



GOBIERNO DEL PRINCIPADO DE ASTURIAS

CONSEJERÍA DE ECONOMÍA Y EMPLEO



Unión Europea

Fondo Europeo
de Desarrollo Regional

PROGRAMA ASTURIAS 2016-2017

RESULTADOS DEL PROYECTO:

CALIBRACIÓN DE MÁQUINAS DE SOLDADURA

REFERENCIA Nº: IDI/2016/000295

Entidad Beneficiaria:



Fecha inicio: 01/10/2016

Fecha fin: 31/12/2017

1. INTRODUCCIÓN

Los procesos de soldadura son críticos para muchos de los componentes y estructuras de los procesos industriales. Por ello, cualquier método que se dedique a mejorar y controlar estos procesos será de vital importancia en el desarrollo de los procesos para la industria.

Este proyecto lo que pretende es evaluar la viabilidad técnica de un procedimiento de calibración completo para máquinas de soldadura que englobe todas las magnitudes críticas que afectan en estos procesos (potencia, voltaje, intensidad, control dimensional, velocidad de soldadura, caudal de gas, etc.).

Se trata de un sistema que actualmente ningún laboratorio llega a ofrecer en nuestro entorno, por tanto, poner a punto un sistema de control metrológico para este tipo de procesos supone un importante salto para las industrias de la región.

2. OBJETIVOS

Se plantea como objetivo general de este proyecto, la evaluación de la viabilidad técnica de un procedimiento de calibración integral de máquinas de soldadura, acorde a los requerimientos técnicos exigibles por las Entidades de Acreditación. Para ello, se plantean los siguientes objetivos particulares:

- Analizar y definir los requisitos establecidos en la normativa existente relativa a la calidad de los distintos tipos de técnicas de soldadura y métodos de calibración de máquinas de soldadura.
- Analizar y definir las magnitudes y especificaciones de los distintos tipos de máquinas de soldadura existentes en el mercado.
- Definir procedimientos de calibración para las distintas tipologías de máquinas de soldar evaluadas.
- Análisis de la viabilidad técnica de los procedimientos de calibración de máquinas de soldadura.

3. ACTIVIDADES REALIZADAS

3.1 ANÁLISIS DE NORMATIVA EXISTENTE RELATIVA A LA CALIDAD DE LOS DISTINTOS TIPOS DE TÉCNICAS DE SOLDADURA Y MÉTODOS DE CALIBRACIÓN DE MÁQUINAS DE SOLDADURA (Hito 1).

TAREA 1.1. Análisis de REQUISITOS METROLÓGICOS Y DE CALIDAD para cada tipo de técnica de soldadura.

Existe gran variedad de técnicas de soldadura utilizadas en la industria del acero, siderometalúrgica y sector metal mecánico y cada una puede recibir diferentes denominaciones, dependiendo del ámbito en el que se utiliza. Por ello, la primera fase del proyecto fue hacer una revisión de la misma y definir una nomenclatura común. En concreto se ha establecido la nomenclatura utilizada en la norma UNE-EN ISO 4063: Soldeo y técnicas conexas. Nomenclatura de procesos y números de referencia.

A continuación se ha llevado a cabo un estudio de las técnicas de soldadura más comúnmente utilizadas, identificándose principalmente las siguientes:

- 121: SAW (Submerged arc welding with solid wire electrode): Soldeo por arco sumergido con alambre electrodo macizo.
- 135: GMAW (MAG welding with solid wire electrode: Gas metal arc welding using active gas with solid wire electrode): Soldeo por arco con alambre electrodo macizo y gas activo: soldeo MAG).
- 111: SMAW (Manual metal arc welding (metal arc welding with covered electrode): shielded metal arc welding: Soldeo por arco con electrodo revestido.
- 141: GTAW/TIG (Gas tungsten arc welding using inert gas and solid filler material (wire/rod); TIG welding with solid filler material (wire/rod): Soldeo por arco con gas inerte y electrodo consumible macizo: soldeo TIG.

Una vez identificadas las técnicas de soldeo más utilizadas se ha llevado a cabo la revisión de la normativa en la que se hace referencia específica a requisitos metrológicos y/o de calibración, habiéndose encontrado la siguiente:

1. UNE-EN 1090-1 a UNE-EN 1090-3: Ejecución de estructuras de acero y aluminio
2. UNE-EN ISO 3834-1 a 3834-5: Requisitos de calidad para el soldeo por fusión de materiales metálicos.
3. UNE-EN 60974-1 a UNE-EN 60974-13: Equipos de soldadura eléctrica por arco.
4. UNE-EN ISO 14555 (2014): Soldeo por arco de espárragos de materiales metálicos.
5. UNE-EN ISO 14554-1 y 14554-2 (2014): Requisitos de calidad para el soldeo por resistencia de materiales metálicos.
6. UNE-EN ISO 14744-1 a 14744-6: Inspección para la aceptación de máquinas de soldeo por haz de electrones.
7. UNE-EN ISO 15616-1 a 15616-3: Ensayos de aceptación para máquinas de haz láser de CO₂ para soldeo y corte de alta calidad.

A continuación se ha llevado a cabo un estudio en el que se han extraído los requisitos metrológicos asociados a las técnicas de soldadura para cada una de las normas referidas. A continuación se exponen los requisitos más significativos para cada una de las 7 normas estudiadas:

1. UNE-EN 1090-1 a UNE-EN 1090-3: Ejecución de estructuras de acero y aluminio.

La Directiva Europea de Productos para la construcción 86/106/CEE establece que todas aquellas empresas que fabriquen estructuras metálicas de acero o aluminio deben de cumplir con la Norma UNE-EN 1090. Estas series de normas especifican los requisitos para la evaluación de la conformidad en la ejecución de estructuras de acero y aluminio, y son las siguientes:

- 1090-1:2011+A1: Requisitos para la evaluación de la conformidad de los componentes estructurales.
- 1090-2:2011+A1: Requisitos técnicos para la ejecución de estructuras de acero.
- 1090-3: 2011: Requisitos técnicos para la ejecución de estructuras de aluminio.

Esta serie de normas especifican los requisitos para la evaluación de la conformidad de las características de comportamiento de los componentes de acero y aluminio estructural, y también los utilizados en estructuras mixtas de acero y hormigón. La evaluación de la conformidad cubre entre otras, las características de fabricación.

Establecen como característica de fabricación que influyen en el comportamiento estructural del componente, entre otras, la calidad de la soldadura, pero no especifica nada al respecto sobre requisitos metrológicos en el proceso de soldadura para asegurar la calidad de la misma.

2. UNE-EN ISO 3834-1 a 3834-5: Requisitos de calidad para el soldeo por fusión de materiales metálicos

Estas series de normas especifican los requisitos de calidad para las técnicas de soldeo por fusión de materiales metálicos. Estas técnicas de soldeo son ampliamente utilizadas en la fabricación de productos como recipientes a presión, equipos domésticos y agrícolas, grúas, puentes, vehículos de transporte, etc. Las series de normas son las siguientes:

- 3834-1 (2005): Criterios para la selección del nivel apropiado de los requisitos de calidad.
- 3834-2 (2005): Requisitos de calidad completos.
- 3834-3 (2005): Requisitos de calidad normales.
- 3834-4 (2015): Documentos exigibles para cumplir los requisitos de calidad de las Normas ISO 3834-2, ISO 3834-3 o ISO 3834-4.

Para cada una de ellas se especifica:

- 3834-1 (2005): Esta norma establece lo siguiente en relación con los criterios que facilitan la selección de la parte apropiada de la norma ISO 3834:

Elemento	ISO 3834-2	ISO 3834-3	ISO 3834-4
Calibración o validación del equipo de ensayo, inspección y medida	Requerida	Cuando sea requerida	Sin requisitos específicos

- 3834-2 (2005) y 3834-3 (2005): Respecto a la calibración y validación de los equipos de medición, inspección y ensayo, estas normas establecen que todos los equipos utilizados para evaluar la calidad de los productos deben calibrarse o validarse con una periodicidad especificada. Las normas ISO aplicables para distintas técnicas de soldeo están especificadas en la Norma ISO 3834-5 (2005).

3. UNE-EN 60974-1 a UNE-EN 60974-13: Equipos de soldadura eléctrica por arco

Se compone, a su vez, por más de 10 normas que se resumen a continuación:

1) UNE-EN 60974-1 (2012): Fuentes de potencia para soldadura

Esta norma especifica los requisitos de seguridad y funcionamiento para las fuentes de potencia para soldadura y sistemas de corte por plasma. Es aplicable a fuentes e potencia para soldadura por arco y procesos afines (como por ejemplo corte por arco y arco spray), concebidas para uso industrial y profesional, y alimentadas a una tensión que no exceda los 1000 V, o impulsadas mediante medios mecánicos.

2) UNE-EN 60974-3 (2014): Dispositivos de cebado y estabilización de arco

Esta parte de la norma especifica los requisitos de seguridad para los dispositivos de cebado y estabilización del arco, usados en los procesos de soldadura por arco y procesos relacionados (son procesos relacionados, por ejemplo, el corte por plasma y el arco rociado). Estos dispositivos de cebado y estabilización de arco son una unidad independiente que pueden conectarse a una fuente de potencia separada o cuando la fuente de potencia y los dispositivos de cebado y estabilización de arco están alojados en la misma envolvente.

3) UNE-EN 60974-4 (2011): Inspección y ensayos periódicos

Esta parte de la norma especifica procedimientos de ensayo para la inspección periódica y, tras reparación, para asegurar la seguridad eléctrica. Estos procedimientos se pueden aplicar también al mantenimiento. Se aplica a las fuentes de alimentación para soldadura eléctrica por arco y otros procesos afines.

4) UNE-EN 60974-5 (2014): Alimentadores de hilo

Esta parte de la norma especifica los requisitos de seguridad y funcionamiento para los equipos de soldadura eléctrica por arco y procesos conexos para la alimentación de hilo de aportación.

5) UNE-EN 60974-6 (2011): Equipo con servicio limitado (uso no profesional).

Esta parte de la norma especifica los requisitos de seguridad y funcionamiento aplicables a las fuentes de potencia para soldadura y corte por arco con servicio limitado y dispositivos asociados para uso por no profesionales. El equipo alimentado eléctricamente está destinado a conectarse a una red pública de alimentación monofásica en baja tensión. Las fuentes de potencia accionadas con motor térmico no pueden superar 7,5 kVA de potencia de salida.

6) UNE-EN 60974-8 (2009): Consolas de gas para sistemas de soldadura y corte por plasma

Esta parte de la norma especifica requisitos de seguridad y funcionamiento para consolas de gas destinadas a usarse con gases combustibles u oxígeno. Estas consolas de gas se diseñan para suministrar gases para su uso en soldadura por arco, corte por plasma, gubiado y procesos relacionados en atmósferas no explosivas.

7) UNE-EN 60974-9 (2010): Instalación y uso

Esta parte de la norma se aplica a la instalación y uso de equipos para la soldadura por arco y procesos afines. Se aplica como guía para instructores, operarios, soldadores, gestores y supervisores de la seguridad en la instalación y del uso de equipos para soldadura por arco y procesos afines y del funcionamiento seguro de las operaciones de soldadura y corte, pero no especifica ensayos relacionados directamente con la calibración/validación de los dispositivos, sino con los requisitos de seguridad exigibles a los mismos.

8) UNE-EN 60974-10 (2008) y corregida (2011): Requisitos de compatibilidad electromagnética (CEM).

Esta parte de la norma especifica requisitos de compatibilidad electromagnética aplicables a los equipos de soldadura por arco y procesos relacionados, incluidos las fuentes de potencia y los equipos accesorios, por ejemplo alimentadores de hilo, sistemas de refrigeración por líquido y dispositivos de cebado y estabilización de arco.

9) UNE-EN 60974-11 (2011): Portaelectrodos

Esta parte de la norma especifica los requisitos de seguridad y funcionamiento de los portaelectrodos para soldadura manual eléctrica por arco con electrodos de hasta 10 mm de diámetro. No se aplica a portaelectrodos para soldadura sumergida.

10) UNE-EN 60974-12 (2011): Dispositivos de conexión para cables de soldadura

Esta parte de la norma especifica los requisitos de seguridad y funcionamiento de los dispositivos de conexión para cables de soldadura y procesos afines, diseñados para operaciones de conexión y

desconexión sin empleo de herramientas. No se aplica para dispositivos de conexión para soldadura sumergida.

11) UNE-EN 60974-13 (2011): Pinza de retorno de corriente

Esta parte de la norma especifica los requisitos de seguridad y funcionamiento para las pinzas de retorno de corriente para procesos de soldadura por arco, diseñadas para realizar una conexión eléctrica con la pieza de trabajo sin la utilización de una herramienta. No se aplica para a las pinzas para soldadura sumergida ni para corte por plasma.

4. UNE-EN ISO 14555 (2014): Soldeo por arco de espárragos de materiales metálicos.

El soldeo por arco de espárragos consiste en unir piezas metálicas, con forma predominante de varillas a unos soportes metálicos. Se utiliza fundamentalmente en la construcción de puentes, construcciones de acero, construcción naval, construcción de automóviles, equipamiento industrial, construcción de calderas de vapor, etc.

Establece que los equipos se deben calibrar a intervalos especificados, según norma ISO 17662 (en el caso de soldeo por arco de espárragos, se aplica en particular a las medidas de intensidad de corriente y de los tiempos de soldeo).

5. UNE-EN ISO 14554-1 y 14554-2 (2014): Requisitos de calidad para el soldeo por resistencia de materiales metálicos

La ISO 14554-1 establece los requisitos de calidad completos para el soldeo por resistencia de materiales metálicos y la ISO14554-2 establece los requisitos de calidad elementales.

Ambas normas especifican que los equipos de inspección, medición y ensayos utilizados para evaluar la calidad de la construcción soldada deben de estar calibrados con una periodicidad especificada.

6. UNE-EN ISO 14744-1 a 14744-6: Inspección para la aceptación de máquinas de soldeo por haz de electrones

Esta serie de normas establecen los requisitos aplicables a las máquinas de soldeo por haz de electrones. Los procesos de soldeo por haz de electrones no suelen estar bajo el control manual directo de un operario y se realizan habitualmente a través de una máquina o robot de soldadura con numerosos parámetros a controlar (voltaje de aceleración, intensidad del haz, intensidad de la lente, velocidad de soldeo), así como el control dimensional y de posicionamiento de la pieza a soldar y la estabilidad de la posición del punto de focalización del haz de electrones.

La serie de normas son las siguientes:

1) 14744-1 (2008): Principios y condiciones de aceptación

En esta norma quedan recogidos los requisitos metrológicos para la fuente de corriente para las máquinas de soldeo por haz de electrones, la cual debe ser un sistema de red de distribución eléctrica con fluctuaciones de voltaje que no excedan el $\pm 10\%$.

2) 14744-2 (2000): Medida de las características de la tensión de aceleración

El objeto de la medida es verificar si las variaciones de la tensión de aceleración están comprendidas dentro de los límites especificados, definiéndose la “tensión de aceleración” como la diferencia en el potencial eléctrico entre el cátodo y el ánodo del generador del haz en el cañón de electrones.

3) 14744-3 (2000): Medida de las características de la intensidad del haz

El objeto de la medida es verificar si las variaciones de la intensidad del haz están comprendidas dentro de los límites especificados. Se define la “intensidad del haz” como la intensidad producida por la suma de los electrones acelerados antes de su impacto sobre la pieza a soldar, medida a una distancia que corresponde aproximadamente a la distancia de trabajo.

4) 14744-4 (2000): Medida de la velocidad de soldeo

El objeto de esta medida está asociado a que el conjunto a soldar o el punto donde se realiza la soldadura debe desplazarse a una velocidad uniforme, de manera reproducible, a corto y largo plazo, dentro de los límites especificados.

5) 14744-5 (2000): Medida de la precisión geométrica

El soldeo por haz de electrones implica el desplazamiento de la pieza a soldar o del cañón de electrones. Este desplazamiento lo efectúan los correspondientes dispositivos (por ejemplo una mesa de trabajo o un plato giratorio) con un grado de precisión alto. Se define la “precisión geométrica” como la desviación máxima medida en el espacio de trabajo utilizado para soldar en ángulos rectos con respecto a la dirección de desplazamiento en las direcciones X, Y, Z, o en caso de rotación de la pieza a soldar, es la definida por la desviación axial y radial.

6) 14744-6 (2000): Medida de la estabilidad de la posición del punto de focalización

Se define la “posición del punto de focalización” como la posición geométrica del impacto del haz de electrones sobre la superficie de la pieza a soldar (punto donde se efectúa la soldadura) con respecto a un sistema de coordenadas perpendiculares al eje del haz. Es un parámetro importante en las operaciones de soldeo de larga duración y para el soldeo por haz de electrones utilizando dispositivos de posicionamiento automático de la pieza a soldar.

7. UNE-EN ISO 15616-1 a 15616-3: Ensayos de aceptación para máquinas de haz láser de CO₂ para soldeo y corte de alta calidad.

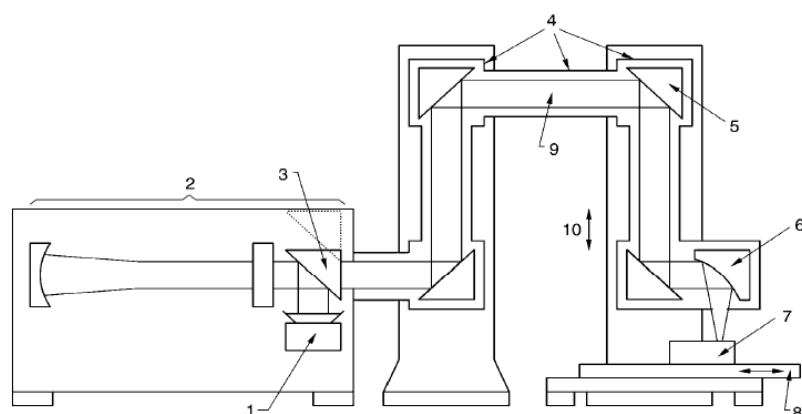
La serie de normas **UNE-EN ISO 15616-1 a 15616-3** establecen los ensayos de aceptación de las máquinas de haz de láser de CO₂ para producir uniones soldadas y cortes de calidad uniforme. La serie de normas son las siguientes:

15616-1 (2003): Principios generales, condiciones de aceptación.

