. Polaridad.** El tipo de corriente y la polaridad son, además del amperaje, otros parámetros que el soldador establece en la fuente de alimentación. La soldadura MMA puede llevarse a cabo a través de corriente alterna o directa en ambas polaridades.

La elección depende del tipo de fuente de alimentación disponible y el electrodo y material base utilizado.

- **Corriente continua (CC).** Dos tipos de polaridad, la **polaridad directa** cuando el electrodo está conectado al polo negativo y las piezas de trabajo están conectadas al polo positivo y la **polaridad inversa**, cuando el electrodo está conectado al polo positivo (ánodo) y las piezas de trabajo al polo negativo (cátodo).

- **Corriente alterna (AC).** Cuando se establece un arco en corriente alterna, el electrodo actúa como ánodo durante medio ciclo y como cátodo durante el otro medio ciclo, produciendo alternativamente un ciclo en el que el electrodo actúa en positivo y en negativo. En Europa, este cambio ocurre 100 veces por segundo (50Hz), por lo que es imperceptible a simple vista. Debido a este cambio continuo, el arco en AC es más inestable que en el de CC.

**Tabla 2: Comparación entre DC y AC**

| PARÁMETROS  | CC   | AC   |
|---|--|--|
| Soldadura usando electrodos de diámetros pequeños que requieren una corriente baja                                    | La operación es más fácil  | Si el trabajo no se lleva a cabo cuidadosamente, el electrodo puede deteriorarse debido a la dificultad de encendido del arco                  |
| Encendido del arco  | La operación es más fácil  | Es más difícil particularmente cuando los electrodos de diámetros pequeños se utilizan   |
| Mantenimiento del arco  | Es más fácil para una estabilidad mayor  | Es más difícil exceptuando cuando se utiliza electrodos de alto rendimiento  |
| Soplo magnético   | Puede ser un problema en la soldadura de materiales ferromagnéticos              | Sin problema   |
| Posiciones de soldeo  | Es preferible en posiciones verticales y bajo techo porque se usa corriente baja | Si se utiliza el correcto electrodo, la soldadura se puede llevar a cabo en cualquier posición   |
| Tipo de electrodo   | Puede usarse cualquier tipo de electrodo   | No puede usarse cualquier tipo de electrodo  |
| Espesor de la pieza   | Es preferible espesores finos  | Es preferible espesores gruesos porque un electrodo de espesor grueso y gran corriente se puede utilizar y se conseguiría un mejor rendimiento |
| Soldadura usando una longitud de arco corta (es importante en algún tipo de electrodos, especialmente de los básicos) | La soldadura es más fácil  | -  |
| Polaridad   | CC+ o CC-, depende del metal base y electrodo que se usen                        | -  |

### 3.3. Encendido (cebado) del Arco

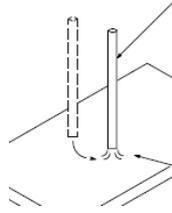
En la soldadura manual con electrodo revestido, el arco se establece cuando el electrodo toca la pieza (promoviendo un cortocircuito eléctrico) y al aumentar el voltaje mínimo de circuito abierto necesario para encender el arco, el arco se enciende.

Se notará la diferencia con otros procesos como la soldadura MAG. En el segundo caso, el hilo puede estar en contacto con la pieza sin que se establezca el arco. El arco se establece cuando se presiona el gatillo de la pistola.

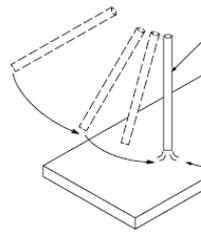
Al principio de la soldadura, el electrodo está completamente frío, lo que influye en el establecimiento del arco de soldadura.

Para el encendido del arco, es necesario establecer pequeños arcos entre el electrodo y la pieza para que se produzca el calentamiento de la punta del electrodo. Para ello, se pueden utilizar dos técnicas:

- Golpeando la punta del electrodo en la pieza donde se va a iniciar la soldadura, y luego el electrodo se retira rápidamente para producir un arco con la longitud requerida.



- Para establecer el arco con un movimiento de raspado como el que se realiza para encender una cerilla.



Para encender (cebar) el arco, es frecuente que el electrodo se suelde a la pieza. Cuando esto sucede, se necesita balancear el electrodo de derecha a izquierda para romper la "soldadura", y si fuera necesario, abrir el portaelectrodos. El problema de la segunda opción es que el arco puede establecerse entre la pinza y el electrodo, deteriorando así la pinza. Al tirar con fuerza del electrodo, la pieza puede caerse causando daños al soldador o a las personas que se encuentren en las proximidades. Si la pinza se escapa, dejando el electrodo unido a la pieza es necesario utilizar un martillo y un cincel para retirarla.

Ya sea golpeando suavemente el electrodo o a través del raspado, el arco de impacto causa pequeñas marcas en la superficie de la pieza debido a que la superficie se derrite en el electrodo y la pieza. Como la fusión en estas áreas es muy pequeña, las tasas de enfriamiento son muy grandes, por lo que estas marcas se agrietan. Para evitar estos defectos, es esencial establecer el arco en la zona de soldadura y delante de ella, nunca fuera de los bordes de la unión.

### 3.4. Electrodo Revestido

El elemento clave de este proceso es el electrodo que establece el arco, protege el baño de fusión y, cuando se consume, proporciona el aporte de material, que junto con el material base fundido, forman la soldadura.

El electrodo está formado básicamente por una varilla, como la composición del metal base, con o sin revestimiento. En estas condiciones, los electrodos se clasifican en dos grupos:

- **Electrodos desnudos.** Los electrodos desnudos no se suelen utilizar, solo en uniones de baja responsabilidad y en el acero templado porque las soldaduras producidas tienen propiedades mecánicas muy pobres.



*Imagen 9: Diferencias entre los electrodos con y sin revestimiento*

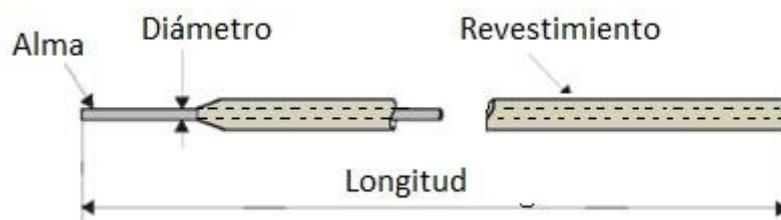
El arco absorbe los componentes del aire y los incorpora al baño de fusión, por lo que muchos óxidos, nitruros, poros y escorias aparecerán en el metal soldado, lo que produce estas pobres cualidades mecánicas.

Además, es muy difícil mantener el arco, lo cual es imposible con corriente alterna (AC).

- **Electrodo Revestidos.** Los electrodos revestidos tienen dos partes (ver Imagen 10).
  - **Alma:** Básicamente, es una composición uniforme de varillas circulares y generalmente como el metal base.
  - **Revestimiento:** Es un cilindro que rodea al núcleo, concéntrico con él y de espesor uniforme. Está compuesto por una mezcla de componentes que caracterizan al electrodo y que tiene varias funciones, que evitan los inconvenientes del electrodo desnudo.

Los electrodos tienen longitudes de 150, 200, 250, 300, 350 y 450 mm, dependiendo del diámetro de la varilla y del tipo de material de la varilla.

Los diámetros de los electrodos también están estandarizados, siendo los más comunes 1.5, 3.25, 4 y 5mm. El diámetro del electrodo se mide en función al diámetro de la varilla.



**Imagen 10: Electrodo Revestido**

Teniendo en cuenta la relación entre los diámetros de la varilla y el revestimiento, los electrodos pueden clasificarse como:

- **Fino:** los electrodos de revestimiento fino protegen poco el baño de fusión, por lo que sólo se utilizan en el aprendizaje de las técnicas de soldadura. Pero con los electrodos celulósicos se usa una cubierta delgada.
- **Medio:** Estos electrodos producen una mayor estabilidad del arco, permiten soldar con corriente alterna y también con corriente continua en ambas polaridades, y protegen mejor el metal de la soldadura; la escoria cubre el metal solidificado, lo que reduce la velocidad de enfriamiento y la oxidación.
- **Grueso:** Los electrodos con revestimiento grueso permiten obtener las mejores calidades de metal soldado normalmente, pero en algunos casos no todos los revestimientos gruesos darán la mejor calidad de metal soldado.

### Funciones del revestimiento.

Las funciones básicas que debe cumplir un revestimiento pueden resumirse en tres:

- **Función eléctrica del revestimiento:** Desde este punto de vista, la principal función del revestimiento es asegurar un buen grado de ionización entre el ánodo y el cátodo, proporcionando estabilidad de arco y encendido (cebado). Esto se consigue incluyendo en el revestimiento componentes de ionización de bajo voltaje y alto poder termoiónico, principalmente los de sodio, potasio, bario y, en general, metales alcalinos. Además, otros productos como los silicatos, carbonatos y óxidos de hierro y titanio favorecen el encendido y la estabilidad del arco.
- **Función física del revestimiento:** El revestimiento cumple varias funciones físicas en el proceso de soldadura manual con electrodo revestido, siendo el principal generador de gas y formador de escoria. Los gases resultantes realizan una doble función:
  - Para establecer una atmósfera de gas alrededor de la columna de arco que impide el contacto directo del oxígeno y el nitrógeno del aire, ambas gotas de metal emergen del extremo del electrodo, en su camino hacia el baño de fusión, y hacia la superficie de este.
  - En segundo lugar, el gas experimenta una gran expansión generada por el calor del arco y contribuye a eliminar las gotas de metal del electrodo final. Además, esta expansión del gas impulsa las gotas de metal, dándole una alta velocidad. Esto permite la soldadura en posiciones verticales, horizontales y bajo techo, que de otra manera no sería posible.

La escoria realiza una tarea de protección del metal desde el momento en que se funde. La tensión superficial de la escoria fundida es mucho menor que la del acero, que produce una capa de escoria solidificada formada en el baño fundido que la protege cuando no está cubierta por el gas que rodea el arco. La protección continúa cuando el metal soldado se solidifica, evitando su contacto con la atmósfera. La escoria también barre el baño recogiendo impurezas como óxidos, sulfuros, etc., que se adhieren a las impurezas y son llevadas a la superficie donde se solidifican, debido a su mayor temperatura de fusión que el acero.

- **Función metalúrgica del revestimiento:** El revestimiento metalúrgico influye de dos formas en la soldadura:
  - Por un lado, el revestimiento contiene una aleación que puede mejorar las propiedades mecánicas de la unión y constituir los elementos que el material base puede perder durante la soldadura. Por otra parte, el revestimiento también puede contener polvo de hierro que aumentará la velocidad de deposición del electrodo.
  - Por otro lado, la escoria que cubre la soldadura reduce la tasa de enfriamiento, produciendo que la cantidad de hidrógeno de la soldadura se reduzca, evitando o minimizando la aparición de estructuras duras y frágiles, disminuyendo el nivel de tensiones internas.

### Tipos de revestimientos. UNE-EN ISO 2560:2010

La clasificación de los electrodos revestidos se hace principalmente por la composición del revestimiento. Generalmente, los aceros al carbono se sueldan con electrodos revestidos con una composición de varilla similar a la del metal base, sin embargo, para los aceros inoxidables dicha composición puede variar considerablemente.

Según los compuestos que forman parte del revestimiento y la proporción en que están presentes, los electrodos se comportan de forma diferente, de modo que, según la forma en que se haga y, en función de las características de la

unión, el espesor, el tipo de preparación, la posición, la geometría de la unión, la composición del metal, etc., se puede seleccionar un tipo de electrodo y los parámetros de soldeo adecuados.

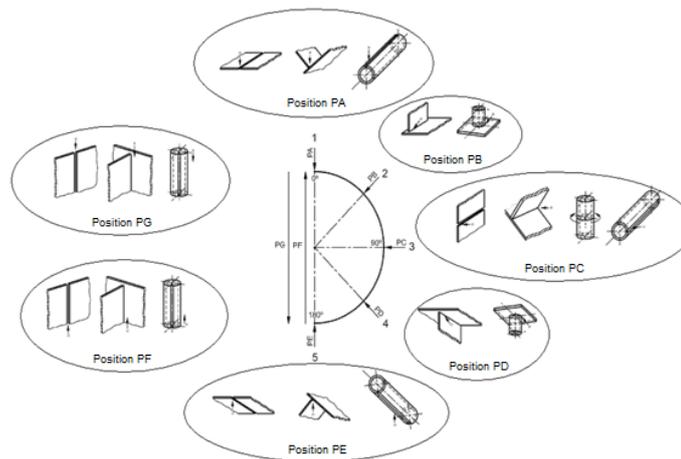
El revestimiento se clasifica según su composición, como se ha mencionado anteriormente, porque esto determina sus cualidades y aplicaciones, siendo agrupado y designado de la siguiente manera:

- Ácido (A).
- Básico (B).
- Celulósico (C).
- Rutilo (R).
- Rutilo - ácido (RA).
- Rutilo - básico (RB).
- Rutilo - celulósico (RC).
- Rutilo grueso (RR).
- Otro (S).

Los electrodos más importantes y utilizados son los básicos, los de rutilo y los celulósicos. Por ejemplo: los electrodos de rutilo se utilizan en zonas de difícil acceso para soldar, los electrodos básicos se utilizan en soldaduras con altas propiedades mecánicas y los electrodos celulósicos se utilizan en soldaduras de tuberías verticales descendentes.

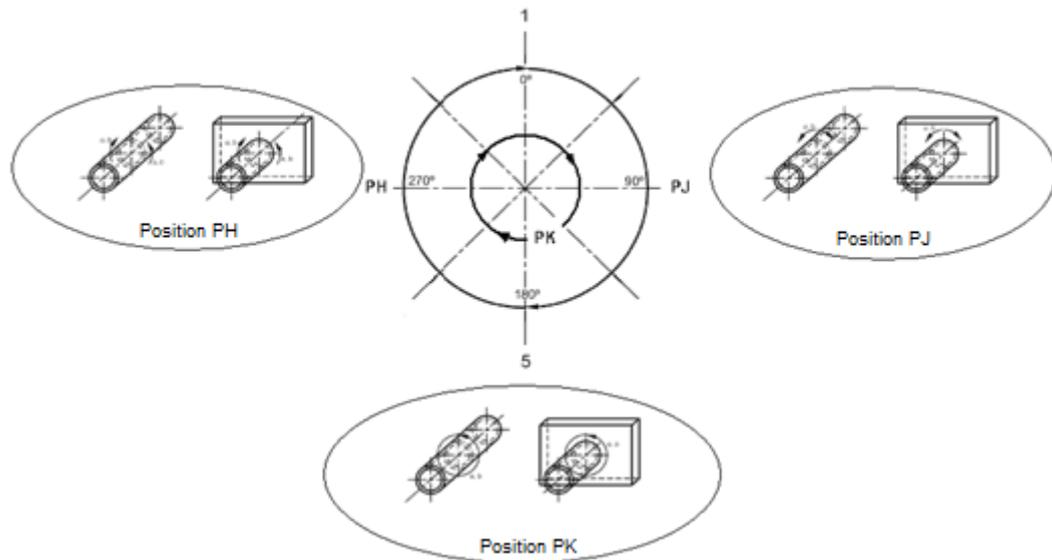
### 3.5. Posiciones de soldeo

La imagen 11 muestra las principales posiciones, PA, PB, PC, PD, PE, PF y PG, así como algunos ejemplos típicos en esas posiciones. Estas posiciones son aplicables tanto a las chapas como a las tuberías. También es importante señalar que las posiciones PB y PD se utilizan sólo en las uniones de soldadura en ángulo y no en las uniones a tope.



**Imagen 11: Principales posiciones de soldeo.**

Además de lo mencionado anteriormente, hay otras posiciones principales de soldeo que se aplican exclusivamente a las tuberías y que son las posiciones PH (en la soldadura de tubos vertical ascendente), PJ (en la soldadura de tubos vertical descendente) y PK (soldadura orbital de tubos). La imagen 12 muestra algunos ejemplos de estas posiciones de soldadura.



**Imagen 12: Principales Posiciones de soldeo.**

La posición de soldeo es crítica ya que es una variable esencial en la cualificación de los soldadores. Los soldadores deben conocer las posiciones de soldeo para asegurarse de que la cualificación los cubre para las posiciones en las que están soldando.

En la soldadura MMA, hay dos factores fundamentales que impiden el desprendimiento del baño de soldadura:

- **La escoria:** La escoria ayuda a mantener el baño de soldadura fundida.
- **Las tensiones superficiales:** la tensión superficial es una fuerza que actúa sobre la superficie líquida y que tiende a mantener las moléculas juntas evitando que el líquido se extienda. Por ejemplo, si depositas una gota de agua en una superficie, puedes ver que está redonda. Esto es debido a la tensión del espacio.

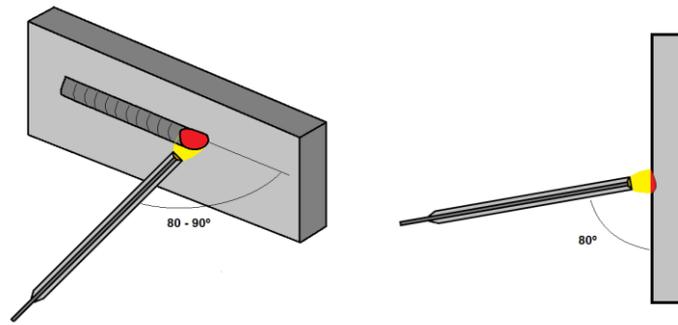
La tensión de la superficie no es uniforme en la superficie del líquido, pero es mucho mayor en los bordes. Esto justifica por qué cuando echamos agua en una superficie, el agua forma una fina película en la superficie, excepto en los bordes, donde adquiere el aspecto redondeado como una gota.

En otras palabras, aunque el baño de soldadura fundida es pequeño, el efecto de la tensión superficial es suficientemente fuerte para sostener el baño fundido y evitar que se desprenda o deslice. Si el baño de soldadura fundido es grande, la tensión superficial en el centro sería muy baja y el baño fundido tendería a deslizarse o caerse.

Consecuentemente, **“cuando sueldas en alguna posición es para controlar constantemente el tamaño de la soldadura mientras se mantiene un tamaño pequeño. Lo que implica soldar con un bajo aporte de calor”**.

### Soldadura horizontal.

El electrodo trabaja en una chapa vertical, desplazando el electrodo horizontalmente. Esto quiere decir que el baño de soldadura no tiene tendencia a ser retenido, de modo que el elemento principal proviene de la tensión superficial. El riesgo de que el baño de fusión se deslice en la superficie es muy alto, de modo que esta soldadura se realiza con el menos aporte de calor posible (baja intensidad y rápida velocidad de soldeo), por lo que, por un lado, hay un pequeño baño de fusión, y por otro, el baño de fusión no es muy fluido.



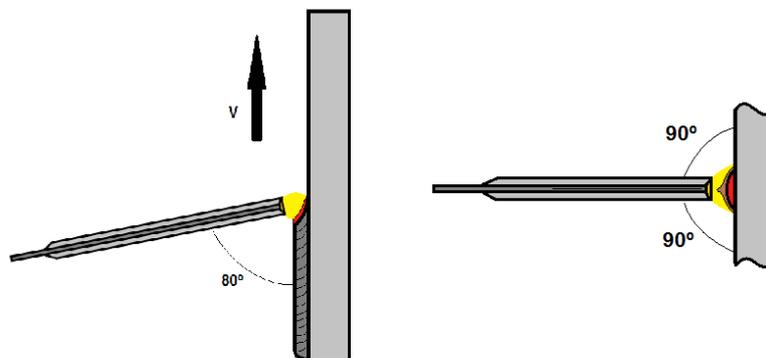
**Imagen 13: Guía del electrodo en posición horizontal.**

### Soldadura en vertical ascendente

la soldadura se realiza en una chapa vertical, moviendo el electrodo verticalmente hacia arriba, con o sin oscilación. Como en el caso anterior, el baño tiende a deslizarse por la gravedad, sin embargo, en esta posición, el cordón depositado actúa como respaldo y tiende a sostener el baño de soldadura fundida. Esta sujeción es efectiva mientras la acumulación de material en el baño de soldadura fundida no sea muy grande

Generalmente, en esta posición de soldadura, se suelda con corriente baja para prevenir un crecimiento excesivo del baño y que se convierta en un baño demasiado fluido, aumentando así el riesgo de hundimiento. Sin embargo, la entrada de calor suele ser muy alta, porque la posición de soldadura no permite soldar tan rápido como en otras posiciones.

En esta posición el electrodo debe cogerse ligeramente inclinado en el sentido contrario para formar un ángulo de  $90^\circ$  en dirección perpendicular a la chapa. (Ver Imagen 14).

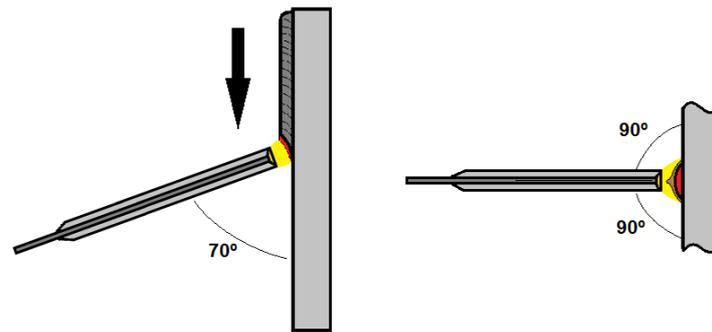


**Imagen 14: Orientación del electrodo en posición vertical ascendente.**

### Soldadura vertical descendente.

La soldadura se realiza en una chapa vertical, moviendo el electrodo verticalmente hacia abajo, normalmente sin oscilación. El baño de soldadura tiende a deslizarse por gravedad sin que haya ningún elemento que sostenga el baño. Para evitar que la escoria nos supere en comparación con la posición de soldeo plana, la soldadura debe realizarse a una velocidad de avance mayor, lo que requiere una corriente mayor para compensar la entrada de calor.

Es adecuado utilizar la orientación del electrodo para dirigir el arco hacia arriba y mantener el baño. Por lo tanto, es común utilizar un ángulo de unos  $70^\circ$  (Ver Imagen 15).



