Instrucciones de uso

Celda de soldadura robotizada RSZ-2600 (conjunto de máquinas)

Celda de soldadura MAG asistida por robot para conjuntos de acero de hasta 40 kg

Tipo / modelo: RSZ-2600

Año de fabricación: 2026

Muster Maschinenbau GmbH
Beispielstraße 1
12345 Musterstadt
Alemania

Edición 10/2026 · Versión 1.2 · N.º de proyecto MUSTER-2026-001-ES · N.º de documento MUSTER-2026-001-ES-BA · Aprobación: Borrador

Muster Maschinenbau GmbH
Beispielstraße 1
12345 Musterstadt

Correo electrónico: service@muster-maschinenbau.example
Web: www.muster-maschinenbau.example

Índice

1 Información básica importante

1.1 Alcance del suministro y límites de la máquina
1.2 Responsabilidades (fabricante / empresa usuaria)
1.3 Interfaces externas
1.4 Notas jurídicas y normas aplicadas
1.5 Documentación (estructura, abreviaturas, términos técnicos)
1.6 Normas armonizadas aplicadas

2 Seguridad

2.1 Uso previsto
2.2 Mal uso razonablemente previsible
2.3 Observancia del manual de instrucciones
2.4 Señalización de seguridad
2.5 Resguardos y dispositivos de protección
2.6 Riesgos residuales y medidas de protección

3 Datos técnicos

3.1 Equipamiento

4 Descripción de la máquina

4.1 Estructura y principales conjuntos
4.2 Puestos de trabajo del operador
4.3 Descripción del funcionamiento

5 Entrega, transporte, desembalaje

5.1 Indicaciones de seguridad para el transporte y la manipulación
5.2 Pesos, posiciones del centro de gravedad y medios de transporte
5.3 Puntos de elevación y elevación segura
5.4 Seguros de transporte
5.5 Desembalaje
5.6 Almacenamiento antes de la instalación

6 Condiciones de almacenamiento

6.1 Protección contra la corrosión
6.2 Periodo máximo de almacenamiento e inspecciones periódicas

7 Condiciones de emplazamiento

7.1 Espacio necesario y dimensiones
7.2 Cimentación / capacidad de carga
7.3 Condiciones ambientales
7.4 Conexiones de suministro

8 Montaje e instalación, primera puesta en servicio

8.1 Seguridad
8.2 Montaje e instalación
8.3 Primera puesta en servicio

9 Manejo

9.1 Seguridad
9.2 Elementos de mando e indicadores
9.3 Modos de funcionamiento
9.4 Puesta en marcha y reglaje
9.5 Desconexión

10 Mantenimiento

10.1 Registro de mantenimiento
10.2 Plan de inspección y mantenimiento
10.3 Plan de lubricación
10.4 Localización de averías

11 Desmontaje y eliminación

11.1 Indicaciones de seguridad para el desmontaje
11.2 Secuencia de desmontaje
11.3 Separación y eliminación de los fluidos de servicio
11.4 Separación de materiales y reciclaje

12 Planos y otra información

12.1 Planos y piezas de repuesto
12.2 Documentación eléctrica
12.3 Registro de la evaluación del riesgo

13 Ciberseguridad

13.1 Integración en la red de la empresa usuaria
13.2 Versión del software y evidencia de las intervenciones
13.3 Mantenimiento remoto
13.4 Actualizaciones
13.5 Conservación de los registros
13.6 Información sobre ciberseguridad

Anexo

Declaración de conformidad

Índice de tablas

Tabla 1 Normas aplicadas: Normas de tipo A (normas básicas de seguridad)

Tabla 2 Normas aplicadas: Normas de tipo B (normas genéricas de seguridad)

Tabla 3 Normas aplicadas: Normas de tipo C (normas de producto)

Tabla 4 Normas aplicadas: Otras normas aplicadas y especificaciones técnicas (sin presunción de conformidad)

Tabla 5 Resumen de los peligros residuales

Tabla 6 Interfaces digitales de la máquina

1 Información básica importante

Este manual de instrucciones se aplica a la celda de soldadura robotizada RSZ-2600 (número de serie RSZ2600-2026-0001, año de fabricación 2026) y está dirigido a la empresa usuaria, así como al personal responsable del manejo, el reglaje, el mantenimiento y el desmontaje. Forma parte de la máquina, debe estar accesible para el personal en todo momento y debe entregarse en caso de cambio de emplazamiento o de reventa. Este capítulo describe el alcance del suministro, los límites de la máquina, las interfaces externas y la base jurídica de esta documentación.

1.1 Alcance del suministro y límites de la máquina

Alcance del suministro: la RSZ-2600 se suministra como conjunto de máquinas plenamente funcional. El alcance del suministro incluye:

- Robot industrial de brazo articulado de 6 ejes (alcance de 2600 mm, carga útil de 12 kg), incluidos el controlador del robot y la consola de programación
- Mesa giratoria de dos estaciones con pared central divisoria fija, cortina de soldadura y garras neumáticas de sujeción de piezas
- Fuente de corriente de soldadura MAG de 400 A con un factor de marcha del 60 por ciento, con unidad de alimentación de hilo, antorcha de soldadura refrigerada por agua con unidad de refrigeración y estación de limpieza de la antorcha
- Unidad de aspiración de humos de soldadura de 1800 m³/h con separador previo de chispas, cartucho filtrante, vigilancia de la temperatura del cartucho filtrante, compuertas de cierre motorizadas y detectores de humo y de CO
- Resguardo perimetral (vallado perimetral) de 2200 mm de altura con puerta de mantenimiento, cortina fotoeléctrica de tipo 4, PLC de seguridad, pupitre de mando y armario de control
- Pasarela de red con cortafuegos y acceso de mantenimiento remoto
- Iluminación del puesto de trabajo integrada en la máquina conforme a EN 1837 y plataforma de pie regulable en altura en el puesto de carga
- Manual de instrucciones con los documentos adjuntos enumerados en el capítulo 12 (entre ellos, la declaración UE de conformidad, el plano de instalación, los esquemas de circuitos, el esquema neumático, la lista de piezas de repuesto, el plan de ensayos de las funciones de seguridad y el formulario de registro de mantenimiento)

No incluido en el alcance del suministro:

- Utillajes de sujeción específicos de la pieza (salvo acuerdo por separado); para los requisitos de los utillajes de sujeción de la empresa usuaria, véase el capítulo 3.1
- El suministro de gas de protección aportado por el cliente
- Las conexiones de fluidos aportadas por el cliente
- Un conducto de aire de escape opcional para la unidad de aspiración
- La ayuda de elevación para piezas de más de 15 kg en el puesto de carga (aportada por el cliente, capacidad de carga de al menos 40 kg)

Límites de uso: soldadura MAG de conjuntos de acero (acero no aleado y de baja aleación) de hasta 40 kg de peso de pieza y con unas dimensiones envolventes máximas de pieza de 800 x 600 x 400 mm. Producción en serie exclusivamente con programas de soldadura predefinidos y aprobados. Carga y descarga manuales en la respectiva estación frontal por personal especializado formado, tiempo de ciclo de aproximadamente 90 segundos. No destinada a piezas de aluminio, galvanizadas o recubiertas, ni a la soldadura manual dentro de la celda, ni a piezas con tensiones residuales de procesos anteriores.

Límites espaciales: superficie de aproximadamente 6,5 x 4,0 m, altura de 2,6 m. Espacio de trabajo del robot con un alcance de 2600 mm, completamente cerrado por el vallado perimetral de 2200 mm de altura y por la pared central divisoria fija de la mesa giratoria. Zona de giro de la mesa giratoria de 180 grados. Puesto de carga delante de la abertura de carga, cortina fotoeléctrica de tipo 4 con resolución de 30 mm, distancia de seguridad calculada y documentada conforme a EN ISO 13855. Una puerta de mantenimiento en la parte posterior. Las interfaces con los procesos anteriores y posteriores son exclusivamente manuales.