15616-2 (2003): Medición de la precisión estática y dinámica.

15616-3 (2003): Calibración de los instrumentos para la medición de la presión y el caudal de gas.

1) 15616-1 (2003): Principios generales, condiciones de aceptación: Esta parte de la norma es aplicable a máquinas de soldeo y corte por haz láser de CO₂ que operan en dos direcciones. Se muestra a continuación un esquema de una máquina de haz láser de CO₂ típica:



Leyenda

- | | |
|-----------------------------|---|
| 1 Absorbente | 6 Cabezal de enfoque |
| 2 Láser | 7 Pieza |
| 3 Obturador | 8 Mesa de trabajo |
| 4 Sistema de guiado del haz | 9 Haz láser |
| 5 Óptica de acodamiento | 10 Movimiento en la dirección del eje Z |

Figura 1. Vista esquemática de una máquina de soldadura por haz láser de CO₂

La fuente de energía debe ser un sistema eléctrico principal con fluctuaciones de voltaje que no excedan del $\pm 10\%$.

Los parámetros a controlar y desviaciones límite establecidos para estas máquinas, son los que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 1. Parámetros a controlar y desviaciones límite

Especificación	Desviación límite
Potencia máxima del haz láser	+ 5% a - 2%
Potencia mínima del haz láser	+ 10% a - 3%
Estabilidad a medio plazo	$\pm 5\%$
Estabilidad a largo plazo	$\pm 2\%$
Repetibilidad	$\pm 2\%$
Pérdidas de potencia del haz	... ^a
Potencia pulsada o modulada del haz	$\pm 5\%$
Diámetro del haz (haz encerrado)	... ^a
Diámetro del haz en recorrido libre	$\pm 15\%$ a $\pm 5\%$
Estabilidad posicional del haz	... ^a
Factor de propagación del haz	K medido $\geq$ valor especificado
Diámetro de la cintura del haz láser (haz focalizado)	$\pm 0,1 \text{ mm}$
Posición de la cintura del haz (haz focalizado)	... ^a
Velocidad de soldadura/corte	
Estabilidad a corto plazo, velocidad: $v_{\text{máx}}$	$\pm 2\%$
Estabilidad a corto plazo, velocidad: $0,1 v_{\text{máx}}$	$\pm 5\%$
Repetibilidad	$\pm 1\%$
Gas de asistencia	
Caudal de gas	$\pm 10\%$
Presión de gas	$\pm 10\%$

^a Sin límites, sin embargo los valores medidos deben registrarse en el certificado de ensayo.

Respecto a la precisión del posicionamiento, los valores límite se establecen en la siguiente tabla:

Tabla 2. Niveles de precisión

Niveles de precisión	A	B	C	D
Valor medio de inversión [mm], véase la Norma ISO 230-2	0,02	0,04	0,06	0,1
Repetibilidad de posicionamiento [mm]				
unidireccional	0,01	0,01	0,02	0,2
bidireccional	0,02	0,04	0,06	0,4
Precisión de posicionamiento [mm/m]	0,05	0,1	0,2	0,4

Respecto a la exactitud de la trayectoria, los valores límite se establecen en la siguiente tabla:

Tabla 3. Exactitud de la trayectoria

Niveles	A	B	C	D
Máximo valor de cuatro mediciones				
Cuadrado:				
Error en el redondeo f_a y error en rebose f_o [mm]	0,1	0,2	0,5	1,0
Círculo:				
Error en circularidad t [mm]	0,05	0,1	0,25	0,5
Chañán a 45°:				
Error en reversibilidad r [mm]	0,05	0,1	0,25	0,5

Siendo:

A: Procesamiento especial de alta precisión.

B: Procesamiento de alta calidad.

C: Procesamiento normal.

D: Instalaciones de grandes dimensiones con fuentes móviles del haz láser para aplicaciones de industria pesada.

2) 15616-2 (2003): Medición de la precisión estática y dinámica: La pieza de trabajo y/o la óptica se mueven durante la operación del haz láser. El movimiento de la pieza y/o la óptica requiere, para lograr resultados reproducibles, una cierta precisión del sistema de movimiento, por ejemplo la mesa de trabajo móvil, el portapiezas giratorio, la óptica láser móvil. Los parámetros a controlar serían los siguientes:

- Precisión del sistema de manipulación: desviación máxima desde el camino deseado de la posición del foco (o punto de trabajo) medido perpendicularmente a la dirección de desplazamiento X, Y, Z o a la uniformidad y precisión de la rotación de portapiezas giratorio.
- Precisión del posicionamiento: la precisión y repetibilidad del posicionamiento del objeto en movimiento (pieza, ópticas, etc.) a lo largo del eje de rotación o traslación.
- Exactitud de la trayectoria: diferencia entre la trayectoria real del punto de referencia de la herramienta y la trayectoria deseada.

Las mediciones deben de realizarse con dispositivos de medida calibrados, tales como mecánicos, ópticos (dispositivo láser) o inductivos, adecuados, a todos los ejes móviles y en todas las direcciones de movimiento.

3) 15616-3 (2003): Calibración de los instrumentos para la medición de la presión y el caudal de gas: Esta parte de la norma es aplicable a las mediciones de los parámetros del gas. Durante la utilización

del láser, los gases y las mezclas de gases se utilizan como gases de asistencia para procesos de ensamblaje (soldeo) o como gases de corte para procesos de separación (corte). Para lograr resultados reproducibles, el gas de asistencia ha de suministrarse con una presión y con un caudal bien definidos y estables a largo plazo en el punto de trabajo. Por lo tanto, los parámetros a controlar son:

- Presión del gas: Se divide en 2 rangos (menor de 10 bar y mayor de 10 bar).
- Caudal de gas.

Las desviaciones límite para estos 2 parámetros son las que se especifican en la tabla de la norma 15616-1 ($\pm 10\%$).

Los aparatos de medida usados para calibrar estos 2 parámetros (presión y caudal de gas), deben de tener un error inferior al $\pm 2\%$ de la máxima lectura de su escala. Debe comprobarse también la ausencia de fugas. En el caso de la presión, deberían de utilizarse manómetros cuyo rango debería de ser 10/16 (rango de medición/máxima división de la escala) para presiones hasta 10 bar y 20/40 para presiones hasta 20 bar, situados lo más cerca posible del captador del instrumento de la máquina. Respecto a la medida del caudal, las mediciones deben llevarse a cabo con corrientes de gas fluyendo, pueden utilizarse caudalímetros como patrón de referencia, y las lecturas deben de tomarse después de 2 segundos y deben de registrarse durante 1 minuto sin interrupción.

TAREA 1.2. Análisis de MÉTODOS DE CALIBRACIÓN, verificación y validación de máquinas de soldadura.

Se ha revisado la normativa existente relativa a calibración, verificación y validación de equipos utilizados para el soldeo, con el objetivo de analizar las distintas técnicas de calibración propuestas y los requisitos de calibración establecidos en las mismas. Aquella que se ha identificado como más relevante es la siguiente:

1. UNE-EN ISO 17662 (2016): Calibración, verificación y validación del equipo utilizado para soldeo, incluyendo actividades auxiliares. Norma internacional bajo la responsabilidad del Comité ISO/TC, Soldadura y técnicas conexas, Subcomité SC 10: Gestión de la calidad en el campo de la soldadura.
2. EN 50504 (2008): Validación de los equipos de soldadura por arco (ratificada por AENOR en noviembre de 2008).
3. ISO/TR 18491 (2015): Soldadura y procesos conexos-guía para la medida de energías de soldadura.

A continuación se ha llevado a cabo un estudio en el que se han extraído los requisitos de calibración asociados a cada una de las normas referidas. A continuación se exponen los requisitos más significativos para cada una de las 3 normas estudiadas:

1. UNE-EN ISO 17662 (2016): Calibración, verificación y validación del equipo utilizado para soldeo, incluyendo actividades auxiliares

Esta norma internacional establece los requisitos para la calibración, verificación y validación de los equipos utilizados para el control de las variables del proceso durante la fabricación y control de las propiedades de los equipos utilizados para el soldeo y técnicas conexas.

Respecto a los términos de verificación y validación, la norma establece las siguientes definiciones:

- Verificación: Confirmación mediante la aportación de evidencia objetiva de que se han cumplido los requisitos especificados.

- Validación: Confirmación mediante el suministro de evidencia objetiva de que se han cumplido los requisitos para una utilización (por ejemplo especificación del cliente) o aplicación específica prevista (por ejemplo una norma de producto).

En ambos casos, la norma refiere a la aportación o suministro de evidencia objetiva. Con carácter general se entenderá que es la calibración del equipo quien aporta la evidencia objetiva de la corrección o el error que presenta el equipo, y por lo tanto, siempre que se exija verificación o validación, indirectamente se está exigiendo también una calibración del equipo.

Existe otro término “precisión de la medida” que la norma define de la siguiente manera:

- Precisión de la medida: grado de concordancia entre el valor medido y el valor real de una magnitud a medir.

Según el vocabulario internacional de metrología (VIM 2012), esta definición se corresponde con el término exactitud (con frecuencia el término precisión de medida se utiliza, erróneamente, en lugar de exactitud de medida). Por este motivo, en adelante, se utilizará el término correcto “exactitud de medida” en lugar de “precisión de medida”.

La norma establece además que los equipos de medición, inspección y ensayo utilizados para demostrar la conformidad del producto con los requisitos especificados, deberían de calibrarse, verificarse y validarse adecuadamente. Dichos equipos pueden ser instrumentos independientes o instrumentos incorporados en, por ejemplo, las fuentes de energía utilizadas para el soldeo. También establece que los equipos utilizados para el control general del proceso, pueden tener que calibrarse, verificarse o validarse (admite algunas excepciones en algunos casos de producción en masa, producción de series y piezas únicas o cuando no exista un requisito contractual o legal para la verificación o validación del proceso).

Respecto a la frecuencia de calibración, verificación o validación, la norma establece que se debe realizar una vez al año, salvo que se especifique otra circunstancia (recomendaciones del fabricante del instrumento, requisitos de usuario, o realizarse antes de poner el equipo en uso cuando existan indicaciones de que el instrumento no funciona adecuadamente, se aprecien daños, mal uso, o el equipo se haya reconstruido o reparado).

Se muestra a continuación un resumen de los procesos de soldeo más comunes, los equipos y magnitudes a calibrar y los requisitos metrológicos de la calibración (RMC) de los equipos. La norma exige calibraciones en las que se asegure la cadena de trazabilidad.

Se incluyen a continuación algunos ejemplos para distintos tipos de soldadura:

PROCESO: SOLDADURA POR GAS (GAS DE RESPALDO)

EQUIPO A CALIBRAR	MAGNITUD A CALIBRAR	RMC	OBSERVACIONES
Caudalímetros	Caudal de gas	$ C+U \leq \pm 20\%$	
Botella de gases utilizados	Pureza del gas (concentración de oxígeno)	$ C+U \leq \pm 25\%$	Gas calibrado al menos, en el rango de 10 a 30 ppm para argón y de 50 a 150 ppm para gas de mezcla

PROCESO: SOLDADURA POR GAS (GAS DE PROTECCIÓN)

EQUIPO A CALIBRAR	MAGNITUD A CALIBRAR	RMC	OBSERVACIONES
Caudalímetros	Caudal de gas	$ C+U \leq \pm 20\%$	

2. EN 50504 (2008): Validación de los equipos de soldadura por arco (ratificada por AENOR en noviembre de 2008).

Esta norma establece los requisitos y métodos para la validación de equipos de soldadura por arco, contruidos y utilizados de acuerdo a las especificaciones de la norma EN 60974-1.

Es aplicable a:

- a) Fuentes de potencia de soldadura por arco.
- b) Alimentadores de hilo.
- c) Instrumentación de soldeo.

Respecto a la frecuencia de calibración y validación, la norma establece realizarla 1 vez al año (para el equipo de soldeo de grado standard) y cada 3 meses para las pruebas de consistencia. En el caso de equipos de soldeo con grado de precisión, recomienda calibrarlos y validarlos al menos, cada 6 meses. Estas frecuencias de calibración y validación deben reducirse en caso de que exista alguna recomendación del fabricante o del usuario, o cuando existan motivos para pensar que el equipo pueda haberse deteriorado. En todo caso, la validación debe de realizarse siempre después de una reparación o cualquier manipulación que pueda afectar a los parámetros de medida.

La norma establece que los patrones y equipos utilizados para calibrar las máquinas de soldadura, dispongan de una calibración trazable a patrones nacionales, y pueden utilizarse amperímetros (para la intensidad) y voltímetros (para el voltaje). Para calibrar/validar la velocidad de alimentación del hilo, puede utilizarse un tacómetro o bien una regla y un cronómetro. También establece que deben de ser entre 2 y 5 veces más exactos que la exactitud requerida en función del grado de la fuente de potencia (standard o de precisión).

A menos que se establezca otra especificación, todos los medidores de fuente de potencia y controladores deben de validarse. Las fuentes de potencia se clasifican de la siguiente manera:

- a) Fuentes de potencia de corriente alterna (a.c.) con corriente constante.
- b) Fuentes de potencia de corriente continua (d.c.) con corriente constante.
- c) Fuentes de potencia de corriente continua (d.c.) con voltaje constante (la salida de una fuente de potencia a voltaje constante, no debe cortocircuitarse como de alta intensidad, se utilizará un resistor de carga).

Las fuentes de potencia pueden tener medidores analógicos o digitales. Lo habitual es tomar valores medios para instrumentos analógicos y valores r.m.s. (media cuadrática) para instrumentos digitales.

3. ISO/TR 18491 (2015): Soldadura y procesos conexos-guía para la medida de energías de soldadura.

La **norma ISO/TR 18491** establece una guía para la medida de los parámetros necesarios para calcular la energía del arco, en los procesos de soldadura por arco, en los que pueden producirse formas de onda complejas.

Las definiciones de los términos utilizados más relevantes son las siguientes:

- Energía del arco (E): producto del voltaje de soldeo por la corriente, dividido por la velocidad de soldeo.
- Energía instantánea (Ei): Energía de soldeo obtenida de la suma del producto de voltaje de soldeo por la corriente de soldeo, realizado a intervalos rápidos que capturen cambios repentinos en la forma de onda de la soldadura.
- Potencia instantánea (Pi): Potencia de soldeo obtenida de la media del producto de la corriente y el voltaje de las medidas realizadas a intervalos de tiempo rápido que capturen cambios repentinos en la forma de onda de la soldadura.

La Energía de arco (E), puede obtenerse a partir de las siguientes fórmulas:

$$E = \frac{U \times I}{v} \times 10^{-3} \quad (1) \qquad E = \frac{E_i}{L} \times 10^{-3} \quad (2) \qquad E = \frac{P_i}{v} \times 10^{-3} \quad (3)$$

Siendo:

E: Energía del arco (kJ/mm).

Ei: Energía instantánea (J).

Pi: Potencia instantánea (J/s).

U: Voltaje del arco (V).

I: Corriente de soldeo del arco (A).

v: Velocidad de soldeo (mm/s).

L: Longitud de la soldadura.

Para procesos de soldeo sin control de la forma de onda, pueden utilizarse cualquiera de las fórmulas (1), (2), (3) indistintamente. Para procesos con control de la forma de onda, deben utilizarse las fórmulas (2) o (3), ya que la fórmula (1) puede conllevar errores de hasta el 70%. Normalmente, las fuentes de potencia que se venden como programables o controladas con microprocesador suelen implicar procesos con control de la forma de onda. Para procesos de soldadura multi arco, la energía de arco debe de medirse para cada arco.

Los patrones a utilizar, pueden ser los siguientes: pinza amperimétrica, amperímetro, medidores de energía instantánea o de potencia, voltímetros, cronómetro, y medidores de longitud (reglas metálicas, cintas métricas).

La medición de los parámetros debe de realizarse de la siguiente forma:

VOLTAJE DEL ARCO:

Los valores de voltaje deben de medirse lo más próximos posible al arco, para minimizar los errores debidos a la caída del voltaje en los cables de soldadura (el voltaje se ve afectado por la sección del cable, longitud, y calidad de las conexiones eléctricas). La posición de los conectores utilizados debe de registrarse para poder reproducir las mediciones. La primera conexión debe de ir a la tierra de la pieza de trabajo y la segunda debe de conectarse según se indica en la siguiente tabla:

Proceso de soldadura de acuerdo a 4063	PROCESO DE SOLDADURA	Localización de la medida
11 (x)	Soldadura por arco metálico sin gas de protección (y todos los subgrupos)	Conectar dispositivo a la fuente de potencia
12 (x)	Soldadura por arco sumergido (y todos los subgrupos)	Conectar dispositivo a la cabeza de soldadura
13 (x)	Soldadura por arco metálico con protección de gas (y todos los subgrupos)	Conectar al alimentador de hilo
14 (x)	Soldadura por arco con protección de gas con electrodo no consumible de tungsteno (y todos los subgrupos)	Conectar dispositivo a la fuente de potencia
15 (x)	Soldadura por arco de plasma (y todos los subgrupos)	Conectar dispositivo a la fuente de potencia

CORRIENTE DE SOLDADURA:

Medir la corriente utilizando un Shunt o una pinza amperimétrica en una zona recta del cable de soldadura. La medida de la corriente debe de incluir todos los cables de conexión a tierra o cables de plomo, si hay la posibilidad de conexiones múltiples a tierra o de utilizar distintos cables de plomo. No es correcto medir la intensidad de corriente de uno de los cables y multiplicar por el número total de cables, o mezclar las medidas de cables de conexión a tierra con cables de plomo de intensidad de corriente.