**Imagen 15: Orientación del electrodo en posición vertical descendente.**

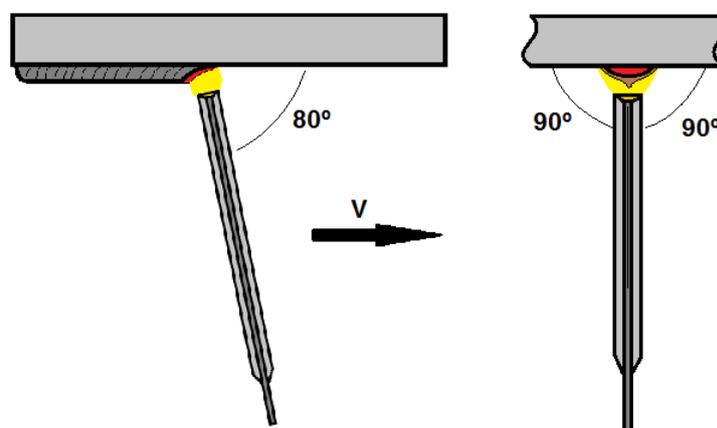
Para finalizar, merece la pena mencionar que no se debe soldar en esta posición, excepto cuando se indique expresamente y se utilicen electrodos específicos para soldar en vertical descendente, normalmente electrodos celulósicos.

### Soldadura bajo techo.

La soldadura se realiza en una chapa horizontal, soldando la superficie inferior. El principal problema, de nuevo, es que el baño de soldadura puede hundirse e incluso resbalar. Por lo general, esta posición de soldadura debería utilizar una corriente más alta que la posición PC. El riesgo de que el baño de soldadura fundido se deslice o se caiga no es tan alto como en la posición horizontal, pero puede ocurrir si se suelda con corrientes muy altas o con baños muy grandes.

Otro problema, típico de esta posición, es el aumento del riesgo de arrastre de escoria en el cordón, ya que la diferencia de densidad entre la escoria y el baño tiende a provocar la mezcla de ambos.

En cuanto a la orientación, el electrodo debe estar ligeramente inclinado hacia adelante (ver Imagen 16).



**Imagen 16: Orientación del electrodo en posición bajo techo.**

#### 4. Seguridad e Higiene en la soldadura MMA

En el campo de la soldadura hay muchos factores a considerar desde el punto de vista de la seguridad. Estos peligros son causados tanto por el propio proceso de soldadura (calor, gas, salpicaduras, electricidad, radiación ultravioleta...) como por el entorno en el que se desarrolla la actividad (taller de soldadura, en obra, en altura o bajo el agua, espacios confinados, etc.).

Para evitar daños personales es muy importante seguir algunas reglas básicas de prevención de riesgos. Algunas pautas que seguir serán expuestas en este tema con el objetivo de que sean seguidas por el personal involucrado en la soldadura por su bien y el de sus compañeros.

#### Identificador de los riesgos asociados a las operaciones de soldadura

La identificación de los riesgos es el resultado de la búsqueda de posibles elementos o situaciones que puedan afectar a la salud del trabajador. Además, la identificación de los riesgos laborales es un instrumento fundamental para seguir aplicando las medidas de seguridad adecuadas.

**Table 3: Tipos de riesgo comunes a considerar en las operaciones de soldadura.**

|                                    |   |
|------------------------------------|---|
| <b>Salpicaduras y proyecciones</b> | Las proyecciones de las partículas incandescentes producidas durante la soldadura pueden alcanzar hasta 10 metros en horizontal. Además, durante el picado emergen partículas de escoria de las que el trabajador debe protegerse.  |
| <b>Humos y gases tóxicos</b>       | <p>Aparecen por reacción química de diferentes componentes del proceso. Los diversos productos químicos peligrosos tienen características diferentes según su origen, pudiendo destacar las siguientes fuentes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Producido por metal base.</li> <li>• Producido a partir del material base revestido (galvanizado, níquel, cromo, cadmio, pintado, revestimientos plásticos, aceite)</li> <li>• Producido por productos de desengrasado o limpieza utilizados en el material de base y aporte.</li> <li>• Producido por el material de aporte.</li> <li>• Producido por la reacción con el aire circundante.</li> <li>• Producido a partir de los líquidos o gases contenidos en los tanques a soldar.</li> </ul> |
| <b>Descargas eléctricas</b>        | Causado por el mal estado de los cables y/o conexiones o por el manejo incorrecto de los equipos eléctricos.  |
| <b>Temperatura alta</b>            | La temperatura alcanzada en un proceso de soldadura debe ser suficiente para fundir tanto el metal base como el electrodo. Esta alta temperatura afecta directamente al soldador.   |
| <b>Fuego</b>                       | Producido generalmente por proyecciones de partículas incandescentes que llegan a una zona donde se han acumulado elementos inflamables.  |

|  |  |
|--|--|
|  | También puede ser producida por soldadura en áreas donde hay una gran cantidad de gas combustible.   |
| <b>UV</b>                                    | Los procesos de soldadura por arco producen radiación visible, infrarroja y ultravioleta, que produce lesiones oculares y en la piel, siendo la radiación ultravioleta la más peligrosa. |
| <b>Accidentes con herramientas y equipos</b> | Se producen en las operaciones previas, durante y después del soldeo.  |
| <b>Ruido</b>                                 | El ruido producido por la acción de las operaciones complementarias a la soldadura, como moler, cortar, martillar, etc.  |
| <b>Malas posiciones</b>                      | A veces el soldador debe soldar en posiciones incómodas debido a la mala accesibilidad de la unión. Esta posición mantenida cierto tiempo puede dar lugar en lesiones.                   |

### Medidas de prevención

Cuando ya se han identificado los posibles riesgos, es el momento de tomar medidas preventivas y de protección contra ellos.

Se diferencian dos campos de actividad: las medidas de protección personal y las medidas de protección colectiva.

### Protección personal

Tienen como objetivo proteger al personal directamente involucrado en las tareas de soldadura, y a sus ayudantes.

### Ropa de protección

El propósito de la protección personal es reducir las consecuencias del riesgo, por lo tanto, la prioridad es descubrir el riesgo particular, ya que no se puede eliminar o se pueden adaptar las medidas de protección colectiva, será cuando usemos EPI (Equipo de Protección Individual). Es importante recordar que las protecciones personales no eliminan los riesgos, son simplemente barreras físicas que se interponen entre los riesgos y las personas. A continuación, se enumeran las prendas de protección recomendadas, seleccionándose aquellas que está aprobadas por el Ministerio de Trabajo y el marcado CE.

No se recomiendan las prendas de algodón porque el ultravioleta lo degrada rompiéndolo en un periodo de entre uno y quince días. El cuero y la lana son dos materiales que ofrecen mejores resultados contra la radiación ultravioleta.

**Tabla 4: Ropa de protección recomendada.**

|  |  |
|--|--|
| <b>Cascos de seguridad para la protección contra la caída de objetos pesados o afilados.</b> |  |
| <b>Botas de seguridad</b>  |  |

|  |  |
|--|--|
| <p>Pantallas o máscaras provistas de filtros de radiación elegidas como se detalla a continuación.</p> |    |
| <p>Guantes, mangas, mallas y delantales de cuero.</p>  |    |
| <p>Guantes aislantes de electricidad para manejar fuentes de alimentación de soldadura.</p>            |    |
| <p>Cinturones de seguridad para trabajos en altura.</p>  |   |
| <p>Protección auditiva, que pueden ser tapones, tapones para los oídos o cascos anti-ruido.</p>        |  |

### Protección de los ojos

Para proteger el ojo de las radiaciones nocivas durante la soldadura, es necesario utilizar gafas o pantallas con filtros apropiados.

Los filtros se clasifican según el grado de protección contra la radiación ultravioleta e infrarroja. En el caso de la soldadura con electrodos revestidos, la radiación será una función directa de la corriente, es decir, cuanto mayor sea el amperaje utilizado mayor será la radiación emitida.

### Prevencciones en el uso de materiales y equipo

La soldadura por arco con electrodos revestidos, así como las operaciones relacionadas con este proceso, implican el uso de corriente eléctrica. El manejo inadecuado o el mantenimiento deficiente de estos equipos puede causar accidentes por contactos eléctricos directos o indirectos.

### Protección contra humos

Para prevenir que los humos nocivos de las operaciones de soldadura lleguen a las vías respiratorias, tanto el soldador como los demás trabajadores que circulan por la zona deben estar protegidos a dos tipos de acciones:

- A las actuaciones sobre los elementos que pueden emitir humos para reducir al mínimo posible.
- Una vez que los humos se han emitido, para evitar que no lleguen al soldador, se utilizan aspiradores, extractores, corrección de la postura del soldador, etc.

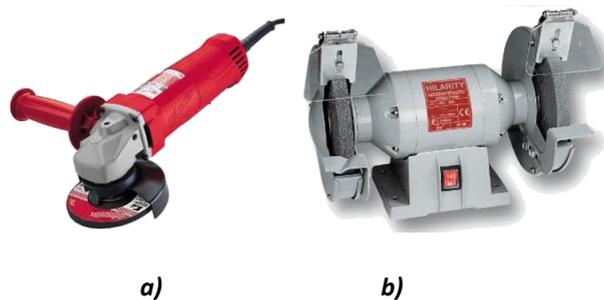
### Riesgos y precauciones asociados a las operaciones de soldadura

La soldadura no solo implica la fusión del material base y aporte. Para hacer una unión con garantías, se requiere una serie de operaciones para anular o limitar el número de defectos en la soldadura. Estas operaciones conllevan una serie de peligros que deben tenerse en cuenta.

### Esmerilado

Para la limpieza de las pasadas o la preparación de los bordes, se utilizan rectificadoras como radiales o esmeriladoras. Las hay fijas o portátiles (ver Imagen 17). Los riesgos asociados al esmerilado son:

- Choque eléctrico
- Accidentes en los ojos
- Escape o rotura del disco
- Quemaduras y heridas en las manos
- Aspiración de polvo y partículas



**Imagen 17: a) Radial portátil. b) Esmeriladora fija**

Para evitar los peligros asociados al esmerilado, se debe comprobar el correcto estado de los cables eléctricos y de la tierra, trabajar siempre con gafas o pantalla protectora de cristales transparentes, utilizar las muelas adecuadas para el material a trabajar, no apretar demasiado las tuercas porque las muelas pueden dañarse, evitar la vibración en las muelas una vez montadas, utilizar plantillas para trabajar con piezas pequeñas, usar siempre guantes y utilizar un sistema de extracción de humos y partículas.

### Eliminación de Escorias

Para eliminar la escoria producida en la soldadura con electrodos revestidos, se utilizan picos o martillos. Los riesgos asociados a la eliminación de la escoria son:

- Quemaduras.
- Lesiones en la visión.



*Imagen 18: Pico y gafas protectoras*

Las quemaduras pueden evitarse utilizando guantes y ropa en la manipulación de las partes que aún están calientes. También es necesario enfriar la escoria. Para evitar posibles lesiones oculares, siempre hay que utilizar picos con gafas o pantalla de cristal transparente.

### **BIBLIOGRAFÍA DE LA UNIDAD**

- [1] General Course on Tecnología de la soldadura. Training Fund-CESOL. Module 1 and 2. 1994.
- [2] Documentation of the course "European Welding Specialist". Modules 1 and 2. 1995.
- [3] UNE-EN ISO 17633:2006, Welding consumables. Tubular wires and rods for arc welding with or without gas protection of stainless and heat-resistant steels. Classification.
- [4] AWS A5.1-04: Specification for Carbon Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding.
- [5] AWS A5.4-06: Specification for Stainless Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding.
- [6] AWS A5.30-07: Specification for Consumable Inserts.

## Welding Processes - TIG

### 1.1 Nombre del curso

*Soldadura TIG*

### 1.2 Duración del curso

*5 horas*

### 1.3 Propósito del curso

En esta unidad correspondiente a la soldadura TIG obtendremos los conocimientos referentes al equipo del proceso de soldadura, cómo los parámetros (corriente, voltaje, velocidad, etc.) afectan al proceso, las tecnologías del proceso TIG y un apartado relacionado con la seguridad e higiene. Cuando se requieren mayores requisitos de acabado, es necesario utilizar el sistema TIG para conseguir soldaduras homogéneas con un buen aspecto y un acabado completamente liso.

### 1.4 Objetivos del curso

|  |   |   |   |
|--|---|---|---|
| <p>Usar y explicar la terminología asociada con el proceso de soldeo TIG.</p> <p>Describir las ventajas y limitaciones del proceso de soldeo TIG.</p> <p>Identificar el equipo de soldeo, como electrodos de tungsteno, varillas de metal de aporte, antorchas y los componentes específicos utilizados en el proceso de soldeo TIG.</p> | <p>Identificar, seleccionar y preparar el equipo TIG para el proceso de soldeo.</p>   | <p>Colaborar con los miembros del equipo de trabajo para cumplir con la tarea;</p> <p>Asumir dentro del equipo de trabajo las responsabilidades de la tarea de trabajo.</p> | <p>El equipo utilizado en el proceso de soldeo TIG.</p>   |
| <p>Explicar la importancia del montaje correcto del equipo, ajuste de la fuente de energía, elección del electrodo y las consecuencias de una selección incorrecta.</p>  | <p>Identificar la fuente de energía, herramientas y accesorios utilizados para el soldeo TIG.</p> <p>Describir el principio, formación, naturaleza y potencia del arco eléctrico utilizado para soldar las uniones.</p> |   | <p>Parámetros (corriente, voltaje, velocidad, etc.) que afectan al proceso.</p> <p>Fuente de alimentación.</p> <p>Cables.</p> |

|   |  |  |   |  |
|---|--|--|---|--|
|   | <p>Establecer los parámetros de uso del arco eléctrico y las posibilidades de protección del mismo.</p>  |  | <p>Conexiones a tierra.</p> <p>Caídas de tensión.</p>   |  |
| <p>Inspeccionar y preparar la(s) pieza(s) de trabajo de acuerdo a los planos y prácticas de trabajo, para el soldeo TIG.</p> <p>Explicar la importancia del montaje correcto del equipo, ajuste de la fuente de alimentación, selección del electrodo y las consecuencias de una selección incorrecta.</p> <p>Explicar el espesor de los materiales, en relación con el tamaño y el tipo de electrodo de soldeo utilizado, y la influencia de la manipulación del electrodo durante el proceso de soldeo.</p> <p>Prepare el ambiente de soldeo TIG usando un simulador/equipo real.</p> | <p>Identificar qué tipo de electrodo se debe utilizar con corriente continua (CC) o alterna (AC).</p> <p>Seleccionar y utilizar los consumibles de soldeo según los requisitos para soldar acero al carbono, aluminio y acero inoxidable. Usar el proceso de soldadura por arco con electrodo de tungsteno protegido con gas inerte (TIG) en todas las posiciones.</p> <p>Soldar la pieza de trabajo de acuerdo con la hoja de instrucciones de trabajo y los requisitos de diseño utilizando un simulador/equipo real. Aplicar controles de calidad en el proceso.</p> <p>Inspeccionar la pieza soldada en busca de defectos (utilizar ensayos visuales y no destructivos), de acuerdo con las especificaciones reflejadas en el diseño o en los requisitos de trabajo.</p> <p>Identificar los defectos de soldadura y tomar medidas correctivas.</p> |  | <p>Tecnología del soldeo TIG.</p> <p>Cebado del arco en soldeo TIG.</p> <p>Afilado de los electrodos no consumibles.</p> <p>Clasificación de las varillas e hilos de aporte.</p> <p>Clasificación del gas de protección para el soldeo por arco y corte.</p> <p>Influencia de los parámetros de soldeo en las tecnologías de soldeo TIG.</p> <p>Posiciones de soldeo.</p> |  |
| <p>Identificar y rectificar los posibles riesgos de la soldadura de acuerdo con las prácticas estándar del lugar de trabajo.</p> <p>Explicar los requisitos de seguridad relativos a los productos soldados.</p>  | <p>Observar las prácticas de trabajo seguras durante el soldeo.</p> <p>Aplicar otras medidas a considerar para la prevención de accidentes relacionados con el ruido, humo, fuego y descargas eléctricas.</p>  |  | <p>Medidas de seguridad e higiene.</p> <p>Precauciones de seguridad aplicables a las máquinas de soldeo, herramientas manuales, equipos,</p>  |  |

|  |  |  |   |
|--|--|--|---|
| Proporcionar ejemplos de fallos y explicar sus causas y consecuencias. |  |  | herramientas y durante las operaciones de soldeo. |
|--|--|--|---|

## 1.5 Contenidos

### 1. Introducción a la soldadura TIG

#### 2. Equipo de soldadura

2.1. Fuentes de alimentación

2.2. Cables

2.3. Dispositivos de tierra

2.4. Caída de tensión

#### 3. Tecnología de soldeo

3.1. Encendido del arco en la soldadura TIG

3.2. Afilado del electrodo

3.3. Electrodo no consumibles

3.4. Clasificación de las varillas e hilos de aporte

3.5. Clasificación del gas de protección para la soldadura por arco y corte

3.6. Influencia de los parámetros de soldeo

3.7. Posiciones de soldeo

3.8. Defectos típicos de soldeo

#### 4. Seguridad e Higiene en la soldadura TIG

## 1.6 Participantes

|  |   |
|--|---|
| Características del alumno:<br><i>(perfil del grupo de estudiantes a los que se dirige el curso)</i> | <i>Conocimientos básicos de soldadura</i> |
|--|---|

## 1.7 Requisitos de ingreso

*(Descripción de los requisitos de ingreso al curso – si fuera necesario)*

|   |  |
|---|--|
| <b>Requisitos del nivel educativo:</b>  | <i>Alumnos de centros de Formación Profesional</i> |
| <b>Conocimientos previos necesarios</b> | <i>Conocimiento básico de soldadura</i>            |
| <b>Requisitos de edad:</b>              | <i>Entre 16-20 años</i>                            |

## 1.8 Actividades de evaluación

*Evaluación sumativa*

- *Examen teórico usando un simulador o aula virtual SIMTRANET*

## 1.9 Bibliografía (utilizada o suplementaria)

- [1] General Course on Welding Technology. Training Fund-CESOL. Module 1 and 2. 1994.  
[2] Documentation of the course "European Welding Specialist". Modules 1 and 2. 1995.

[3] UNE-EN ISO 6848:2005, Tungsten electrodes for arc welding in inert atmosphere with refractory electrode, and for welding and plasma cutting. Symbolization.

[4] AWS A5.12-98: Specification for Tungsten and Tungsten-Alloy Electrodes for Arc Welding and Cutting.

[5] AWS C5.5-03, Recommended Practices for Gas Tungsten Arc Welding.

[6] AWS Z49.1-05, Safety in Welding, and Cutting and Allied Processes.

**NÚMERO DE LA UNIDAD: Unidad Didáctica 2****Título: Soldeo TIG****Presentación**

En esta unidad correspondiente a la soldadura TIG obtendremos los conocimientos referentes al equipo del proceso de soldadura, cómo los parámetros (corriente, voltaje, velocidad, etc.) afectan al proceso, las tecnologías del proceso TIG y un apartado relacionado con la seguridad e higiene.

Cuando se requieren mayores requisitos de acabado, es necesario utilizar el sistema TIG para conseguir soldaduras homogéneas con un buen aspecto y un acabado completamente liso.

**Objetivos del curso**

|  |   |   |   |
|--|---|---|---|
| <p>Usar y explicar la terminología asociada con el proceso de soldeo TIG.</p> <p>Describir las ventajas y limitaciones del proceso de soldeo TIG.</p> <p>Identificar el equipo de soldeo, como electrodos de tungsteno, varillas de metal de aporte, antorchas y los componentes específicos utilizados en el proceso de soldeo TIG.</p> | <p>Identificar, seleccionar y preparar el equipo TIG para el proceso de soldeo.</p>   | <p>Colaborar con los miembros del equipo de trabajo para cumplir con la tarea;</p> <p>Asumir dentro del equipo de trabajo las responsabilidades de la tarea de trabajo.</p> | <p>El equipo utilizado en el proceso de soldeo TIG.</p>   |
| <p>Explicar la importancia del montaje correcto del equipo, ajuste de la fuente de energía, elección del electrodo y las consecuencias de una selección incorrecta.</p>  | <p>Identificar la fuente de energía, herramientas y accesorios utilizados para el soldeo TIG.</p> <p>Describir el principio, formación, naturaleza y potencia del arco eléctrico utilizado para soldar las uniones.</p> <p>Establecer los parámetros de uso del arco eléctrico y las posibilidades de protección del mismo.</p> |   | <p>Parámetros (corriente, voltaje, velocidad, etc.) que afectan al proceso.</p> <p>Fuente de alimentación.</p> <p>Cables.</p> <p>Conexiones a tierra.</p> <p>Caídas de tensión.</p> |
| <p>Inspeccionar y preparar la(s) pieza(s) de trabajo de acuerdo</p>  | <p>Identificar qué tipo de electrodo se debe utilizar</p>   |   | <p>Tecnología del soldeo TIG.</p>   |

|  |   |  |   |  |
|--|---|--|---|--|
| <p>a los planos y prácticas de trabajo, para el soldeo TIG.</p> <p>Explicar la importancia del montaje correcto del equipo, ajuste de la fuente de alimentación, selección del electrodo y las consecuencias de una selección incorrecta.</p> <p>Explicar el espesor de los materiales, en relación con el tamaño y el tipo de electrodo de soldeo utilizado, y la influencia de la manipulación del electrodo durante el proceso de soldeo.</p> <p>Prepare el ambiente de soldeo TIG usando un simulador/equipo real.</p> | <p>con corriente continua (CC) o alterna (AC).</p> <p>Seleccionar y utilizar los consumibles de soldeo según los requisitos para soldar acero al carbono, aluminio y acero inoxidable. Usar el proceso de soldadura por arco con electrodo de tungsteno protegido con gas inerte (TIG) en todas las posiciones.</p> <p>Soldar la pieza de trabajo de acuerdo con la hoja de instrucciones de trabajo y los requisitos de diseño utilizando un simulador/equipo real. Aplicar controles de calidad en el proceso.</p> <p>Inspeccionar la pieza soldada en busca de defectos (utilizar ensayos visuales y no destructivos), de acuerdo con las especificaciones reflejadas en el diseño o en los requisitos de trabajo.</p> <p>Identificar los defectos de soldadura y tomar medidas correctivas.</p> |  | <p>Cebado del arco en soldeo TIG.</p> <p>Afilado de los electrodos no consumibles.</p> <p>Clasificación de las varillas e hilos de aporte.</p> <p>Clasificación del gas de protección para el soldeo por arco y corte.</p> <p>Influencia de los parámetros de soldeo en las tecnologías de soldeo TIG.</p> <p>Posiciones de soldeo.</p> |  |
| <p>Identificar y rectificar los posibles riesgos de la soldadura de acuerdo con las prácticas estándar del lugar de trabajo.</p> <p>Explicar los requisitos de seguridad relativos a los productos soldados. Proporcionar ejemplos de fallos y explicar sus causas y consecuencias.</p>  | <p>Observar las prácticas de trabajo seguras durante el soldeo.</p> <p>Aplicar otras medidas a considerar para la prevención de accidentes relacionados con el ruido, humo, fuego y descargas eléctricas.</p>   |  | <p>Medidas de seguridad e higiene. Precauciones de seguridad aplicables a las máquinas de soldeo, herramientas manuales, equipos, herramientas y durante las operaciones de soldeo.</p>   |  |

1. Introducción a la soldadura TIG
2. Equipo de soldadura
  - 2.1. Fuentes de alimentación
  - 2.2. Cables
  - 2.3. Conexiones a tierra
  - 2.4. Caídas de tensión
3. Tecnología de soldeo
  - 3.1. Encendido del arco en el soldeo TIG
  - 3.2. Afilado del electrodo
  - 3.3. Electrodo no consumibles
  - 3.4. Clasificación de las varillas e hilos de aporte
  - 3.5. Clasificación del gas de protección para la soldadura por arco y corte
  - 3.6. Influencia de los parámetros de soldeo
  - 3.7. Posiciones de soldeo
  - 3.8. Defectos típicos de soldeo
4. Seguridad e Higiene en la soldadura TIG

## DESARROLLO DE LOS CONTENIDOS

### 1. Introducción a la soldadura TIG

La soldadura TIG es un proceso de soldeo por fusión que utiliza un arco eléctrico establecido entre un electrodo no consumible y la pieza de trabajo, mientras que un gas inerte protege el baño de soldadura. El material de aporte, cuando se utiliza, se aplica por medio de varillas de la misma manera que la soldadura de oxiacetilénica.