Límites temporales: vida útil prevista de 12 años en 2 turnos, mantenimiento anual por el fabricante, inspección semestral de las funciones de seguridad, inspección del bloqueo del resguardo y de la cortina fotoeléctrica conforme a EN ISO 14119 y EN ISO 13855 en cada visita de mantenimiento. Piezas de desgaste: antorcha de soldadura, tubos de contacto, tobera de gas, rodillos de alimentación de hilo, cartucho filtrante de la unidad de aspiración, cortina de soldadura.

Límites ambientales: zona interior seca de una nave de producción, de 5 a 40 grados C, humedad relativa de hasta el 70 por ciento sin condensación, alimentación de red de 400 V CA 50 Hz TN-S, potencia conectada de 32 kVA, aire comprimido de 6 bar exento de aceite, instalación sobre un suelo industrial de hormigón nivelado. Sin zona con peligro de explosión, sin uso al aire libre.

Límites del conjunto: la celda comprende el robot (cuasi máquina con declaración UE de incorporación), la mesa giratoria, la fuente de corriente de soldadura (equipo con marcado CE), la unidad de aspiración y los componentes de vallado, puerta y sensores. Las interfaces entre estas partes se han evaluado en la evaluación del riesgo del conjunto y se han tenido en cuenta en la declaración UE de conformidad del conjunto.

1.2 Responsabilidades (fabricante / empresa usuaria)

Las responsabilidades del fabricante y de la empresa usuaria se reparten del siguiente modo:

Responsabilidades del fabricante: diseño, fabricación y conformidad del conjunto de máquinas, incluidas la evaluación del riesgo, la validación de las funciones de seguridad y la documentación técnica; primera puesta en servicio con recepción documentada; mantenimiento anual conforme a lo acordado; suministro de piezas de repuesto y asistencia técnica.

Responsabilidades de la empresa usuaria: funcionamiento de la máquina exclusivamente en el marco del uso previsto; selección y cualificación del personal y su instrucción periódica y documentada (al menos una vez al año); puesta a disposición del equipo de protección individual y supervisión de su uso; evaluación de riesgos del puesto de trabajo conforme a la Ley alemana de

seguridad y salud en el trabajo (ArbSchG) y al Reglamento alemán de seguridad de los equipos de trabajo (BetrSichV), incluidos el ruido y los humos de soldadura (regla técnica alemana para sustancias peligrosas TRGS 528); inspección periódica del equipo eléctrico conforme a la DGUV Vorschrift 3 (reglamento alemán del seguro de accidentes sobre instalaciones y equipos eléctricos); inspección semestral de las funciones de seguridad y mantenimiento conforme al capítulo 10, incluida la llevanza del registro de mantenimiento; suministro de los fluidos aportados por el cliente (alimentación eléctrica, aire comprimido, gas de protección) con la calidad requerida; puesta a disposición e inspección periódica de una ayuda de elevación para piezas de más de 15 kg en el puesto de carga (capacidad de carga de al menos 40 kg); vigilancia de la salud de los trabajadores en caso de exposición a humos de soldadura; transmisión de la alarma de incendio de la unidad de aspiración (detectores de humo y de CO) a un puesto con dotación permanente conforme al concepto de protección contra incendios del edificio; comunicación al fabricante de los sucesos y fallos relevantes para la seguridad.

Modificaciones de la máquina: las transformaciones y los reequipamientos solo están permitidos previa autorización por escrito del fabricante. Las modificaciones sustanciales en el sentido del Reglamento relativo a las máquinas pueden requerir una nueva evaluación de la conformidad.

1.3 Interfaces externas

La máquina dispone de las siguientes interfaces de suministro y de fluidos:

- Alimentación eléctrica: 400 V CA, 3/N/PE, 50 Hz, sistema TN-S, potencia conectada de 32 kVA, protección por fusibles de 63 A gG aportada por el cliente, alimentación en el interruptor principal del armario de control.
- Suministro de aire comprimido: 6 bar, exento de aceite, conexión G 1/2 en la unidad de mantenimiento de la máquina.
- Suministro de gas de protección (aportado por el cliente): mezcla de gases M21 conforme a EN ISO 14175 (82 por ciento de argón, 18 por ciento de CO2), conexión en la fuente de corriente de soldadura, caudal de aproximadamente 15 l/min en la antorcha.
- Aspiración de humos de soldadura: unidad de aspiración integrada en la celda, de 1800 m³/h, con cartucho filtrante, en funcionamiento en recirculación; conexión de aire de escape opcional aportada por el cliente.
- Interfaces de señales: contactos de señalización libres de potencial (estado de funcionamiento y mensaje de fallo colectivo) para la conexión a un sistema de control de nivel superior. No existen interfaces relevantes para la seguridad con instalaciones adyacentes; el encadenamiento con los procesos anteriores y posteriores es exclusivamente manual.
- Interfaces de datos: OPC UA hacia el MES de la empresa usuaria (recepción de pedidos, retorno de datos de producción) y mantenimiento remoto por VPN por parte del fabricante, ambos exclusivamente a través de la pasarela suministrada; puerto USB en el panel HMI para copias de seguridad de datos y actualizaciones. Para más detalles, véase el capítulo 13 (Ciberseguridad).

Los requisitos para la ejecución de las conexiones por parte del cliente se describen en el capítulo 7 (Condiciones de emplazamiento).

1.4 Notas jurídicas y normas aplicadas

El fabricante declara la conformidad de la máquina con la siguiente legislación de armonización de la Unión:

- Reglamento (UE) 2023/1230 relativo a las máquinas
- Directiva 2014/30/UE sobre compatibilidad electromagnética

Los objetivos de seguridad establecidos en la Directiva 2014/35/UE se cumplen conforme al anexo III, punto 1.5.1, del Reglamento relativo a las máquinas. La declaración UE de conformidad se adjunta a este manual de instrucciones; el marcado CE está colocado en la placa de características. Este manual de instrucciones se ha elaborado conforme al anexo III, puntos 1.7.4 a 1.7.4.2, del Reglamento (UE) 2023/1230. Esta versión en español es una traducción; en caso de duda, prevalece la versión alemana.
No están permitidas las transformaciones ni las modificaciones no autorizadas de la máquina, en particular de los resguardos y dispositivos de protección y del controlador de seguridad. Pueden invalidar la conformidad de la máquina y conllevar la pérdida de la garantía; el fabricante no asume ninguna responsabilidad por los daños que se deriven de ello. Solo pueden utilizarse piezas de repuesto que cumplan los requisitos especificados por el fabricante.
Esta documentación está protegida por derechos de autor. Su reproducción y su comunicación a terceros solo están permitidas en la medida necesaria para el funcionamiento, el mantenimiento o la reventa de la máquina.
La lista completa de las normas aplicadas figura al final de este capítulo.

1.5 Documentación (estructura, abreviaturas, términos técnicos)

Estructura: este manual de instrucciones se divide en 13 capítulos y sigue el ciclo de vida de la máquina desde la entrega hasta la eliminación. La información relevante para la seguridad se presenta de forma conjunta en el capítulo 2 y, además, al principio de los respectivos capítulos de actividades.