Para mediciones de corrientes de arco de soldadura por valores inferiores a los recomendados para la pinza amperimétrica, el cable debe de enrollarse en la pinza, en cuyo caso, el valor medido debe de dividirse entre el número total de vueltas de enrollamiento.

ENERGÍA INSTANTÁNEA O POTENCIA INSTANTÁNEA:

Para la medida de la energía instantánea o de la potencia instantánea, debe de utilizarse la fuente de potencia del proceso de soldadura o un medidor externo que sea capaz de calcular y medir la energía o la potencia. Deben de realizarse un número de medidas suficientes para registrar cambios en la forma de onda de la soldadura (habitualmente una velocidad de muestreo de al menos 10 veces la frecuencia de la forma de onda).

Cuando se usen medidores externos, debe de procederse de la manera indicada en los apartados anteriores (voltaje del arco y corriente de soldadura).

VELOCIDAD DE SOLDEO Y LONGITUD:

Para determinar la velocidad de soldeo, se realiza un cordón de soldadura y se mide el tiempo transcurrido entre el comienzo del arco y la finalización del arco. Después se mide la longitud del cordón de soldadura y la velocidad se obtiene dividiendo la longitud del cordón entre el tiempo transcurrido entre el comienzo y la finalización del arco.

Para procesos de soldadura automática, la velocidad de soldeo también puede determinarse teniendo en cuenta el tiempo requerido para realizar un cordón de soldadura (sin que sea necesario realizar un cordón de soldadura) o utilizando otros medidores que lleve incorporado el equipo.

3.2 ANÁLISIS DE MÁQUINAS DE SOLDADURA (Hito 2)

TAREA 2.1. Análisis de magnitudes y especificaciones de máquinas de soldar.

Tomando como referencia a los principales fabricantes en el sector de máquinas de soldadura, se ha realizado un estudio de las tipologías de máquinas de soldadura presentes en el mercado, analizando los modelos disponibles, especificaciones de diseño y requisitos metrológicos (magnitudes y parámetros críticos, rangos de medida, tolerancias, exactitud, precisión, etc.).

Básicamente, los principales fabricantes agrupan sus máquinas de soldar según tres categorías fundamentales dependientes del tipo de soldadura utilizado, que se describen a continuación:

- SOLDADURA POR ARCO: MIG (metal inert gas)/MAG (metal active gas) (fundamentalmente dentro grupo 135 GMAW, según la norma UNE-EN ISO 4063).

El soldeo por arco eléctrico con protección de gas, es un proceso de soldeo en el cual el calor necesario es generado por un arco que se establece entre un electrodo consumible y el metal que se va a soldar. Un alambre macizo, desnudo, que se alimenta de forma continua automáticamente y se convierte en el metal depositado según se consume, realiza la función de electrodo. El electrodo, arco, metal fundido y zonas adyacentes de metal base, quedan protegidas de la contaminación de los gases atmosféricos mediante una corriente de gas que se aporta por la tobera de la pistola, de manera concéntrica al alambre o electrodo.

Es un proceso que se puede utilizar para el soldeo de todos los materiales (aceros al carbono, aceros inoxidables, aluminio, etc.). El electrodo es continuo, lo que aumenta la productividad por no tener que cambiar de electrodo y la tasa de deposición es elevada. Se pueden conseguir velocidades de soldeo mucho más elevadas que con electrodos revestidos. Permite realizar soldaduras largas, sin empalmes entre cordones y no se requiere eliminar escoria.

Los equipos MIG/MAG disponen de una fuente de potencia que deberá de ser capaz de suministrar la energía necesaria para funcionar a elevadas intensidad y suministrar corriente de forma continua y constante, y de un sistema para variar la velocidad de avance del alambre, así como de una válvula para regular el paso del gas. Cuentan además con una pinza de masa y su correcta conexión es de vital importancia, ya que un cable mal sujeto no proporcionará un contacto eléctrico consistente y la conexión se calentará, pudiendo producirse una interrupción en el circuito y la desaparición del arco.

Todos estos parámetros están relacionados, ya que por ejemplo la velocidad del hilo tiene que ser acorde con la intensidad de la corriente de soldadura, de manera que el alambre se funda homogéneamente; si se varía la potencia de soldadura para adaptarla a un nuevo material o a una nueva medida de alambre, se debe al mismo tiempo modificar la velocidad del hilo.

En cuanto a los gases de protección, el objetivo fundamental es proteger al metal fundido de la contaminación por la atmósfera circundante. Muchos otros factores afectan a la elección del gas de protección (por ejemplo el material a soldar, el modo de transferencia de metal de aportación, penetración y forma del cordón, velocidad de soldeo, etc.). Generalmente, los gases más utilizados son los indicados en la siguiente tabla:

Material	Gas de protección
Acero	Argón 85% + CO ₂ 15%
Acero inoxidable	Argón 98% + CO ₂ 2%
Aluminio	Argón 100%

El caudal de gas a utilizar dependerá de las condiciones de trabajo, pero por lo general, puede calcularse en base a 10 veces el diámetro del hilo (por ejemplo un hilo de 0.8 mm de diámetro requeriría un caudal de 8 L/min).

- SOLDADURA POR ARCO: TIG (electrodo de tungsteno y gas inerte);(fundamentalmente dentro grupo 141 GTAW/TIG, según la norma UNE-EN ISO 4063).

El proceso de soldadura por arco bajo la protección de gas con electrodo (no consumible), también llamado TIG (Tungsten Inert Gas), usa un arco eléctrico como fuente de energía que se establece entre el electrodo no consumible y la pieza a soldar con la envoltura protectora del gas inerte. Cuando se usa material de relleno, éste se proporciona mediante el uso de varillas, de la misma forma que en la soldadura oxiacetileno.

Durante el proceso, la antorcha TIG debe de estar conectada al polo negativo y la pinza de masa al polo positivo.

El proceso TIG se puede utilizar para la soldadura de todos los materiales, incluidos el aluminio, el magnesio y los materiales sensibles a la oxidación como el titanio. El proceso TIG puede utilizarse tanto con corriente continua (DC) como con corriente alterna (AC): la elección de la clase de corriente se hará en función del material a soldar.

En el proceso de soldeo TIG con corriente continua (DC), se utiliza mayoritariamente para el soldeo de acero y acero inoxidable. En el proceso de soldeo TIG con corriente alterna (AC), se utiliza mayoritariamente para soldar materiales como aluminio y titanio.

El equipo básico para el soldeo TIG consiste en una fuente de potencia que suministra la energía, una antorcha TIG equipada con un electrodo de tungsteno no consumible, una pinza de masa y una botella de gas inerte (mayoritariamente Argón 100%). La antorcha TIG tiene la misión de conducir la corriente y el gas de protección hasta la zona de soldeo. El electrodo de tungsteno que transporta y mantiene la corriente hasta la zona de soldeo se sujeta rígidamente mediante una pinza alojada en el cuerpo porta-electrodos. El gas de protección llega hasta la zona de soldeo a través de una tobera de material cerámico, sujeta a la cabeza del porta-electrodos. La tobera tiene la misión de dirigir y distribuir el gas protector sobre la zona de soldeo. La pinza de masa es de vital importancia, ya que un cable mal sujeto no proporcionará un contacto eléctrico consistente y la conexión se calentará, pudiendo producirse la interrupción en el circuito y la desaparición del arco.

Los electrodos normalmente utilizados son de tungsteno con torio. A título orientativo, las intensidades de soldadura deberían de ser las siguientes:

Diámetro del electrodo	Corriente de soldadura
1,6 mm	3-35 A
2,0 mm	30-100 A
2,4 mm	100-160 A

- SOLDADURA POR ARCO CON ELECTRODO: (fundamentalmente dentro grupo 111 SMAW, según la norma UNE-EN ISO 4063).

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

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

Es un proceso aplicable a aceros al carbono, aceros aleados, aceros inoxidables, funciones y metales no féreos como aluminio, cobre, níquel y sus aleaciones. Los sectores de mayor aplicación son la construcción, montajes, mantenimientos industriales, trabajos de campo y usos particulares.

El soldeo por arco con electrodos revestidos puede realizarse tanto en corriente alterna (AC) como en corriente continua (DC). La elección del tipo de corriente dependerá del tipo de equipo disponible, del electrodo a utilizar y del material a ser soldado.

En el caso de soldadura con corriente continua (DC), las conexiones deben de realizarse de la siguiente manera:

- Polaridad inversa: pinza porta-electrodos conectada al polo positivo y pinza de masa al negativo.
- Polaridad directa: pinza porta-electrodos conectada al polo negativo y pinza de masa al positivo.

La utilización de una u otra opción dependerá de las especificaciones técnicas de cada tipo de electrodo (los electrodos tipo “rutilo” son los más comúnmente utilizados, y pueden usarse tanto en corriente alterna (AC) como en corriente continua (DC); otro tipo de electrodos básicos y especiales (inoxidable, fundido, aluminio, etc.) normalmente precisan de corriente continua (DC); la polaridad dependerá de las características de cada electrodo).

El equipo de soldadura que se utiliza consta fundamentalmente de una fuente de potencia que suministra la energía para que el electrodo se funda correcta y homogéneamente:

- Transformadores: modifican los parámetros de la red (voltaje e intensidad), pero continua suministrando corriente alterna (AC).
- Rectificadores: consumen corriente alterna y a la vez modifican los parámetros de red (voltaje e intensidad) y también rectifican la corriente que pasa de corriente alterna (AC) a corriente continua (DC).

La pinza porta-electrodos tiene la misión de conducir la electricidad al electrodo. Para evitar sobrecalentamientos en las mordazas, estas deben de mantenerse en perfecto estado (un sobrecalentamiento se traduciría en una disminución de la calidad y dificultaría la ejecución del soldeo). Se debe seleccionar siempre el porta-electrodos en función del electrodo a utilizar y la intensidad de soldadura.

La pinza de masa es de vital importancia, ya que un cable mal sujeto no proporcionará un contacto eléctrico consistente y la conexión se calentará, pudiendo producirse la interrupción en el circuito y la desaparición del arco.

Uno de los elementos fundamentales en este proceso es el electrodo, que establece el arco, protege el baño de fusión, y al consumirse, produce la aportación de material que, unido al material fundido del metal base, va a constituir la soldadura. Los electrodos tienen diámetros normalizados, siendo los mas comunes los de 1,6 mm, 2 mm, 2,5 mm, 3,25 mm, 4 mm y 5 mm, y las longitudes más comunes son de 150mm, 200 mm, 250 mm, 300 mm, 350 mm y 450 mm. En general, se deberá seleccionar el mayor diámetro posible que asegure los requisitos de aporte térmico y que permita su fácil utilización, en función de la posición, el espesor del material y el tipo de unión. Por lo general, las intensidades de soldadura recomendadas en función del diámetro del electrodo serían:

Diámetro del electrodo	Corriente de soldadura
1,6 mm	40-60 A
2,0 mm	60-80 A
2,5 mm	70-90 A
3,25 mm	90-130 A
4,0 mm	130-160 A

Los tipos de electros más frecuentes son los siguientes:

- Rutilo: La escoria, compuesto por óxido de titanio, es muy densa y viscosa. Estos electrodos son de fácil cebado y manejo del arco, fusión suave, cordón de soldadura muy regular. Se trata del electrodo más comúnmente utilizado, y se utiliza sobre todo para soldar acero.
- Básicos: La escoria es densa, de aspecto brillante y no muy abundante. El metal de soldadura es muy resistente a las fisuras. Es muy utilizado para grandes espesores y estructuras rígidas. Se recomienda utilizar equipos de corriente continua (DC).
- Celulósicos: La escoria está formada por sustancias orgánicas que generan gran cantidad de gases. Estos gases proporcionan un gran recubrimiento al baño de fusión, proporcionando gran penetración al proceso. Normalmente precisan corriente continua y polaridad directa.
- Ácidos: son electrodos de velocidad de fusión elevada y de gran penetración. Se utilizan con metales base con buena soldabilidad, contenidos muy bajos de azufre, fósforo y carbono.

Las empresas en el campo de la soldadura de materiales referentes y que han sido tenidas en cuenta para el presente estudio han sido:

- LORCH
- SOLTER
- MILLER
- LINCOLN ELECTRIC

Los resultados de este estudio, en función de las tipologías de técnicas de soldadura, se muestran a continuación.

MÁQUINAS DE SOLDADURA LORCH

A) SOLDADURA POR ARCO: MIG/MAG

Dentro de la categoría de soldadura por arco MIG/MAG, existen diferentes modelos que permiten soldar tanto con gas mixto de argón y CO₂, como con CO₂ puro. En concreto, los equipos de esta casa para este tipo de soldadura son:

- S Pulse XT
- S SpeedPulse XT
- MicroMIG-Serie
- P-Serie
- M-Pro-Serie
- M-Serie
- MX-Serie

A modo de ejemplo se incluyen las especificaciones técnicas del primero de ellos:

Datos técnicos: S Pulse XT

	S3 Pulse XT	S3 mobil Pulse XT	S5 Pulse XT	S8 Pulse XT
MIG-MAG				
rango de soldadura (en A)	25-320	25-320	25-400	25-500
ajuste de tensión	continuo	continuo	continuo	continuo
Ciclo de rendimiento				
CR 100% 40°C (en A)	250	250	320	400
CR 60% 40°C (en A)	280	280	350	500
CR para corriente máx. 40°C (en %)	40%	40%	50%	60%
Avance e hilo				
unidad de avance	4 rodillos (2 accionados)	4 rodillos (2 accionados)	4 rodillos (2 accionados)	4 rodillos (2 accionados)
hilos utilizables de acero (en mm)	0,6-1,2	0,6-1,2	0,6-1,6	0,6-1,6
hilos utilizables de aluminio (en mm)	1,0-1,2	1,0-1,2	1,0-1,6	1,0-2,4
Alimentación				
tensión de red (en V)	400	400	400	400
fases (50/60Hz)	3~	3~	3~	3~
tolerancia positiva de red (en %)	15%	15%	15%	15%
tolerancia negativa de red (en %)	15%	15%	15%	15%
fusible principal (en A)	16	16	32	35
enchufe de red	CEE 16	CEE 16	CEE 32	CEE 32
Medidas y pesos				
medidas (LxAnxAl) (en mm)	---	812x340x518	---	---
medidas fuente de corriente (LxAnxAl) versión A (en mm)	1116x463x812	---	1116x463x812	1116x463x812
medidas fuente de corriente (LxAnxAl) versión B (en mm)	1116x445x855	---	1116x445x855	1116x445x855
peso (en kg)	---	34	---	---
peso fuente de corriente versión A refrigerado por gas (en kg)	92,8	---	97,3	107,3
peso maleta de avance (versión taller) (en kg)	20,2	---	20,2	20,2

Tras la evaluación del cuadro de especificaciones de los equipos referidos como requisitos metrológicos se extrae como magnitud fundamental a tener en cuenta la intensidad de corriente de soldadura, en el rango entre 10 y 550 A. No obstante, el fabricante declara que son equipos fabricados de acuerdo a la norma EN 60974-01 “Equipos de soldadura eléctrica por arco: Fuentes de potencia para soldadura”, por lo que el resto de requisitos metrológicos y magnitudes, se definirán de acuerdo a lo establecido en la citada norma, factor a tener en cuenta en todos sus equipos.

B) SOLDADURA POR ARCO: TIG

Dentro de la categoría de soldadura por arco TIG, existen diferentes modelos que permiten soldar con electrodo de tungsteno y gas para proteger al electrodo y al cordón de soldadura de la oxidación. En este caso los equipos evaluados han sido:

- HandyTIG-Serie
- T-Serie
- T-Pro-Serie
- V-Serie

A modo de ejemplo se incluyen las especificaciones técnicas del primero de ellos:

Datos técnicos: HandyTIG-Serie

	Handy 180	HandyTIG 180	HandyTIG 200
TIG			
rango de soldadura (en A)	5-180	3-180	3-200
ajuste de corriente	continuo	continuo	continuo
Electrodo			
electrodos utilizables (mm)	1,5-3,25	1,5-4,0	1,5-4,0
Ciclo de rendimiento TIG DC			
CR 100% (en A) - DC	115	130	160
CR 60% (en A) - DC	135	150	180
CR con corriente máx. (en %) - DC	40%	30%	45%
Alimentación			
tensión de red (en V)	230	230	230
fases (50/60Hz)	1~	1~	1~
tolerancia positiva de red (en %)	15%	15%	15%
tolerancia negativa de red (en %)	25%	25%	25%
fusible principal (en A)	16	16	16
enchufe de red	Schuko	Schuko	Schuko
Medidas y pesos			
medidas (LxAnxAI) (en mm)	337x130x211	337x130x211 / 480x185x326	480x185x326
peso (en kg)	5,7	6,5/13,3	13,4
Normas y autorizaciones			
norma	EN 60974-01	EN 60974-01	EN 60974-01
clase de protección (EN 60529)	IP23S	IP23S	IP23S
clase de aislamiento	F	F	F
indicación	CE, S	CE, S	CE, S
Ciclo de rendimiento TIG AC (sólo equipos AC)			
CR 100% (en A) - AC	130	160	
CR 60% (en A) - AC	150	180	
CR con corriente máx. (en %) - AC	35%	45%	

Tras la evaluación del cuadro de especificaciones de los equipos referidos como requisitos metrológicos se extrae como magnitud fundamental a tener en cuenta la intensidad de corriente de soldadura, en el rango entre 3 y 500 A.