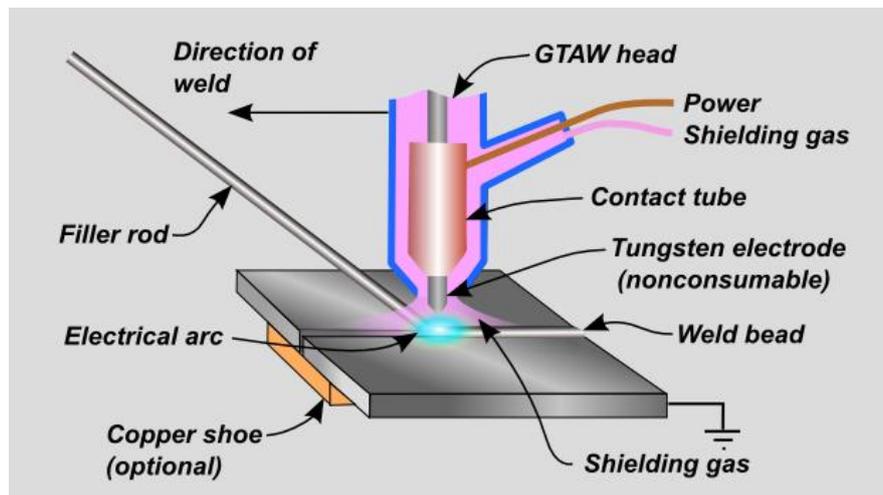


Imagen 1. Esquema del proceso TIG

El proceso de soldadura TIG también recibe los nombres de:

- GTAW (Gas Tungsten Arc Welding), AWS 3.0
- Soldadura por arco protegido con gas y electrodo de tungsteno no consumible (UNE-EN ISO 4063: 2011)
- Soldadura por arco con electrodo de tungsteno no consumible (UNE-EN 14610:2006)

La siguiente tabla muestra las principales ventajas y limitaciones del propio proceso:

| Ventajas   | Limitaciones   |
|--|--|
| Es un proceso adecuado para unir la mayoría de los metales   | La tasa de deposición es menor que la alcanzada con otros procesos de soldadura por arco             |
| Proporciona un arco estable y concentrado  | Debido a que es una operación manual requiere, en general, una gran habilidad por parte del soldador |
| Aunque se trata de un proceso esencialmente manual, se ha automatizado para algunas fabricaciones en serie, como la soldadura longitudinal o en espiral de pequeños espesores de tubos y para la fijación de los tubos a chapas en los intercambiadores de calor | No es económico para espesores mayores de 10 mm  |

| Ventajas  | Limitaciones   |
|---|--|
| No se producen proyecciones (porque no hay transferencia de metal en el arco)       | En presencia de corrientes de aire, puede ser difícil lograr una protección adecuada de la zona de soldadura |
| No se produce escoria   | Produce más radiación ultravioleta que otros procesos, por lo que requiere una protección adecuada           |
| Se obtienen soldaduras suaves y regulares   |  |
| Se puede usar con o sin metal de aporte, dependiendo de la aplicación               |  |
| Se puede usar en todo tipo de uniones y posiciones                                  |  |
| Es posible obtener una alta velocidad de soldeo en espesores inferiores a 3-4 mm    |  |
| Se pueden lograr soldaduras de alta calidad   |  |
| Proporciona un excelente control de la penetración en la pasada de raíz             |  |
| No se requiere el uso de fuentes de alimentación excesivamente costosas             |  |
| Permite el control independiente de la fuente de alimentación y del metal de aporte |  |
| No produce humos  |  |

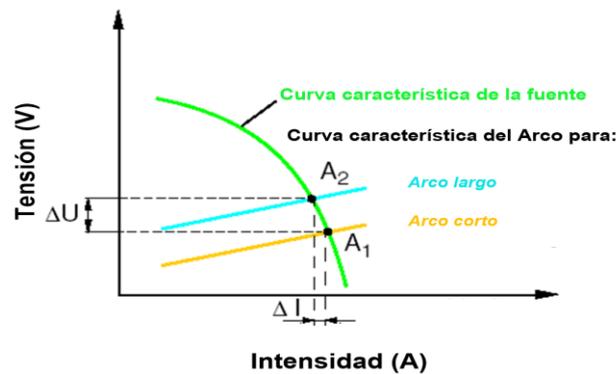
**Tabla 1. Ventajas y limitaciones de la soldadura TIG**

## 2. Equipo de soldadura

Identificar al equipo de soldadura en cada proceso es muy importante. En este equipo, debemos aprender todos los elementos necesarios para realizar una soldadura TIG, tales como, fuente de alimentación, cables, pinzas y antorcha.

### 2.1. Fuentes de alimentación

La soldadura TIG es, principalmente, un proceso de soldadura manual, lo que implica que la fuente de alimentación para proporcionarnos unas condiciones de trabajo estables, independientemente de las pequeñas variaciones en la longitud del arco que se producirán durante la soldadura como resultado del pulso del soldador. Esto se debe a que en la soldadura TIG se emplean fuentes de alimentación de corriente constante o de característica vertical (descendente).



**Imagen 2. Curva característica de pendiente descendente**

Como podemos ver en la imagen 2, trabajar con este tipo de fuente de energía (curva característica de pendiente descendente) implica que las variaciones significativas en el voltaje de soldeo implican variaciones muy pequeñas de la corriente. Esto es crítico en los procesos de soldadura manual, como la soldadura TIG, ya que el voltaje de la soldadura está estrechamente relacionado con la variación de la longitud del arco. En un proceso manual es imposible que el soldador tenga siempre la misma longitud de arco, por lo que variará a lo largo de la soldadura.

Sin embargo, con este tipo de fuentes de soldadura conseguimos que estas variaciones en la longitud del arco, y por tanto la tensión de soldeo, no impliquen variaciones en la corriente de soldadura, y así evitar problemas como la falta de fusión y penetración, perforaciones de la pieza, etc.

Además, la soldadura TIG puede realizarse tanto con corriente alterna como con corriente continua, lo que requerirá características diferentes de la fuente de alimentación.

### **Fuentes de alimentación de la corriente alterna (AC). Transformadores:**

La función principal de las fuentes de alimentación es obtener una corriente eléctrica adecuada para el soldeo, es decir, una corriente eléctrica de bajo voltaje y alto amperaje.

La corriente suministrada por la red es una corriente alterna de baja corriente y alto voltaje, lo que la hace no apta para la soldadura. Por lo tanto, es necesario modificarla para adaptarla al soldeo. Este es el objetivo de los transformadores eléctricos, que es "coger" la red de corriente alterna, alta tensión, baja corriente, y "devolver" una corriente alterna de alta corriente y baja tensión, apta para la soldadura. Las fuentes de alimentación para la soldadura TIG con corriente alterna están formadas, principalmente por:

- Transformador
- Generador de pulsos de alta frecuencia
- Ventilador
- Válvula magnética para el gas de protección
- Control de la corriente de soldeo

### **Fuentes de alimentación de corriente continua (CC). Rectificador:**

Cuando la soldadura TIG se realiza con corriente continua, la fuente de alimentación debe realizar dos "modificaciones" de la corriente de la red eléctrica a la que está conectada:

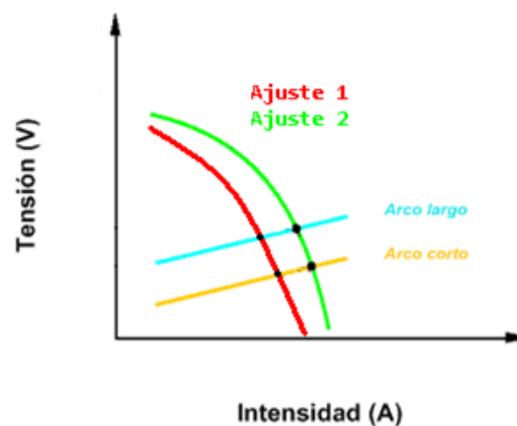
1. Transformar la red de corriente alterna (alto voltaje y baja corriente) en corriente alterna adecuada para el soldeo (bajo voltaje y alta intensidad).

2. Rectificar la forma de corriente alterna, el devanado secundario del transformador a corriente continua utilizado en el soldeo.

Las fuentes de alimentación para la soldadura TIG de corriente continua están formadas principalmente por:

- Transformador
- Rectificador
- Ventilador
- Válvula magnética para el gas de protección
- Módulo de control
- Control de la corriente de soldeo

Cuando se regula la corriente de soldeo con el potenciómetro de la fuente de alimentación TIG, lo que hacemos es variar la curva característica de la fuente que trabaja.



**Imagen 3. Ajustes de los distintos tipos de corriente**

Para entender cómo se controlan las características de la fuente es importante entender 2 parámetros claves: voltaje de circuito abierto y corriente de cortocircuito

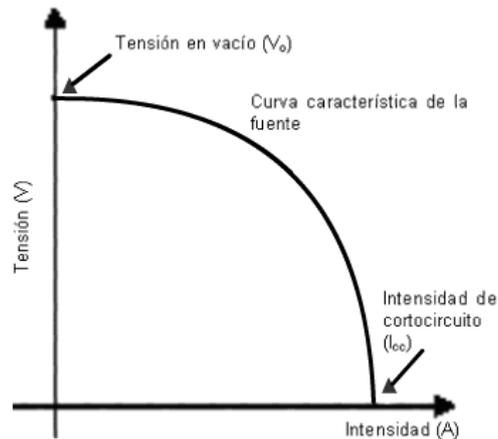


Imagen 4. Característica de la curva de la fuente

#### Voltaje de circuito abierto

El voltaje de circuito abierto ( $V_0$ ) es el voltaje máximo que la fuente de energía puede suministrar y es el voltaje en los terminales de la fuente cuando no está soldando. El voltaje de circuito abierto del circuito suele ser mayor que el doble del voltaje de la soldadura. Se utiliza principalmente para asegurar la facilidad de ignición y la estabilidad del arco, por lo que debido a la mayor inestabilidad del arco cuando se suelda con AC, los transformadores tienen mayor voltaje de circuito abierto que los rectificadores.

#### Corriente de cortocircuito

La corriente de cortocircuito ( $I_{sc}$ ) es la máxima corriente suministrada por la fuente de alimentación. Para iniciar el arco, se produce un cortocircuito, en este momento la tensión desaparece, y la corriente que fluye es la máxima ( $I_{sc}$ ), gracias a esto el electrodo se calienta y puede estabilizar el arco.

Estos dos parámetros son de particular relevancia en la soldadura TIG, ayudando a facilitar el establecimiento (cebado) del arco.

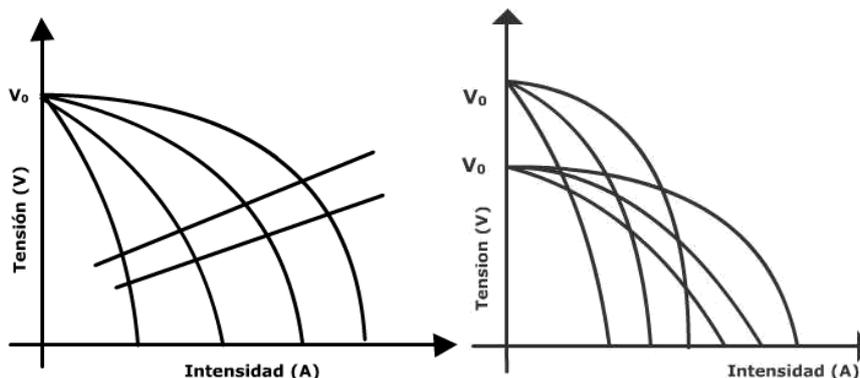


Imagen 5. Curva característica de la fuente de soldadura

En general podemos decir que la variación de la pendiente de la curva se consigue actuando sobre el campo magnético generado en el transformador, mientras que las variaciones de tensión en circuito abierto se realizan por derivación en el circuito primario o secundario

## 2.2. Cables

Es el responsable de transportar la corriente eléctrica de la fuente de energía a la pieza y devolverla a la fuente de energía de la soldadura. La longitud de los cables debe ser seleccionada de acuerdo a la corriente que debe ser soportada.

Es preferible que tanto la pinza como la antorcha tengan el mismo diámetro, sin embargo, ocasionalmente uno de los cables, generalmente el de la pinza de la pieza de trabajo, puede tener un diámetro mayor, pero no menor.

Es aconsejable tener buenos conductores en la corriente de soldeo. En los talleres se suelen utilizar barras, tuberías de agua y todo tipo de elementos metálicos para cerrar el circuito, lo que a menudo provoca fallos en las soldaduras.

### 2.3. Dispositivo de sujeción de piezas

Es un dispositivo de conexión de la fuente de alimentación a la pieza de trabajo, y está disponible en varios tamaños y configuraciones para diferentes aplicaciones. La condición que se debe cumplir es que esté en buenas condiciones y que haga buen contacto con el metal base. Una pinza desgastada no proporciona la seguridad de una buena conducción eléctrica, lo que causa inestabilidad en el arco durante el soldeo.

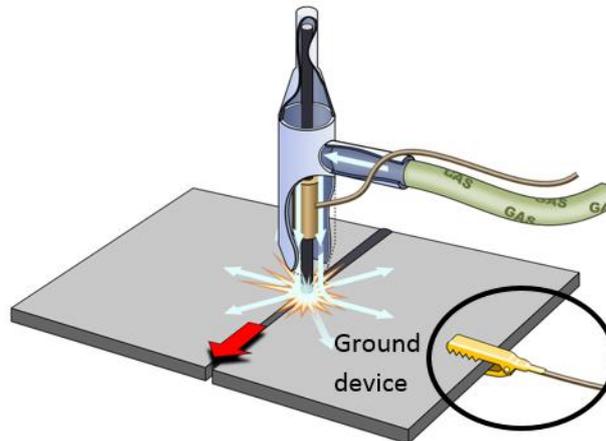


Imagen 6. Ejemplo de dispositivo de sujeción de pieza

### 2.4. Caída de tensión

**La caída de tensión de un conductor es la diferencia de voltaje entre sus extremos.**

Cuando se indica un voltaje V en la pantalla del equipo de soldadura, este voltaje no es exactamente el voltaje de soldeo. Esto se debe a que, el voltaje indicado por el voltímetro de la máquina es el voltaje total de salida, que es el voltaje del arco más las caídas de voltaje sobre los cables, el electrodo, el porta-electrodos, la pieza de trabajo y la pinza de la pieza de trabajo. Estas caídas de voltaje son directamente proporcionales a la corriente, por lo que es fácil comprender que al ser la soldadura un proceso que requiere una corriente alta; estas caídas de voltaje tienen un valor considerable.

**Para que estas caídas de tensión no afecten negativamente a la soldadura, se limitan a un valor de 2 voltios.**

Los puntos comunes de la **caída de tensión** y el **calentamiento de la resistencia** son:

- Cable de alimentación demasiado pequeño o dañado.
- Abrazadera de la pieza de trabajo suelta o dañada.

## - Conexiones de los cables de alimentación flojas (seltas).

Las conexiones sueltas producen una caída de tensión mayor que la permitida para la estabilidad del arco (2 V) desde la fuente de alimentación hasta el porta-electrodos.

Por esta razón, no se utilizarán conexiones malas o elementos de acero o tubos o barras como conductores en vez de un cable de tierra con una abrazadera en buen estado, para fijarlo correctamente a la chapa o estructura que se va a soldar.

### 3. Tecnología de soldeo

Es muy importante saber y estudiar las tecnologías de cada proceso de soldadura ya que hay varios parámetros a tener en cuenta al soldar. En lo que respecta a la soldadura TIG, nos centraremos en el encendido (cebado) del arco, los electrodos no consumibles y su forma, la clasificación del material de aporte y los gases protectores, los parámetros de soldadura, las posiciones de soldadura y los defectos típicos de la soldadura.

#### 3.1. Encendido (cebado) del arco en la soldadura TIG

El método más simple de encendido del arco es tocar (raspando) con el electrodo, muy cuidadosamente, contra el metal base. Sin embargo, el riesgo de inclusiones de tungsteno en el metal base es alto y podemos dañar el electrodo.

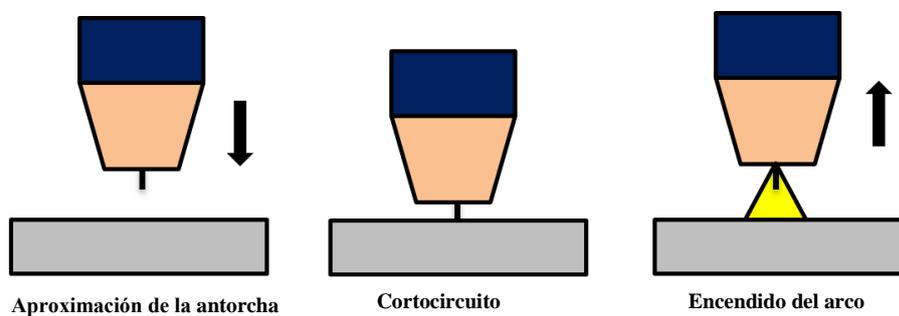
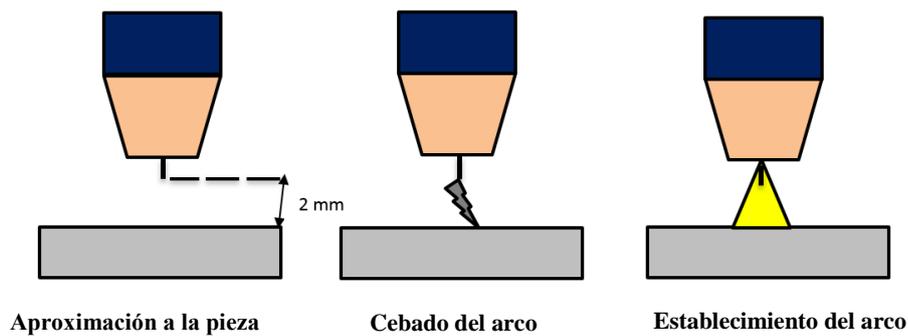


Imagen 7. Encendido (cebado) del arco

Para evitar los inconvenientes en el encendido por "contacto" (por raspado) (Imagen 7) se utiliza una corriente de alta frecuencia y alto voltaje. Este método se utiliza siempre para la corriente alterna y a veces para la corriente continua.

Por lo tanto, cuando se utiliza la energía de corriente alterna no es necesario tocar el electrodo en la pieza para establecer el arco, sino cargar el circuito de soldadura y sostener la antorcha, de modo que el electrodo esté aproximadamente horizontal y a unos 50 mm de la pieza. Al acercar la antorcha unos 2-3 mm a la pieza, la corriente de alta frecuencia supera a la resistencia del aire y se establece el arco. El movimiento de aproximación del electrodo debe realizarse rápidamente; consiguiendo que alcance el máximo flujo de gas protector en la zona de soldadura



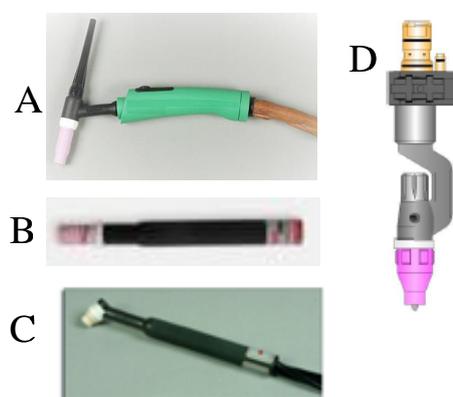
**Imagen 8. Arco encendido por corriente de alta frecuencia**

Hay otros arcos que giran en sistemas como:

- Aplicación de un pulso de alto voltaje entre el electrodo no consumible y la pieza de trabajo, que generalmente se utiliza con corriente continua.
- Descarga del condensador
- "Lift-Arc"<sup>TM</sup>: Este método consiste en golpear suavemente (sin raspar) la pieza con el electrodo, manteniendo perpendicularmente la antorcha a la pieza. En ese momento la máquina detecta un cortocircuito y establece una corriente de bajo voltaje en el circuito. Esta corriente no es suficiente para establecer el arco, sino que contribuye a calentar el electrodo. Cuando se levanta el electrodo, la máquina no detecta ningún cortocircuito y automáticamente se establece el arco, ayudado por el precalentamiento del electrodo.

Las antorchas tienen la misión de conducir la corriente al electrodo no consumible y el gas de protección al área de soldadura. Pueden ser de refrigeración natural (por aire) o forzada (por agua en circulación).

El primero se utiliza para soldar espesores finos que no requieren altas corrientes, y se recomienda el enfriamiento forzado para trabajos que requieren intensidades superiores a 150 - 200 amperios. En estos casos, la circulación de agua dentro de la antorcha evita el sobrecalentamiento. En los trabajos en los que se necesitan 300 amperios o más, aunque sea en modo discontinuo, es necesario que la boquilla también se enfríe con agua. La imagen 9 muestra varias configuraciones de antorchas TIG.



**Imagen 9. Configuraciones de antorcha TIG. (A) Normal, (B) recta, (C) con la parte superior corta, (D) para robot**

El electrodo de tungsteno que lleva la corriente de soldadura a la zona de soldeo está rígidamente asegurado por una abrazadera alojada en el cuerpo de la antorcha. Cada antorcha tiene un conjunto de piezas de contacto, de diferentes tamaños, que permiten sujetar electrodos de diferentes diámetros. Es muy importante tener un buen contacto eléctrico entre el electrodo y la pinza.



Imagen 10. Piezas de contacto en TIG

### 3.2. Afilado del electrodo

La forma de la punta del electrodo es muy importante, ya que, si no es correcta, existe riesgo de que el arco eléctrico sea inestable. Se llega a la conclusión que la forma del electrodo tiene una gran influencia en el resultado final de la soldadura:

- ✚ Un electrodo bien afilado tendrá un arco estable, con buena penetración.