Presentación de las advertencias: las advertencias se gradúan según el nivel de peligro. PELIGRO identifica una situación de peligro inminente que provoca la muerte o lesiones graves. ADVERTENCIA identifica una situación potencialmente peligrosa que puede provocar la muerte o lesiones graves. ATENCIÓN identifica una situación que puede provocar lesiones leves o moderadas. AVISO indica información para evitar daños materiales.

Abreviaturas: CEM = compatibilidad electromagnética; CMR = carcinógeno, mutágeno o tóxico para la reproducción; EMF = campos electromagnéticos (electromagnetic fields); EPI = equipo de protección individual; ESPE = equipo de protección electrosensible; HMI = interfaz hombre-máquina (interfaz de operador); LOTO = lockout/tagout (aislamiento y aseguramiento contra la reconexión); MAG = soldadura por arco con gas activo (metal active gas); MES = sistema de ejecución de la fabricación (manufacturing execution system); MR = Reglamento (UE) 2023/1230 relativo a las máquinas; OPC UA = Open Platform Communications Unified Architecture (protocolo de la interfaz de datos con el MES); PL = nivel de prestaciones (performance level) conforme a EN ISO 13849-1;

PLC = controlador lógico programable; PLr = nivel de prestaciones requerido; SLS = velocidad reducida segura (Safely-Limited Speed); SRP/CS = parte de un sistema de mando relativa a la seguridad; TCP = punto central de la herramienta (tool centre point); VPN = red privada virtual (conexión cifrada para el mantenimiento remoto); WLL = carga máxima de utilización de un accesorio de elevación.

Documentos asociados: instrucciones de montaje del fabricante del robot, manuales de instrucciones de la fuente de corriente de soldadura, de la unidad de alimentación de hilo y de la unidad de aspiración de humos de soldadura, esquemas eléctricos y neumáticos, declaración UE de conformidad e informes de inspección y actas de recepción. Estos documentos deben conservarse junto con este manual de instrucciones.

1.6 Normas armonizadas aplicadas

Tabla 1: Normas aplicadas: Normas de tipo A (normas básicas de seguridad)

Norma	Título	Incluida en
EN ISO 12100:2010	Safety of machinery - General principles for design - Risk assessment and risk reduction (ISO 12100:2010)	2006/42/CE

Tabla 2: Normas aplicadas: Normas de tipo B (normas genéricas de seguridad)

Norma	Título	Incluida en
EN 1005-2:2003+A1:2008	Safety of machinery - Human physical performance - Part 2: Manual handling of machinery and component parts of machinery	2006/42/CE
EN 60204-1:2018	Safety of machinery - Electrical equipment of machines - Part 1: General requirements	2006/42/CE, 2014/35/EU
EN ISO 11161:2007+A1:2010	Safety of machinery. Integrated manufacturing systems. Basic requirements	2006/42/CE
EN ISO 11202:2010	Acoustics - Noise emitted by machinery and equipment - Determination of emission sound pressure levels at a work station and at other specified positions applying approximate environmental corrections (ISO 11202:2010)	2006/42/CE
EN ISO 13732-1:2008	Ergonomics of the thermal environment - Methods for the assessment of human responses to contact with surfaces - Part 1: Hot surfaces (ISO 13732-1:2006)	2006/42/CE
EN ISO 13849-1:2023	Safety of machinery - Safety-related parts of control systems - Part 1: General principles for design (ISO 13849-1:2023)	2006/42/CE
EN ISO 13849-2:2012	Safety of machinery - Safety-related parts of control systems - Part 2: Validation (ISO 13849-2:2012)	2006/42/CE
EN ISO 13850:2015	Safety of machinery - Emergency stop function - Principles for design (ISO 13850:2015)	2006/42/CE
EN ISO 13854:2019	Safety of machinery - Minimum gaps to avoid crushing of parts of the human body (ISO 13854:2017)	2006/42/CE

Norma	Título	Incluida en
EN ISO 13855:2024	Safety of machinery - Positioning of safeguards with respect to the approach of the human body (ISO 13855:2024)	2006/42/CE
EN ISO 13857:2019	Safety of machinery - Safety distances to prevent hazard zones being reached by upper and lower limbs (ISO 13857:2019)	2006/42/CE
EN ISO 14118:2018	Safety of machinery - Prevention of unexpected start-up (ISO 14118:2017)	2006/42/CE
EN ISO 14119:2025	Safety of machinery - Interlocking devices associated with guards - Principles for design and selection (ISO 14119:2024)	2006/42/CE
EN ISO 14120:2015	Safety of machinery - Guards - General requirements for the design and construction of fixed and movable guards (ISO 14120:2015)	2006/42/CE
EN ISO 3746:2010	Acoustics - Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure - Survey method using an enveloping measurement surface over a reflecting plane (ISO 3746:2010)	2000/14/CE, 2006/42/CE
EN ISO 4414:2010	Pneumatic fluid power - General rules and safety requirements for systems and their components (ISO 4414:2010)	2006/42/CE
EN ISO 4871:2009	Acoustics - Declaration and verification of noise emission values of machinery and equipment (ISO 4871:1996)	2000/14/CE, 2006/42/CE

Tabla 3: Normas aplicadas: Normas de tipo C (normas de producto)

Norma	Título	Incluida en
EN ISO 10218-1:2025	Robotics - Safety requirements - Part 1: Industrial robots (ISO 10218-1:2025)	2006/42/CE
EN ISO 10218-2:2025	Robotics - Safety requirements - Part 2: Industrial robot applications and robot cells (ISO 10218-2:2025)	2006/42/CE
EN ISO 21904-1:2020	Health and safety in welding and allied processes - Equipment for capture and separation of welding fume - Part 1: General requirements (ISO 21904-1:2020)	2006/42/CE

Tabla 4: Normas aplicadas: Otras normas aplicadas y especificaciones técnicas (sin presunción de conformidad)

Norma	Título	Incluida en
EN IEC 61000-6-2:2019	Electromagnetic compatibility (EMC). Part 6-2: Generic standards. Immunity for industrial environments	2014/30/EU
EN IEC 61000-6-4:2019	Electromagnetic compatibility (EMC). Part 6-4: Generic standards. Emission standard for industrial environments	2014/30/EU
EN ISO 7010:2020	Graphical symbols. Safety colours and safety signs. Registered safety signs	

2 Seguridad

Este capítulo contiene la información de seguridad fundamental para todas las fases de la vida de la celda de soldadura robotizada RSZ-2600. Abarca:

- el uso previsto
- el mal uso razonablemente previsible
- los resguardos y dispositivos de protección instalados
- la señalización de seguridad en la máquina

Además, se aplican las indicaciones de seguridad relativas a las actividades de los capítulos 5 a 11. El resumen completo de todos los riesgos residuales con las medidas de protección de la evaluación del riesgo se adjunta al final de este capítulo y debe ser observado por todas las personas que trabajen en la máquina o con ella.

2.1 Uso previsto

La celda de soldadura robotizada RSZ-2600 está destinada exclusivamente a la soldadura MAG automatizada de conjuntos de acero no aleado y de baja aleación con un peso de pieza de hasta 40 kg y unas dimensiones envolventes máximas de pieza de 800 x 600 x 400 mm en producción en serie, con programas de soldadura especificados y aprobados. La carga y la descarga las realiza manualmente personal especializado formado en la respectiva estación frontal de la mesa giratoria de dos estaciones, con un tiempo de ciclo de aproximadamente 90 segundos. No está previsto el acceso de personas a la zona de trabajo del robot durante el funcionamiento automático.