C) SOLDADURA POR ARCO CON ELECTRODO:

Dentro de esta categoría de soldadura por arco con electrodo, existen diferentes modelos adecuados a la soldadura con electrodos básicos, de rutilo y especiales. En este caso los equipos evaluados han sido:

- MicroStick & Akku-Technologie
- X-Serie

A modo de ejemplo se incluyen las especificaciones técnicas del primero de ellos:

Datos técnicos: MicorStick & Akku-Technologie

	MicorStick 160	MicorStick 200
Electrodo		
rango de soldadura (en A)	10-150/160	10-200
ajuste de corriente	continuo	continuo
electrodos utilizables (mm)	1,5 - 4,0	1,5-5,0
Ciclo de rendimiento		
CR 100% (en A)	110	130
CR 60% (en A)	120	150
CR para corriente máx. (en %)	30%	30%
Alimentación		
tensión de red (en V)	230	400
fases (50/60Hz)	1~	3~
tolerancia positiva de red (en %)	15%	15%
tolerancia negativa de red (en %)	40%	25%
fusible principal (en A)	16	16
enchufe de red	Schuko	CEE 16
Medidas y pesos		
medidas (LxAnxAl) (en mm)	340x130x215	340x130x215
peso (en kg)	4,9	5,8
Normas y autorizaciones		
norma	EN 60974-01	EN 60974-01
clase de protección (EN 60529)	IP23S	IP23S
clase de aislamiento	F	F
indicación	CE, S	CE, S

Tras la evaluación del cuadro de especificaciones de los equipos referidos como requisitos metrológicos se extrae como magnitud fundamental a tener en cuenta la intensidad de corriente de soldadura, en el rango entre 10 y 350 A.

MÁQUINAS DE SOLDADURA SOLTER

A) SOLDADURA POR ARCO: MIG/MAG

Dentro de la categoría de soldadura por arco MIG/MAG, este fabricante comercializa los siguientes modelos:

- SOLMIG: 160, 165 Y 180
- AEROMIG 310
- AEROPROCESS: 2000, 3200 y 3220DV
- AEROPROCESS 4200

A modo de ejemplo se incluyen las especificaciones técnicas del primero de ellos:

Características técnicas
Technical Characteristics

		SOLMIG 160 GAS/NO GAS	SOLMIG 165 GAS/NO GAS	SOLMIG 180
Rango de regulación Regulation		20-150A	20-160A	30-180A
Rendimiento Duty cycle	40°C 20°C	15% 25%	20% 30%	15% 25%
Hilo utilizable Usable wire		0,6 - 1,0 mm	0,6 - 1,0 mm	0,6 - 1,0 mm
Intensidad soldadura Welding intensity		105A	115A	155A
Intensidad a (40°C) Intensity by (40°C)	60% 100%	65A 45A	70A 45A	85A 60A
Conexión / Connection		230V - 1ph (+/- 20%)	230V - 1ph (+/- 20%)	230V - 1ph (+/- 20%)
Potencia absorbida max. Max. absorbed power		5,6kva	5,6kva	5,6kva
Fusible / Fuse		16A	16A	16A
Voltaje en vacío Open circuit voltage		35V	32V	30V
Rodillos arrastre Rolls		2R	2R	2R
Velocidad de hilo Wire speed		0....12m/min	0....12m/min	0....14m/min
Bobina hilo utilizable max. Usable wire reel		D200 - 5 kg	D200 - 5 kg	D300 - 15 kg
Puntos de regulación Regulation points		4	4	6
Ventilación Ventilation		Ventilador simple / Ventilation simple	Ventilador simple / Ventilation simple	Ventilador simple / Ventilation simple
Índice de protección Protection index		IP 21S	IP 21S	IP 21S
Dimensiones / Dimensions		415x245x310 mm	620x260x520 mm	780x330x600 mm
Peso / Weight		22 kg	30 kg	48 kg
Normas / Standards			EN90791-1, EN60974-10	
REF		54002	54003	54004

SOLMIG

Tras la evaluación del cuadro de especificaciones de los equipos referidos como requisitos metrológicos se extrae como magnitudes fundamentales a tener en cuenta la intensidad de corriente de soldadura en el rango entre 20 y 320 A, potencia absorbida máxima hasta 23 kVA, voltaje en vacío entre 22 y 70 V, y velocidad de hilo hasta 25 m/min. No obstante, el fabricante declara que son equipos fabricados de acuerdo a la norma **EN 60974 "Equipos de soldadura eléctrica por arco"**, por lo que el resto de requisitos metrológicos y magnitudes, se definirán de acuerdo a lo establecido en las citadas normas, como para el caso anterior de aplicación para todos sus equipos.

B) SOLDADURA POR ARCO: TIG

Dentro de la categoría de soldadura por arco TIG este fabricante comercializa los siguientes modelos:

- Inverter ICON TIG: 1880HF y 1990 HF PULSE
- Inverter ICON TIG PRO: 2220 HF Pulse y 2260 HF PFC
- AEROTIG DC: 3320 DC y 4320DC
- AEROTIG AC/DC: 2330, 4330 y 4330MV

A modo de ejemplo se incluyen las especificaciones técnicas del primero de ellos:

Características técnicas Technical Characteristics



		ICONTIG 1880 HF	ICONTIG 1990 HF PULSE
Intensidad soldadura TIG Welding intensity TIG		180A	180A
Rendimiento TIG Duty cycle TIG	40°C	50%	50%
	20°C	75%	75%
Electrodos utilizables TIG Usable electrodes TIG		1,0 - 2,4 mm	1,0 - 2,4 mm
Intensidad soldadura MMA Welding intensity MMA		160A	160A
Rendimiento MMA Duty cycle MMA	40°C	45%	45%
	20°C	70%	70%
Electrodos utilizables MMA Usable electrodes MMA		1,6 - 4,00 mm	1,6 - 4,00 mm
Rango de regulación TIG Regulation range TIG		10-180A (10,4 - 17,2V)	10-180A (10,4 - 17,2 V)
Intensidad a (40°C) Intensity by (40°C)	60%	140A	140A
	100%	110A	110A
Rango de regulación MMA Regulation range MMA		10-160A (20,4-26,4)	10 - 160A (20,4 - 26,4 V)
Intensidad a (40°C) Intensity by (40°C)	60%	130A	130A
	100%	100A	100A
Conexión / Connection		230V-1ph	230V-1ph
Voltajes Voltage		120V - 310V	120V - 310V
Potencia absorbida max. Max. absorbed power		6,5KVA	6,5KVA
Fusible mín. recomendado / Minimum fuse recommended		16A	16A
Frecuencia de pulsado / Pulsed frequency		Max.: 500 Hz	Max.: 500 Hz
Voltaje en vacío / Open circuit voltage		80V	80V
Panel frontal / Front panel		iCONTIG "basic"	iCONTIG "pulse"
Ventilación / Ventilation		Doble / Double AUTO	Doble / Double AUTO
Índice de protección / Protection index		IP23C	IP23C
Dimensiones / Dimensions		320x135x285 mm	320x135x285 mm
Peso / Weight		4,9 kg	4,9 kg
Normas / Standards		060974-1 , 060974-10	

Inverter ICON TIG

Tras la evaluación del cuadro de especificaciones de los equipos referidos como requisitos metrológicos se extrae como magnitudes fundamentales a tener en cuenta la intensidad de corriente de soldadura hasta 420 A, potencia absorbida máxima hasta 20 kVA y voltaje en vacío hasta 72 V.

C) SOLDADURA POR ARCO CON ELECTRODO:

Dentro de esta categoría de soldadura por arco con electrodo este fabricante comercializa los siguientes modelos:

- Inverter TAPP: 1500E
- Inverter COTT: 135E, 145 y 155.
- Inverter COTT SD: 175SD/175E y 195SD/195E.
- Inverter STYL/PRO: 185DI/185E y 205DI/205E y 210E.
- Inverter ICON: 1850 y 1855.
- Inverter ICON PRO: 2055PRO, 2060PFC y 2070DIGICEL.
- Inverter ICO PFC Multivoltage
- AEROARC 320
- AERO ARC250: 4000 y 4000MV.

A modo de ejemplo se incluyen las especificaciones técnicas del primero de ellos:

Características técnicas Technical Characteristics

TAPP 1500E

Inverter TAPP

Intensidad soldadura MMA Welding intensity MMA		90A
Rendimiento MMA Duty Cycle MMA	40°C	25%
	20°C	40%
Electrodos utilizables MMA Usable electrodes MMA		1,6 - 2,5 mm
Corriente de pico Peak current		100A
Rango de regulación MMA Regulation range MMA		10-90A (20,4 -23,6V)
Intensidad a (40°C) Intensity by (40°C)	60%	40A
	100%	20A
Conexión Connection		230V - 1ph
Rango de utilización Voltage range		180 - 270V
Voltaje en vacío Open circuit voltage		95V
Potencia absorbida max. Max. absorbed power		3,2Kva
	Imax	14A
	Ieff	6A
Fusible mínimo recomendado Minimum fuse recommended		10A
Panel regulación Regulation panel		Micro
Ventilación Ventilation		Ventilador simple Simple fan
Índice de protección Protection index		IP23C
Dimensiones / Dimensions		245x110x190 mm
Peso / Weight		1,9 kg
Normas / Standards		EN-60974-1, EN-60974-10

Tras la evaluación del cuadro de especificaciones de los equipos referidos como requisitos metrológicos se extrae como magnitudes fundamentales a tener en cuenta la intensidad de corriente de soldadura hasta 450 A, potencia absorbida máxima hasta 33 kVA y voltaje en vacío hasta 95 V.

MÁQUINAS DE SOLDADURA MILLER

A) SOLDADURA POR ARCO: MIG/MAG

Dentro de la categoría de soldadura por arco MIG/MAG, este fabricante comercializa los siguientes modelos:

- MIGMATIC 300
- BLU-PAK
- MIGMATIC 175

A modo de ejemplo se incluyen las especificaciones técnicas del primero de ellos:

Modelo	Salida Nominal	Max. OCV	Rango Amperaje	Entrada de Amps a salida nominal 230/380-400VAC	Tipos de hilo y diámetros	Velocidad de Alimentador	Dimensiones
Migmatic 300	300A/29VDC 35% F. M.	43,5VDC	30-300	35/20 Amps	Hilo Sólido: 0.6-1.2mm Aluminio: 0.8-1.2mm Flux Cored: 0.9-1.2mm	2.0-26m/min	An=471 Al= 825 Lar= 1066
Migmatic 380	350A/31,5VDC 35% F. M.	43 VDC	30-350	40/ 23 Amps	Hilo Sólido: 0.6-1.2mm Aluminio: 0.8-1.2mm Flux Cored: 0.9-1.2mm	2.0-26m/min	An=471 Al= 825 Lar= 1066

Tras la evaluación del cuadro de especificaciones de los equipos referidos como requisitos metrológicos se extrae como magnitudes fundamentales a tener en cuenta la intensidad de corriente de soldadura entre 30 y 350 A, voltaje hasta 47 V y velocidad de alimentación de hilo entre 1 y 28,2 m/min. No obstante, el fabricante declara que son equipos fabricados de acuerdo a la norma EN 60974 “Equipos de soldadura eléctrica por arco”, por lo que el resto de requisitos metrológicos y magnitudes, se definirán de acuerdo a lo establecido en las citadas normas. A considerar para el resto de equipamientos de esta casa.

B) SOLDADURA POR ARCO: TIG

Dentro de la categoría de soldadura por arco TIG este fabricante comercializa los siguientes modelos:

- Modelo Dynasty 210 DX
- Modelo Dynasty 800
- Modelo Maxstar 280 DX
- Modelo STH 270
- Modelo STH 160
- Modelo Dynasty 280 DX
- Modelo Dynasty 350

A modo de ejemplo se incluyen las especificaciones técnicas del primero de ellos:

Modo de soldadura	Alimentación	Rango de la corriente de soldadura	Salida nominal, ciclo de trabajo 60%	Fase	Entrada en A con la salida nominal, 50/60 Hz								Máximo voltaje de circuito abierto	Dimensiones	Peso neto
					120 V	208 V	240 V	400 V	480 V	KVA	KW				
TIG (GTAW)	208–480 V	2–210 A (CA) 1–210 A (CC)	210 A a 18,4 V	Trifásica	—	16	14	9	7	6,0	5,8	80 Vcc (11 Vcc*)	Alt.: 346 mm (13,6 pulg.) An.: 219 mm (8,6 pulg.) Prof.: 569 mm (22,5 pulg.)	22,7 kg (50 libras)	
				Monofásica	—	28	24	14	12	5,8	5,8				
	120 V	2–210 A (CA) 1–210 A (CC)	125 A a 15 V	Monofásica	28	—	—	—	—	3,2	3,1				
Conven- cional con electrodos (SMAW)	208–480 V	5–210 A	160 A a 26,4 V	Trifásica	—	17	15	9	7	6,1	5,8				
				Monofásica	—	29	25	15	12	6,0	6,0				
	120 V	5–100 A	90 A a 23,6 V	Monofásica	28	—	—	—	—	3,3	3,3				

* Detección de voltaje para electrodo con OCV bajo y TIG con Lift-Arc™.

Tras la evaluación del cuadro de especificaciones de los equipos referidos como requisitos metrológicos se extrae como magnitudes fundamentales a tener en cuenta la intensidad de corriente de soldadura hasta 700 A y voltaje en vacío hasta 80 V.

C) SOLDADURA POR ARCO CON ELECTRODO:

Dentro de esta categoría de soldadura por arco con electrodo este fabricante comercializa los siguientes modelos:

- Blue-Thunder series
- Gold Star series
- STI 203
- SI 160/STI160

A modo de ejemplo se incluyen las especificaciones técnicas del primero de ellos:

Modelo	Salida Nominal @ 35% Factor de Marcha	Max. OCV	Rango Amperaje	Entrada de Amps a salida nominal 220/380-400 VAC	Dimensiones (mm) Lar x An x Alt
253	220A/29VDC	59-66VDC	30- 220	36/ 21 Amps	980 x 410 x 650
343	320A/ 33VDC	56-68VDC	50- 320	55/ 32 Amps	980 x 410 x 650
403	400A/ 36VDC	66-73VDC	60- 400	73/ 42 Amps	980 x 410 x 650
443	420A/ 37VDC (@45%)	70-78VDC	60- 420	80/ 47 Amps	1150 x 520 x 730

Tras la evaluación del cuadro de especificaciones de los equipos referidos como requisitos metrológicos se extrae como magnitudes fundamentales a tener en cuenta la intensidad de corriente de soldadura hasta 850 A y voltaje en vacío hasta 78 V.

MÁQUINAS DE SOLDADURA LINCOLN ELECTRIC

D) SOLDADURA POR ARCO: MIG/MAG

Dentro de la categoría de soldadura por arco MIG/MAG, este fabricante comercializa diferentes modelos. Se han revisado las especificaciones técnicas de los siguientes modelos:

- HANDY CORE/MIG.
- POWERTEC 161C – 191C – 231C – 271 C.
- POWERTEC 205 C – 255C – 305C.
- POWERTEC 305 C PRO – 355C PRO– 425C PRO & Linc Feed 22M – 24M – 24M Pro.
- POWERTEC 305 S- 365S- 425S- 505S.
- CV425 – CV510.

A modo de ejemplo se incluyen las especificaciones técnicas de algunos de ellos:

Powertec® 305S – 365S – 425S – 505S & Linc Feed 22M – 24M – 24M Pro

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS POWERTEC®

Producto	Referencia	Tensión de red	Fusible (leno)	Peso (kg)	Dimensiones AxBxL (mm)	Clase Protección	Clase Aislamiento	Normas Aplicadas
Powertec® 305S	K14060-1	230/400V/3/50-60Hz	32/20A	94	770 x 457 x 930	IP23	H	EN 60974-1 EN 60974-10 ROHS CE
Powertec® 365S	K14061-1A	230/400V/3/50-60Hz	40/25A	141	875 x 700 x 1035			
	K14061-2A	220/380/440V/3/50-60Hz						
Powertec® 425S	K14062-1A	230/400V/3/50-60Hz	50/32A	151				
	K14062-2A	220/380/440V/3/50-60Hz						
Powertec® 505S	K14063-1A	230/400V/3/50-60Hz	63/40A	157				
	K14063-2A	220/380/440V/3/50-60Hz						

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS LINC FEED

Producto	Referencia	Rod. arrast.	Díam.Hilo (mm)	WFS (m/ min)	Peso (kg)	Dimensiones AxBxAL (mm)	Bum-back	Hilo/Gas Manual	Soldad. p/puntos	Veloc. Inicial	Medido-ree	Sinérgico		
LF22M	K14064-1	2	0.6-1.2	1.0-20.0	15	440 x 270 x 635	✓	✓	✓	✓	opcional			
LF24M	K14065-1W	4	0.6-1.6		17		✓	✓	✓	✓	✓			
LF24M PRO	K14066-1W						✓	✓	✓	✓	✓	✓		

CORRIENTE DE SALIDA

Producto	Rango Corriente (A)	Potencia de entrada	Factor Marcha (40°C)
Powertec® 305S	30-300	14.4 kVA @ 35%	300 A / 29 V / 35% 230 A / 25.2 V / 60%
Powertec® 365S	30-350	17.0 kVA @ 40%	350 A / 31.5 V / 40% 285 A / 28.2 V / 60%
Powertec® 425S	30-420	22.8 kVA @ 40%	420 A / 35 V / 40% 345 A / 31.3 V / 60%
Powertec® 505S	30-500	32.0 kVA @ 40%	500 A / 39 V / 40% 410 A / 34.5 V / 60%

TABLA DE SELECCIÓN



Figura 2. Especificaciones técnicas POWERTEC 305S- 365S- 425S- 505S

Tras la evaluación del cuadro de especificaciones de los equipos referidos, se extrae como requisitos metrológicos y magnitudes fundamentales a tener en cuenta la intensidad de corriente de soldadura en el rango entre 10 y 500 A voltaje en vacío hasta 47 V, y velocidad de hilo de 1 a 20 m/min. No obstante, el fabricante declara que son equipos fabricados de acuerdo a la norma **EN 60974 "Equipos de soldadura eléctrica por arco"**, por lo que el resto de requisitos metrológicos y magnitudes, se definirán de acuerdo a lo establecido en las citadas normas, factor a tener en cuenta en todos sus equipos.