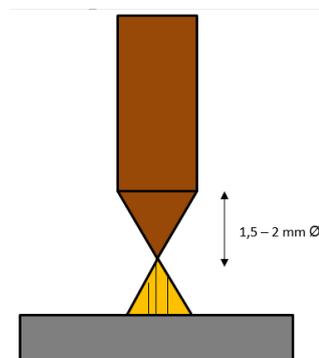


Imagen 11. Electrodo bien afilado

- ✚ Un electrodo mal afilado causa un arco errático, generando un amplio baño de soldadura y una pobre penetración.

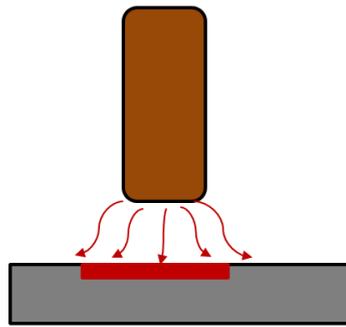


Imagen 12. Electrodo mal afilado

- Los electrodos tienen un riesgo excesivo de que se produzcan inclusiones de tungsteno. Después de afilar un electrodo, la punta debe ser redonda y no tan afilada como un lápiz.

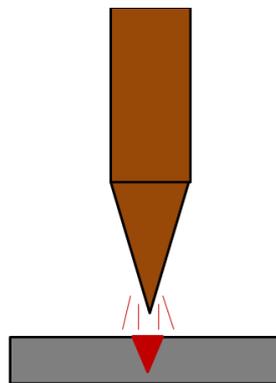


Imagen 13. Electrodo muy afilado

### Variaciones en la geometría de la punta del electrodo

Dependiendo del tipo de corriente utilizada, la punta del electrodo debe tener una geometría u otra.

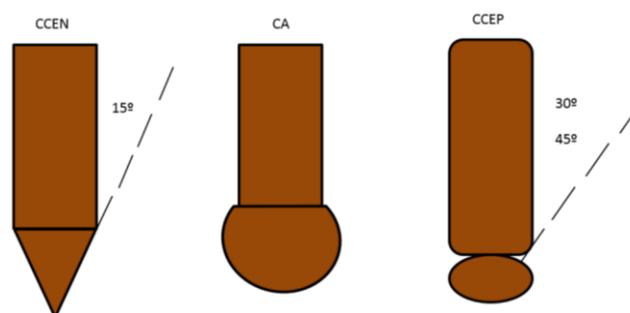


Imagen 14. Variaciones en la geometría de la punta del electrodo dependiendo de la corriente.

### Punta del electrodo

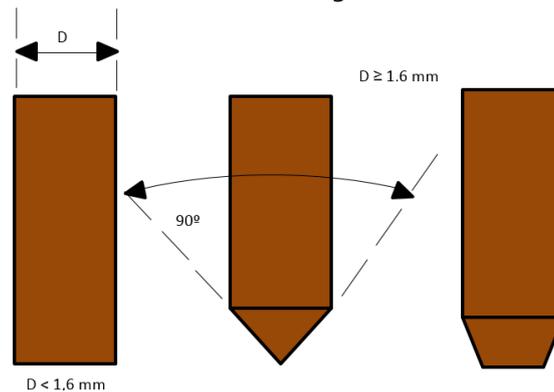
**Los electrodos para soldar con corriente continua se habrán afilado.** Cuando se utilice el rectificado para conseguir una geometría de electrodos adecuada, debe hacerse con una muela o cinta abrasiva de grano fino y solo se utilizará

para la preparación de los electrodos de tungsteno, evitando así la contaminación. Es importante que el rectificado se haga en la dirección longitudinal del electrodo.

La longitud correcta de la punta del electrodo es el doble de su diámetro. El extremo puntiagudo en exceso del electrodo debe ser retirado por la esmeriladora ya que existe el riesgo de que se derrita y se incorpore al baño de soldadura.

En la **soldadura con corriente alterna**, el extremo de la punta será ligeramente redondeado.

La punta se redondea por sí misma si el electrodo se sobrecarga cuidadosamente, haciendo innecesaria la molienda.



**Imagen 15. Puntas de electrodo para soldadura con corriente alterna**

### 3.3. Electrodo no consumibles

La tarea del electrodo en este proceso es solo mantener el arco sin proporcionar material de aporte. Por esta razón, es muy importante que tenga una alta temperatura de fusión.

En general, hay cinco tipos de electrodos que se clasifican en función a su composición:

- Tungsteno puro
- Tungsteno aleado con torio
- Tungsteno aleado con circonio
- Tungsteno aleado con cerio
- Tungsteno aleado con lantano

Al principio se utilizaban los electrodos de tungsteno puro, más tarde se empezaron a utilizar los electrodos de tungsteno no consumibles o aleaciones de tungsteno con torio, cerio y lantano, mejorando el comportamiento de los electrodos:

- Aumentando la capacidad de emisión de electrones, lo que favorece la estabilidad del arco.
- Aumentando la temperatura de fusión de los electrodos, permitiendo el trabajo a altas corrientes.

La norma que define la clasificación de los electrodos de tungsteno es la UNE-EN ISO 6848 y en ella se especifican desde las distintas dimensiones que podemos encontrar hasta la simbología de los electrodos según su composición química, pasando por los datos a visualizar en los paquetes de electrodos.

## Selección del electrodo

Se hace principalmente en función del tipo de corriente utilizada, que viene determinada por el material de base. La corriente continua (-) se emplea con todo tipo de materiales, excepto con aquellos que forman una capa de óxido refractario, como las aleaciones de aluminio y magnesio, en las que se utiliza la corriente alterna.

### 3.4. Clasificación de las varillas de aporte e hilos. UNE-EN ISO 636:2017

El metal de aporte en la soldadura TIG no siempre es necesario para soldar piezas delgadas (menos de 3mm de espesor) para lo cual usaremos una preparación de borde recto o con bordes levantados. Cuando sea necesario utilizar material de aporte, podemos hacerlo de forma manual o automática.

Para poder utilizar uniones sin defectos, es muy importante que mantengamos el metal de aporte sin contaminación, ya sea en forma de humedad, polvo o suciedad. Por lo tanto, debemos mantenerlo en su embalaje hasta el momento de su utilización. Al soldar, preste especial atención al hecho de que la parte caliente de la varilla esté siempre lo suficientemente cerca del baño de fusión para ser cubierta por el gas protector.

Como el TIG es un proceso libre de escorias y se lleva a cabo en una atmósfera inerte que no provoca reacciones en el baño, el material de entrada, cuando tenemos que utilizarlo, debe tener básicamente una composición química similar a la del material base.

Encontrarás varillas de distintos diámetros: 1.0; 1.5; 2.0; 2.5; 3.0; 4.0; y 5.0 mm, con una longitud de 1000 mm.

### 3.5. Clasificación del gas de protección para la soldadura y el corte por arco.

La clasificación de los gases de protección, según la norma EN ISO 14175, se basa en la reactividad del gas o de la mezcla de gases y en la composición química.

#### Argón

Las características de este gas son:

- Es inerte, no reacciona durante el soldeo
- Es inodoro, incoloro, insípido y no tóxico

- Protección eficiente debido a su alta densidad. El argón es 1,4 veces más pesado que el aire, lo que ayuda en su función de protección, a evacuar el aire de la zona de soldadura. El helio, por el contrario, es mucho más ligero que el aire y, por lo tanto, requiere mayores velocidades de flujo para proporcionar el mismo nivel de protección que el argón.

- Fácil de encender y buena estabilidad del arco. El argón tiene una energía de ionización baja (7,15 eV), lo que facilita las características mencionadas.

- Es rentable. Se obtiene en la destilación del aire, en una proporción de aproximadamente el 1%. El argón es mucho más barato que el helio, por esta y otras ventajas; el argón se utiliza mucho en la soldadura TIG.

- Es adecuado para pequeños espesores. Al tener una baja energía de ionización, puede ser soldado con bajos voltajes y baja entrada de calor, resultando adecuado para soldar 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 formando penetraciones y un aspecto característico similar al que se muestra en la Imagen 16.

## Helio

Las características más importantes son:

- Alta energía de ionización (24.5 eV)
- Alta conductividad, la columna del plasma es amplia
- Baja densidad

Las propiedades más importantes son:

- Alta entrada de calor
- Se obtienen cordones de amplia y alta penetración
- La soldadura puede realizarse a mayor velocidad

Debido a esas características, las principales aplicaciones del helio son:

- Soldadura de grandes espesores
- Soldadura automatizada en la que se pueden utilizar altas velocidades
- La soldadura de materiales de alta conductividad, por ejemplo, el cobre, reduciendo la necesidad de precalentamiento

Aunque en la soldadura de aluminio se utiliza el gas argón, el helio puede ser utilizado en la soldadura automatizada de CC-. El helio produce una mayor penetración y velocidad de soldadura, pero para ello es necesario limpiar la superficie de óxidos.

Sin embargo, el helio tiene los siguientes **inconvenientes**:

- La mala estabilidad del arco en comparación con el argón, debido a su alta energía de ionización.
- Debido a su baja densidad se requiere una tasa de flujo alrededor de 2-2,5 veces mayor que la necesaria con el argón. Esto significa que, en principio, es menos rentable económicamente, pero antes de descartar su uso, debería hacerse un cálculo económico.

A menudo se añade helio al argón para aumentar la penetración y el aporte de calor.

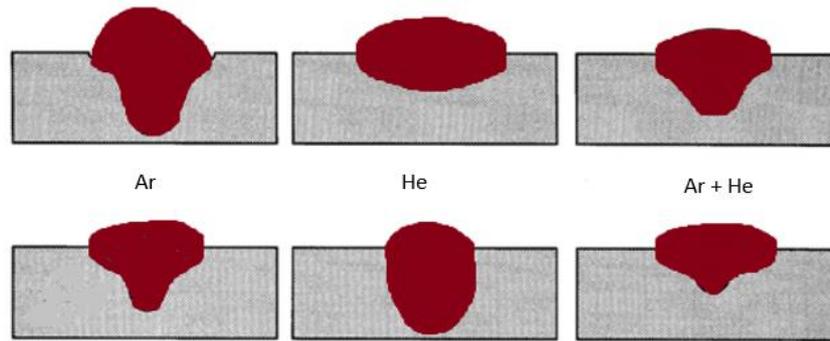


Imagen 16. Forma del cordón en función del gas de protección

### Mezclas He/Ar

Proporciona **beneficios adicionales** en virtud de la tasa a la que interviene cada uno; La penetración es intermedia entre la típica de cada gas puro.

### 3.6. Influencia de los parámetros de soldeo

Básicamente, los principales parámetros que tendrá que controlar son:

- Diámetro del electrodo
- Selección del tipo de corriente
- Corriente de soldeo
- Voltaje del arco
- Velocidad de soldeo

Es esencial que se tenga una clara comprensión de la influencia de estos parámetros antes de afrontar cualquier soldadura. También le recomendamos que realice pruebas en el taller utilizando diferentes valores, para que pueda comprobar por sí mismo la información que se presenta.

#### **Diámetro del electrodo**

Es el primer parámetro que se debe ajustar antes del soldeo.

El diámetro determina la corriente de soldeo. Si usamos una corriente baja para un diámetro de electrodo dado, esto causará inestabilidad del arco.

Si por el contrario, usamos una excesiva intensidad, puede causar erosión y fusión en la punta del electrodo y también inclusiones de tungsteno en el metal soldado.

Con la corriente continua los electrodos tienen su máxima capacidad de transporte de corriente. Con la corriente inversa sólo el 10% de la cantidad que podría ser conducida bajo la polaridad recta de la corriente directa. En el caso de la corriente alterna, podríamos obtener el 50% de la máxima capacidad de transporte de corriente. UNE-EN ISO 6848:2015.

## Selección del tipo de corriente

Se puede utilizar tanto en corriente continua como alterna. La elección del tipo de corriente y polaridad se hace según el material a soldar. Para hacer una elección correcta, señalaremos algunos aspectos diferenciales de ambas alternativas.

- **Corriente continua:**

Cuando se utiliza la polaridad directa, es decir, el electrodo conectado al polo negativo, la energía del arco se concentra principalmente en la pieza, lo que da lugar a un rendimiento térmico relativamente aceptable, una mayor velocidad de soldeo y una buena penetración. Por otra parte, el electrodo soporta intensidades del orden de 8 veces mayores que si estuviera conectado al polo positivo sin fundirse o deteriorarse.

Si invertimos la polaridad, el electrodo conectado al polo positivo, la distribución térmica es menos favorable, lo que se traduce en un baño relativamente amplio, con poca penetración y una excesiva acumulación de calor en el electrodo, lo que provoca un sobrecalentamiento y un rápido deterioro, incluso a bajas intensidades de corriente. Por ello, la polaridad recomendada en la corriente continua es la polaridad directa. Es importante saber que el aluminio se suelda con CC+ y el acero con CC-.

- **Corriente alterna:**

La corriente alterna combina, aunque en menor medida, las ventajas de las dos polaridades: el buen comportamiento durante el semi-ciclo de polaridad directa y el efecto de decapado del baño durante el ciclo de polaridad inversa, por lo que puede utilizarse en la soldadura de aleaciones ligeras, como el Al y el Mg. Como principales inconvenientes, presenta dificultades en el cebado y la estabilidad del arco, lo que hace necesario incorporar al equipo un generador de alta frecuencia.

Con la corriente alterna, el arco se apaga cada vez que la tensión es inferior a la tensión de cebado, dos veces en cada ciclo. Para mejorar la estabilidad, debemos aumentar el voltaje de circuito abierto. Para evitar este inconveniente, añadiremos una fuente de alta frecuencia.

### Corriente de soldeo

El valor de la corriente de soldeo es el único parámetro que se puede regular en el equipo de soldadura, una vez ajustada la polaridad. Siempre se debe seleccionar un valor de corriente como se indica en la WPS.

Al soldar, hay indicaciones que le permiten saber si la intensidad que está utilizando es adecuada:

**Si la intensidad de soldeo es demasiado baja,** averiguarás que:

- Es difícil encender (cebar) el arco
- El arco emite poca luz
- Es difícil avanzar sin estabilidad de arco
- El baño fundido es incómodamente pequeño
- Es difícil que la varilla se derrita

**Si la intensidad de soldeo es demasiado alta,** averiguarás que:

- El arco es muy energético y emite mucha luz
- El baño fundido es grande, fluido y tiene mucha agitación
- El baño tiende a caerse
- Cortes
- Pueden producirse proyecciones y salpicaduras (no es lo habitual)
- El electrodo se funde y aparecen inclusiones de tungsteno

### **¿Qué problemas pueden aparecer si la intensidad de soldeo NO es la correcta?**

Por regla general, un electrodo no debe utilizarse con corrientes fuera del rango recomendado por el fabricante. Además de las indicaciones descritas en el apartado anterior, que se pueden ver al soldar, también se pueden encontrar defectos en el cordón cuando la intensidad no es la adecuada:

#### **Si has soldado con una intensidad muy baja:**

El cordón de soldadura será estrecho y excesivamente voluminoso, con la posibilidad de falta de fusión en los bordes, superposiciones, etc.

#### **Si has soldado con una intensidad muy alta:**

En la posición de PA, el recorrido de la soldadura tenderá a ser muy amplio y plano, y pueden aparecer socavones en los bordes.

En las posiciones PB, PC y PD, el cordón tiende a caer, dejando muescas en la chapa superior y solapamientos en la inferior.

En las posiciones PF y PE, el cordón tiende a caer hacia el centro de la soldadura, haciéndose voluminoso en la parte central y con muescas en los laterales. En la posición PE, el baño puede incluso caerse.

La pieza puede presentar grietas.

La pieza puede presentar un exceso de penetración, hundimiento e incluso perforaciones en la raíz.

Las marcas de solidificación en la cara de la soldadura tendrán un aspecto alargado, formando picos.

### **Voltaje del arco**

La longitud del arco es un parámetro que debe controlarse continuamente para obtener una soldadura lo más homogénea posible. El voltaje está directamente relacionado con la longitud del arco, a medida que el voltaje aumenta, la longitud del arco también aumenta.

### **¿Cuál es la longitud adecuada?**

La longitud del arco depende principalmente del tipo de electrodo y su diámetro. Generalmente, debe ser igual al diámetro del electrodo.

Es conveniente mantener siempre la misma longitud de arco, para evitar oscilaciones en el voltaje e intensidad de la corriente y con ello una penetración desigual.

Cuando la longitud del arco utilizado no es adecuada o cuando se modifica durante el soldeo (por ejemplo, debido a un mal pulso del soldador o a la falta de destreza), pueden producirse defectos en el cordón.

### Velocidad de soldeo

La velocidad de soldeo es otro parámetro que el soldador debe controlar manualmente. Una vez más, el soldador debe utilizar la velocidad de soldeo especificada en la WPS. Normalmente se nos da un rango, pero es esencial que el soldador mantenga una velocidad uniforme.

#### ¿Cómo influye la velocidad de soldeo?

Cuanto mayor sea la velocidad de soldeo, menor será el ancho del cordón, menor será la entrada de calor y más rápido se enfriará la soldadura.

- Si la velocidad fuera demasiado rápida, habrá cortes en el cordón.
- Si la velocidad fuera demasiado lenta, la escoria puede sobrepasar el baño de soldadura resultando en falta de fusión e inclusiones de escoria.

### Orientación de la antorcha

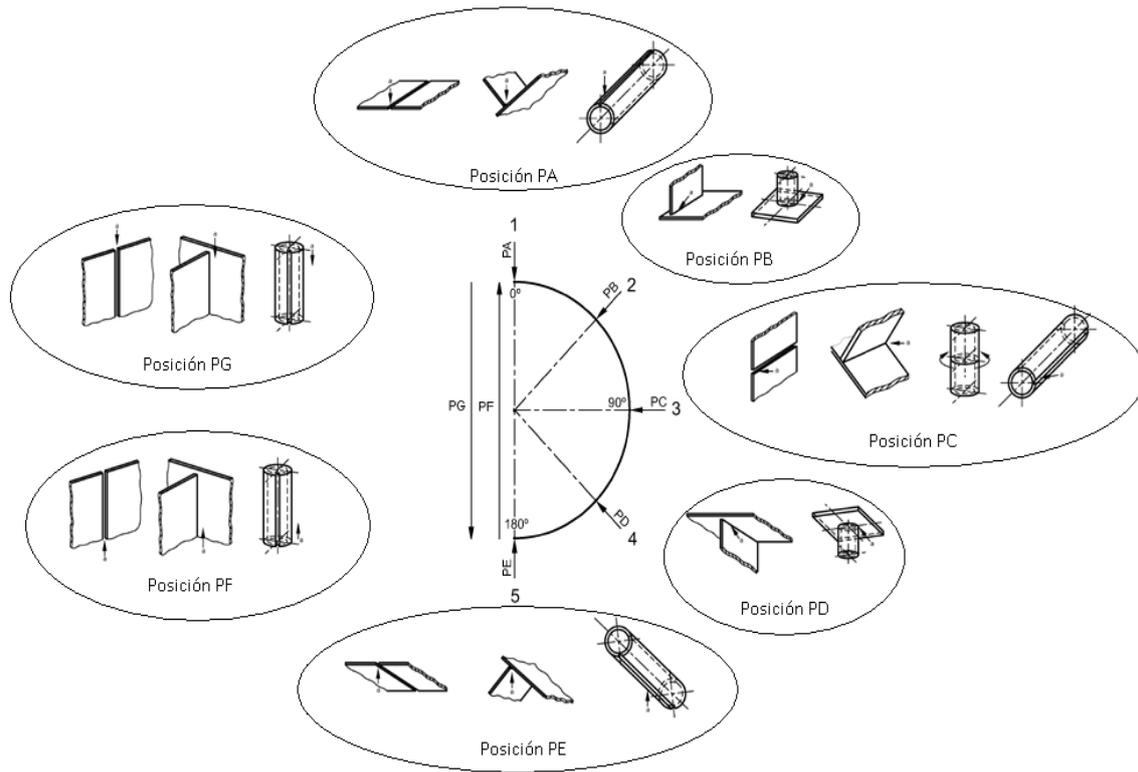
La orientación del electrodo puede ser definido por dos ángulos:

- **Ángulo de avance:** es el ángulo que forma la antorcha con la dirección de la soldadura. Entre  $100^\circ$  y  $110^\circ$ .
- **Ángulo de trabajo:** el ángulo que forma la antorcha con respecto a las superficies de las partes que componen la unión. Depende de la geometría, en una unión a tope de  $90^\circ$  y en las uniones en ángulo de  $45^\circ$ .

El soldador debe tener en cuenta que el arco eléctrico tiene un importante carácter direccional en relación con el suministro de energía

### 3.7. Posiciones de soldeo

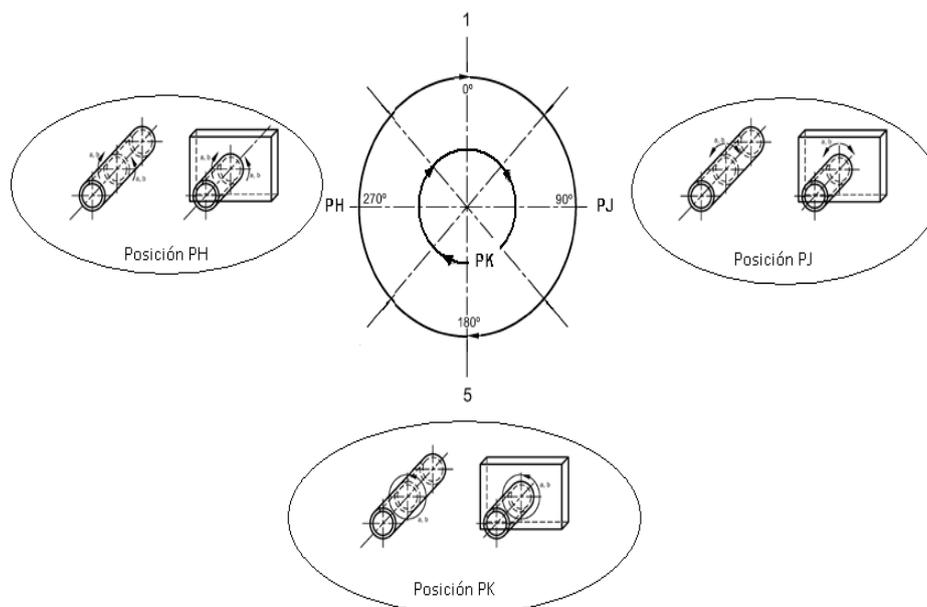
El soldador debe saber identificar las diferentes posiciones de soldeo, definidas en la norma UNE-EN ISO 6947: 2011. La imagen 17 muestra las principales posiciones PA, PB, PC, PD, PE, PF y PG, y algunos ejemplos típicos de esas posiciones. Esas posiciones son aplicables a chapas y tuberías. Es importante mencionar que las posiciones PB y PD son piezas en ángulo.