Configuración como conjunto de máquinas: (1) Robot industrial de brazo articulado, 6 ejes, alcance de 2600 mm, carga útil de 12 kg, suministrado por el fabricante del robot como cuasi máquina con declaración UE de incorporación conforme al anexo V, parte B, e instrucciones de montaje conforme al anexo XI. (2) Mesa giratoria de dos estaciones con eje de giro vertical y giro de 180 grados, pared central divisoria fija con cortina de soldadura, garras neumáticas de sujeción de piezas. (3) Fuente de corriente de soldadura MAG de 400 A con un factor de marcha del 60 por ciento, con marcado CE, con alimentador de hilo y estación de limpieza de la antorcha. (4) Aspiración de humos de soldadura de 1800 m³/h con cartucho filtrante. Todos los componentes se controlan conjuntamente y se introducen en el mercado como una única unidad.

El uso previsto incluye también el cumplimiento de este manual de instrucciones, de los intervalos de mantenimiento especificados y de las condiciones ambientales y de conexión indicadas en los capítulos 3 y 7. La máquina está destinada a la instalación fija en una nave de producción seca, en interior. Cualquier uso distinto o que vaya más allá se considera uso no previsto; la empresa usuaria es la única responsable de los daños que se deriven de ello. Se consideran usos no previstos, en particular: la soldadura de piezas de aluminio, galvanizadas o recubiertas; la soldadura manual dentro de la celda; el procesamiento de piezas fuera de los límites de geometría y peso aprobados; el funcionamiento en atmósferas potencialmente explosivas o al aire libre.

2.2 Mal uso razonablemente previsible

Entrar en la zona de trabajo del robot a través de la abertura de carga pese a la cortina fotoeléctrica, por ejemplo trepando por encima, arrastrándose por debajo o introduciendo la mano entre los haces; manipular o puentear la cortina fotoeléctrica, por ejemplo cubriéndola con cinta adhesiva o fijando un objeto en el campo de protección; eludir el bloqueo del resguardo de la puerta de mantenimiento mediante un actuador de repuesto o fijando la posición de la puerta; permanecer en la zona de giro de la mesa giratoria durante el giro; ajustar o retocar la pieza durante el funcionamiento automático sin detener la máquina; dejar el selector de modo de funcionamiento en la posición Reglaje durante el funcionamiento de producción; accionar de forma continua o fijar el dispositivo de validación; trabajar en la celda sin equipo de protección individual, en particular sin gafas de soldadura o pantalla de protección; hacer funcionar la máquina con la aspiración de humos de soldadura desconectada u obstruida; limpiar la celda con la instalación conectada; realizar trabajos de mantenimiento en la neumática sin despresurizarla y sin asegurarla contra una puesta en marcha involuntaria; elevar manualmente piezas de más de 15 kg sin la ayuda de elevación suministrada por la empresa usuaria; permitir el manejo por personal no instruido o por trabajadores temporales sin instrucción inicial; introducir piezas fuera de la geometría de pieza aprobada, lo que provoca colisiones; abrir la fuente de corriente de soldadura antes de que haya transcurrido el tiempo de descarga.

2.3 Observancia del manual de instrucciones

El conocimiento de este manual de instrucciones es un requisito fundamental para el manejo seguro de la máquina. Antes de realizar cualquier trabajo en la máquina o con ella, el personal designado debe haber leído y comprendido el capítulo correspondiente, así como el capítulo 2 (Seguridad). El manual de instrucciones debe conservarse en las inmediaciones de la máquina y estar accesible para el personal en todo momento.

Cualificación del personal: manejo solo por personal instruido; reglaje, aprendizaje y localización de averías solo por personal de reglaje formado con formación en robótica; mantenimiento solo por personal especializado cualificado; trabajos en el equipo eléctrico solo por personas con cualificación en electricidad; trabajos en el equipo de soldadura y en la aspiración solo por personal cualificado para ello. Las personas en formación solo pueden trabajar en la máquina bajo la supervisión constante de un especialista experimentado.

La empresa usuaria debe garantizar que las responsabilidades estén claramente definidas, que se impartan instrucciones con regularidad y de forma documentada y que solo el personal autorizado tenga acceso a la máquina. Además de este manual de instrucciones, deben observarse las normas aplicables en materia de seguridad y salud en el trabajo y de prevención de accidentes, así como las instrucciones internas de la empresa usuaria.

2.4 Señalización de seguridad

En la máquina están colocadas de forma permanente las siguientes señales de seguridad y de información. Deben mantenerse en estado legible y sustituirse si están dañadas.

Señales de advertencia (ISO 7010): «Advertencia; Electricidad» (W012) en el armario de control, en la fuente de corriente de soldadura y en la zona de soldadura; «Advertencia; Superficie caliente» (W017) en la mesa giratoria, en la estación de limpieza de la antorcha y en el lado de retirada del puesto de carga; «Advertencia; Radiación óptica» (W027) en la abertura de carga y en la puerta de mantenimiento; «Advertencia; Arranque automático» (W018) en todos los accesos a la zona de trabajo del robot y en el pupitre de mando; «Advertencia; Aplastamiento» (W019) en la zona de giro de la mesa giratoria; «Advertencia; Aplastamiento de manos» (W024) en la mesa giratoria, en el puesto de carga y en las chapas laterales y el bastidor de la cortina fotoeléctrica; «Advertencia; Cargas suspendidas» (W015) en la mesa giratoria, en el puesto de carga y en los puntos de elevación de los grupos constructivos relevantes para el transporte; «Advertencia; Elemento afilado» (W022) en el portaantorcha y en la unidad de alimentación de hilo; «Advertencia; Campo magnético» (W006) en la puerta de mantenimiento, en el puesto de carga y en la fuente de corriente de soldadura; «Advertencia; Superficie resbaladiza» (W011) en el acceso al puesto de carga y al pasillo de mantenimiento; «Advertencia; Obstáculo a ras de suelo» (W007) en los puntos de tropiezo del pasillo de mantenimiento.

«Señal de advertencia general» (W001) con texto complementario: «Peligro de incendio por proyecciones de soldadura» en el vallado perimetral; «Humos de soldadura nocivos» en la zona de soldadura; «Polvo nocivo» y «Peligro de incendio por chispas en el filtro» en la carcasa del filtro de la unidad de aspiración; «Presión residual en el utillaje de sujeción» en los utillajes de sujeción y en la válvula de corte del aire comprimido; «Riesgo de vuelco antes del anclaje» en dos lados opuestos del bastidor base (para el montaje y el traslado). En el lugar de instalación del suministro de gas de protección aportado por el cliente, la empresa usuaria coloca la señal de advertencia W001 con el texto complementario «Riesgo de asfixia por gas de protección».

Señales de prohibición: señal de prohibición complementaria «Prohibido el paso a personas no autorizadas» (ASR A1.3 alemana, D-P006) en la puerta de mantenimiento y en el armario de control; «Prohibido el acceso a personas con dispositivos cardíacos implantados activos» (ISO 7010, P007) en todos los accesos, ya que durante la soldadura MAG se generan campos electromagnéticos; «Prohibido introducir las manos» (ISO 7010, P015) en la mesa giratoria y en la abertura de carga.

Señales de obligación (ISO 7010): «Uso obligatorio de protección ocular» (M004) en el puesto de carga y en la puerta de mantenimiento; «Uso obligatorio de protección auditiva» (M003) en el puesto de carga; «Uso obligatorio de guantes de protección» (M009) en el lado de retirada del puesto de carga y en la puerta de mantenimiento; «Uso obligatorio de calzado de seguridad» (M008) en toda la zona de trabajo; «Uso obligatorio de ropa de protección» (M010) en la puerta de mantenimiento; «Uso obligatorio de protección respiratoria» (M017) en la zona de soldadura y en la carcasa del filtro de la unidad de aspiración.