E) SOLDADURA POR ARCO: TIG

Dentro de la categoría de soldadura por arco TIG, este fabricante comercializa diferentes modelos. Se han revisado las especificaciones técnicas de los siguientes modelos:

- INVERTEC 170 TX Y TPX, 220 TPX.
- INVERTEC V205-TP.
- V270-T Y T PULSE.
- 300 TPX Y 400 TPX.

A modo de ejemplo se incluyen las especificaciones técnicas de algunos de ellos:

Invertec® V205-TP

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Producto	Referencia	Tensión de red	Fusible	Peso (kg)	Dimensiones AlxAnxL (mm)	Clase de Aislamiento	Normas Aplicadas
V205-TP	K12021-1	230/400/1/50-60Hz	35/20A	14.1	385 x 215 x 480	IP23S / H	EN 50199 EN 60974-1 ROHS

COOL ARC® 20

Referencia	Caudal agua	Dimensiones AlxAnxL (mm)	Capacidad tanque	Peso (kg)
K12031-1	2,5 Litros/min.	180 x 210 x 480	1.7 L	8.3



SALIDA CORRIENTE SOLDADURA

Rango de Corriente (A)	Factor Marcha TIG AC (40°C)	Tensión en vacío
5-200	200A / 28 V@ 35% 170A / 26.8 V@ 100%	48Vdc

ACCESORIOS

Referencia	Descripción
K10095-1-15M	Amptrol manual 15m
K870	Amptrol pedal
KIT-200A-35-5M	Kit cable soldadura 5m
GRD-200-35-5M	Cable masa 5m
W0200002	Carro

Figura 3. Especificaciones técnicas INVERTEC V205-TP

Tras la evaluación del cuadro de especificaciones de los equipos referidos, se extrae como requisitos metrológicos y magnitudes fundamentales a tener en cuenta la intensidad de corriente de soldadura hasta 700 A y voltaje hasta 480 V. No obstante, el fabricante declara que son equipos fabricados de acuerdo a la norma **EN 60974 “Equipos de soldadura eléctrica por arco”**, por lo que el resto de requisitos metrológicos y magnitudes, se definirán de acuerdo a lo establecido en las citadas normas, factor a tener en cuenta en todos sus equipos.

A) SOLDADURA POR ARCO CON ELECTRODO:

Dentro de la categoría de soldadura por arco con electrodo, este fabricante comercializa diferentes modelos. Se han revisado las especificaciones técnicas de los siguientes modelos:

- INVERTEC 135S – 150S – 170 S (son compatibles también con TIG).
- INVERTEC 160 SX (son compatibles también con TIG).
- INVERTEC V205-S-2V (son compatibles también con TIG).
- INVERTER 270 SX – 400 SX (son compatibles también con TIG).
- LINC 405-S & -SA – LINC 635-S & -SA.
- LINC 406.
- HOT ROD 500 S.

A modo de ejemplo se incluyen las especificaciones técnicas de algunos de ellos:

Invertec® 135S – 150S – 170S

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Producto	Referencia	Tensión de red estándar	Fusible	Peso (kg)	Dimensiones AlxAnxL (mm)	Clase Protección	Clase Aislamiento	Normas aplicadas
135S	K12033-1 / K12033-1-P*	230 V 1Fs (± 15%) 50Hz	16A (slow)	4.6	224 x 148 x 315	IP21	H	EN 60974-1 ROHS CE
150S	K12034-1 / K12034-1-P*			6.7	244 x 148 x 365	IP23		
170S	K12035-1 / K12035-1-P*			7.0				

*P = Conjunto listo para soldar

CORRIENTE DE SALIDA

Producto	Rango	Factor Marcha (40°C)	Factor Marcha (20°C)
135S	10 - 120A	120A @ 25%	120A @ 50%
150S	10 - 140A	140A @ 30%	140A @ 55%
170S	10 - 160A	160A @ 35%	160A @ 80%

ACCESORIOS

Referencia	Descripción
KIT140A-16-3M	Kit cable 140A, 16mm ² , 3m
K10513-17-4VS	Antorcha TIG LT17 GV, 4m
K10513-17-4VS	Antorcha TIG LT17 GV, 8m

Figura 4. Especificaciones técnicas INVERTEC 135S-150S-170S

Tras la evaluación del cuadro de especificaciones de los equipos referidos, se extrae como requisitos metrológicos y magnitudes fundamentales a tener en cuenta la intensidad de corriente de soldadura hasta 670 A y voltaje en vacío hasta 80 V. No obstante, el fabricante declara que son equipos fabricados de acuerdo a la norma **EN 60974 “Equipos de soldadura eléctrica por arco”**, por lo que el resto de requisitos metrológicos y magnitudes, se definirán de acuerdo a lo establecido en las citadas normas, factor a tener en cuenta en todos sus equipos.

ROBOTS DE SOLDADURA

Las soluciones para automatizar completamente los procesos de soldeo, configurando robots de soldadura, pasan habitualmente por la integración de la máquina de soldeo con un robot que se encarga de desplazar normalmente la boquilla o pistola de soldadura sobre la pieza a soldar. Este desplazamiento se produce en las tres direcciones X, Y, Z, con un alto grado de exactitud y precisión geométrica.

Se han revisado las especificaciones técnicas de los robots de soldadura de los dos principales fabricantes:

- KUKA
- FANUC

A continuación se exponen los resultados más significativos de este estudio, realizado en la anualidad 2017.

ROBOTS DE SOLDADURA: FABRICANTE KUKA

Este fabricante comercializa fundamentalmente robots de soldadura por arco y soldadura láser. Dispone de diferentes modelos, con distintos alcances de brazo y distintas especificaciones. Se han estudiado las especificaciones técnicas de los siguientes modelos:

- Modelo KR 5 Arc.
- Modelo KR 5-2 Arc HW.
- Modelo KR 6-3.
- Modelo KR 16-3.

- Modelo KR 16-2S.
- Modelo KR 16 L6-3.
- Modelo KR 16-3 Arc HW.
- Modelo KR 16-3 L8 Arc HW.

A modo de ejemplo se incluyen las especificaciones técnicas del primero de ellos:

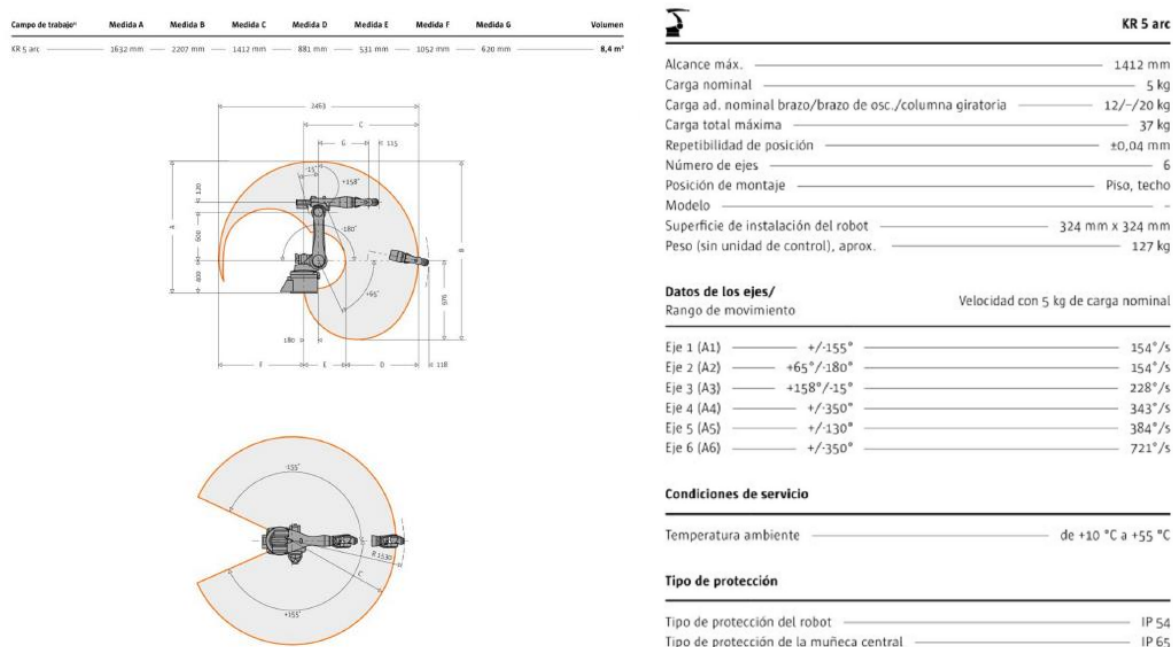


Figura 5. Especificaciones técnicas Modelo KR 16-2S

El resumen de las características metrológicas encontradas en las especificaciones del fabricante, se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 4. Características metrológicas

Modelo	Volumen de trabajo (m³)	Alcance máximo (mm)	Nº de ejes	Repetibilidad (mm)	Tª de trabajo (°C)
KR 5 ARC	8,4	1412	6	± 0,04	10 a 55
KR 5-2 ARC HW	9,8	1423	6	± 0,04	10 a 55
KR 6-3	14,5	1611	6	± 0,05	5 a 55
KR 16-3	14,5	1611	6	± 0,05	5 a 55
KR 16-2S	14,5	1611	6	± 0,05	5 a 55
KR 16 L6-3	24	1911	6	± 0,05	5 a 55
KR 16-3 ARC HW	15,44	1636	6	± 0,04	10 a 55
KR 16-3 L8 ARC HW	29,2	2016	6	± 0,04	10 a 55

ROBOTS DE SOLDADURA: FABRICANTE FANUC

Este fabricante comercializa fundamentalmente robots de soldadura por arco. Dispone de diferentes modelos, con distintos alcances de brazo y distintas especificaciones. Se han estudiado las especificaciones técnicas de los siguientes modelos:

- Modelo ARC MATE OIB.
- Modelo ARC MATE 100IC 7L.

- Modelo ARC MATE 100iC 12.
- Modelo ARC MATE 100iC 12 S.
- Modelo ARC MATE 120iC.
- Modelo ARC MATE 120iC 12L.
- Modelo ARC MATE 50iD.
- Modelo ARC MATE 50iD/7L.

A modo de ejemplo se incluyen las especificaciones técnicas del primero de ellos:

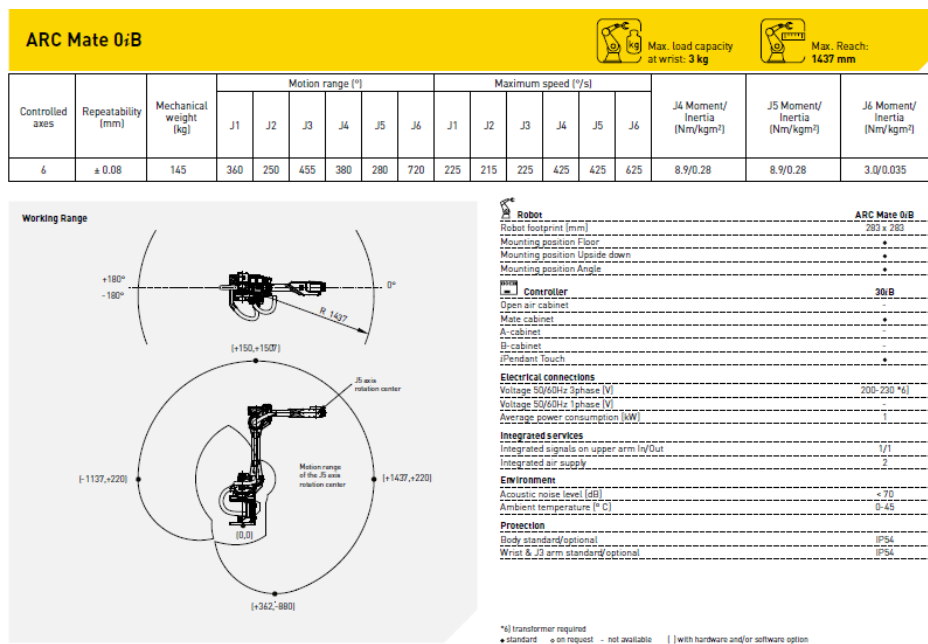


Figura 6. Especificaciones técnicas Modelo MATE OIB

El resumen de las características metrológicas encontradas en las especificaciones del fabricante, se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 5. Características metrológicas

Modelo	Alcance máximo (mm)	Nº de ejes	Repetibilidad (mm)	Tª de trabajo (°C)
ARC Mate OiB	1437	6	± 0,08	0 a 45
ARC Mate 100iC/7L	1633	6	± 0,08	0 a 45
ARC MATE 100iC 12	1420	6	± 0,08	0 a 45
ARC MATE 100iC 12S	1098	6	± 0,08	0 a 45
ARC Mate 120iC	1811	6	± 0,04	0 a 45
ARC Mate 120iC/12L	2009	6	± 0,08	0 a 45
ARC Mate 50iD	717	6	± 0,02	0 a 45
ARC Mate 50iD/7L	911	6	± 0,03	0 a 45

De la información recogida anteriormente, para los tres tipos de máquinas de soldadura más habituales (Soldadura por arco: MIG/MAG (grupo 135 GMAW), Soldadura por arco: TIG electrodo de tungsteno y gas inerte (grupo 141 GTAW/TIG), y Soldadura por arco con electrodo (grupo 111 SMAW), de varios de los principales fabricantes de máquinas de soldar, se extrae que las magnitudes y

parámetros fundamentales susceptibles de calibración, serían la Intensidad, el voltaje (voltaje y control de tensión de red), y velocidad de hilo. Los rangos máximos y mínimos para estas magnitudes, que sería necesario cubrir con patrones conveniente calibrados serían:

- Intensidad: Hasta 850 A.
- Voltaje en vacío: Hasta 95 V.
- Voltaje (tensión de alimentación): 80-480 V con tolerancias que oscilan entre $\pm 10\%$ y $\pm 40\%$.
- Velocidad del hilo: 0-28,2 m/min.

Para otras magnitudes y requisitos metrológicos (tolerancias, etc.) en las que los fabricantes no definen especificaciones, siempre declaran que los equipos han sido fabricados de acuerdo a la norma EN 60974 “Equipos de soldadura eléctrica por arco”, por lo que se tomará lo establecido en la mencionada norma, para todas las tipologías de máquinas de soldar analizadas.

Respecto a los **ROBOTS de soldadura**, se identifica claramente una magnitud importante adicional a las anteriormente relacionadas, como es el control de parámetros DIMENSIONALES (posicionamiento X,Y,Z de las piezas a soldar y de las trayectorias y ángulos descritos por el brazo del robot que guía el haz o corriente de soldadura que se aplica sobre la pieza).

3.3 DEFINICIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE CALIBRACIÓN PARA LAS DISTINTAS TIPOLOGÍAS DE MÁQUINAS DE SOLDAR EVALUADAS (Hito 3)

TAREA 3.1. DEFINICIÓN DE PROCESOS DE CALIBRACIÓN.

A partir de las conclusiones obtenidas en el HITO 1 y en el HITO 2, se propone orientar los procedimientos de calibración de máquinas de soldadura, hacia aquellas enmarcadas dentro de las siguientes tipologías:

- **111: SMAW** (Manual metal arc welding (metal arc welding with covered electrode): shielded metal arc welding: Soldeo por arco con electrodo revestido.
- **135: GMAW** (MAG welding with solid wire electrode: Gas metal arc welding using active gas with solid wire electrode): Soldeo por arco con alambre electrodo macizo y gas activo: soldeo MAG).
- **141: GTAW/TIG** (Gas tungsten arc welding using inert gas and solid filler material (wire/rod); TIG welding with solid filler material (wire/rod): Soldeo por arco con gas inerte y electrodo consumible macizo: soldeo TIG.

La tipología 121: SAW (Submerged arc welding with solid wire electrode), es menos frecuente y en todo caso, desde el punto de vista de procesos de calibración, puede tratarse de manera análoga al resto.

Los procesos de calibración propuestos, han de tener en cuenta los elementos a calibrar, magnitudes y rangos de calibración, tolerancias o requisitos metrológicos de la calibración, patrones de calibración que pueden ser empleados y requisitos metrológicos exigibles a estos patrones.

Para el caso de **ROBOTS DE SOLDADURA**, además de las magnitudes indicadas, la principal magnitud adicional a tener en cuenta, está relacionada con **parámetros DIMENSIONALES** (precisión geométrica).

De acuerdo con este esquema, se definen los procedimientos de calibración siguientes:

1. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN DE MAGNITUDES ELÉCTRICAS: PC/ITMA/86 “CALIBRACIÓN FUENTES DE POTENCIA DE EQUIPOS DE SOLDADURA”.
2. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN DE VELOCIDAD DE ALIMENTACIÓN DE HILO: PC/ITMA/83 “CALIBRACIÓN DE ALIMENTADORES DE HILO DE EQUIPOS DE SOLDADURA”.
3. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN DE LA MAGNITUD PRESIÓN: PC/ITMA/06 “CALIBRACIÓN DE MANÓMETROS”.
4. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN DE LA MAGNITUD CAUDAL DE GAS: PC/ITMA/85 “CALIBRACIÓN DE CAUDAL DE GAS EN MÁQUINAS DE SOLDADURA”.
5. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN DE MAGNITUDES DIMENSIONALES DE ROBOTS DE SOLDADURA: PC/ITMA/84 “CALIBRACIÓN DE MAGNITUDES DIMENSIONALES DE ROBOTS DE SOLDADURA”.