**Imagen 17: Principales posiciones de soldeo**

Hay otras posiciones importantes de soldeo que son exclusivamente aplicables a los tubos y que son las posiciones PH (soldadura de tubos ascendentes), PJ (soldadura de tubos descendente) y PK (Posición en tubo para soldeo orbital)

La imagen 18 muestra algunos ejemplos de estas posiciones de soldeo.



**Imagen 18: Principales posiciones de soldeo en tubos**

La posición de soldeo es fundamental puesto que es una variable esencial en la certificación de los soldadores.

### 3.8. Defectos típicos de soldeo

Durante el proceso de soldadura, un número de defectos típicos aparecen y pueden desembocar en una pieza defectuosa.

| Falta de penetración  |   |
|---|---|
| <b>Apariencia:</b> Raíz de muesca o de corte    |   |
| Causa   | Solución  |
| Corriente de soldeo demasiado baja<br>Velocidad de avance demasiado alta<br>Preparación incorrecta de la unión<br>Arco demasiado largo<br><br><b>Apariencia:</b> Raíz cóncava<br><br>Las soldaduras con tachuelas no se funden completamente durante la soldadura En posición plana, el flujo de gas de respaldo es demasiado alto<br><br>Preparación inaceptable de la unión | Aumentar la corriente<br><br>Disminuir la velocidad de soldeo<br><br>Aumentar el ángulo del bisel, reducir la longitud de la raíz o aumentar la separación en la raíz<br><br>Reducir la longitud del arco<br><br>Reducir el tamaño de las soldaduras con tachuelas<br><br>Reducir el flujo de gas de respaldo<br><br>Para usar preparaciones en U y asegurar que el metal fundido no es un puente entre las distintas caras de la unión |
| Mordedura   |   |
| <b>Apariencia:</b> canal a lo largo del borde de la soldadura   |   |
| Causa   | Solución  |
| Corriente de soldeo demasiado lenta<br>Velocidad de avance demasiado alta<br>La antorcha inclinada lateralmente   | Aumentar la corriente<br><br>Disminuir la velocidad<br><br>Poner la antorcha perpendicularmente a la pieza  |

Imagen 19. Defectos típicos

| Falta de fusión   |  |
|---|--|
| <b>Apariencia:</b> normalmente no es visible, solo se detecta por NDT o doblado lateral   |  |
| Causa   | Solución   |
| <p>Corriente de soldeo demasiado baja.<br/>Velocidad de avance demasiado alta.</p>       | <p>Aumentar la corriente.<br/>Disminuir la velocidad de soldeo.<br/>Aumentar el ángulo del bisel para reducir la raíz o aumentar la separación de la raíz.<br/>Reducir la longitud del arco.</p> |
| <p>Mal ángulo de la antorcha.<br/>Posición no centrada con respecto a los bordes.</p>  | <p>Para inclinar la antorcha y mantener el arco en el borde principal de la gota del metal fundido.<br/>Colocar la antorcha centrada con respecto a los bordes de la unión.</p>                  |
| <p>Mala preparación de la unión.<br/>Diámetro de la varilla excesivo para el espesor de la soldadura.<br/>Limpieza pobre.</p>   | <p>Aumentar el bisel de la unión.<br/>Reducir el diámetro de la varilla.<br/>Limpiar la pieza.</p>   |

**Imagen 19. Defectos típicos (continuación)**

| Porosidad   |
|---|
| <p><b>Apariencia:</b> Superficie y subsuelo normalmente detectables por radiografía.</p>  |

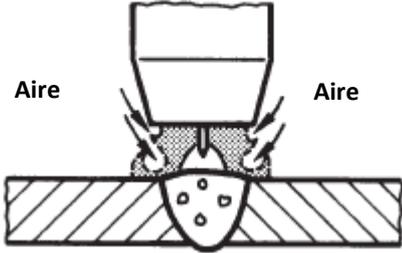
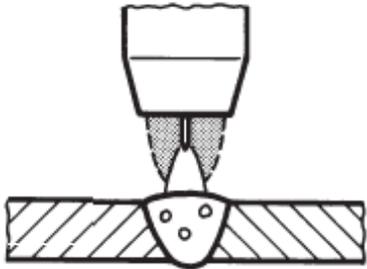
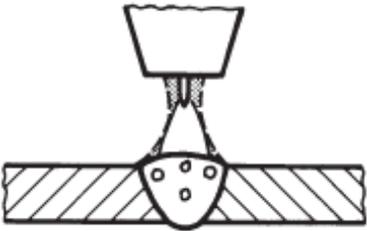
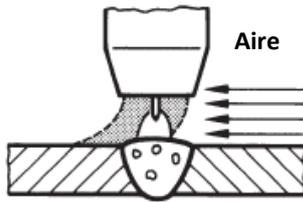
| Causa  | Solución   |
|--|--|
| <p>Protección insuficiente.<br/>Turbulencias en el gas de protección.</p>  <p>Distribución errónea del gas de protección.<br/>Suciedad, aceite, grasa, pintura, etc. en la chapa.<br/>Suciedad en la varilla de aporte.<br/>Protección contra gases contaminados.</p> | <p>Aumentar el flujo de gas de protección.<br/>Reducir el flujo de gas protector. Usar un flujo de laminación o cambiar la boquilla si tiene alguna.</p> <p>Proteger toda la zona de soldadura.<br/>Limpiar y desengrasar las superficies.<br/>Limpiar y desengrasar la varilla de aporte.<br/>Cambiar los cilindros de gas.<br/>Purgar las líneas de gas antes de soldar.<br/>Revisar las conexiones.<br/>Utilizar tubos de cobre o neopreno.</p> |

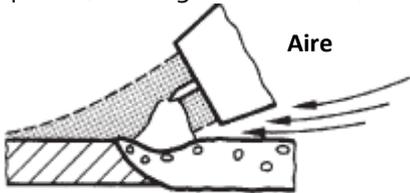
Imagen 19. Defectos típicos (Continuación)

| Porosidad   |  |
|---|--|
| Causa   | Solución   |
| <p>La antorcha está separada de la pieza.</p>  <p>El diámetro de la boquilla es pequeño.</p>  | <p>Reducir la distancia entre la pieza y la antorcha.</p> <p>Seleccionar la boquilla correcta.</p> |

Soldadura en obra: alta velocidad del viento.



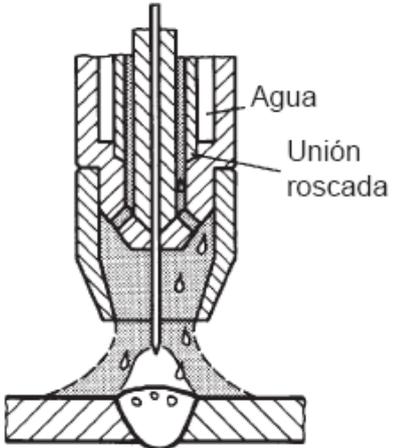
El ángulo de inclinación de la antorcha es demasiado pequeño (alto ángulo de avance).



Proteger el área de soldadura del viento.

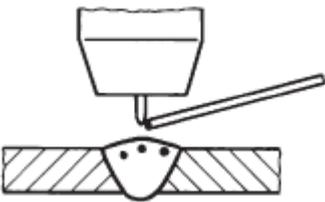
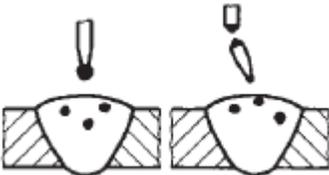
Disminuir el ángulo de inclinación.

Imagen 19. Defectos típicos (Continuación)

| Porosidad  |   |
|--|---|
| Causa  | Solución  |
| <p>Introducir agua de refrigeración en el gas de protección debido a una fuga.</p>  | <p>Revisar periódicamente el equipo de soldadura.</p> |
| Grietas en el metal de soldadura (cordón)  |   |
| <p><b>Apariencia:</b> grieta en el centro de la soldadura (cordón)</p>   |   |
| Causa  | Solución  |

|   |   |
|---|---|
| <p>Excesiva tensión transversal en soldaduras limitadas.<br/>Relación profundidad/anchura demasiado baja.<br/>Contaminación de la superficie.<br/>Mal ajuste entre las partes en las soldaduras en ángulo con altas separaciones.</p> | <p>Modificar el proceso de soldadura para reducir las tensiones debidas al efecto térmico.<br/>Establecer parámetros de trabajo con una buena relación profundidad/anchura.<br/>Limpiar superficies, quitando especialmente los cortes y lubricantes.<br/>Mejorar la forma de las chapas en la unión.</p> |
|---|---|

Imagen 19. Defectos típicos (Continuación)

| Inclusiones de tungsteno  |  |
|---|--|
| <p><b>Apariencia:</b> es visible en radiografías. Las inclusiones de tungsteno tienen los mismos efectos que las ranuras, siendo áreas de corrosión potente y rápida.</p> <div style="text-align: center;">  </div> |  |
| Causa   | Solución   |
| <p>Contacto entre la pieza y el electrodo de tungsteno.<br/>Contacto entre la varilla de aporte y el electrodo de tungsteno.</p> <div style="text-align: center;">  </div>   | <p>Separar la antorcha de la pieza. Para reducir le longitud del electrodo de tungsteno.<br/>Introducir la varilla de aporte en el baño de soldadura sin tocar el electrodo.</p> |
| <p>Corriente excesiva.</p> <div style="text-align: center;">  </div>   | <p>Usar una corriente adecuada.</p>  |
| Inclusiones de óxidos   |  |
| <p><b>Apariencia:</b> Inclusiones irregulares. Visible a través de la radiografía</p> <div style="text-align: center;">  </div>   |  |
| Causa   | Solución   |

|  |  |
|--|--|
| <p>Insuficiente limpieza de las superficies del metal base y de la varilla, especialmente en los materiales de óxidos refractarios: aluminio y magnesio.</p> | <p>Realizar una limpieza mecánica y/o química. También se debe cepillar entre pasadas.</p> |
|--|--|

Imagen 19. Defectos típicos (Continuación)

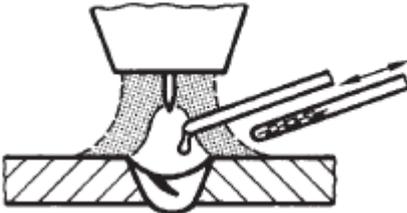
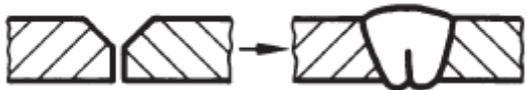
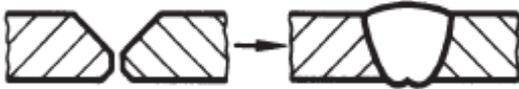
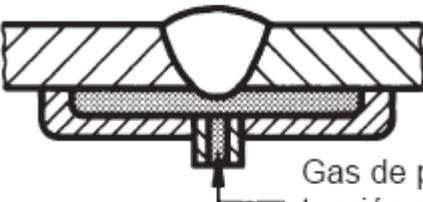
| Inclusiones de óxidos   |  |
|---|--|
| Causa   | Solución   |
| <p>Técnica de soldadura no adecuada. Sacar repetidamente la carilla de la "cortina" de gas protector en el movimiento de la varilla durante la soldadura.</p>  <p>Inadecuada preparación de la unión. Excesiva raíz.</p>  | <p>Usar una técnica adecuada.</p> <p>Reducir la raíz.</p>            |
| Raíz oxidada  |  |
| <p><b>Apariencia:</b> Óxido en la raíz de la soldadura.</p>   |  |
| Causa   | Solución   |
| <p>Falta de gas de protección en la raíz. Oxidación de la raíz.</p>   | <p>Usar gas de protección.</p>  <p>Gas de protección de la raíz.</p> |

Imagen 19. Defectos típicos (Continuación)

#### 4. Seguridad e Higiene en la soldadura TIG

La soldadura TIG conlleva los mismos riesgos que cualquier proceso de soldadura por arco, que se han descrito en los temas anteriores, además de otra serie de riesgos específicos de este proceso y a los que se debe prestar especial atención.

Estos riesgos inherentes de la soldadura TIG pueden estar agrupados en dos grupos principales:

- Riesgos relacionados con el proceso
- Riesgos relacionados con la manipulación de gases comprimidos

##### Riesgos relacionados con el proceso:

Los principales riesgos inherentes a la soldadura TIG y que no están presentes, o lo están en menor medida en otros procesos de soldadura, radican en el aumento de la radiación ultravioleta emitida por el arco en la soldadura TIG sobre otros procesos de soldadura:

- La protección de los ojos debe ser más intensa porque el arco es más brillante y la radiación ultravioleta más intensa así que los filtros tienen que ser más oscuros. Los cristales Nº 6 a 30 amperios de corriente se usan al Nº 14 cuando la corriente es mayor de 400 amperios.
- Un alto nivel de radiación ultravioleta, una mayor formación de ozono y, como óxidos de nitrógeno, gases todos muy perjudiciales para la salud. En soldadura TIG se hace más importante la protección del Sistema respiratorio.

Esto rara vez se tiene en cuenta, ya que no genera una cantidad excesiva de humo, por lo que a menudo se da por sentado, erróneamente, que en la soldadura TIG no es necesario tomar medidas de protección del sistema respiratorio del soldador.

##### Riesgos relacionados con la manipulación de gases comprimidos:

El principal gas empleado en la soldadura TIG es el argón. Los riesgos derivados de la manipulación de gases comprimidos y las medidas de prevención que deben adoptarse para evitar dichos riesgos son:

- Asfixia por desplazamiento de aire con gases inertes, por lo que al soldar se realiza en espacios confinados, estos deben estar bien ventilados. La soldadura debe realizarse con pantallas de soldadura con accionamiento incorporado o eliminando los humos;
- Embotellamiento

#### BIBLIOGRAFÍA DE LA UNIDAD

- [1] General Course on Welding Technology. Training Fund-CESOL. Module 1 and 2. 1994.  
 [2] Documentation of the course "European Welding Specialist". Modules 1 and 2. 1995.  
 [3] UNE-EN ISO 6848:2005, Tungsten electrodes for arc welding in inert atmosphere with refractory electrode, and for welding and plasma cutting. Symbolization.  
 [4] AWS A5.12-98: Specification for Tungsten and Tungsten-Alloy Electrodes for Arc Welding and Cutting.  
 [5] AWS C5.5-03, Recommended Practices for Gas Tungsten Arc Welding.  
 [6] AWS Z49.1-05, Safety in Welding, and Cutting and Allied Processes.

## Quality Assurance in Welding

### 1.1 Nombre del curso

*Garantía de calidad en la soldadura*

### 1.2 Duración del curso

5 horas

### 1.3 Propósito del curso

Esta unidad es crucial para aprender a realizar un trabajo de soldadura que cumpla con todos los requisitos de calidad. Desde las imperfecciones del material hasta las acciones de inspección que conducen a la calificación del soldador, esta unidad cubre todos los estándares específicos que le ayudarán a asegurar un buen trabajo y, en última instancia, su éxito en la soldadura.

### 1.4 Objetivos del curso

#### Objetivos generales

- *Describir las normas específicas utilizadas en la garantía de calidad en la soldadura para realizar una buena soldadura,*
- *Interpretar WPS y WPQR para entregar un trabajo de soldadura que coincida con todos los criterios,*
- *Inspeccionar una pieza soldada utilizando normas específicas para identificar las imperfecciones del material,*
- *Identificar las piezas de prueba y su conexión con las normas de calificación y validez.*

#### Objetivos específicos

| Conocimiento   | Destrezas   | Actitudes   |
|--|---|---|
| <p>Describir y explicar el papel y el funcionamiento de las normas específicas sobre la calidad de la soldadura:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Grupo de requisitos de calidad para la soldadura UNE-EN ISO 3834</li> <li>• UNE-EN ISO 9001:2015 - Sistemas de gestión de la calidad</li> <li>• UNE-EN ISO 14731:2019 - Coordinación de soldeo - Tareas y responsabilidades</li> </ul> | <p>Utilizar términos y definiciones que sean coherentes con la terminología de soldadura generalmente aceptada como se registra en las normas de soldadura nacionales e internacionales</p>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Comunicarse con los demás,</li> <li>• Asumir las responsabilidades dentro del equipo.</li> </ul> |
| <p>Describir y explicar el papel de la WPS (Especificación de Procedimiento de Soldadura) y el WPQR (Registro de Calificación de Procedimiento de Soldadura) para el nivel de calidad al que se refiere:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• UNE-EN ISO 15607:2019 - Especificación y cualificación de procedimientos de soldeo</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar las normas generales para la especificación y calificación de los procedimientos de soldadura de materiales metálicos,</li> <li>• Entender las abreviaturas y terminologías de los WPS,</li> <li>• Preparar el trabajo de acuerdo con el WPS.</li> </ul> |   |

|  |   |  |
|--|---|--|
| <p>para materiales metálicos</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reglas generales</li> <li>• UNE-EN ISO 15609-1:2019 <ul style="list-style-type: none"> <li>- Especificación y calificación de procedimientos de soldadura para materiales metálicos</li> </ul> </li> </ul> <p>- WPS</p> <p>- Parte 1: Soldadura por arco</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• UNE-EN ISO 15614-1:2017 <ul style="list-style-type: none"> <li>- Especificación y cualificación de los procedimientos de soldeo para materiales metálicos: Soldadura por arco y gas de aceros y soldadura por arco de níquel y aleaciones de níquel</li> </ul> </li> </ul>   |   |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar las posibles causas de los defectos o imperfecciones de la soldadura antes de la misma, y tomar medidas para cumplir los requisitos:</li> <li>• UNE-EN ISO 6520-1:2007 Soldadura y procesos aliados - Clasificación de imperfecciones geométricas en materiales metálicos - Parte 1: Soldadura por fusión;</li> <li>• UNE-EN ISO 5817:2014 Soldadura - uniones soldadas por fusión en acero, níquel, titanio y sus aleaciones (excluida la soldadura de vigas) - Niveles de calidad para las imperfecciones;</li> <li>• UNE-EN ISO 10042:2018 Soldadura - Uniones soldadas por arco en aluminio y sus aleaciones - Niveles de calidad para las imperfecciones.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Llevar a cabo controles preoperativos de acuerdo con las especificaciones de los fabricantes,</li> <li>• Identificar los defectos de soldadura y tomar medidas correctivas.</li> </ul>   |  |
| <p>Describir y explicar las normas de calidad y coordinación en la soldadura:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• UNE-EN ISO 9606-1: 2012 Prueba de cualificación de soldadores – Soldadura por fusión – Parte 1 – Aceros</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Inspeccionar la pieza soldada para detectar defectos (usar pruebas destructivas y aplicar controles de calidad)</li> <li>• En proceso,</li> <li>• Inspeccionar la pieza final para comprobar que cumple las especificaciones reflejadas en el dibujo o en los requisitos del trabajo.</li> </ul> |  |

## 1.5 Contenidos

### 1. Calidad en la soldadura

#### 1.1. Generales

##### 1.1.1 Normalización y actividades relacionadas

#### 1.2 Normas específicas

##### 1.2.1. UNE-EN ISO 3834 – Requisitos de calidad para la soldadura

###### 1.2.1.1 UNE-EN ISO 3834 – Parte 1: 2005

###### 1.2.1.2 UNE-EN ISO 3834 – Parte 2: 2005 y Parte 3:2005

###### 1.2.1.3 UNE-EN ISO 3834 – Parte 4:2005

###### 1.2.1.4 UNE-EN ISO 3834 – Parte 5:2015

###### 1.2.1.4 UNE-EN ISO/TR 3834 – Parte 6 :2007

##### 1.2.2 UNE-EN ISO 9001:2015 – Sistemas de Gestión de Calidad

###### 1.2.2.1 (Contexto de la organización)

###### 1.2.2.2 (Liderazgo)

###### 1.2.2.3 (Planificación)

###### 1.2.2.4 (Soporte)

###### 1.2.2.5 (Operaciones)

###### 1.2.2.6 (Evaluación del rendimiento)

###### 1.2.2.7 (Mejora)

##### 1.2.3 UNE-EN ISO 14731: 2019 – Coordinación de soldeo – Tareas y responsabilidades

### 2. WPS & WPQR

#### 2.1 Normas

2.1.1 UNE-EN ISO 15607:2019 - Especificación y cualificación de los procedimientos de soldeo para materiales metálicos – Reglas generales.

2.1.2 UNE-EN ISO 15609-1:2019 Especificación y cualificación de los procedimientos de soldeo para materiales metálicos: Parte 1: Soldadura por arco,

2.1.3 UNE-EN ISO 15614-1:2017 - Especificación y cualificación de los procedimientos de soldeo para materiales metálicos: Soldadura por arco y gas de aceros y soldadura por arco de níquel y aleaciones de níquel.

### 3. Imperfecciones de la Soldadura

3.1 UNE-EN ISO 6520-1:2007 - Soldadura y procesos de aleaciones – Clasificación de imperfecciones geométricas en materiales metálicos – Parte 1: Soldadura por fusión.

3.2 UNE-EN ISO 5817:2014 - Soldadura – Uniones soldadas por fusión en acero, níquel, titanio y sus aleaciones (excluida la soldadura de vigas) – Niveles de calidad para las imperfecciones.

3.3 UNE-EN ISO 10042:2018 - Soldadura – Uniones soldadas al arco en aluminio y sus aleaciones – Niveles de calidad para las imperfecciones.