Marcados adicionales: placa de características con marcado CE en la pared lateral derecha del armario de control; identificación de los dispositivos de parada de emergencia; indicación sobre el tiempo de descarga en la fuente de corriente de soldadura; marcas del centro de gravedad y de los

puntos de elevación en los grupos constructivos relevantes para el transporte; marcado en el suelo amarillo y negro conforme a la regla técnica alemana para lugares de trabajo ASR A1.3 para las vías de circulación y la zona de apertura de la puerta de mantenimiento.

Rótulos de texto: «Manipulación manual solo hasta 15 kg; por encima, utilizar la ayuda de elevación» en el puesto de carga; «Colocar su candado personal antes de entrar» e «Interrumpir el trabajo si falla el alumbrado» en la puerta de mantenimiento; «Comprobar la pinza de masa antes de iniciar la soldadura» en los utillajes de sujeción; «No abrir en caso de alarma de incendio» en la trampilla de mantenimiento de la carcasa del filtro; «Modificar el tendido de cables solo conforme al esquema eléctrico RSZ-2600-EPL-001» y «Cambios de parámetros solo por personal especializado autorizado; se requiere una prueba de validación posterior» en el armario de control; «Antes de intervenir: purgar a 0 bar y bloquear la válvula de corte» en la válvula de corte del aire comprimido; rótulo de texto que indica el ámbito de actuación de los dispositivos de parada de emergencia (la parada de emergencia actúa sobre todas las submáquinas de la celda) en el pupitre de mando.

2.5 Resguardos y dispositivos de protección

Los resguardos y dispositivos de protección que se describen a continuación están instalados de forma permanente en la RSZ-2600. No deben retirarse, modificarse ni eludirse. La máquina solo puede funcionar con todos los resguardos y dispositivos de protección completamente montados y en estado de funcionamiento.

Resguardos fijos y móviles: resguardo perimetral (vallado perimetral) de 2200 mm de altura, con paneles de relleno opacos a la luz de soldadura, ventanas de observación con protección para soldadura y panel de zócalo; diseño de las distancias de seguridad conforme a EN ISO 13857. Puerta de mantenimiento en la parte posterior como resguardo con dispositivo de enclavamiento y bloqueo del resguardo conforme a EN ISO 14119 (bloqueo por fuerza de resorte y desbloqueo por energía; actuador codificado); el bloqueo del resguardo solo se libera una vez extinguido el arco y con el robot y la mesa giratoria en parada vigilada. Desde el interior, la puerta de mantenimiento puede abrirse en cualquier momento sin herramientas mediante el desbloqueo de escape; su accionamiento provoca una parada. La manilla de la puerta está provista de un dispositivo de bloqueo para candados personales: cada persona que entra en la celda coloca su propio candado con la puerta abierta y se lleva la llave consigo. Mientras haya un candado colocado, la puerta no puede cerrarse y el modo automático no puede iniciarse. En ese caso, los movimientos solo son posibles en modo de reglaje con el dispositivo de validación accionado y a velocidad reducida segura. Pared central divisoria fija de la mesa giratoria de dos estaciones con cortina de soldadura entre el puesto de carga y la zona de soldadura.

Equipo de protección electrosensible: cortina fotoeléctrica de tipo 4 conforme a EN IEC 61496-1:2020 y EN IEC 61496-2:2020 con resolución de 30 mm en la abertura de carga; el campo de protección cubre por completo la abertura de carga y es eficaz de forma continua (sin muting), y las aberturas restantes están cerradas mediante resguardos fijos conforme a EN ISO 13857:2019, tabla 4; distancia de seguridad calculada y documentada conforme a EN ISO 13855. Una intrusión en el campo de protección provoca una parada segura del robot y de la mesa giratoria.

Controlador de seguridad y funciones de seguridad: un PLC de seguridad evalúa todos los resguardos y dispositivos de protección. Funciones de seguridad principales conforme a EN ISO 13849-1: SF-01 enclavamiento y bloqueo del resguardo de la puerta de mantenimiento con desconexión segura de la fuente de corriente de soldadura con la puerta abierta (PL d, categoría 3); SF-02 cortina fotoeléctrica en la abertura de carga (PL e, categoría 4); SF-03 parada de emergencia (PL d, categoría 3); SF-04 habilitación del movimiento de giro de la mesa giratoria (PL e, categoría 4); SF-05 velocidad reducida segura en modo de reglaje, máximo 250 mm/s en el TCP (PL d). La vigilancia de la presión de sujeción de las garras de sujeción de piezas está integrada como condición de habilitación en la función de seguridad SF-04; la mesa giratoria solo gira con la presión de sujeción confirmada (véase la evaluación del riesgo, n.º 5). La validación de las funciones de seguridad está documentada conforme a EN ISO 13849-2.

Parada de emergencia: dispositivos de parada de emergencia conforme a EN ISO 13850 en el pupitre de mando, en la puerta de mantenimiento y en la consola de programación. La parada de emergencia actúa sobre todas las submáquinas de la celda (robot, mesa giratoria, fuente de corriente de soldadura, alimentación de hilo) y provoca una parada controlada (categoría de parada 1 conforme a EN 60204-1). El rearranque solo es posible tras desenclavar el dispositivo de parada de emergencia accionado y confirmar manualmente en el pupitre de mando.

Selección del modo de funcionamiento y modo de reglaje: selector de modo de funcionamiento bloqueable con los modos de funcionamiento Automático y Reglaje; la llave permanece en poder de la persona autorizada. En modo de reglaje, la velocidad está limitada de forma segura a 250 mm/s y los movimientos solo son posibles con el dispositivo de validación de tres posiciones de la consola de programación conforme a EN ISO 10218-1 accionado; soltar o presionar a fondo el dispositivo provoca una parada controlada (categoría de parada 1).

Bloqueo de rearranque y aviso de arranque: tras la actuación de un dispositivo de protección, tras una parada de emergencia y tras el restablecimiento de la tensión, la función de bloqueo de rearranque impide un rearranque automático. La confirmación se realiza exclusivamente en el pupitre de mando, fuera de la zona peligrosa y con vista a la abertura de carga. Antes del arranque automático suena un aviso de arranque; la columna de señalización indica el estado de funcionamiento.

Aislamiento de la energía: interruptor principal con posición de desconexión bloqueable conforme a EN 60204-1 para el aislamiento seguro (LOTO); válvula de corte del aire comprimido bloqueable con función de escape e indicador de presión residual en el punto de acceso de mantenimiento; indicación de advertencia sobre el tiempo de descarga de la fuente de corriente de soldadura antes de abrirla.

Seguridad neumática: presostato en el circuito de sujeción, que solo habilita el movimiento de giro de la mesa giratoria con la presión de sujeción confirmada; sensor de presencia de pieza en cada estación, que comunica la posición de la pieza; válvula antirretorno pilotada (válvula de retención de presión) en la línea de sujeción, que mantiene sujeta la pieza en caso de caída de presión, con accionamiento manual para la despresurización controlada en caso de fallo.

Medidas de protección adicionales: embrague de protección contra colisiones en la antorcha de soldadura con parada de seguridad inmediata en caso de colisión; protección contra impactos en la zona de la mesa giratoria y chapa deflectora debajo de la mesa giratoria como dispositivo de retención; tiempo de bloqueo por enfriamiento para cada programa de soldadura con luz de señalización roja en el puesto de retirada; vigilancia de la temperatura en el cuello de la antorcha con indicación de liberación en el panel HMI; aspiración de humos de soldadura de 1800 m³/h con vigilancia del rendimiento de aspiración, separador previo de chispas, vigilancia de la temperatura del cartucho filtrante, compuertas de cierre motorizadas y detectores de humo y de CO (enclavamientos operativos sin requisito de PL); iluminación del puesto de trabajo integrada en la máquina con aviso de fallo en el panel HMI; marcado en el suelo para las vías de circulación y puentes pasacables con protección para el paso de vehículos en las inmediaciones de la celda.