TAREA 3.2. EVALUACIÓN DE LOS PATRONES DE CALIBRACIÓN NECESARIOS.

Se han evaluado los patrones de calibración necesarios para cada uno de los 5 procedimientos de calibración definidos, en función de las magnitudes y rangos a calibrar.

Se realiza a continuación una descripción de los patrones evaluados, indicando para cada uno de ellos, entre otros aspectos, los siguientes:

- Denominación y descripción del equipo.
- Disponibilidad en el mercado (fabricante, marca, modelo, etc.).
- Características metrológicas (exactitud, precisión, etc.).
- Coste de adquisición aproximado.

En cada uno de los procedimientos de calibración, se encuentran identificados los patrones a utilizar en cada caso.

1. PATRONES PARA PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN DE MAGNITUDES ELÉCTRICAS

Para la medición de las magnitudes eléctricas (tensión e intensidad) pueden emplearse dos métodos:

- METODO 1: Medición durante el funcionamiento normal del equipo, es decir, durante un proceso de soldadura. Para ello se emplea una pinza amperimétrica (para la medida de Intensidad) y un voltímetro (para la medida de tensión).

Los patrones propuestos para este método de medición serían:

PINZA AMPERIMETRICA DIGITAL marca FLUKE

Modelo: 337

Rango de medición de Intensidad: 0-999,9A (AC/DC)

Resolución en la medición de Intensidad: 0,1A

Exactitud medición en Intensidad (AC): $\pm 6\%$

Exactitud medición en Intensidad (DC): $\pm 2\%$

Rango de medición de Tensión: 0-600V (AC/DC)

Resolución en la medición de Tensión: 0-600V

Exactitud medición en Tensión (AC): $\pm 6\%$

Exactitud medición en Tensión (DC): $\pm 1\%$

- METODO 2: Medición realizada sustituyendo el electrodo por una carga resistiva.

En este sentido existen en el mercado equipos que incorporan una a carga resistiva que hace las funciones del electrodo, permitiendo realizar los ensayos de manera más sencilla y fiable.

Estos equipos se conectan a la fuente de potencia, de manera que la corriente eléctrica fluye a través de la resistencia cuando la fuente de potencia está en funcionamiento.

En realidad el equipo no incorpora una sola resistencia sino varias resistencias, que combinadas entre si permiten obtener múltiples valores de intensidad y tensión. A su vez, el equipo dispone de medidores de Intensidad y Tensión integrados (voltímetro y amperímetro) que permiten obtener medidas de manera fácil y precisa.

Existen numerosas marcas que disponen de equipos que permiten calibrar fuentes de potencia de corriente continua, de corriente alterna y de ambas a la vez.

De entre todas ellas se han estudiado los siguientes equipos:

CALIBRADOR RESISTIVO SOLDADURA de GALA GAR – Modelo: CPR 3000
Permite calibrar fuentes de potencia en DC
DESCRIPCION GENERAL. El equipo CPR-300 esta destinado para la prueba, verificación y ensayo estático de equipos de soldadura eléctrica de corriente continua. Su uso más frecuente será en cadenas de fabricación, laboratorios de ensayo y talleres especializados de servicio postventa. Conectado el CPR-300 a un equipo de soldadura DC podremos realizar las siguientes operaciones: • Medida de la tensión de vacío de soldadura. • Medida de la corriente de cortocircuito de soldadura. • Realización de característica estática. Diagrama estático $U_2(I_2)$ de equipo de soldadura. • Realización de ensayos térmicos a ciclo. CARACTERISTICAS TECNICAS. Las características principales del equipo CPR-300 son las siguientes: • Medición de la tensión de soldadura: Digital 0-100 V 0.1%. • Medición de la intensidad de soldadura: Digital 0-500 A 0.1%. • Control de carga: Mediante mando a distancia. • N° de Resistencias de carga: 15 (7+8) • Mínima carga: 1.5 Ω • Máxima carga: 0.100 Ω • Modos de trabajo: VACIO-CARGA (I,II)- CORTOCIRCUITO. • Control de factor de marcha: 100% - PROGRAMABLE AUTOMATICO. • Protección térmica: Indicación visual de sobrecarga. Coste Aproximado: 9300€

TECARC – Modelo: CALIBRATOR 1600i AC
Permite calibrar fuentes de potencia en AC / DC
DESCRIPCION GENERAL. El CALIBRATOR 1600i AC DC es un banco de carga resistiva de muy alta potencia con medidores digitales súper precisos incorporados. A pesar de la potencia nominal, esta unidad todavía es portátil y pesa solo 45 kg, no se necesita una fuente de alimentación externa, ya que tiene su propia fuente interna que se recarga automáticamente desde la

fuelle de alimentaci3n de soldadura cuando se conecta. Se puede conectar a m1quinas TIG con el HF funcionando. Tiene un dise1o compacto 1nico que utiliza un sistema de enfriamiento inteligente.

CARACTERISTICAS TECNICAS.

- Port1til a mano: pesa 45 kg.
- No se necesita una fuente de alimentaci3n externa.
- 0-1600 amperios de CA y CC (pico de 1750 amperios) con lecturas reales de RMS.
- 0-99.9 Voltios de lectura de CA y CC (pico de 120 V) con lecturas RMS verdaderas.
- Pantalla LED.
- Permite la validaci3n de BS EN50504; 2008 y otras normas internacionales.
- Lectura precisa y muy estable al 0.5% + / - 1 d1gito.
- 16 cargas especialmente elegidas para dar 100 de configuraciones de carga diferentes.
- Control fino hasta 20 amperios.
- El dise1o seguro HF significa que no hay explosiones en TIG.
- Robusta construcci3n de aluminio.
- Controles frontales protegidos.
- Se suministra completo con cables de soldadura de 2M.

Coste aproximado: 5150€

TECARC – Modelo: CALIBRATOR 1000i AC

Permite calibrar fuentes de potencia en AC / DC

DESCRIPCION GENERAL.

El CALIBRATOR 1000i AC/DC pesa solo 25 kg y no se necesita una fuente de alimentaci3n externa. Se puede conectar a m1quinas TIG con el HF funcionando.

El CALIBRATOR 1000i est1 dise1ado alrededor de un banco de carga resistiva y utiliza un sistema de enfriamiento inteligente para eliminar el calor de manera eficiente al igual que modelos m1s peque1os.

CARACTERISTICAS TECNICAS.

- Port1til a mano: pesa 25 kg.
- No se necesita una fuente de alimentaci3n externa.
- 0-999 amperios de lectura CA y CC (pico de 1100 amperios) con verdadero RMS.
- 0-99,9 voltios de lectura de CA y CC (pico de 120 V) con verdadero RMS.
- Pantalla LED.
- Permite la validaci3n de BS EN50504; 2008
- Lectura precisa y muy estable al 0.5% + / - 1 d1gito.
- 8 cargas especialmente elegidas para dar m1s de 100 configuraciones de carga diferentes.
- Control fino hasta 20 amperios.
- El dise1o seguro HF significa que no hay explosiones en TIG.
- Robusta construcci3n de aluminio.
- Controles frontales protegidos.
- Se suministra completo con cables de soldadura de 2M.

Coste aproximado: 2990€

TECARC – Modelo: CALIBRATOR 600i AC

Permite calibrar fuentes de potencia en AC / DC

DESCRIPCION GENERAL.

El CALIBRATOR 600i AC/DC es muy port1til, pesa solo 14.0kg y no necesita ninguna fuente de alimentaci3n externa. El dise1o 1nico combina un banco de carga resistiva junto con medidores digitales muy precisos y un sistema de enfriamiento inteligente para eliminar el calor con eficacia. Esto mantiene el tama1o y el peso al m1nimo. Este dise1o realmente acelera todo el proceso de configuraci3n y validaci3n de todo tipo de m1quinas, incluyendo MIG, MAG, MMA, TIG, etc., tambi1n se pueden conectar a m1quinas TIG con el HF funcionando.

CARACTERISTICAS TECNICAS.

- Port1til a mano: pesa solo 14 kg.
- No se necesita una fuente de alimentaci3n externa.
- 0-600 Amps AC y DC (650 Amps pico) con verdadero RMS.
- 0-99.9 voltios de lectura de CA y CC (pico de 120 V) con verdadero RMS.
- Pantalla LED.

- Permite la validación de BS EN50504; 2008
- Lectura precisa y muy estable al 0.5% + / - 1 dígito.
- 5 cargas especialmente elegidas para dar hasta 25 configuraciones.
- Control fino hasta 20 amperios.
- El diseño seguro HF significa que no hay explosiones en TIG.
- Robusta construcción de aluminio.
- Controles frontales protegidos.
- Se suministra con cables de soldadura.

Coste aproximado: 1980€

TECARC – Modelo: CALIBRATOR 500i AC

Permite calibrar fuentes de potencia en AC / DC

DESCRIPCION GENERAL.

El CALIBRATOR 500i AC/DC es extremadamente portátil, pesa solo 12.5kg y no necesita ninguna fuente de alimentación externa. Este diseño realmente acelera todo el proceso de configuración y validación de todos los tipos de máquinas, incluyendo MIG, MAG, MMA, TIG (también se pueden conectar a máquinas TIG con el HF en funcionamiento). El CALIBRATOR 500i se basa en un banco de carga resistiva (carga ficticia) con contadores digitales muy precisos incorporados, el exclusivo diseño de refrigeración permite una máquina muy compacta y ligera sin igual por ningún producto de la competencia.

CARACTERISTICAS TECNICAS.

- Portátil a mano: pesa solo 12,5 kg.
- No se necesita una fuente de alimentación externa.
- 0-500 amperios AC y DC (600 amperes pico) con verdadero RMS.
- 0-99.9 voltios de lectura de CA y CC (pico de 120 V) con verdadero RMS.
- Pantalla LED
- Permite la validación de BS EN50504; 2008
- Lectura precisa y muy estable al 0.5% + / - 1 dígito.
- 5 cargas especialmente elegidas para dar hasta 25 configuraciones.
- Control fino hasta 20 amperios.
- El diseño seguro HF significa que no hay explosiones en TIG.
- Robusta construcción de aluminio.
- Controles frontales protegidos
- Se suministra con cables de soldadura.

Coste aproximado: 1740€

GYS – Modelo: CALIWELD LOAD 320 A

Permite calibrar fuentes de potencia en AC / DC

DESCRIPCION GENERAL.

La CALIWELD LOAD 320A - 100% es una carga resistiva conforme a la norma EN50504, permite comprobar la conformidad de los ajuste en los procesos MMA, TIG y MIG/MAG.

Está adaptada para efectuar pruebas de resistencia térmica sobre los generadores de soldadura y comprobar sus ciclos de trabajo y sus características de salida (corriente/tensión).

CARACTERISTICAS TECNICAS.

Permite la comprobación de los puntos de funcionamiento sobre las zonas de corriente de:

- 5 A a 370 A para equipos MMA
- 5 A a 320 A para equipos MIG/MAG
- 5 A a 180 A para equipos TIG

El ajuste de la carga se acciona por varios conmutadores para una mayor precisión. Aseguran medidas de tipo «Estándar» y de «Precisión

Resistencia bobinada de potencia.

Refrigeración por ventilación.

Coste aproximado: 1300 €

GYS – Modelo: CALIWELD LOAD 550 A - 3%
Permite calibrar fuentes de potencia en AC / DC
DESCRIPCION GENERAL. La CALIWELD LOAD 320A - 100% es una carga resistiva conforme a la norma EN50504, permite comprobar la conformidad de los ajuste en los procesos MMA, TIG y MIG/MAG. Está adaptada para efectuar pruebas de resistencia térmica sobre los generadores de soldadura y comprobar sus ciclos de trabajo y sus características de salida (corriente/tensión). CARACTERISTICAS TECNICAS. Permite la comprobación de los puntos de funcionamiento sobre las zonas de corriente de: - 5 A a 550 A para equipos MIG/MAG - 5 A a 550 A para equipos MMA - 5 A a 300 A para equipos TIG El ajuste de la carga se acciona mediante 5 seleccionadores y un conmutador para una mayor precisión. Aseguran medidas de tipo «Estándar» y de «Precisión». No requiere ninguna alimentación externa. Refrigeración natural por aire. Peso ligero (16 kg).
Coste aproximado: 1500 €

2. PATRONES PARA PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN DE VELOCIDAD DE ALIMENTACIÓN DE HILO.

Para la medición de la velocidad del hilo puede utilizarse:

- una **regla** y un **cronómetro**
- un **tacómetro**

REGLA Y CRONOMETRO

Mediante el uso de estos equipos se mide por un lado la longitud del hilo consumido y el tiempo que ha tardado en consumirse esa longitud de hilo.

Para ello se proponen los siguientes equipos:

CRONOMETRO marca TIM

Modelo: 901R

Rango: 0-24h

Resolución: 0.1s de 0 a 30min / 1s de 30min a 24h

Exactitud: 0.1%

Coste aproximado: 70 €.

FLEXÓMETRO marca HULTAFORS

Modelo: FISCO TL5M

Rango: 0-5m

Resolución: 1mm

Exactitud: Clase 1 conforme a la directiva comunitaria 2004/22/CE

Coste aproximado: 80 €.

TACOMETRO Y CALIBRE DIGITAL

Existen dos maneras de medir la velocidad del hilo:

- METODO DIRECTO: medición de la velocidad lineal del alambre mediante el empleo de un tacómetro digital. Se optará por este método siempre que sea físicamente posible.
- METODO INDIRECTO: medición de la velocidad angular (rpm) del rodillo de arrastre del alambre mediante el empleo de un tacómetro digital junto con la medición del diámetro del rodillo de arrastre.

Para ello se proponen los siguientes equipos:

TACÓMETRO DIGITAL Marca TESTO

Modelo: 470

Especificaciones con sensor óptico:

Rango de medición: de 1 rpm a 99999 rpm

Exactitud: ± 0.02 % del fondo de escala

Especificaciones con sensor mecánico:

Rango de medición: de 0,1 rpm a 19999 rpm

Exactitud: ± 0.2 % del fondo de escala

Se dispone de los accesorios necesarios para medir velocidades lineales (ruedas de dos diámetros diferentes) con una exactitud de 0,2%

Rueda de 0,1: permite medir velocidades de 0.10 - 33,3 m/s

Rueda de 6": permite medir velocidades de 0.10 - 26,4 m/s

Coste aproximado: 300 €.

CALIBRE DIGITAL Marca MITUTOYO

Modelo: CD-15CPX

Rango: 0 - 150 mm

Resolución: 0,01 mm

Exactitud: ± 0.02 mm

Coste aproximado: 100 €.

3. PATRONES PARA PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN EN PRESIÓN.

Habitualmente, los instrumentos utilizados para la medida de la presión del gas de soldaduras, son manómetros instalados a la salida del manorreductor de la botella o instalación que suministra el gas. Existe una relación directa entre la presión de salida del gas y el caudal del mismo.

Lo más adecuado para realizar la calibración de estos manómetros, es desmontarlos del manorreductor y realizar la calibración en el laboratorio de presión del que dispone Fundación ITMA,

utilizando como patrones de calibración, manómetros o sensores de presión con una exactitud igual o inferior a $\pm 2\%$ del fondo de escala, combinados estos últimos con un calibrador multifunción tipo Beamex para la lectura de las presiones, y las bases generadoras de presión para regular los puntos de presión a calibrar.

Fundación ITMA ya dispone de este laboratorio de calibración en presión y de los patrones necesarios, por lo que no sería necesario realizar inversión en equipamiento.

4. PATRONES PARA PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN DE CAUDAL DE GAS.

Habitualmente, los instrumentos de medida para regular y medir el caudal de gas suministrado a las máquinas de soldadura, suelen ser rotámetros instalados a la salida del manorreductor de la botella o la instalación que suministra el gas. Por lo tanto, el patrón de calibración, será un caudalímetro/rotámetro patrón que se instalará en línea con el instrumento a calibrar con una exactitud igual o inferior a $\pm 2\%$ del fondo de escala.

Los rangos de medida de caudal de gas en máquinas de soldadura, pueden llegar hasta 25 l/min, por lo que el caudalímetro/rotámetro patrón, debe de ser capaz de medir en este rango y debe de ser compatible con los gases de soldadura.

Dentro de los patrones disponibles en el mercado se encuentran los siguientes:

CALIBRADORES DE CAUDAL POR BURBUJA: También conocidos como caudalímetros de película de jabón. Se trata de patrones de calibración primarios, fabricados habitualmente en vidrio (compatible con la mayor parte de los gases de soldadura). El principio de funcionamiento se basa en que la línea que suministra el gas, se une a la parte superior del tubo de vidrio volumétrico que contiene una pequeña cantidad de jabón líquido. A medida que la bomba aspira a través del tubo, se interpone una burbuja plana de jabón en la trayectoria del flujo. Mientras que el flujo de gas hace que la película de jabón se mueva de una marca de volumen a otra, el tiempo de desplazamiento se mide con un cronómetro. El caudal se puede calcular directamente utilizando el tiempo de recorrido y el volumen de tubo conocido, o se puede leer del diagrama de flujo.

Algunos modelos disponibles en el mercado, son los que suministra el fabricante Vertex Technics, con un amplio rango de caudales de trabajo, calibrados con una exactitud igual o inferior a $\pm 2\%$.

Es necesario contar además con un cronómetro calibrado (resolución de 0,1 s, en el rango de 0 a 30 min, y resolución de 1 s en el rango de 30 min a 24 h, con exactitud igual o inferior al 0,1%), ya que la medida del caudal se obtiene dividiendo el volumen de gas contabilizado en el medidor de burbuja, entre el tiempo que ha transcurrido en pasar la burbuja de jabón entre las marcas calibradas del medidor de burbuja.