### 4. Certificación e inspección de los soldadores

4.1 UNE-EN ISO 9606-1:2012 Pruebas de certificación de soldadores – Soldadura por fusión – Parte 1: Aceros.

- Exámenes

- Pruebas

- Normas específicas

- Piezas de prueba

- Validez

## 1.6 Participantes

|   |                                    |
|---|------------------------------------|
| Características del alumno:<br>(perfil del grupo de estudiantes a los que se dirige el curso) | Conocimientos básicos de soldadura |
|---|------------------------------------|

### 1.7 Requisitos de ingreso

(Descripción de los requisitos de ingreso al curso – si fuera necesario)

|   |   |
|---|---|
| <b>Requisitos del nivel educativo:</b>  | Alumnos de centros de Formación Profesional |
| <b>Conocimientos previos necesarios</b> | Conocimiento básico de soldadura            |
| <b>Requisitos de edad:</b>              | Entre 16-20 años                            |

### 1.8 Actividades de evaluación

Evaluación sumativa

- Examen teórico usando un simulador o aula virtual SIMTRANET

### 1.9 Bibliografía (utilizada o suplementaria)

Institute of Risk Management (2019). *About Risk Management*. ([www.theirm.org](http://www.theirm.org)) Date of consultation: August, 2019  
 ISO (2003). *ISO 15607:2003 Specification and qualification of welding procedures for metallic materials — General rules*. (<https://www.iso.org/standard/28388.html>). Date of consultation: July, 2019

ISO (2005). *ISO 3834-1:2005 Quality requirements for fusion welding of metallic materials — Part 1: Criteria for the selection of the appropriate level of quality requirements*. (<https://www.iso.org/standard/35144.html>). Date of consultation: July, 2019

ISO (2005). *ISO 3834-2:2005 Quality requirements for fusion welding of metallic materials — Part 2: Comprehensive quality requirements*. (<https://www.iso.org/standard/35145.html>). Date of consultation: July, 2019

ISO (2005). *ISO 3834-3:2005 Quality requirements for fusion welding of metallic materials — Part 3: Standard quality requirements*. (<https://www.iso.org/standard/35146.html>). Date of consultation: July, 2019

ISO (2005). *ISO 3834-4:2005 Quality requirements for fusion welding of metallic materials — Part 4: Elementary quality requirements*. (<https://www.iso.org/standard/35147.html>). Date of consultation: July, 2019

ISO (2007). *ISO 6520-1:2007 – Welding and allied processes -- Classification of geometric imperfections in metallic materials -- Part 1: Fusion welding*. (<https://www.iso.org/standard/40229.html>). Date of consultation: July, 2019

ISO (2012). *ISO 9606-1:2012 Qualification testing of welders -- Fusion welding -- Part 1: Steels*. (<https://www.iso.org/standard/54936.html>). Date of consultation: July, 2019

ISO (2014). *ISO 5817:2014 - Welding — Fusion-welded joints in steel, nickel, titanium and their alloys (beam welding excluded) — Quality levels for imperfections.* (<https://www.iso.org/standard/54952.html>). Date of consultation: July, 2019

ISO (2014). *ISO 5817:2014 Welding — Fusion-welded joints in steel, nickel, titanium and their alloys (beam welding excluded) — Quality levels for imperfections.* (<https://www.iso.org/standard/54952.html>). Date of consultation: July, 2019

ISO (2015). *ISO 3834-5:2015 Quality requirements for fusion welding of metallic materials — Part 5: Documents with which it is necessary to conform to claim conformity to the quality requirements of ISO 3834-2, ISO 3834-3 or ISO 3834-4.* (<https://www.iso.org/standard/63729.html>). Date of consultation: July, 2019

ISO (2015). *ISO 9001:2015 Quality management systems — Requirements.* (<https://www.iso.org/standard/62085.html>). Date of consultation: July, 2019

ISO (2017). *ISO 15614-1:2017 Specification and qualification of welding procedures for metallic materials — Welding procedure test — Part 1: Arc and gas welding of steels and arc welding of nickel and nickel alloys.* (<https://www.iso.org/standard/51792.html>). Date of consultation: July, 2019

ISO (2018). *ISO 10042:2018 - Welding — Arc-welded joints in aluminium and its alloys — Quality levels for imperfections.* (<https://www.iso.org/standard/70566.html>). Date of consultation: July, 2019

ISO (2019). *ISO 15609-1:2019 Specification and qualification of welding procedures for metallic materials — Welding procedure specification — Part 1: Arc welding.* (<https://www.iso.org/standard/75556.html>). Date of consultation: July, 2019

Lexico Dictionaries (2019). *Definition of the word "Quality" in English.* (<https://www.lexico.com/en/definition/quality>). Date of consultation: July, 2019

Wikipedia (2019). Picture of SS Schenectady. Retrieved from [https://en.wikipedia.org/wiki/SS\\_Schenectady](https://en.wikipedia.org/wiki/SS_Schenectady). Date of consultation: July, 2019

**NÚMERO DE LA UNIDAD: Unidad Didáctica 3****Título: Garantía de calidad en la soldadura****Presentación**

Esta unidad es crucial para aprender a realizar un trabajo de soldadura que cumpla con todos los requisitos de calidad. Desde las imperfecciones del material hasta las acciones de inspección que conducen a la calificación del soldador, esta unidad cubre todos los estándares específicos que le ayudarán a asegurar un buen trabajo y, en última instancia, su éxito en la soldadura.

**Objetivos del curso****Objetivos generales**

- *Describir las normas específicas utilizadas en la garantía de calidad en la soldadura para realizar una buena soldadura,*
- *Interpretar WPS y WPQR para entregar un trabajo de soldadura que coincida con todos los criterios,*
- *Inspeccionar una pieza soldada utilizando normas específicas para identificar las imperfecciones del material,*
- *Identificar las piezas de prueba y su conexión con las normas de calificación y validez.*

**Objetivos específicos**

| Conocimiento   | Destrezas   | Actitudes   |
|--|---|---|
| <p>Describir y explicar el papel y el funcionamiento de las normas específicas sobre la calidad de la soldadura:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Grupo de requisitos de calidad para la soldadura UNE-EN ISO 3834</li> <li>• UNE-EN ISO 9001:2015 - Sistemas de gestión de la calidad</li> <li>• UNE-EN ISO 14731:2019 - Coordinación de soldeo<br/>- Tareas y responsabilidades</li> </ul> | <p>Utilizar términos y definiciones que sean coherentes con la terminología de soldadura generalmente aceptada como se registra en las normas de soldadura nacionales e internacionales</p>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Comunicarse con los demás,</li> <li>• Asumir las responsabilidades dentro del equipo.</li> </ul> |
| <p>Describir y explicar el papel de la WPS (Especificación de Procedimiento de Soldadura) y el WPQR (Registro de Calificación de Procedimiento de Soldadura) para el nivel de calidad al que se refiere:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• UNE-EN ISO 15607:2019 - Especificación y cualificación de procedimientos de soldeo para materiales metálicos - Reglas generales</li> </ul>         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar las normas generales para la especificación y calificación de los procedimientos de soldadura de materiales metálicos,</li> <li>• Entender las abreviaturas y terminologías de los WPS,</li> <li>• Preparar el trabajo de acuerdo con el WPS.</li> </ul> |   |

|  |   |  |
|--|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• UNE-EN ISO 15609-1:2019 - Especificación y calificación de procedimientos de soldadura para materiales metálicos</li> </ul> <p>- WPS</p> <p>- Parte 1: Soldadura por arco</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• UNE-EN ISO 15614-1:2017 - Especificación y calificación de los procedimientos de soldeo para materiales metálicos: Soldadura por arco y gas de aceros y soldadura por arco de níquel y aleaciones de níquel</li> </ul>   |   |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar las posibles causas de los defectos o imperfecciones de la soldadura antes de la misma, y tomar medidas para cumplir los requisitos:</li> <li>• UNE-EN ISO 6520-1:2007 Soldadura y procesos aliados - Clasificación de imperfecciones geométricas en materiales metálicos - Parte 1: Soldadura por fusión;</li> <li>• UNE-EN ISO 5817:2014 Soldadura - uniones soldadas por fusión en acero, níquel, titanio y sus aleaciones (excluida la soldadura de vigas) - Niveles de calidad para las imperfecciones;</li> <li>• UNE-EN ISO 10042:2018 Soldadura - Uniones soldadas por arco en aluminio y sus aleaciones - Niveles de calidad para las imperfecciones.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Llevar a cabo controles preoperativos de acuerdo con las especificaciones de los fabricantes,</li> <li>• Identificar los defectos de soldadura y tomar medidas correctivas.</li> </ul> |  |
| <p>Describir y explicar las normas de calidad y coordinación en la soldadura:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• UNE-EN ISO 9606-1: 2012 Prueba de cualificación de</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Inspeccionar la pieza soldada para detectar defectos (usar pruebas destructivas y aplicar controles de calidad)</li> </ul>   |  |

|   |  |  |
|---|--|--|
| <p>soldadores – Soldadura por fusión<br/>– Parte 1 – Aceros</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• En proceso,</li> <li>• Inspeccionar la pieza final para comprobar que cumple las especificaciones reflejadas en el dibujo o en los requisitos del trabajo.</li> </ul> |  |
|---|--|--|

## CONTENIDOS

### 1. Calidad en la soldadura

#### 1.1. Generalidades

##### 1.1.1 Normalización y actividades relacionadas

##### 1.2 Normas específicas

###### 1.2.1. UNE-EN ISO 3834 – Requisitos de calidad para la soldadura

###### 1.2.1.1 UNE-EN ISO 3834 – Parte 1: 2005

###### 1.2.1.2 UNE-EN ISO 3834 – Parte 2: 2005 y Parte 3:2005

###### 1.2.1.3 UNE-EN ISO 3834 – Parte 4:2005

###### 1.2.1.4 UNE-EN ISO 3834 – Parte 5:2015

###### 1.2.1.4 UNE-EN ISO/TR 3834 – Parte 6 :2007

##### 1.2.2 UNE-EN ISO 9001:2015 – Sistemas de Gestión de Calidad

###### 1.2.2.1 (Contexto de la organización)

###### 1.2.2.2 (Liderazgo)

###### 1.2.2.3 (Planificación)

###### 1.2.2.4 (Soporte)

###### 1.2.2.5 (Operaciones)

###### 1.2.2.6 (Evaluación del rendimiento)

###### 1.2.2.7 (Mejora)

##### 1.2.3 UNE-EN ISO 14731: 2019 – Coordinación de la soldadura – Tareas y responsabilidades

### 2. WPS & WPQR

#### 2.1 Normas

2.1.1 UNE-EN ISO 15607:2019 Especificación y cualificación de los procedimientos de soldeo para materiales metálicos – Reglas generales.

2.1.2 UNE-EN ISO 15609-1:2019 Especificación y cualificación de los procedimientos de soldeo para materiales metálicos: Parte 1: Soldadura por arco,

2.1.3 UNE-EN ISO 15614-1:2017 - Especificación y cualificación de los procedimientos de soldeo para materiales metálicos: Soldadura por arco y gas de aceros y soldadura por arco de níquel y aleaciones de níquel.

### 3. Imperfecciones de la Soldadura

3.1 UNE-EN ISO 6520-1:2007 - Soldadura y procesos de aleaciones – Clasificación de imperfecciones geométricas en materiales metálicos – Parte 1: Soldadura por fusión.

3.2 UNE-EN ISO 5817:2014 - Soldadura – Uniones soldadas por fusión en acero, níquel, titanio y sus aleaciones (excluida la soldadura de vigas) – Niveles de calidad para las imperfecciones.

3.3 UNE-EN ISO 10042:2018 - Soldadura – Uniones soldadas al arco en aluminio y sus aleaciones – Niveles de calidad para las imperfecciones.

#### 4. Certificación e inspección de los soldadores

4.1 UNE-EN ISO 9606-1:2012 Pruebas de certificación de soldadores – Soldadura por fusión – Parte 1: Aceros.

- Exámenes
- Pruebas
- Normas específicas
- Piezas de prueba
- Validez

## DESARROLLO DE CONTENIDOS

### PRIMERA SECCIÓN: Calidad en la soldadura

#### SUBSECCIÓN: 1.1. Generalidades

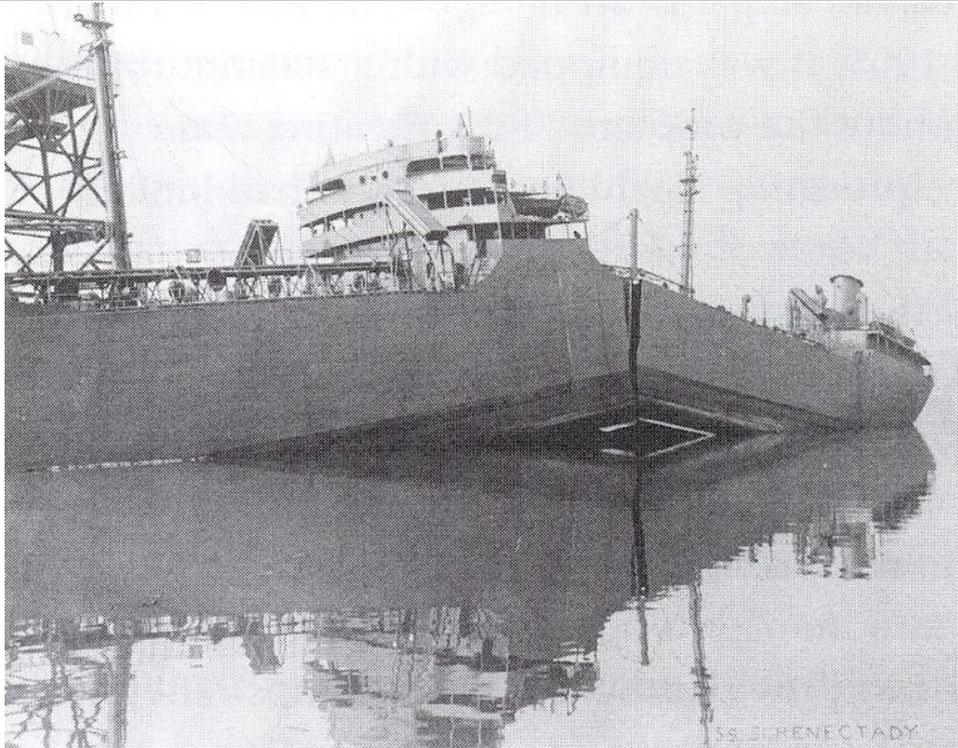
La calidad es un concepto que ha acompañado a la producción durante mucho tiempo. Es un tema muy importante, ya que dicta las especificaciones de cómo debe ser/actuar una unión soldada.

Calidad, por definición, significa *"El estándar de algo medido contra otras cosas de tipo similar; el grado de excelencia de algo."* (in Lexico Dictionaries, 2019).

Las consecuencias de la falta de calidad pueden ir desde la simple pérdida de "belleza" de la pieza hasta un fallo catastrófico de todo el sistema que depende de ella. Además, la soldadura puede definirse como un "proceso especial", que, según la norma UNE-EN ISO 9000, se refiere a los procesos cuya calidad no puede verificarse fácil o económicamente al final del proceso de fabricación. Por ello, es importante establecer medidas de control y garantía de calidad durante el proceso de soldeo.

Para asegurar que el control de calidad es efectivo, se desarrollará y aplicará un plan de pruebas de inspección (ITP). Las actividades ITP incluyen la verificación documental y también las pruebas destructivas y no destructivas.

El soldador también juega un papel importante en este proceso, haciendo que las pruebas de sus calificaciones/experiencia sean necesarias para asegurar buenas soldaduras y prevenir posibles fallos en la soldadura.



Fuente: Wikipedia

En la imagen Podemos ver el naufragio del petrolero T2 "SS Schenectady". La causa del naufragio fue la colocación de una soldadura defectuosa en un área de concentración de tensión. La ruptura ocurrió mientras estaba en el muelle en el astillero de los constructores en Portland, después de sus pruebas de mar.

### **SUBSECCIÓN 1.1.1. Normalización y actividades conexas**

La normalización es el proceso de creación de normas para orientar la creación de un bien o servicio basado en el consenso de todas las partes pertinentes de la industria. Las normas aseguran que los Bienes y Servicios producidos en una industria específica tengan una calidad constante y sean equivalentes a otros productos o servicios comparables de la misma industria. El objetivo de la normalización es asegurar la uniformidad de ciertas prácticas dentro de la industria. La normalización se centra en el proceso de creación de productos, las operaciones de las empresas, la tecnología en uso y la forma en que se llevan a cabo los procesos obligatorios específicos.

En definitiva, una norma es una forma acordada de hacer algo. Puede tratarse de la fabricación de un producto, la gestión de un proceso, la prestación de un servicio o el suministro de materiales; las normas pueden abarcar una amplia gama de actividades emprendidas por las organizaciones y utilizadas por sus clientes.

Las normas son la sabiduría destilada de personas con experiencia en su materia y que conocen las necesidades de las organizaciones que representan - personas como fabricantes, vendedores, compradores, clientes, asociaciones comerciales, usuarios o reguladores.

Las normas son el conocimiento. Son herramientas poderosas que pueden ayudar a impulsar la innovación y aumentar la productividad. Pueden hacer que las empresas tengan más éxito y que la vida cotidiana de las personas sea más fácil, segura y saludable.

### **SUBSECCIÓN: 1.2. Normas específicas**

Más Adelante hablaremos de las tres normas de requisitos de calidad: la serie UNE-EN ISO 3834, UNE-EN ISO 9001, y la UNE-EN ISO 14731.

### SUBSECCIÓN: 1.2.1. UNE-EN ISO 3834:2005 *Requisitos de calidad para la soldadura*

La serie UNE-EN ISO 3834 proporciona requisitos de calidad adecuados para los procesos de soldadura por fusión de materiales metálicos. Estos requisitos pueden, sin embargo, ser adoptados para otros procesos de soldadura. Se refieren únicamente a los aspectos de la calidad del producto, no se asignan a un grupo de productos específico. También proporciona orientación para evaluar la capacidad de soldadura de un fabricante.

Esta norma se divide en 5 normas y un informe técnico (parte 6):

1. Criterio para la selección del nivel apropiado de requisitos de calidad,
2. Requisitos de calidad completos,
3. Requisitos de calidad normales,
4. Requisitos de calidad elementales,
5. Documentos aplicables,
6. Directrices para la aplicación de la Norma UNE-EN ISO 3834

La primera parte se utiliza para elegir los requisitos de calidad – segunda, tercera y cuarta parte (siendo la segunda más estricta, luego tercera y finalmente la cuarta) – que contienen los requisitos de calidad de las normas, en diferentes niveles de calidad. La quinta parte contiene los documentos necesarios para cumplir los requisitos de calidad, definidos en las diferentes partes de la serie de normas (partes 2, 3 y 4). La sexta parte es un informe técnico que tiene por objeto ayudar a la aplicación de la norma.

Esta serie de normas define los requisitos de calidad que son necesarios para lograr un cierto nivel de calidad en una construcción soldada. Puede utilizarse en situaciones contractuales (en la especificación de los requisitos de calidad), por los fabricantes (al establecer y mantener requisitos de calidad de la soldadura), por comités que redactan códigos de fabricación (en la especificación de los requisitos de calidad de la soldadura), o por organizaciones que evalúan la calidad del rendimiento (por ejemplo, los clientes).

Si se cumplen los criterios de uno de los niveles, se supone que también se cumplen los de todos los niveles inferiores (por ejemplo, si un fabricante cumple con la norma UNE-EN ISO 3834-2, también cumpla con la norma UNE-EN ISO 3834-3 y UNE-EN ISO 3834-4).

#### SUBSECCIÓN: 1.2.1.1 UNE-EN ISO 3834 - Parte 1:2005

Se utiliza para **elegir la parte que se va a consultar** (2, 3 o 4), basada en los siguientes criterios, relacionados con los productos:

- Alcance e importancia de los productos de seguridad crítica
- Complejidad de la fabricación
- Gama de productos fabricados
- Gama de materiales utilizados
- Grado en que pueden ocurrir problemas metalúrgicos
- Grado en que las imperfecciones de fabricación, por ejemplo, la desalineación o la distorsión, afectan al rendimiento del producto

#### SUBSECCIÓN: 1.2.1.2 UNE-EN ISO 3834- Parte 2:2005 y Parte 3:2005

Estas normas incluyen los requisitos exhaustivos y normalizados (respectivamente) para la soldadura por fusión de materiales en talleres e instalaciones in situ.

Proporcionan directrices basadas en requisitos específicos:

- Material(es) base(s) y propiedades de las uniones soldadas
- Requisitos de calidad y aceptación de las soldaduras
- Ubicación, accesibilidad y secuencia de las soldaduras, incluidas las de inspección y las de pruebas no destructivas
- La especificación de los procedimientos de soldeo, los procedimientos de ensayos no destructivos y los procedimientos de tratamiento térmico

- El enfoque que se utilizará para la certificación de los procesos de soldeo
- Selección, identificación y/o tratabilidad del proceso
- Disposiciones de control de calidad, incluida la participación de un organismo de inspección
- Inspección y ensayos
- Subcontratación
- Tratamiento térmico post-soldadura
- Uso de métodos especiales, por ejemplo, para lograr una penetración completa sin respaldo cuando se suelda por un solo lado
- Dimensiones y detalles de la preparación de la unión y la soldadura terminada
- Soldaduras que llevan a cabo en el taller
- Condiciones ambientales pertinentes para la aplicación del proceso (por ejemplo, la necesidad de proporcionar protección contra las condiciones climáticas adversas)
- Manejo de las no conformidades

#### **SUBSECCIÓN: 1.2.1.3 UNE-EN ISO 3834- Parte 4:2005**

Esta parte de la norma incluye los requisitos elementales para el soldeo por fusión de materiales metálicos. Proporciona **directrices, basadas en los requisitos del proceso**, tales como:

- Subcontratación,
- Certificación del personal de soldeo,
- Cualificación del personal de inspección y ensayos,
- Estado del equipo,
- Técnicas de soldeo y disponibilidad de consumibles,
- Incumplimiento y medidas correctivas,
- Período de retención de registros de calidad,
- Inspección y ensayos.

#### **SUBSECCIÓN: 1.2.1.4 UNE-EN ISO 3834- Parte 5:2015**

Esta parte de la norma proporciona información sobre qué documentos de la ISO son necesarios para la aplicación de las normas del grupo UNE-EN ISO 3834

#### **SUBSECCIÓN: 1.2.1.5 UNE-EN ISO/TR 3834- Parte 6:2007**

Esta parte da las directrices para la aplicación de los requisitos que aparecen en las partes 2, 3 y 4 de la norma UNE-EN ISO 3834, tiene por objeto ayudar a los fabricantes en la aplicación de la parte pertinente de la norma UNE-EN ISO 3834.

#### **SUBSECCIÓN: 1.2.2. UNE-EN ISO 9001:2015 *Sistemas de Gestión de la Calidad***

Esta norma establece los requisitos para el Sistema de Gestión de la Calidad de una empresa. Puede ser utilizada por organizaciones de cualquier tamaño.

UNE-EN ISO 9001 puede desglosarse en siete grandes grupos de requisitos

- Contexto de la organización
- Liderazgo
- Planificación

- Apoyo
- Operación
- Evaluación del desempeño
- Mejora

En la siguiente imagen veremos los pasos para implementar un Proyecto/actividad, basado en la Norma UNE-EN ISO 9001, usado para monitorear la calidad y el desempeño.



### SUBSECCIÓN: 1.2.2.1 UNE-EN ISO 9001 (Contexto de la Organización)

Esta sección establece los pasos necesarios para la fundación del Sistema de Gestión de Calidad UNE-EN ISO 9001. Requiere que la organización identifique sus fortalezas y debilidades, necesidades y expectativas, y a través del enfoque de procesos determine los procesos de la Norma UNE-EN ISO 9001. El Sistema de gestión de calidad deberá entonces ser implementado, mantenido y mejorado continuamente.