La eficacia de los resguardos y dispositivos de protección debe comprobarse conforme a los requisitos establecidos en el capítulo 9 (inspecciones diarias) y en el capítulo 10 (inspecciones periódicas). Cualquier defecto detectado debe comunicarse de inmediato; la máquina debe ponerse fuera de servicio hasta que se hayan realizado las reparaciones.

2.6 Riesgos residuales y medidas de protección

A pesar de los resguardos y dispositivos de protección descritos, en la máquina persisten riesgos residuales que no pueden eliminarse por completo mediante el diseño. El resumen completo de los 42 riesgos residuales, estructurado por fase de la vida, junto con las medidas de protección correspondientes, se ha tomado de la evaluación del riesgo y se adjunta al final de este capítulo. Allí, las medidas de protección se enumeran para cada peligro en el orden de EN ISO 12100: diseño inherentemente seguro (etapa 1), protección y medidas de protección complementarias (etapa 2), información para la utilización (etapa 3).

Resumen de los principales riesgos residuales: peligro de aplastamiento y de choque por el robot y la mesa giratoria durante trabajos con los resguardos y dispositivos de protección abiertos (reglaje, localización de averías); radiación óptica del arco, así como superficies calientes y proyecciones de soldadura en las inmediaciones de las estaciones; peligro por humos de soldadura en caso de aspiración insuficiente; peligro eléctrico en el armario de control y en la fuente de corriente de soldadura; energía neumática almacenada en el circuito de sujeción; exposición al ruido en el puesto de carga (84 dB(A)); campos electromagnéticos en las inmediaciones del proceso de soldadura.

Equipo de protección individual: durante el manejo de la máquina deben llevarse como mínimo: calzado de seguridad S3 conforme a EN ISO 20345, ropa de trabajo ajustada e ignífuga, gafas de seguridad con protección lateral y protección auditiva. Al manipular piezas deben llevarse además guantes de protección y, al retirar piezas soldadas, guantes de protección térmica. Los guantes de protección no protegen contra el aplastamiento. Introduzca las manos en la zona de giro solo cuando la mesa giratoria esté detenida. Durante los trabajos de reglaje, mantenimiento y limpieza en la celda, además: gafas de soldadura o pantalla de protección en caso de contacto visual con el arco, guantes de soldador al trabajar en componentes que aún estén calientes. El EPI lo proporciona la empresa usuaria, que también debe supervisar su uso.

Actuación en caso de peligro: ante peligros reconocibles, accione inmediatamente la parada de emergencia, aísle la máquina en el interruptor principal e informe al superior. Una persona encerrada dentro de la celda la abandona mediante el desbloqueo de escape de la puerta de mantenimiento. Si una persona queda atrapada por el robot o por la mesa giratoria: accione la parada de emergencia y active la cadena interna de respuesta ante emergencias. Sin energía de accionamiento, los ejes del robot pueden moverse mediante el dispositivo de liberación de frenos conforme a las instrucciones del fabricante del robot; apoye previamente el eje afectado, porque puede descender una vez liberado el freno. Con la máquina aislada, la mesa giratoria puede girarse a mano tras liberar el freno del motor. El rescate solo lo realiza personal de reglaje y de mantenimiento instruido. Los incendios en el equipo eléctrico solo deben combatirse con extintores de CO2 o de polvo, nunca con agua. Para la actuación en caso de incendio en la unidad de aspiración, véase el capítulo 9.5. En caso de accidente, preste primeros auxilios y siga la cadena interna de respuesta ante emergencias.

Tabla 5: Resumen de los peligros residuales

N.º	Peligro	Fases de la vida
28	**Mecánico** Peligro por caída de piezas durante el transporte y la instalación de la celda: Durante el transporte con grúa o carretilla elevadora de los componentes de la celda (segmentos del vallado perimetral, armario de control, bastidor base del robot), las piezas pueden caer por errores de eslingado o por balanceo de la carga y golpear a personas.	Transporte, Montaje
29	**Mecánico** Peligro por estabilidad insuficiente de la celda durante la instalación: Si la celda se instala sobre un suelo irregular o sin capacidad de carga, o si los anclajes de alta resistencia no se colocan y aprietan según lo especificado, la instalación puede volcar o desplazarse; las personas situadas en las proximidades pueden ser golpeadas.	Montaje, Puesta en servicio
39	**Corrupción/ciberseguridad** La conexión de equipos ajenos genera una situación peligrosa: Un equipo ajeno conectado (el sistema de control de línea o MES de nivel superior de la empresa usuaria, la pasarela de mantenimiento remoto, señales del lado de la empresa usuaria procedentes del sistema de aspiración o del suministro de gas) envía señales inesperadas, escribe en variables de control u ocupa recursos. La máquina arranca, cambia el modo de funcionamiento o ignora las condiciones de parada porque las funciones del equipo ajeno no se tuvieron en cuenta en la evaluación del riesgo. [Reglamento (UE) 2023/1230, anexo III, punto 1.1.9, párrafo primero; punto 1.2.1, párrafo cuarto, letra h); punto 1.2.4.4]	Montaje, Puesta en servicio, Funcionamiento
12	**Eléctrico** Peligro por contacto directo o indirecto con partes activas de la fuente de corriente de soldadura, del armario de control del robot y del sistema de mando de la celda (400 V CA, 32 kVA): El contacto con bornes, cables o el interior del armario de control cuando este está abierto sin haber sido aislado puede provocar una descarga eléctrica con fibrilación ventricular o quemaduras.	Mantenimiento, Puesta en servicio, Localización de averías
30	**Combinación** Peligro por una parametrización incorrecta del sistema de control del robot o del controlador de seguridad (p. ej., distancias de seguridad incorrectas, límites de velocidad incorrectos en modo de reglaje, habilitaciones de zona incorrectas): Unos parámetros erróneos pueden hacer que las funciones de seguridad no actúen como está previsto y, con ello, poner en peligro a las personas por los movimientos del robot o de la mesa giratoria.	Puesta en servicio, Reglaje, Mantenimiento
31	**Combinación** Peligro por los diferentes niveles de seguridad de las submáquinas de distintos fabricantes (robot, fuente de corriente de soldadura, mesa giratoria, sistema de aspiración): Un enclavamiento de interfaz ausente o incompleto entre las submáquinas puede hacer que una submáquina arranque aunque otra se encuentre en un estado inseguro (EN ISO 11161).	Puesta en servicio, Funcionamiento, Localización de averías