El coste aproximado de estos patrones, es de 1000 €.

5. PATRONES PARA PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN DE MAGNITUDES DIMENSIONALES DE ROBOTS DE SOLDADURA.

Se proponen como patrones principales para la calibración de magnitudes dimensionales de robots de soldadura, las siguientes alternativas:

a) LÁSER TRACKER

Los Sistemas denominados “Láser-Tracker”, son sistemas de medición portátil (máquinas portátiles de medición por coordenadas) que permiten realizar mediciones angulares (en horizontal y vertical) y longitudinales (distancias), desde un origen de coordenadas definido por el sistema láser-tracker, hasta retrorreflectores esféricos que se sitúan sobre los puntos de interés a medir. Por lo tanto, permiten caracterizar perfectamente la posición de un punto en el espacio a través de coordenadas rectangulares (X,Y,Z), así como la posición de este punto respecto a otros de interés y las distancias entre los mismos.

Su Sistema de medición está basado en interferometría láser, y la característica de **portabilidad** y relativa **rapidez** en la realización de mediciones y tratamiento de datos, los hace especialmente indicados para el propósito de la calibración de magnitudes dimensionales en robots de soldadura.

Existen en el mercado dos fabricantes principales y distintos modelos de láser-tracker, entre los que se encuentran los siguientes:

LEYCA ABSOLUTE TRACKER AT 901	
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS PRINCIPALES	
- Alcance de medición: hasta 160 m.	
- Precisión de distancia de interferómetro:	$\pm 0,5 \mu\text{m/m}$
- Repetibilidad angular:	$\pm 7,5 \mu\text{m} + 3 \mu\text{m/m}$
- Precisión angular (todo el volumen):	$\pm 15 \mu\text{m} + 6 \mu\text{m/m}$
- Precisión angular (en volumen 2,5 x 5 x 10 m):	$\pm 10 \mu\text{m} + 5 \mu\text{m/m}$
- Temperatura de trabajo: 0°C a +40°C.	
- Humedad relativa: 10 a 90%.	
- Portátil	
Coste aproximado: 250.000€	

FARO LASER TRACKER ION	
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS PRINCIPALES	
- Alcance de medición: hasta 55 m.	
- Precisión de distancia de interferómetro:	$\pm 4 \mu\text{m} + 0.8 \mu\text{m/m}$
- Precisión de medición de distancia (MPE):	$\pm 16 \mu\text{m} + 0.8 \mu\text{m/m}$
- Precisión angular:	$\pm 20 \mu\text{m} + 5 \mu\text{m/m}$
- Temperatura de trabajo: -15 °C a +50°C.	
- Humedad relativa: 0 a 95%.	
- Portátil	
Coste aproximado: 200.000€	

b) BRAZO ARTICULADO DE MEDICIÓN POR COORDENADAS

Los brazos articulados de medición por coordenadas, son sistemas de medición portátil (máquinas portátiles de medición por coordenadas) que permiten realizar mediciones de la posición (X,Y,Z) de puntos singulares en el espacio. Constan de habitualmente de 6 ejes de medición y permiten caracterizar la posición de un punto en el espacio a través de coordenadas rectangulares (X,Y,Z), así como la posición de este punto respecto a otros de interés y las distancias entre los mismos. La medición se realiza por palpado de los puntos de interés. Existen también brazos de 7 ejes que permiten además, la incorporación de un scanner basado en tecnología láser, para realizar mediciones

a través de escaneado de superficies y obtención de nube de puntos para la generación virtual de la superficie escaneada, realizar ingeniería inversa, etc.

La característica de portabilidad y **portabilidad** y relativa **rapidez** en la realización de mediciones y tratamiento de datos, los hace especialmente indicados para el propósito de la calibración de magnitudes dimensionales en robots de soldadura.

Existen en el mercado diversos fabricantes y distintos modelos de brazos articulados de medición por coordenadas, entre los que se encuentran los siguientes:

BRAZO FARO EDGE
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS PRINCIPALES
- Alcance de medición: hasta 3,7 m. - Precisión: (alcance hasta 1,8 m: $\pm 34 \mu\text{m}$) (alcance hasta 2,7 m: $\pm 41 \mu\text{m}$); (alcance hasta 3,7 m: $\pm 91 \mu\text{m}$). - Repetibilidad en un punto: (alcance hasta 1,8 m: $\pm 24 \mu\text{m}$); (alcance hasta 2,7 m: $\pm 29 \mu\text{m}$); (alcance hasta 3,7 m: $\pm 64 \mu\text{m}$). - Temperatura de trabajo: 10 °C a +40°C. - Humedad relativa: 0 a 95%. - Portátil
Coste aproximado: 70.000€

BRAZO ROMER ABSOLUTE ARM SERIE 77
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS PRINCIPALES
- Alcance de medición: hasta 4,5 m. - Precisión: (alcance hasta 2,5 m: $\pm 26 \mu\text{m}$); (alcance hasta 3 m: $\pm 40 \mu\text{m}$); (alcance hasta 4,5 m: $\pm 74 \mu\text{m}$). - Repetibilidad en un punto: (alcance hasta 2,5 m: $\pm 26 \mu\text{m}$); (alcance hasta 3 m: $\pm 26 \mu\text{m}$); (alcance hasta 4,5 m: $\pm 60 \mu\text{m}$). - Temperatura de trabajo: 0 °C a +50°C. - Humedad relativa: 10 a 90%. - Portátil
Coste aproximado: 75.000€

BRAZO KREON ACE SKYLINE
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS PRINCIPALES
- Alcance de medición: hasta 4,5 m. - Precisión: (alcance hasta 2 m: $\pm 42 \mu\text{m}$); (alcance hasta 3 m: $\pm 51 \mu\text{m}$); (alcance hasta 4,5 m: $\pm 89 \mu\text{m}$). - Repetibilidad en un punto: (alcance hasta 2 m: $\pm 22 \mu\text{m}$); (alcance hasta 3 m: $\pm 42 \mu\text{m}$); (alcance hasta 4,5 m: $\pm 78 \mu\text{m}$). - Temperatura de trabajo: 0 °C a +40°C. - Humedad relativa: 10 a 90%. - Portátil
Coste aproximado: 70.000€

Teniendo en cuenta el alcance de medición de los robots de soldadura evaluados (hasta 2 m), y los requisitos metrológicos necesarios para los patrones de calibración (precisión inferior a $\pm 33 \mu\text{m}$), tanto el láser-tracker como alguno de los brazos articulados de medición por coordenadas (ROMER ABSOLUTE ARM SERIE 77), cumplen con este requisito.

EQUIPOS EMPLEADOS PARA LA MEDIDA DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES

Para los procedimientos de calibración descritos, se pueden utilizar el mismo tipo de patrones para medida de las condiciones ambientales (habitualmente dataloggers –termohigrómetros-), que permiten la lectura simultánea de temperatura y humedad.

Se indica a continuación las características principales de algunos de los equipos disponibles en el mercado:

DATALOGGER Marca TESTO

Modelo: 175 H1

Rango de medición en Temperatura: -20°C a $+55^{\circ}\text{C}$

Resolución en la medición de Temperatura: $0,1^{\circ}\text{C}$

Exactitud medición en Temperatura: $\pm 0,4^{\circ}\text{C}$ (± 1 dígito)

Rango de medición en Humedad relativa: 0% a 100%HR

Resolución en la medición de Humedad relativa: 0,1%HR

Exactitud medición en Humedad relativa: $\pm 2\%$ HR (± 1 dígito)

Coste aproximado: 400 €.

3.4 ANÁLISIS DE VIABILIDAD TÉCNICA DE LOS PROCEDIMIENTOS DE CALIBRACIÓN DE MÁQUINAS DE SOLDADURA (Hito 4)

Con la realización de este hito, se persigue la consecución del objetivo principal del proyecto, que es la evaluación de la viabilidad técnica de los procedimientos de calibración propuestos. Se resumen a continuación los trabajos efectuados y las principales conclusiones alcanzadas.

TAREA 4.1: PRUEBAS DE CALIBRACIÓN

De los procedimientos de calibración definidos en el HITO 3, se han seleccionado algunas pruebas de calibración, en función de las máquinas de soldar y patrones disponibles en Fundación ITMA, teniendo en cuenta además los parámetros y magnitudes más críticas, según la normativa y documentación revisada.

Las pruebas de calibración seleccionadas son las siguientes:

- Prueba de calibración de la magnitud “Intensidad de corriente”.
- Prueba de calibración de la magnitud “Tensión/voltaje”.
- Prueba de calibración de la magnitud “Velocidad de alimentación de hilo”.

Para la realización de estas pruebas se ha seleccionado las siguientes máquinas de soldadura de dos fabricantes diferentes:

- **Miller XMT 350 CC/CV Autoline**, propiedad de Fundación ITMA.
- **Fronius Magic wave 3000**, propiedad de Fundación ITMA.

Los resultados obtenidos en ambas máquinas, son muy similares. Se resumen a continuación los resultados obtenidos sobre una de ellas (**Miller XMT 350 CC/CV Autoline**), que es la más completa en cuanto a rangos y modos de soldadura, ya que admite los tres tipos de soldadura por arco MIG/MAG, TIG y electrodo.



Figura 7. Máquina de soldadura Miller XMT 350 CC/CV Autoline

Esta máquina puede realizar tres tipos de soldadura diferente:

- TIG
- MIG/MAG
- ELECTRODO (manual)

Sus principales características y especificaciones son las siguientes:

Tabla 6. Características Máquina de soldadura Miller XMT 350 CC/CV Autoline

Alimentación	Salida Nominal	Gama de voltaje en Modo VC	Gama de amperaje en modo CD	Máx. Voltaje de Circuito abierto
Trifásico	350A a 34VCD, 60% ciclo de trabajo	10-38 V	5-425 A	75 VCD

La curva de voltios amperios muestra el voltaje máximo y mínimo y las capacidades de salida de amperaje de generador de soldadura. Las curvas de todas las otras fijaciones caen entre las curvas que se muestran.

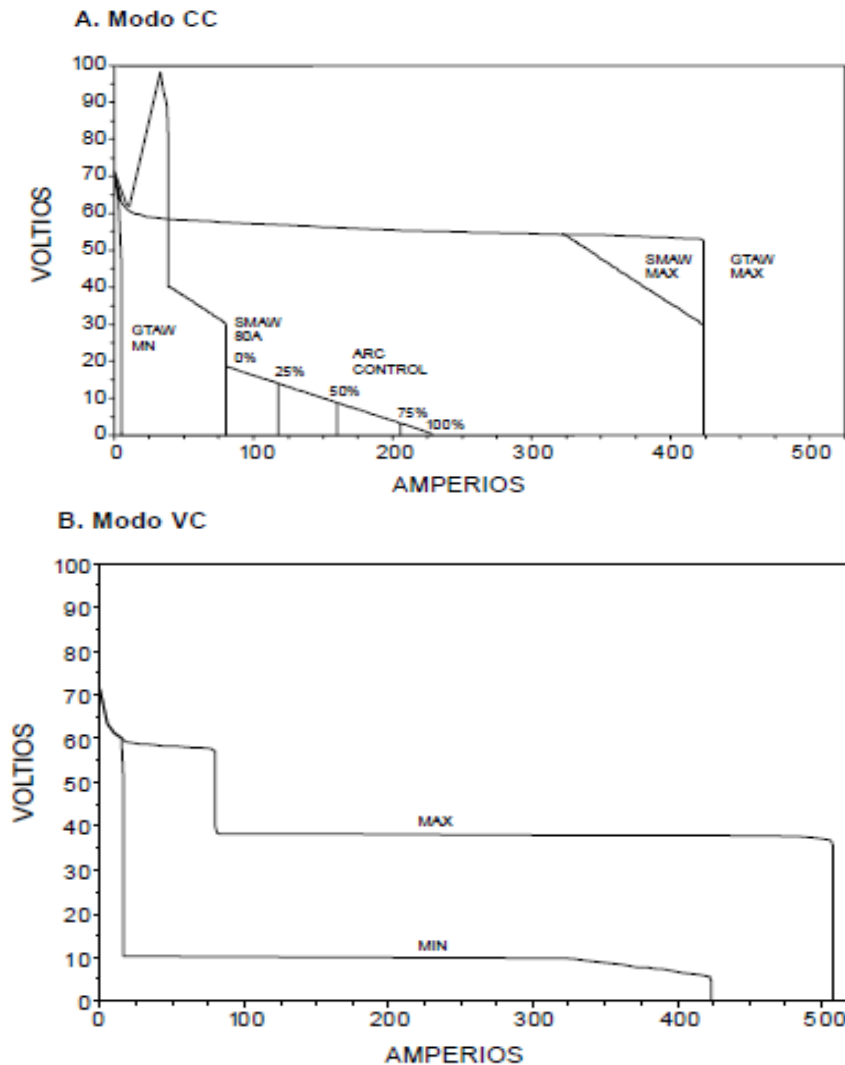


Figura 8. Curva Voltios-Amperios máquina de soldadura Miller XMT 350 CC/CV Autoline

Controles del panel frontal

1. Interruptor para Prender/Apagar
2. Voltímetro
3. Amperímetro
4. Control de ajuste de Voltaje/Amperaje
5. Interruptor de Modo
6. Receptáculo remoto 14

7. Control de arco

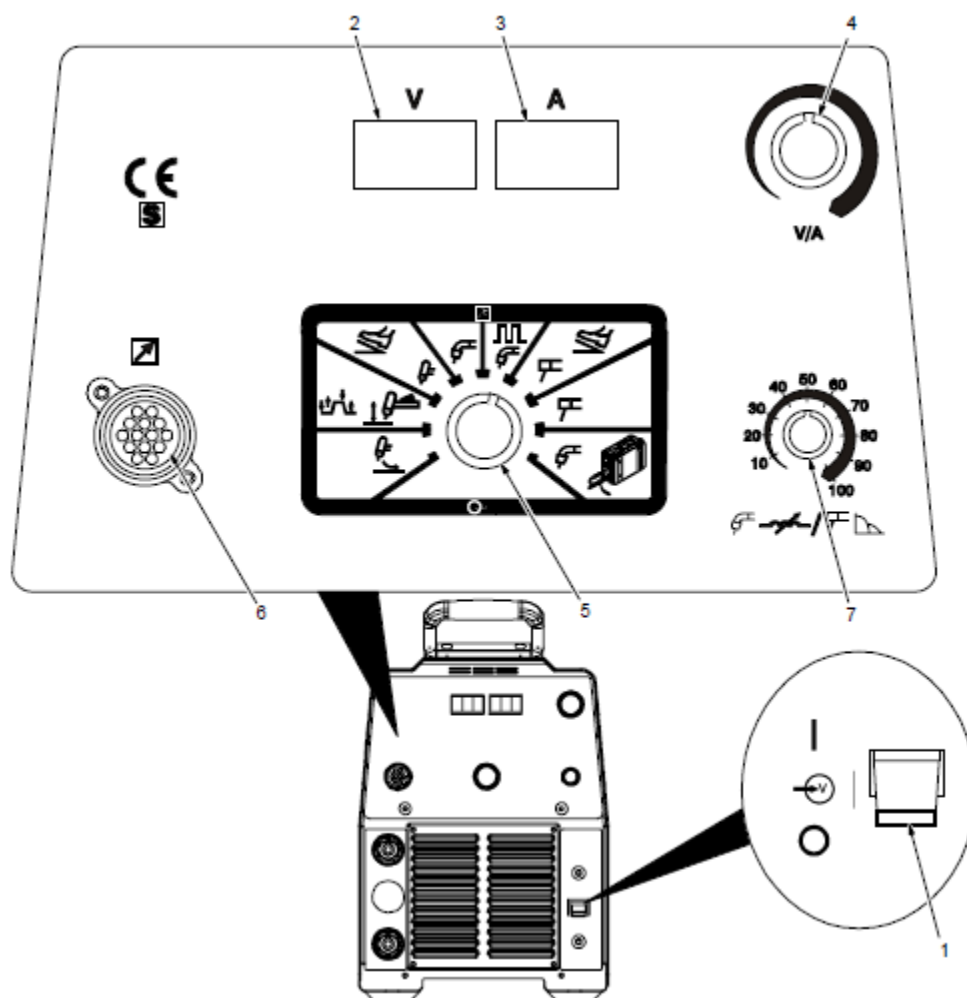


Figura 9. Controles de panel frontal

La descripción de las pruebas y los resultados encontrados se describen a continuación.

PRUEBA 1: Prueba de calibración de la magnitud “Intensidad de corriente”.

Para la realización de las pruebas se han realizado mediciones durante el funcionamiento normal del equipo, es decir, durante un proceso de soldadura realizado con un operario.

Las mediciones se han realizado utilizando como **patrón** principal una **pinza amperimétrica**, propiedad de FUNDACIÓN ITMA, cuyas características para la medida de intensidad de corriente son:

PINZA AMPERIMETRICA DIGITAL marca FLUKE

Modelo: 337

Rango de medición de Intensidad: 0-999,9A (AC/DC)

Resolución en la medición de Intensidad: 0,1A

Exactitud medición en Intensidad (AC): $\pm 6\%$

Exactitud medición en Intensidad (DC): $\pm 2\%$

De acuerdo al procedimiento PC/ITMA/86: CALIBRACIÓN FUENTES DE POTENCIA DE EQUIPOS DE SOLDADURA, la calibración se realizó en **cinco puntos** a lo largo del rango del equipo de soldadura (tanto en el caso de que está midiendo Tensión como Intensidad).

Se realizaron mediciones en el valor mínimo del rango, el valor máximo, y otros tres puntos distribuidos de manera uniforme a lo largo del rango.