La documentación de este sistema debe incluir procedimientos e instrucciones de trabajo, para asegurar el control efectivo de todos los procesos. También se deben establecer registros para proporcionar pruebas del uso de la Norma UNE-EN ISO 9001 debidamente mantenida.

Truco: Puesto que esta norma se basa en una documentación adecuada, se aconseja el uso de plantillas para agilizar los procedimientos.

### SUBSECCIÓN: 1.2.2.2 UNE-EN ISO 9001 (Liderazgo)

Esta sección se trata de la Participación de los altos directivos en el sistema de gestión de la calidad

En ella se resumen sus diversas responsabilidades (UNE-EN ISO 9001), tales como la integración del sistema en los procesos operativos de la empresa.

La alta dirección debe asumir el liderazgo en lo que respecta a la orientación al cliente (determinar las necesidades de los clientes y los riesgos conexos, abordarlas y mantener la atención en la satisfacción del cliente).

Debe asegurarse de que las responsabilidades y autoridades dentro de la organización estén claramente establecidas. Por último, la norma establece que la Alta Dirección sea responsable del sistema de gestión de la calidad. Sin embargo, se puede nombrar un representante de la Norma UNE-EN ISO 9001.

**SUBSECCIÓN: 1.2.2.3 UNE-EN ISO 9001 (Planificación)**

Esta sección se centra en la planificación de las operaciones, como su título indica.

En primer lugar, se aborda la forma en que la organización debe participar en la gestión del riesgo (comprender, analizar y abordar el riesgo, para que la organización logre sus objetivos).

En segundo lugar, se deben establecer objetivos de calidad, así como planes sobre la forma de alcanzarlos.

Por último, se aborda la planificación de los cambios, que debe hacerse de manera sistemática.

**SUBSECCIÓN: 1.2.2.4 UNE-EN ISO 9001 (Soporte)**

Esta sección se centra en las funciones de apoyo a las operaciones, como los recursos, la competencia/capacitación, la comunicación y documentación.

En primer lugar, establece que una empresa debe determinar y proporcionar, de manera oportuna, los recursos necesarios para la aplicación y mejora de los procesos del sistema de gestión de la calidad. Estos incluyen los recursos humanos, así como sus competencias y la capacitación necesaria para lograr las competencias requeridas.

Se debe identificar, proporcionar y mantener la infraestructura necesaria para lograr la conformidad de los productos/servicios.

El equipo, maquinaria y el entorno de trabajo también se deben mantener. Los dispositivos de medición deben ser objeto de un cuidado especial y estar debidamente calibrados.

El conocimiento de la organización (por ejemplo, las mejores prácticas), deberían determinarse, mantenerse y compartirse. Es más, la empresa debe tener establecidos los canales de comunicación internos y externos.

Por último, se debe asegurar que las personas adecuadas tengan disponible la versión actual del documento adecuado. Deberían llevarse registros de las numerosas actividades realizadas.

**SUBSECCIÓN: 1.2.2.5 UNE-EN ISO 9001 (Operación)**

En esta sección se abordan los requisitos de los procesos necesarios para lograr el producto o servicio.

Pone énfasis en cómo la compañía entiende, comunica y cumple con los requerimientos de los clientes, y el camino que debe seguir en caso de que cambien. Establece que tanto las revisiones de diseño y desarrollo, como la verificación y validación deben ser planeadas al principio del proceso.

También se especifican los controles para la producción real y la prestación de servicios, desde las instrucciones de trabajo hasta las inspecciones de control de calidad.

También aborda la falta de conformidad del producto con los requisitos.

**SUBSECCIÓN: 1.2.2.6 UNE-EN ISO 9001 (Evaluación del desempeño)**

Esta parte trata de la medición y evaluación.

Habla de la definición, planificación y ejecución de las actividades de medición y vigilancia necesarias para garantizar la conformidad, así como para lograr mejoras.

También se centra en el análisis de los datos resultantes de esas actividades y en la auditoría interna del sistema para comprender si el sistema UNE-EN ISO 9001 funciona tal y como estaba planeado.

Por último, aborda las revisiones de la gestión. Éstas deben abarcar una amplia gama de temas relacionados con la Norma UNE-EN ISO 9001 que van desde la satisfacción del cliente hasta el desempeño de los proveedores. Esto da lugar a decisiones y acciones relacionadas con las mejoras, los cambios y las necesidades de recursos.

**SUBSECCIÓN: 1.2.2.7 UNE-EN ISO 9001 (Mejora)**

En esta sección se pide a las empresas que identifiquen las oportunidades de mejora.

Se habla de la necesidad de mejorar tanto los productos como los servicios, teniendo en cuenta las necesidades actuales y futuras del mercado. También especifica que la no conformidad debe ser controlada y corregida, de ser posible.

Por último, los procesos de mejora continua del sistema de gestión de la calidad deben planificarse y gestionarse, usando los datos adquiridos en las secciones previas.

### **SUBSECCIÓN: 1.2.3. UNE-EN ISO 14731:2019 Coordinación de soldadura – Tareas y responsabilidades**

Esta Norma Internacional identifica las responsabilidades y tareas relacionadas con la calidad, incluidas en la Coordinación de las actividades relacionadas con la soldadura.

Estas actividades incluyen, de acuerdo con la Norma UNE-EN ISO 3834: revisión de los requisitos, revisión técnica, idoneidad para la subcontratación, calificación del personal de soldeo, revisión de equipos, planificación de la producción, calificación de los procedimientos de soldeo, especificaciones de procedimientos de soldeo, emisión de instrucciones de trabajo, revisión de consumibles de soldeo, revisión de los materiales, inspección y ensayos antes del soldeo, revisión y ensayos durante el soldeo, revisión y ensayos después del soldeo, tratamiento térmico después del soldeo, medidas de no conformidad y correctivas, calibración y validación del equipo de medición, inspección y ensayo, identificación y trazabilidad, y preparación y mantenimiento de registros de calidad.

Estas actividades pueden estar asociadas a unas pocas tareas/responsabilidades, tales como:

- Especificación y preparación
- Control
- Inspección
- Comprobación o atestiguación

En las ocasiones en que la coordinación de soldeo sea llevada a cabo por más de una persona, las tareas y responsabilidades deben ser asignadas adecuadamente, de manera que la responsabilidad esté claramente definida y se asegure la calificación para cada tarea específica. Esta coordinación es responsabilidad exclusiva del fabricante, siendo el coordinador designado por él.

La norma también especifica que se requiere una descripción precisa del trabajo del personal de coordinación, que debe incluir sus tareas y responsabilidades.

Las tareas deberían asignarse de acuerdo con la información del Anexo B de la norma.

Las responsabilidades deberían identificarse como:

- Su posición en la organización de la fabricación y sus responsabilidades
- El alcance de la autorización que se les concede para aceptar mediante la firma en nombre de la organización de fabricación, necesaria para cumplir las tareas asignadas, por ejemplo, para la especificación de procedimientos e informes de supervisión
- El alcance de la autorización que se les ha concedido para llevar a cabo las tareas asignadas

Por último, se aborda el tema de los conocimientos técnicos, especificando que los coordinadores deben ser capaces de demostrar la cantidad adecuada para garantizar el desempeño satisfactorio de las tareas. El grado de experiencia/educación/conocimientos necesarios debe ser decidido por la organización de fabricación y debe depender de las tareas/responsabilidades asignadas. Por ejemplo, en lo que respecta al personal de coordinación de la soldadura, hay tres niveles de conocimientos: Amplio, específico y básico.

### **PRIMERA SECCIÓN: 2. WPS & WPQR**

*La introducción de la sección debe ser contextualizada y despertar el interés y la motivación de los estudiantes. La sección debe ser introducida indicando lo que se puede ser en ella, cuáles son las diferentes subsecciones o temas que incluye, cómo están interconectadas... en otras palabras, se trata de presentar las ideas claves que se verán.*

Tanto la WPS (Especificación del Procedimiento de Soldeo) como la WPQR (Registro de Calificación de Procedimiento de Soldeo) juegan un papel importante en una unión soldada, porque a través de ellas se puede asegurar el nivel de calidad requerido. Una WPS tiene el mismo propósito para un soldador como una receta para un cocinero. Esto permite al soldador (con suficientes conocimientos en soldadura) realizar soldaduras sólidas, según lo especificado, tantas veces como sea necesario. La WPQR comprende todos los datos necesarios para la calificación de la WPS preliminar – pWPS (de la que se hablará en la sección)

### **SUBSECCIÓN: 2.1. Normas**

*Desarrollar esta sección y las siguientes con todo el contenido teórico incluyendo complementos informativos como ilustraciones, imágenes, figuras, tablas, cuadros, gráficos y diagramas.*

Tres normas deben ser la referencia cuando se habla de estos dos temas: UNE-EN ISO 15607:2019, UNE-EN ISO 15609-1:2019, y UNE-EN ISO 15614-1:2017.

#### **SUBSECCIÓN: 2.1.1 UNE-EN ISO 15607:2019 Especificación y certificación de los procedimientos de soldeo de materiales metálicos – Reglas generales**

*Desarrollar esta sección y las siguientes con todo el contenido teórico incluyendo complementos informativos como ilustraciones, imágenes, figuras, tablas, cuadros, gráficos y diagramas.*

La Norma UNE-EN ISO 15607 define las reglas generales para la especificación y calificación de los procedimientos de soldeo de materiales metálicos. Proporciona alguna información sobre la WPS y WPQR, así como a qué normas se refiere.

En primer lugar, establece que el fabricante debe elaborar una WPS preliminar, aplicable a la producción real, utilizando uno de los cuatro métodos de calificación posible, cada uno con su propia aplicación:

- Prueba de procedimiento de soldeo, que siempre se puede aplicar, excepto cuando la prueba de procedimiento no se corresponde con la geometría de la unión, la sujeción o la accesibilidad de las soldaduras reales. Estas pruebas se especifican en la Norma UNE-EN ISO 15614.
- Consumibles de soldeo probados, que se limitan a los procedimientos de soldeo que utilizan consumibles. Otras limitaciones de este método se encuentran en las normas UNE-EN ISO 15614.
- Experiencia previa en soldadura, limitada a procedimientos frecuentemente usados en el pasado, en uniones y materiales comparables. Los requisitos de este método se analizan con más detalle en la Norma UNE-EN ISO 15611.
- Procedimiento de soldeo de la norma, que es como la “prueba de procedimiento de soldeo”, con sus limitaciones especificadas en la Norma UNE-EN ISO 15612.
- Ensayo de soldeo de preproducción, cuyo principio siempre puede aplicarse, pero que requiere la fabricación de una pieza de prueba, en condiciones de producción (se explica con más detalle en la Norma UNE-EN ISO 15613 – Especificación y certificación de los procedimientos de soldeo para materiales metálicos – Calificación basada en el ensayo de soldeo de preproducción).

Estas calificaciones son válidas indefinidamente, a menos que se especifique lo contrario.

#### **SUBSECCIÓN: 2.1.2 UNE-EN ISO 15609-1:2019 Especificación y certificación de los procedimientos de soldadura para materiales metálicos: Soldadura por arco,**

*Desarrollar esta sección y las siguientes con todo el contenido teórico incluyendo complementos informativos como ilustraciones, imágenes, figuras, tablas, cuadros, gráficos y diagramas.*

Esta norma especifica que algunos de los contenidos de una WPS para procesos con arco son:

- Identificación del fabricante
- Identificación de la WPS
- Referencia del WPQR
- Designación del material o materiales y normas de referencia
- Dimensiones de los materiales

- Los rangos de espesor de la unión
- Los rangos de diámetros exteriores de los tubos
- Proceso(s) de soldeo utilizado(s) de acuerdo con la Norma UNE-EN ISO 4063 (Soldero y procesos afines – Nomenclatura de procesos y números de referencia)
- Un esbozo del diseño/configuración y las dimensiones conjuntas o una referencia a las normas que proporcionan esa información
- La secuencia de ejecución de la soldadura es esencial para las propiedades de la soldadura
- Posiciones de soldeo aplicables de acuerdo con la Norma UNE-EN ISO 6947
- Métodos de preparación conjunta, limpieza, desengrase, incluidos los métodos que utilizarán
- Accesorios y soldeo con tachuelas
- Zig-zag si es aplicable

Para el soldeo manual: anchura máxima del recorrido

Para el soldeo mecanizado y automático: zig-zag, frecuencia y tiempo de permanencia de la oscilación

- Ángulo de la antorcha, electrodo o hilo.
- Respaldo posterior:

El método a utilizar, profundidad y forma

El método y tipo de respaldo, material de respaldo y dimensiones. (Para el respaldo de gas, de acuerdo con la Norma UNE-EN ISO 14175.)

- Consumibles de soldeo:

Designación, marca, dimensión, manejo

- Tipo de corriente eléctrica

- Detalles de soldeo pulsado si aplica

- Rango de corriente

- Mecanizado y soldeo automático:

Rango de velocidad de avance y alimentación del hilo.

- La temperatura mínima aplicada al comienzo del soldeo y durante el mismo

- Temperatura máxima de paso y si es necesario la mínima

- Temperatura mínima en la zona de soldeo que se mantendrá si se interrumpe el soldeo

- Post-calentamiento para la liberación de hidrógeno:

Rango de temperatura. Tiempo mínimo de retención.

- El tiempo mínimo y el rango de temperatura para el tratamiento térmico o el envejecimiento posterior al soldeo o la referencia a las normas respectivas.

- Gas de protección

Designación de acuerdo con la Norma UNE-EN ISO 14175:2008 y, en su caso, la composición, el fabricante y el nombre comercial.

- Rango de aporte térmico (si se especifica)

También incluye información sobre algunos parámetros específicos de los siguientes procesos: Soldero manual por arco metálico, soldeo por arco sumergido, soldeo por arco metálico con protección gaseosa, soldeo con protección de gas con electrodo no consumible y soldeo por arco de plasma.

### **SUBSECCIÓN: 2.1.3 UNE-EN ISO 15614-1:2017 Especificación y certificación de los procedimientos de soldeo para materiales metálicos: Soldadura por arco y gas de aceros y soldadura por arco de níquel y aleaciones de níquel**

*Desarrollar esta sección y las siguientes con todo el contenido teórico incluyendo complementos informativos como ilustraciones, imágenes, figuras, tablas, cuadros, gráficos y diagramas.*

Esta norma especifica cómo se califica una especificación preliminar de procedimiento de soldeo (pWPS) mediante pruebas de procedimiento de soldeo por arco y gas de los aceros y el soldeo por arco de níquel y sus aleaciones, en todas las formas del producto.

En él se establece que “se dan dos niveles de pruebas de procedimientos de soldeo para permitir la aplicación a una amplia gama de fabricación soldada”. Se designan por los niveles 1 y 2, estando el nivel 1 basado en los requisitos de la ASME (Sección IX – Certificación de soldadura) y el nivel 2 basado en los números anteriores de esta norma.

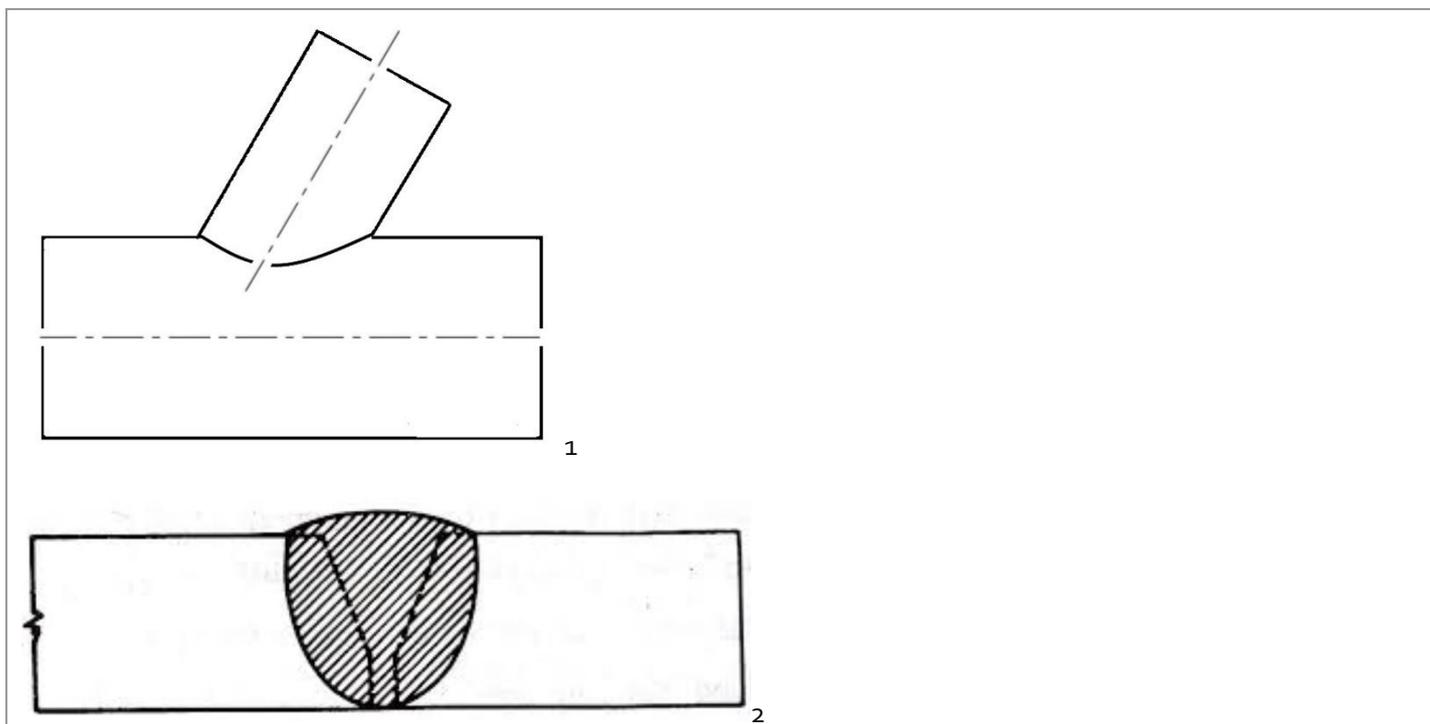
El nivel 2, que califica al nivel 1 automáticamente (pero no al revés). En él, la extensión de las pruebas es mayor, y los rangos de certificación son más restrictivos que los del nivel 1. Todos los requisitos del nivel 2 se aplican cuando no se especifica ningún nivel en un contrato o norma de aplicación

La Norma UNE-EN ISO 15614.1:2017 menciona que, en primer lugar, se debe hacer una pieza (o piezas) de prueba normalizada para representar la unión soldada en cuestión. Cuando no haya piezas normalizadas que representen con precisión los requisitos de geometría de la producción/unión, deberá consultarse la Norma UNE-EN ISO 15613:2004.

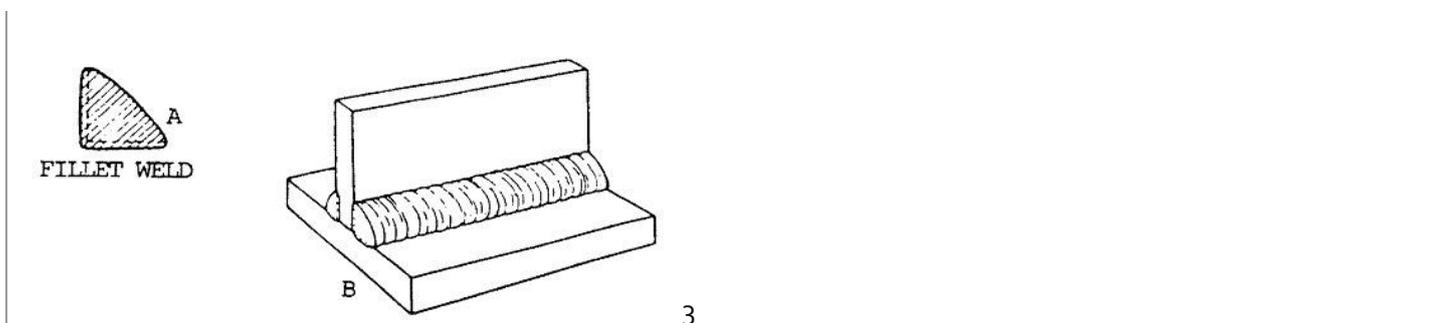
Estas piezas de prueba deben ser preparadas de acuerdo con lo siguiente:

- La longitud o el número de piezas de prueba debe ser suficiente para permitir la realización de todas las pruebas requeridas
- Pueden prepararse piezas de prueba adicionales, o piezas de prueba más grandes que el tamaño mínimo, a fin de permitir la obtención de muestras adicionales y/o para volver a probarlas
- Para todas las piezas de prueba, excepto las soldaduras en ángulo, el espesor del material será el mismo para ambas chapas/tuberías a soldar
- Si así lo requiere la norma, se marcará en la probeta la dirección del rodaje de la chapa cuando se requieran las pruebas de impacto en la zona afectada por el calor
- El espesor y/o diámetro exterior de las tuberías de ensayo se seleccionarán de acuerdo con las tablas respectivas
- Las uniones a tope con penetración completa, las uniones a tope en tuberías con penetración completa, uniones en T y las conexiones de derivación deben hacerse de acuerdo con las cifras respectivas de la norma (se aconseja consultarlas)

Fuente: Tiago Nuncio



Fuente: ecourseonline.com



Fuente: Quora.com

En las imágenes de arriba están representadas una ramificación (1), una unión a tope (2), y una unión en ángulo T (3)

Las piezas de ensayo deben estar soldadas de acuerdo con la pWPS, y bajo las condiciones generales de soldeo en la producción que representan. El soldeo de estas piezas debe ser atestiguada por un examinador o cuerpo examinador.

Estas piezas deben ser entonces ensayadas por métodos tanto no destructivos como destructivos, tales como inspección visual, radiográficas o ultrasónicas, ensayos de detección de grietas en la superficie, ensayo de tracción transversal, ensayo de flexión transversal, ensayo de impacto, ensayos de dureza, ensayo macroscópico. Algunas normas de aplicación pueden especificar ensayos adicionales, como el ensayo de tracción longitudinal, ensayo de doblado de todo el metal de soldadura, ensayos de corrosión, análisis químico, micrografía, análisis de ferrita delta y/o ensayos cruciformes.

Una vez que se hayan realizado y aprobado todos los ensayos no destructivos (NDP), se tomarán muestras de ensayo (de acuerdo con las cifras respectivas de las normas). Es aceptable tomarlas de zonas que eviten las imperfecciones, como se ve a través de los métodos de NDP.

Los métodos NDT deberían aplicarse después de cualquier tratamiento térmico posterior al soldeo. Para los materiales susceptibles de agrietamiento por hidrógeno sin tratamiento térmico posterior al soldeo, estos ensayos deberían atrasarse.