N.º	Peligro	Fases de la vida
37	**Corrupción/ciberseguridad** Corrupción involuntaria por una configuración errónea o un error de manejo: Se carga un archivo de receta o de parámetros incorrecto, no se han configurado roles ni contraseñas (contraseña predeterminada activa), la configuración se restablece de forma incompleta tras un fallo. Los ajustes relevantes para la seguridad se desvían sin que se advierta de la configuración liberada. [Reglamento (UE) 2023/1230, anexo III, punto 1.1.9, párrafo tercero; punto 1.2.1, párrafo segundo, letras b), d) y e)]	Reglaje, Funcionamiento, Puesta en servicio
38	**Corrupción/ciberseguridad** Fallo o perturbación de la conexión a la red de comunicación: Un fallo de red, una sobrecarga (tormenta de difusión, denegación de servicio), la rotura de un cable o un cambio de segmento de red interrumpen la comunicación entre componentes de control o la comunicación orientada a la seguridad (PROFIsafe). Al restablecerse, se produce un arranque inesperado o se adoptan de forma incontrolada valores de consigna obsoletos. [Reglamento (UE) 2023/1230, anexo III, punto 1.2.6; punto 1.2.1, párrafo segundo, letra a); punto 1.2.3]	Funcionamiento, Puesta en servicio
40	**Corrupción/ciberseguridad** Software relevante para la seguridad no identificable o no marcado: El estado de versión y la suma de verificación del software de seguridad no pueden consultarse en la máquina, y el software y los datos relevantes para la seguridad no están designados como tales. Tras una intervención, una actualización o la sustitución de un equipo no puede determinarse si la máquina sigue en el estado verificado; el funcionamiento con software no autorizado pasa inadvertido. [Reglamento (UE) 2023/1230, anexo III, punto 1.1.9, párrafos tercero y cuarto; punto 1.7.4.2]	Puesta en servicio, Mantenimiento, Funcionamiento
43	**Corrupción/ciberseguridad** Acceso de ingeniería sin protección al controlador de seguridad: El acceso de programación del controlador de seguridad o del PLC de seguridad es accesible sin contraseña o con las credenciales predeterminadas del fabricante; el programa de seguridad puede sobrescribirse o ponerse en estado de parada durante el funcionamiento, y es posible forzar entradas y salidas. Las funciones de protección quedan inoperantes o se controlan directamente los actuadores. [Reglamento (UE) 2023/1230, anexo III, punto 1.1.9, párrafos segundo y tercero; punto 1.2.1, párrafo segundo, letra a)]	Puesta en servicio, Mantenimiento, Localización de averías
1	**Mecánico** Peligro de aplastamiento y cizallamiento por la mesa giratoria durante el giro automático: Partes del cuerpo del operador (manos, brazos) pueden ser arrastradas y aplastadas entre la mesa giratoria y la pared central divisoria fija o el vallado perimetral, en particular al introducir la mano en la mesa giratoria durante el giro para recolocar una pieza desplazada (mal uso razonablemente previsible).	Funcionamiento, Reglaje, Localización de averías
2	**Mecánico** Peligro de aplastamiento y arrastre por el robot de soldadura (robot industrial) en modo de reglaje: A velocidad reducida (mando de acción mantenida), el operador o el personal de reglaje pueden ser aplastados o arrastrados entre el brazo del robot y	Reglaje

N.º	Peligro	Fases de la vida
	los equipos periféricos (vallado perimetral, mesa giratoria, utillaje de soldadura) por movimientos inesperados del robot.	
4	**Mecánico** Peligro de aplastamiento en la interfaz entre la mesa giratoria y el robot de soldadura (zona de transferencia): Durante el giro, el utillaje cargado entra en la zona de trabajo del robot; una entrada no coordinada del robot en la zona de giro o la falta de enclavamiento entre el movimiento de la mesa giratoria y la habilitación del robot pueden provocar colisiones y lesiones por aplastamiento.	Funcionamiento, Reglaje, Localización de averías
5	**Mecánico** Caída de piezas o de partes del utillaje por fallo del dispositivo de sujeción neumático: En caso de fallo o fuga del aire comprimido, los elementos de sujeción se abren de forma incontrolada; piezas de hasta 40 kg pueden caer de la mesa giratoria y golpear a personas en el puesto de carga.	Funcionamiento, Reglaje, Localización de averías
6	**Mecánico** Peligro de aplastamiento y choque por rearranque inesperado de la mesa giratoria o del robot tras una parada de emergencia o tras la eliminación de una avería: Si no existe un sistema coordinado de prevención del rearranque (EN ISO 11161), las submáquinas individuales pueden arrancar automáticamente mientras todavía hay personas en la zona peligrosa.	Localización de averías, Mantenimiento, Reglaje
7	**Mecánico** Función de parada de emergencia ausente o no coordinada entre submáquinas (robot, mesa giratoria, fuente de corriente de soldadura, sistema de aspiración): Una parada de emergencia en una submáquina no detiene necesariamente todas las demás submáquinas; las personas pueden verse expuestas a peligro por componentes que siguen funcionando.	Funcionamiento, Reglaje, Localización de averías
8	**Mecánico** Peligro de corte y punción por el hilo de soldadura (hilo macizo de 1,0 a 1,2 mm) en la antorcha de soldadura: El hilo que sobresale de la antorcha actúa como una aguja; durante el reglaje, el enhebrado del hilo o la limpieza de la antorcha pueden producirse pinchazos o cortes en manos y dedos.	Reglaje, Mantenimiento, Limpieza
9	**Mecánico** Peligro ergonómico y de aplastamiento en la carga y descarga manuales de piezas de hasta 40 kg: Las piezas de hasta 15 kg se cargan a mano; las piezas de más de 15 kg, con la ayuda de elevación suministrada por la empresa usuaria. En caso de mal uso razonablemente previsible (levantar sin la ayuda de elevación), se produce una sobrecarga musculoesquelética junto con el riesgo de perder el agarre y la consiguiente caída de la pieza sobre los pies o las manos.	Funcionamiento, Reglaje

N.º	Peligro	Fases de la vida
10	**Mecánico** Peligro de tropiezo, resbalón y caída en la zona del puesto de carga y del pasillo de mantenimiento debido a proyecciones de soldadura en el suelo, cables, mangueras (aire comprimido, gas de protección) y zonas mojadas durante los trabajos de limpieza.	Funcionamiento, Reglaje, Mantenimiento, Limpieza, Localización de averías
11	**Mecánico** Peligro por el acceso simultáneo de varias personas a diferentes zonas de la celda (EN ISO 11161): Hay una segunda persona dentro de la celda sin que el personal de reglaje lo sepa; cuando el robot o la mesa giratoria arrancan, la segunda persona es golpeada.	Reglaje, Mantenimiento, Localización de averías
13	**Eléctrico** Peligro por la corriente de soldadura en la pieza y en el utillaje: El circuito de soldadura conduce corrientes elevadas (normalmente de 100 a 350 A); en caso de una conexión a tierra defectuosa o de un aislamiento dañado, las personas que toquen la pieza o el utillaje pueden recibir una descarga eléctrica.	Reglaje, Funcionamiento, Localización de averías
14	**Eléctrico** Interferencias de CEM entre la fuente de corriente de soldadura y el controlador de seguridad (controlador del robot, unidad de evaluación de la cortina fotoeléctrica, controlador del bloqueo del resguardo): Los impulsos de interferencia de alta frecuencia del arco MAG pueden influir en las funciones de seguridad y provocar disparos intempestivos o, lo que es más crítico, el fallo no detectado de funciones de seguridad (EN ISO 11161).	Funcionamiento, Reglaje
15	**Térmico** Peligro de quemaduras por piezas y cordones de soldadura calientes: Los conjuntos recién soldados alcanzan varios cientos de grados Celsius en la zona del cordón; la retirada sin guantes de protección adecuados o el contacto con el cordón pueden provocar quemaduras graves.	Funcionamiento, Reglaje
16	**Térmico** Peligro de quemaduras e incendio por proyecciones de soldadura (chispas): En la soldadura MAG se generan proyecciones a temperaturas superiores a 1500 °C; pueden caer sobre materiales combustibles (embalajes, aceites, ropa) del entorno y provocar incendios o quemaduras.	Funcionamiento, Reglaje
17	**Térmico** Riesgo de quemaduras por la antorcha de soldadura caliente y su cuello: El cuello de la antorcha y el tubo de contacto se calientan intensamente tras el proceso de soldadura; al cambiar la antorcha, al limpiarla o durante el reglaje sin un tiempo de enfriamiento pueden producirse quemaduras en manos y dedos.	Mantenimiento, Reglaje, Limpieza
18	**Radiación** Peligro por la radiación óptica del arco MAG (UV, visible, IR): El arco emite radiación ultravioleta, visible e infrarroja intensa; la observación del arco sin protección (también a través de una puerta de mantenimiento abierta en modo de reglaje)	Reglaje, Funcionamiento