Los valores máximo y mínimo de tensión y corriente vienen especificados en la placa de características de la fuente de potencia de la máquina de soldadura. El valor máximo de tensión viene dado por la tensión nominal de vacío, y la corriente máxima viene dada por la corriente nominal máxima de soldadura.

Se enciende el equipo de soldadura y los patrones de trabajo 5 minutos antes de realizar las medidas. Cada punto se mide con valor creciente y decreciente de la magnitud a calibrar.

Pruebas en modo soldadura TIG (magnitudes eléctricas):

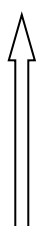
Rango de la fuente de potencia: 0 a 425A (en corriente continua)

No se han podido realizar pruebas por debajo de 50A debido a que no resulta posible obtener un arco estable y soldar a este amperaje.

Dado que no se dispone de un banco de carga resistiva que nos permite escoger los puntos de calibración, no es posible la aplicación exhaustiva del procedimiento. Se realizan las pruebas en los puntos de 50A, 150A, 250A, 350A y 425A

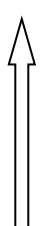
Los resultados de las pruebas realizadas son:

Tabla 7. Resultados pruebas en modo soldadura TIG

Valores medidos con la pinza en una zona del cable próximo a la PISTOLA								
Valor consignado A		Valor Patrón A	Indicación equipo A	Corrección A		Valor Patrón A	Indicación equipo A	Corrección A
50		53,1	47	6,1		53,3	47	6,1
150		154,5	147	7,5		155,8	147	7,5
250		259,1	247	12,1		259,1	247	12,1
350		361,6	330	31,6		361,6	330	31,6
425		438,5	412	26,5		438,5	413	25,5

Nota: Los valores medidos con la pinza amperimétrica varían al girar la posición de la pinza sobre el cable y los valores indicados por el equipo no son estables.

Tabla 8. Resultados pruebas en modo soldadura TIG

Valores medidos con la pinza en una zona del cable próximo a la FUENTE								
Valor consignado A		Valor Patrón A	Indicación equipo A	Corrección A		Valor Patrón A	Indicación equipo A	Corrección A
50		52,0	47	5,0		52,1	47	5,1
150		154,3	148	6,3		153,8	148	5,8
250		256,1	248	8,1		257,1	249	8,1
350		359,3	332	27,3		359,2	333	26,2
425		436,3	402	34,3		437,1	408	29,1

Nota: Los valores medidos con la pinza amperimétrica varían al girar la posición de la pinza sobre el cable y los valores indicados por el equipo no son estables.

Pruebas en modo manual con ELECTRODO (magnitudes eléctricas):

Rango de la fuente de potencia: 0 a 425A (en corriente continua)

Al igual que en el modo TIG, dado que no se dispone de un banco de carga resistiva que nos permita escoger los puntos de calibración, no es posible la aplicación exhaustiva del procedimiento.

Se realizan las pruebas teniendo en cuenta las especificaciones de los electrodos disponibles.

Se realizan pruebas con 3 electrodos:

- Electrodo de 2,5mm (para soldar en el rango de 65A a 90A según especificaciones)
- Electrodo de 3,25mm (para soldar en el rango de 100A a 140A según especificaciones)
- Electrodo de 5mm (para soldar en el rango de 190A a 240A según especificaciones)

Se realizan las pruebas en los puntos de 70A, 80A, 110A, 130A, 200A y 230A

Los resultados de las pruebas realizadas se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 9. Resultados pruebas modo manual con electrodo

Valor consignado A	Valor Patrón A	Indicación equipo A
70	No estabiliza	No estabiliza
80	No estabiliza	80-81
110	110-120	11-113
130	132-140	132-133
200	204-217	202-204
230	235-250	233-235

Nota: no es posible obtener valores estables con la pinza amperimétrica y los valores indicados por el equipo tampoco son estables. La influencia del operario impide obtener medidas estables.

PRUEBA 2: Prueba de calibración de la magnitud “Tensión/voltaje”.

No se han podido realizar pruebas de tensión al no disponer de patrones de medida adecuados.

No obstante se ha llevado a cabo la medición de la Tensión en vacío durante el proceso de soldadura con electrodo.

Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 10. Resultados prueba de calibración tensión/voltaje

Indicación equipo V	Valor medido con el Patrón V
72	71,4

PRUEBA 3: Prueba de calibración en modo MIG/MAG de la magnitud “Velocidad de alimentación de hilo”.

Para la realización de las pruebas, al igual que en los casos anteriores, se han realizado mediciones durante el funcionamiento normal del equipo, en este caso, en modo MIG/MAG, durante un proceso de soldadura con operario.

Para ello se emplea como **patrón** principal de calibración, un tacómetro digital, propiedad de FUNDACIÓN ITMA, cuyas características son:

TACÓMETRO DIGITAL Marca TESTO

Modelo: 470

Especificaciones con sensor óptico:

Rango de medición: de 1 rpm a 99999 rpm

Exactitud: ± 0.02 % del fondo de escala

Especificaciones con sensor mecánico:

Rango de medición: de 0,1 rpm a 19999 rpm

Exactitud: ± 0.2 % del fondo de escala

Se dispone de los accesorios necesarios para medir velocidades lineales (ruedas de dos diámetros diferentes) con una exactitud de 0,2%

Rueda de 0,1: permite medir velocidades de 0.10 - 33,3 m/s

Rueda de 6": permite medir velocidades de 0.10 - 26,4 m/s

De acuerdo al procedimiento PC/ITMA/83: CALIBRACIÓN DE ALIMENTADORES DE HILO DE EQUIPOS DE SOLDADURA, existen dos maneras de medir la velocidad del hilo:

METODO DIRECTO: medición de la velocidad lineal del alambre mediante el empleo de un tacómetro digital. Se optará por este método siempre que sea físicamente posible.

METODO INDIRECTO: medición de la velocidad angular (rpm) del rodillo de arrastre del alambre mediante el empleo de un tacómetro digital junto con la medición del diámetro del rodillo de arrastre.

Para las pruebas realizadas se ha optado por el METODO DIRECTO. En este caso se obtiene de manera directa la velocidad lineal (m/min, m/s...) del hilo o alambre.

Los resultados de las pruebas realizadas se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 11. Ensayo 1: Tensión de 15V a velocidad de hilo de 2,2m/min

Valor consignado m/min	Valor Patrón m/min	Indicación equipo m/min	Corrección m/min
2,2	2,52	2,2	0,32
2,2	2,46	2,2	0,26
2,2	2,49	2,2	0,29
2,2	2,52	2,2	0,32
2,2	2,48	2,2	0,28

Tabla 12. Ensayo 2: Tensión de 20V a velocidad de hilo de 4,4m/min

Valor consignado m/min	Valor Patrón m/min	Indicación equipo m/min	Corrección m/min
4,4	4,81	4,4	0,41
4,4	4,76	4,4	0,36
4,4	4,81	4,4	0,41
4,4	4,79	4,4	0,39
4,4	4,76	4,4	0,36

Tabla 13. Ensayo 3: Tensión de 30V a velocidad de hilo de 9,7m/min

Valor consignado m/min	Valor Patrón m/min	Indicación equipo m/min	Corrección m/min
9,7	9,63	9,7	-0,07
9,7	9,64	9,7	-0,06
9,7	9,49	9,7	-0,21
9,7	9,53	9,7	-0,17
9,7	9,58	9,7	-0,12

Analizando los resultados de la PRUEBA 3 (medida de velocidad de alimentación del hilo), se concluye que las mediciones realizadas con el tacómetro son congruentes, y ello permite afirmar que el equipo de medida es adecuado para este propósito.

TAREA 4.2 CONTRASTACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON LAS ESPECIFICACIONES DEFINIDAS PARA LAS MÁQUINAS DE SOLDAR

Los resultados de calibración obtenidos en la tarea 4.1 se han contrastado con los requisitos metrológicos y especificaciones definidas por los fabricantes y/o normas estudiadas, con el objeto de evaluar la viabilidad técnica de los procedimientos propuestos.

En este caso, los requisitos metrológicos se encuentran en la norma EN 50504 (2008): “Validación de los equipos de soldadura por arco (ratificada por AENOR en noviembre de 2008)”, que establece los requisitos y métodos para la validación de equipos de soldadura por arco, construidos y utilizados de acuerdo a las especificaciones de la norma EN 60974-1 (equipos de soldadura eléctrica por arco, parte 1, fuentes de potencia para soldadura). Asimismo, clasifica los equipos de soldadura por arco en dos grupos (en función del requisito metrológico de exactitud requerido):

- **Grado standard:** grado para la validación del equipo, conforme a construcción standard según EN 60974-1.
- **Grado de precisión:** grado para la validación del equipo, conforme a construcción standard, según EN 60974-1 pero con un alto nivel de exactitud para aplicaciones de soldadura que requieren mayor exactitud.

Las **magnitudes** a calibrar, **rangos** y **requisitos metrológicos de exactitud** requeridos para las fuentes de potencia e instrumentación, en función del grado, son los que se indican en las siguientes tablas:

Tabla 14. Exactitudes requeridas para fuentes de potencia de grado estándar

MAGNITUD	EXACTITUD	
Intensidad y Voltaje	$\pm 10\%$ $\pm 2,5\%$	En el rango del 25% al 100% del ajuste máximo En el rango de 0 al 25% del ajuste máximo
Medidores analógicos	Clase 2,5	2,5% del fondo de escala
Medidores digitales		
- Intensidad	$\pm 2,5\%$	De la intensidad de corriente de soldadura nominal máxima
- Voltaje	$\pm 2,5\%$	De la tensión sin carga, o de acuerdo a las especificaciones del fabricante
Velocidad de alimentación de hilo	$\pm 10\%$	

Tabla 15. Exactitud requeridas para fuentes de potencia de grado de precisión

MAGNITUD	EXACTITUD	
Intensidad	$\pm 2,5\%$ $\pm 1\%$	En el rango del 40% al 100% del ajuste máximo En el rango de 0 al 40% del ajuste máximo
Voltaje	$\pm 5\%$ $\pm 2\%$	En el rango del 40% al 100% del ajuste máximo En el rango de 0 al 40% del ajuste máximo
Medidores analógicos	Clase 1	1% del fondo de escala
Medidores digitales - Intensidad - Voltaje	$\pm 2,5\%$ $\pm 2,5\%$	De la intensidad de corriente de soldadura nominal máxima De la tensión sin carga, o de acuerdo a las especificaciones del fabricante
Velocidad de alimentación de hilo	$\pm 2,5\%$	

Ante la ausencia de especificaciones por parte del fabricante, tomamos como referencia las exactitudes requeridas para medidores digitales de las fuentes de potencia de **grado standard** y de **grado de precisión** y analizamos los resultados obtenidos en los ensayos realizados.

PRUEBA 1: Prueba de calibración de la magnitud “Intensidad de corriente”.

Tabla 16. Pruebas en modo soldadura TIG (magnitudes eléctricas)

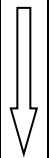
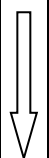
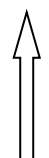
Valores medidos con la pinza en una zona del cable próximo a la PISTOLA							
Valor consignado		Corrección	Tolerancia medidor digital grado de precisión y grado de standard (2,5% I _{MAX})	Cumple		Corrección	Tolerancia grado de precisión y grado de standard (2,5% I _{MAX})
A		A	A			A	A
50		6,1	10,6	SI		6,1	10,6
150		7,5	10,6	SI		7,5	10,6
250		12,1	10,6	NO		12,1	10,6
350		31,6	10,6	NO		31,6	10,6
425		26,5	10,6	NO		25,5	10,6

Tabla 17. Pruebas en modo soldadura TIG (magnitudes eléctricas)

Valores medidos con la pinza en una zona del cable próximo a la FUENTE							
Valor consignado		Corrección	Tolerancia medidor digital grado de precisión y grado de standard (2,5% I _{MAX})	Cumple		Corrección	Tolerancia grado de precisión y grado de standard (2,5% I _{MAX})
A		A	A			A	A
50		5,0	10,6	SI		5,1	10,6
150		6,3	10,6	SI		5,8	10,6
250		8,1	10,6	SI		8,1	10,6
350		27,3	10,6	NO		26,2	10,6
425		34,3	10,6	NO		29,1	10,6

Pruebas en modo soldadura con electrodo (magnitudes eléctricas):

Los resultados de las pruebas obtenidas, no permiten evaluar de manera adecuada las correcciones de la calibración, ya que las lecturas observadas no son estables. Por lo tanto, no es posible contrastarlos de manera fiable contra las especificaciones establecidas para los diferentes grados de precisión definidos en la norma UNE 50504.

Pruebas en modo soldadura MIG/MAG (velocidad de hilo):

PRUEBA 3: Prueba de calibración de la magnitud “Velocidad de alimentación de hilo”.

En este caso se observa que la máquina no cumple requisitos ni para grado precisión ni para grado standard.

Tabla 18. Ensayo 1: Tensión de 15V a velocidad de hilo de 2,2m/min

Valor consignado m/min	Valor Patrón m/min	Indicación equipo m/min	Corrección m/min	Tolerancia grado de precisión (2,5% Valor real) m/min	Tolerancia grado standard (10% Valor real) m/min
2,2	2,52	2,2	0,32	0,055	0,22
2,2	2,46	2,2	0,26	0,055	0,22
2,2	2,49	2,2	0,29	0,055	0,22
2,2	2,52	2,2	0,32	0,055	0,22
2,2	2,48	2,2	0,28	0,055	0,22

Ensayo 2: Tensión de 20V a velocidad de hilo de 4,4m/min (en este caso se observa que la máquina no cumple requisitos para grado precisión pero sí para grado standard).

Tabla 19. Ensayo 2: Tensión de 20V a velocidad de hilo de 4,4m/min

Valor consignado m/min	Valor Patrón m/min	Indicación equipo m/min	Corrección m/min	Tolerancia grado de precisión (2,5% Valor real) m/min	Tolerancia grado standard (10% Valor real) m/min
4,4	4,81	4,4	0,41	0,11	0,44
4,4	4,76	4,4	0,36	0,11	0,44
4,4	4,81	4,4	0,41	0,11	0,44
4,4	4,79	4,4	0,39	0,11	0,44
4,4	4,76	4,4	0,36	0,11	0,44

Ensayo 3: Tensión de 30V a velocidad de hilo de 9,7m/min (en este caso se observa que la máquina cumple requisitos tanto para grado precisión como para grado standard).

Tabla 20. Ensayo 3: Tensión de 30V a velocidad de hilo de 9,7m/min

Valor consignado m/min	Valor Patrón m/min	Indicación equipo m/min	Corrección m/min	Tolerancia grado de precisión (2,5% Valor real) m/min	Tolerancia grado standard (10% Valor real) m/min
9,7	9,63	9,7	-0,07	0,2425	0,97
9,7	9,64	9,7	-0,06	0,2425	0,97
9,7	9,49	9,7	-0,21	0,2425	0,97
9,7	9,53	9,7	-0,17	0,2425	0,97
9,7	9,58	9,7	-0,12	0,2425	0,97

Si bien obtenemos correcciones que en determinados puntos no satisfacen los requisitos para el grado de precisión requerido, esto es atribuible a que las pruebas se han realizado en modo de soldadura manual y no con un banco de resistencias que permita obtener valores estables.

Conclusiones:

Los resultados obtenidos en las diferentes pruebas realizadas permiten concluir que los procedimientos de medida elaborados son totalmente válidos, pero los patrones disponibles para la realización de los ensayos eléctricos no son los adecuados, a excepción del tacómetro digital.

En este sentido existen en el mercado equipos patrón que incorporan una carga resistiva que hace las funciones del electrodo, permitiendo realizar los ensayos de manera más sencilla y fiable.

Estos equipos se conectan a la fuente de potencia, de manera que la corriente eléctrica fluye a través de la resistencia cuando la fuente de potencia está en funcionamiento.

En realidad el equipo no incorpora una sola resistencia sino varias resistencias, que combinadas entre sí permiten obtener múltiples valores de intensidad y tensión. A su vez, el equipo dispone de medidores de Intensidad y Tensión integrados (voltímetro y amperímetro) que permiten obtener medidas de manera fácil y precisa.

Existen varios fabricantes que disponen de este tipo de equipos patrón que permiten calibrar fuentes de potencia de corriente continua, de corriente alterna y de ambas a la vez (se describen algunos de ellos en el Hito 3, tarea 3.2, método 2 “medición realizada sustituyendo el electrodo por una carga resistiva”).

Se propone la adquisición de un equipo de estas características para la calibración de magnitudes eléctricas, que permita la ejecución de los procedimientos de calibración definidos con resultados consistentes y fiables.

4. RESULTADOS OBTENIDOS. REPERCUSIÓN.

Con los trabajos desarrollados en este proyecto se ha obtenido:

- Un estudio detallado de las técnicas y métodos de calibración para las operaciones de soldadura de la industria. En concreto han sido estudiadas 7 familias de normas asociadas a la calidad y requisitos metrológicos de diversas técnicas de soldadura y 3 familias de normas relacionadas con los procesos de calibración, verificación y validación de máquinas de soldadura.
- Un estudio detallado de requisitos metrológicos (magnitudes y especificaciones) de las máquinas de soldadura presentes en la industria (incluidos los robots de soldadura).
- Se han identificado las principales tipologías de procesos de soldadura, las magnitudes más críticas asociadas a estas tipologías, y se han elaborado y descrito 5 procedimientos de calibración orientados a estas magnitudes, y se han evaluado los patrones de calibración necesarios.
- Se han realizado pruebas de calibración en base a algunas de las magnitudes y procedimientos propuestos (magnitudes eléctricas y velocidad de alimentación de hilo), y en base a los resultados obtenidos, se ha determinado la viabilidad técnica de dichos procedimientos, aunque es necesario la adquisición de un patrón de calibración basado en cargas resistivas, para una correcta ejecución del procedimiento de calibración.