Fuente: Philip Carvalho

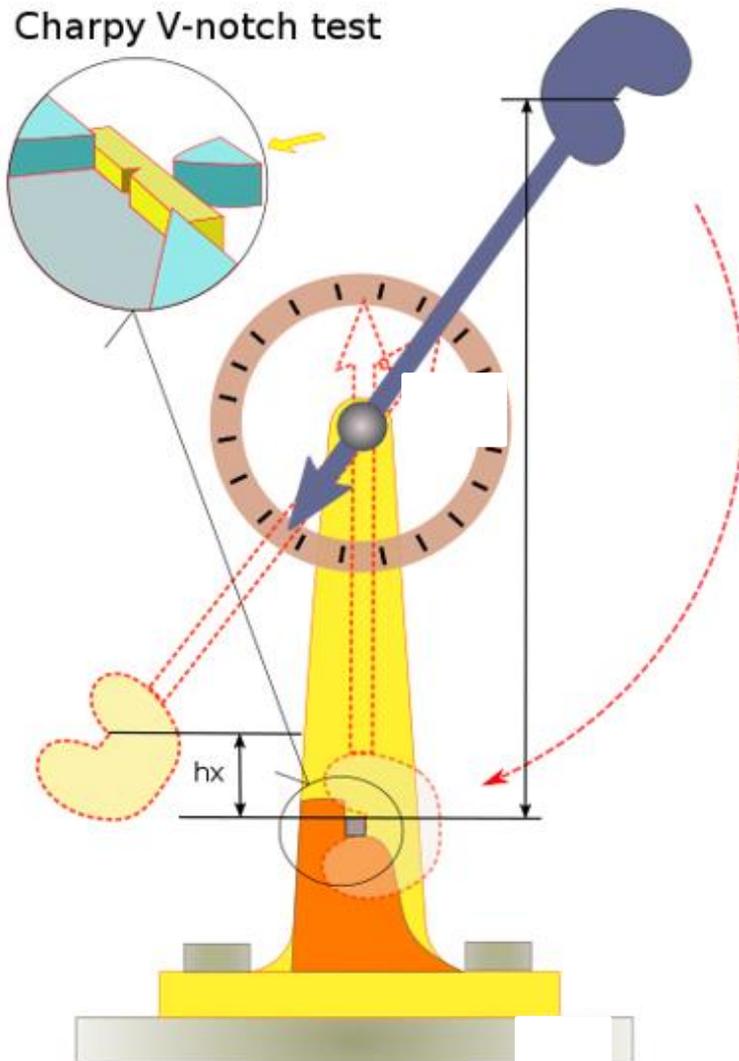
En esta imagen, podemos ver los resultados de ensayo por líquidos penetrantes de un troquel en una soldadura a tope en aluminio que ha sido maquinada.

Si la pieza no cumple con algunos de los requisitos de los métodos NDT, deberá soldarse una pieza adicional y someterse al mismo examen. Si esta segunda pieza tampoco cumple, entonces la prueba ha fallado.

Si alguna muestra no cumple con los requisitos de los ensayos destructivos debido a las imperfecciones de la soldadura, hay que ensayar dos muestras de prueba más por cada uno que falló. Estas muestras adicionales pueden ser tomados de la misma pieza de ensayo si hay suficiente material o de una pieza de ensayo diferente. Si alguno de estos dos no cumple con los requisitos, entonces la prueba se considera un fracaso.

Si hay valores de dureza únicos en diferentes zonas de ensayo por encima de los valores indicados, entonces se pueden realizar ensayos adicionales. Ninguno de los valores de dureza adicionales debe superar los valores máximos indicados.

Para los ensayos de impacto Charpy, cuando los resultados de un conjunto de tres muestras no cumplan los requisitos, con valor inferior al 70%, se tomarán tres muestras adicionales. El valor medio de estas muestras, junto con los resultados iniciales, no deberá ser inferior al promedio requerido.



Fuente: Wikipedia

En esta imagen podemos ver una representación de un ensayo de impacto Charpy.

La cualificación de una pWPS mediante una prueba de procedimiento de soldeo, según la Norma UNE-EN ISO 15614-1, es válida para la soldadura en talleres o sitios bajo el mismo control técnico y calidad del fabricante (el fabricante que realizó la prueba de procedimiento de soldeo conserva la responsabilidad total de todas las soldaduras que se realicen).

Los rangos de cualificación para el níquel y las aleaciones, el acero y para las uniones disimilares entre los aceros y las aleaciones de níquel se dan en las respectivas tablas de la Norma UNE-EN ISO 15614-1

A continuación, se especifican los rangos de cualificación de las variables esenciales, que varían en los niveles de calidad 1 y 2:

- Relacionadas con el fabricante
- Espesor del material, diámetro del tubo y ángulo de ramificación
- Procesos de soldeo
- Posiciones
- Tipo de unión

- Material base
- Material de aporte, tipo y tamaño
- Tipo de corriente
- Aporte térmico
- Temperatura pre-calentamiento
- Temperatura entre pasadas
- Post-calentamiento para la liberación de hidrógeno
- Tratamiento de calor post-soldeo
- Algunos criterios específicos del proceso

La WPQR es un informe de los resultados de los ensayos realizados, incluyendo las repeticiones de las pruebas. También se deben incluir los elementos pertinentes para la WPS enumerados en la Norma UNE-EN ISO 15609, con detalles de las características que serían rechazables por los requisitos de los ensayos. Si no se encuentran características rechazables o resultados inaceptables, entonces el WPQR está cualificado y puede ser firmado por el examinador/organismo examinador. Debe utilizarse un formato estándar, a fin de facilitar la presentación y evaluación de los datos.

### **PRIMERA SECCIÓN: 3. Imperfecciones de la soldadura**

*La introducción a la sección debe ser contextualizada y despertar el interés y la motivación de los alumnos. La sección debe ser introducida indicando lo que se puede ver en ella, cuáles son las diferentes subsecciones o temas que incluye, cómo están interconectadas... en otras palabras, se trata de presentar las ideas claves que se verán.*

Por lo general, la calidad de un producto depende de sus imperfecciones. Por ello es necesario vincularlas para que los productos cumplan con los criterios de imperfección requeridos y, por lo tanto, con los niveles de calidad especificados.

### **SUBSECCIÓN: 3.1. UNE-EN ISO 6520-1:2007 Soldeo y técnicas afines – Clasificación de imperfecciones geométricas en materiales metálicos – Parte 1: Soldeo por fusión.**

*Desarrollar esta sección y las siguientes con todo el contenido teórico incluyendo complementos informativos como ilustraciones, imágenes, figuras, tablas, cuadros, gráficos y diagramas.*

Esta norma tiene como objetivo catalogar y clasificar las posibles imperfecciones en la soldadura. Se divide en dos partes:

La primera parte se refiere al soldeo por fusión, mientras que la segunda se centra en el soldeo por presión.

Divide dichas Imperfecciones e 6 grupos:

- 1— Grietas
- 2— Cavidades,
- 3— Inclusiones sólidas,
- 4— Falta de fusión,
- 5— Forma imperfecta,
- 6— Cualquier otro tipo de imperfecciones que no estén incluidas en los grupos 1-5.

El Código de identificación de cada imperfección dado en este catálogo es globalmente aceptado, proporcionando una designación simplificada que permite a todas las partes involucradas a comunicarse sin malentendidos (al menos en lo que se refiere a la designación de la imperfección).

### **SUBSECCIÓN: 3.2. UNE-EN ISO 5817:2014 - Soldadura – uniones soldadas por fusión en acero, níquel, titanio y sus aleaciones (excluida la soldadura de vigas) – Niveles de calidad para las imperfecciones**

Desarrollar esta sección y las siguientes con todo el contenido teórico incluyendo complementos informativos como ilustraciones, imágenes, figuras, tablas, cuadros, gráficos y diagramas.

La Norma UNE-EN ISO 5817:2014 especifica las dimensiones máximas permitidas de las imperfecciones típicas en la fabricación normal. Estos límites dimensionales varían según el nivel de calidad elegido. Este nivel debe ser definido por el diseñador responsable junto con el fabricante, el usuario y/u otras partes involucradas. Debe tener en cuenta las consideraciones de diseño, el procesamiento subsiguiente, el modo de tensión, las condiciones de servicio y las consecuencias del fallo. También deben considerarse factores económicos.

- Varía de acuerdo al nivel de calidad – B (más estricto) a D (menos estrictos de todos)  
Esta norma está adaptada a los procesos de soldadura por fusión en uniones soldadas de acero, níquel, titanio y sus aleaciones, para espesores de soldadura  $\geq 0,5\text{mm}$ . Sin embargo, puede ser usado para otros procesos de soldeo por fusión o espesores.  
El código de identificación de las imperfecciones es el que se encuentra en la Norma UNE-EN ISO 6520.



Fuente: Philip Carvalho

En esta imagen Podemos ver los resultados de un ensayo de partículas magnéticas en una soldadura a tope (círculo rojo).

### **SUBSECCIÓN: 3.3. UNE-EN ISO 10042:2018 - Welding — Soldadura – uniones soldadas por arco en aluminio y sus aleaciones – Niveles de calidad para las imperfecciones**

Desarrollar esta sección y las siguientes con todo el contenido teórico incluyendo complementos informativos como ilustraciones, imágenes, figuras, tablas, cuadros, gráficos y diagramas.

Esta norma es equivalente a la Norma **UNE-EN ISO 5817:2014** pero adaptada al aluminio y sus aleaciones. Sigue el mismo sistema de calidad B a D de la Norma UNE-EN ISO 6520.

## PRIMERA SECCIÓN: 4. Inspección y certificación de los soldadores

*La introducción a la sección debe ser contextualizada y despertar el interés y la motivación de los alumnos. La sección debe ser introducida indicando lo que se puede ver en ella, cuáles son las diferentes subsecciones o temas que incluye, cómo están interconectadas... en otras palabras, se trata de presentar las ideas claves que se verán.*

A menudo, la calidad de la unión soldada depende, entre otros factores, del nivel de destreza del operador. Por ello, se considera necesario asegurarla antes de que se realice el soldeo. Para garantizarlo, se creó la Norma UNE-EN ISO 9606 para garantizar que el operador (soldador) tenga el nivel de habilidad adecuado para realizar una unión de calidad.

La norma se divide en cinco partes: aceros, aluminios y aleaciones de aluminios, cobre y aleaciones de cobre, níquel y aleaciones de níquel y titanio y aleaciones de titanio, circonio y aleaciones de circonio. En este documento solo se hablará de la primera, siendo aconsejable la lectura del resto.

### SUBSECCIÓN: 4.1. UNE-EN ISO 9606-1: 2012 Ensayos de certificación de soldadores – Soldeo por fusión – Parte

#### 1: Aceros

*Desarrollar esta sección y las siguientes con todo el contenido teórico incluyendo complementos informativos como ilustraciones, imágenes, figuras, tablas, cuadros, gráficos y diagramas.*

Esta norma especifica los requisitos para las pruebas de certificación de los soldadores de acero por fusión, proporcionando un conjunto de reglas técnicas para un ensayo, independientemente del tipo de producto, ubicación y organismo que examine.

Abarca los procesos de soldeo por fusión manuales y parcialmente mecanizados, pero no los totalmente mecanizados.

En primer lugar, ofrece una serie de abreviaturas y números de referencia, según la Norma UNE-EN ISO 4063, para los diferentes procesos de soldeo, piezas de ensayo, materiales de aporte, tipos de soldadura por arco, etc.

A continuación, ofrece una serie de variables esenciales, para las cuales se define un rango de cualificación. Si se considera necesario que un soldador tenga que soldar fuera de su "rango de cualificación", entonces se requiere una nueva prueba.

Estas variables esenciales son: procesos de soldeo, tipo de producto, tipo de soldadura, grupo del material de aporte, consumible, dimensiones (espesor y diámetro), posición y algunos detalles de soldeo (material de respaldo, soporte de gas, soporte de flujo, soldeo por un lado, por dos lados, capa única, multicapas...).

- Procesos de soldeo: cada prueba cualifica para un solo proceso de soldeo, con algunas excepciones. Un cambio de proceso normalmente requiere una nueva prueba. Sin embargo, es posible obtener la cualificación para dos o más procesos mediante la soldadura de una "unión multiproceso", o mediante la realización de dos o más pruebas separadas.
- Tipo de producto: los ensayos deben realizarse en la chapa, tubo o cualquier otra forma de producto adecuado, cada uno con sus propios criterios.
- Tipo de soldadura: realizada a tope o en ángulo, cada una con su criterio.
- Grupo de material de aporte: la prueba debe realizarse con el material de aporte apropiado al grupo correspondiente. El soldeo con material de aporte de un grupo cualifica para el soldeo con todos los demás materiales de ese grupo.
- Consumibles de soldeo.
- Dimensiones: para las soldaduras a tope, la prueba se basa en el espesor depositado y en los diámetros exteriores de los tubos, como para los ángulos, se base en el espesor de la pieza de prueba.
- Posición: las piezas deben soldarse de acuerdo con las posiciones indicados en la Norma UNE-EN ISO 6947. Los tubos con un diámetro exterior >150mm pueden soldarse en dos posiciones diferentes.
- Otros detalles: los rangos de cualificación varían según sus detalles.

A continuación, hablaremos del tema del examen y ensayos, en el que la norma especifica que el soldeo de las piezas de ensayo debe ser presenciada por el organismo examinador y verificada por él. La pieza debe entonces ser identificada con la identificación del soldador y del examinador, así como la posición de soldeo utilizada. El examinador tiene derecho a detener la prueba si las condiciones de soldeo no son las correctas o si el soldador parece no tener la capacidad de cumplir los requisitos.

Las piezas de ensayo, para las chapas deben tener una longitud mínima de 200 mm ya que la longitud del examen es de 150 mm. Para tuberías de menos de 150 mm, se usarán piezas de ensayo adicionales, con un máximo de 3 piezas. Los tratamientos posteriores especificados en la WPS o pWPS, omitido a discreción del fabricante.

La pieza de ensayo se someterá entonces a ensayos, visuales, radiográficas, de flexión y de fractura. El resto de los ensayos solo deben realizarse si la pieza pasa la inspección visual.

Posteriormente, todos los resultados de los ensayos deberán documentarse de conformidad con la norma pertinente.

Las piezas de ensayo se evalúan de acuerdo con los requisitos de aceptación. Ante de cualquier prueba, la pieza debe ser revisada por los siguientes elementos:

- Eliminación de todas las escorias y salpicaduras
- No hay signos de desgarro en la raíz y en la cara de la soldadura
- Identificación de la parada y reinicio en la pasada de raíz
- Perfil y dimensiones

Los requisitos de aceptación deberían, a menos que se especifique lo contrario, estar en conformidad con la Norma UNE-EN ISO 5817, nivel de calidad B (para algunas imperfecciones, por ejemplo, exceso de metal de soldadura). Las muestras de ensayo de flexión no deben revelar ninguna discontinuidad superior a 3 mm en cualquier dirección. Las discontinuidades en los bordes deben ignorarse, a menos que haya pruebas de que el agrietamiento se deba a una penetración incompleta, escoria y otra discontinuidad. La suma de las mayores discontinuidades que excedan de 1 mm, pero inferiores a 3 mm en cualquier muestra no debe exceder los 10 mm.

No hace falta mencionar que, si las imperfecciones de la pieza de ensayo exceden los límites permitidos, entonces la prueba se considera fallida.

Si la prueba en sí no cumple los requisitos de esta parte de la Norma UNE-EN ISO 9606, se puede dar al soldador la oportunidad de repetir la prueba de certificación una vez sin necesidad de formación adicional.

En cuanto a la validez de estas pruebas, suponiendo que los resultados fueran aceptables, son de 6 meses, siendo necesario que el certificado sea confirmado por la persona responsable de las actividades de soldeo o el organismo examinador, sobre el riesgo de quedar inválido si no lo es.

Cada 3 años el soldador será sometido a una nueva prueba, o dos piezas de muestra (soldadas en los últimos 6 meses del certificado) del soldador será tomadas y ensayadas cada dos años

Si hay una razón específica para dudar de la capacidad del soldador para hacer soldaduras que cumplan con las normas requeridas de sus cualificaciones, entonces esas cualificaciones serán revocadas. Una vez que el soldador ha pasado la cualificación de acuerdo con los requisitos de calidad, se emite un certificado con todos los detalles del soldeo.

## BIBLIOGRAFÍA DE LA UNIDAD

*Todas las unidades incluirán una sección de referencias bibliográficas sobre las que debemos asegurarnos de que se recogen todas las fuentes de información consultadas y utilizadas para la elaboración de los contenidos.*

*Se presenta al final de cada unidad, organizada alfabéticamente siguiendo el consejo dado en el documento "Anexo o". Recomendaciones generales.pdf"*

Institute of Risk Management (2019). About Risk Management. ([www.theirm.org](http://www.theirm.org)) Date of consultation: July, 2019

ISO (2003). ISO 15607:2003 Specification and qualification of welding procedures for metallic materials — General rules. (<https://www.iso.org/standard/28388.html>). Date of consultation: July, 2019

ISO (2005). ISO 3834-1:2005 Quality requirements for fusion welding of metallic materials — Part 1: Criteria for the selection of the appropriate level of quality requirements. (<https://www.iso.org/standard/35144.html>). Date of consultation: July, 2019

ISO (2005). ISO 3834-2:2005 Quality requirements for fusion welding of metallic materials — Part 2: Comprehensive quality requirements. (<https://www.iso.org/standard/35145.html>). Date of consultation: July, 2019

ISO (2005). ISO 3834-3:2005 Quality requirements for fusion welding of metallic materials — Part 3: Standard quality requirements. (<https://www.iso.org/standard/35146.html>). Date of consultation: July, 2019

ISO (2005). ISO 3834-4:2005 Quality requirements for fusion welding of metallic materials — Part 4: Elementary quality requirements. (<https://www.iso.org/standard/35147.html>). Date of consultation: July, 2019

ISO (2007). ISO 6520-1:2007 – Welding and allied processes -- Classification of geometric imperfections in metallic materials -- Part 1: Fusion welding. (<https://www.iso.org/standard/40229.html>). Date of consultation: July, 2019

ISO (2012). ISO 9606-1:2012 Qualification testing of welders -- Fusion welding -- Part 1: Steels. (<https://www.iso.org/standard/54936.html>). Date of consultation: July, 2019

ISO (2014). ISO 5817:2014 - Welding — Fusion-welded joints in steel, nickel, titanium and their alloys (beam welding excluded) — Quality levels for imperfections. (<https://www.iso.org/standard/54952.html>). Date of consultation: July, 2019

ISO (2014). ISO 5817:2014 Welding — Fusion-welded joints in steel, nickel, titanium and their alloys (beam welding excluded) — Quality levels for imperfections. (<https://www.iso.org/standard/54952.html>). Date of consultation: July, 2019

ISO (2015). ISO 3834-5:2015 Quality requirements for fusion welding of metallic materials — Part 5: Documents with which it is necessary to conform to claim conformity to the quality requirements of ISO 3834-2, ISO 3834-3 or ISO 3834-4. (<https://www.iso.org/standard/63729.html>). Date of consultation: July, 2019

ISO (2015). ISO 9001:2015 Quality management systems — Requirements. (<https://www.iso.org/standard/62085.html>). Date of consultation: July, 2019

ISO (2017). ISO 15614-1:2017 Specification and qualification of welding procedures for metallic materials — Welding procedure test — Part 1: Arc and gas welding of steels and arc welding of nickel and nickel alloys. (<https://www.iso.org/standard/51792.html>). Date of consultation: July, 2019

ISO (2018). ISO 10042:2018 - Welding — Arc-welded joints in aluminium and its alloys — Quality levels for imperfections. (<https://www.iso.org/standard/70566.html>). Date of consultation: July, 2019

ISO (2019). ISO 15609-1:2019 Specification and qualification of welding procedures for metallic materials — Welding procedure specification — Part 1: Arc welding. (<https://www.iso.org/standard/75556.html>). Date of consultation: July, 2019

Lexico Dictionaries (2019). Definition of the word “Quality” in English. (<https://www.lexico.com/en/definition/quality>). Date of consultation: July, 2019

Wikipedia (2019). Picture of SS Schenectady. Retrieved from [https://en.wikipedia.org/wiki/SS\\_Schenectady](https://en.wikipedia.org/wiki/SS_Schenectady). Date of consultation: July, 2019

## GLOSARIO

*Incluye los principales conceptos, nuevos y/o complejos vistos en la unidad, como un diccionario. Este tipo de recurso es importante sobre todo cuando el curso está dirigido a estudiantes sin conocimiento del tema. Las entradas del glosario están ordenadas alfabéticamente.*

**Eliminación del respaldo** - La eliminación del metal de soldadura y del metal base del lado de la raíz de la soldadura de una unión soldada para facilitar la fusión completa y la penetración completa de la unión al soldar posteriormente desde ese lado.

**Material de respaldo** - Material colocado en la raíz de una unión soldada para soportar el metal fundido

**Calibrar** - Correlacionar las lecturas de un instrumento de medición con las de un estándar para comprobar la precisión del instrumento.

**Peinado** - La capa final de una soldadura

**Conformidad** - Cumplimiento de normas, reglas o leyes

**Material de aporte** – Material que se aporta durante el soldeo

**Soldeo por fusión** - La fusión entre el metal de relleno y el metal base, o sólo del metal base, para producir una soldadura

**Valores de dureza** - Valor dado por el resultado de un ensayo de dureza (por ejemplo, Vickers)

**Tratamiento térmico** – Utilizar el calor para cambiar las propiedades del metal.

**Imperfección** - Un fallo, defecto o característica indeseable

**ITP** - Plan de ensayos de inspección

**Temperatura entre pasadas** - La temperatura a la que se depositan las soldaduras subsiguientes

**Unión** - La unión de los componentes o los bordes de los componentes que se van a unir o se han unido

**Fabricación** - Fabricación de artículos a gran escala utilizando maquinaria

**NDT** – Ensayo no destructivo

**Material base** - Material base es el material de la pieza que se va a soldar

**Procedimiento** - Una serie de acciones realizadas en un cierto orden o manera

**Pasada de raíz** - Una pasada de soldadura hecha para producir el primer cordón

**Escoria** - El recubrimiento dejado en la soldadura por el fundente

**Muestras** – Muestra de un cupón de prueba que se va a ensayar

**Salpicaduras** - Gotas de metal fundido que se generan en o cerca del arco de soldadura

**Subcontratación** - Emplear a una empresa o a una persona ajena a la suya para que trabaje en un proyecto más amplio

**Plantilla** - Algo que se usa como patrón para producir otras cosas similares

**Pieza de ensayo** - Piezas de ejemplo que representan la pieza que se está ensayando

**Agua** - Una técnica de soldadura en la que la fuente de energía oscila transversalmente a medida que avanza por el camino de la soldadura