N.º	Peligro	Fases de la vida
	puede causar lesiones oculares (queratoconjuntivitis, daño retiniano) y quemaduras cutáneas.	
19	**Radiación** Peligro por campos electromagnéticos (EMF) generados por la fuente de corriente de soldadura y los cables de soldadura: Las altas corrientes de soldadura generan campos magnéticos intensos; las personas con implantes activos (marcapasos cardíacos, bombas de insulina) pueden verse expuestas a peligro por los campos.	Funcionamiento, Reglaje, Mantenimiento
20	**Materiales/sustancias** Peligro por inhalación de humos y vapores de soldadura (óxidos metálicos, manganeso, óxidos de hierro): La soldadura MAG de acero estructural genera partículas y gases nocivos; cuando la aspiración es insuficiente (cartucho filtrante saturado, sistema desconectado), las concentraciones en la zona de respiración del operador superan los valores límite de exposición en el lugar de trabajo.	Funcionamiento, Reglaje, Mantenimiento, Limpieza
24	**Ruido** Peligro por el ruido durante el proceso de soldadura MAG y por el accionamiento de la mesa giratoria: El proceso de soldadura (ruido del arco, proyecciones) y los accionamientos mecánicos generan niveles de presión acústica relevantes en el puesto de carga; en funcionamiento continuo (trabajo en dos turnos, 16 h), el nivel de exposición diaria al ruido LEX,8h puede alcanzar o superar los valores de acción del Reglamento alemán de seguridad y salud frente al ruido y las vibraciones (LärmVibrationsArbSchV).	Funcionamiento, Reglaje
27	**Ergonómico** Iluminación insuficiente en el puesto de carga y en el pasillo de mantenimiento: Una iluminancia inadecuada dificulta la carga y la descarga seguras de las piezas y la realización de los trabajos de mantenimiento, y aumenta el riesgo de errores y accidentes.	Funcionamiento, Reglaje, Mantenimiento, Limpieza
32	**Mecánico** Peligro por alcanzar por encima o por debajo de la cortina fotoeléctrica en el puesto de carga (mal uso razonablemente previsible): Las personas introducen la mano por el lateral de la cortina fotoeléctrica o por debajo de ella en la zona de giro sin que se active la función de protección; la mesa giratoria o el robot pueden arrancar y atrapar manos o brazos.	Funcionamiento, Reglaje
36	**Corrupción/ciberseguridad** Manipulación de parámetros relevantes para la seguridad a través de la red: El acceso de escritura no autorizado a través del bus de campo, OPC UA o la interfaz MES modifica parámetros relevantes para la seguridad (p. ej., vigilancia de la puerta de mantenimiento, parámetros de la cortina fotoeléctrica, límite de velocidad en modo de reglaje). La función de protección se vuelve ineficaz o la máquina funciona fuera de los límites definidos en la evaluación del riesgo. [Reglamento (UE) 2023/1230, anexo III, punto 1.1.9, párrafos primero y tercero; punto 1.2.1, párrafo segundo, letras a) y d)]	Funcionamiento, Reglaje

N.º	Peligro	Fases de la vida
3	**Mecánico** Peligro de impacto y aplastamiento por el robot de soldadura durante el funcionamiento automático en caso de acceso no autorizado: Las personas que pasan por encima del vallado perimetral o manipulan la puerta de mantenimiento son golpeadas por el eje del robot que se mueve a plena velocidad y fuerza, o son presionadas contra partes fijas.	Funcionamiento
21	**Materiales/sustancias** Peligro por el gas de protección (mezcla argón-CO2 M21) en caso de fuga: El argón y el CO2 son más pesados que el aire, por lo que el gas de protección puede acumularse a ras de suelo; en caso de fugas mayores en zonas mal ventiladas existe riesgo de asfixia por desplazamiento del oxígeno.	Funcionamiento, Mantenimiento, Localización de averías
34	**Térmico** Peligro de incendio en el sistema de aspiración de humos de soldadura (incendio del filtro): Las chispas y las partículas incandescentes aspiradas por el proceso pueden acumularse en el cartucho filtrante y provocar un fuego latente o un incendio del filtro, incluso con retraso tras el final de un turno. El humo del incendio puede propagarse a la nave a través del sistema de tuberías y de la recirculación de aire.	Funcionamiento, Mantenimiento
35	**Ergonómico** Peligro por posturas forzadas y movimientos repetitivos durante la carga y descarga de piezas: El operador realiza repetidamente movimientos de agarre, elevación y sujeción en un ciclo de aproximadamente 90 segundos; las posturas corporales desfavorables (inclinación, estiramiento) con geometrías de pieza variables sobrecargan la columna vertebral, los hombros y las muñecas.	Funcionamiento
41	**Corrupción/ciberseguridad** Evidencias de las intervenciones ausentes o incompletas (registro): Las intervenciones en el hardware, el software o la configuración relevantes para la seguridad no se registran, o se registran sin marca de tiempo ni autor; los registros se sobrescriben tras un periodo breve o están expuestos a manipulación. Las intervenciones no autorizadas pasan inadvertidas y la pista de auditoría no está disponible cuando la solicitan las autoridades. [Reglamento (UE) 2023/1230, anexo III, punto 1.1.9, párrafos segundo y quinto; punto 1.2.1, párrafo segundo, letra f)]	Funcionamiento, Mantenimiento, Localización de averías
42	**Corrupción/ciberseguridad** Datos de producción o de recetas falseados procedentes del MES o de la nube: Los datos de pedidos y de recetas tomados del MES, del ERP o de una plataforma en la nube (p. ej., parámetros de soldadura, número de programa o asignación de pieza) están falseados, obsoletos o destinados a otra máquina. La máquina funciona con especificaciones fuera de los límites seguros o con una referencia errónea de pieza y de programa. [Reglamento (UE) 2023/1230, anexo III, punto 1.1.9, párrafo tercero; punto 1.2.1, párrafo segundo, letras b) y d)]	Funcionamiento
44	**Corrupción/ciberseguridad** Acceso remoto no autorizado o erróneo a través de la pasarela de mantenimiento remoto: A través de la conexión VPN IPsec de la pasarela de mantenimiento remoto,	Funcionamiento, Mantenimiento,

N.º	Peligro	Fases de la vida
	una persona no autorizada con credenciales robadas, o un técnico autorizado en un momento inoportuno, interviene en el controlador de la celda: cambio de programa o de parámetros, confirmación de fallos o arranque de movimientos mientras hay personas en el puesto de carga o en el pasillo de mantenimiento. [Reglamento (UE) 2023/1230, anexo III, punto 1.1.9, párrafos primero y tercero; punto 1.2.1, párrafo segundo, letras a) y d)]	Localización de averías
22	**Materiales/sustancias** Peligro por el polvo del filtro al cambiar el cartucho filtrante de la unidad de aspiración de humos de soldadura: El cartucho filtrante contiene humos de soldadura separados con óxidos metálicos y partículas finas; si se cambia sin medidas adecuadas de protección respiratoria, se liberan polvos que son inhalados.	Mantenimiento, Limpieza
23	**Mecánico** Peligro por energía neumática residual durante los trabajos de mantenimiento y de eliminación de averías: Tras desconectar el suministro de aire comprimido, queda presión residual en las tuberías y los cilindros del dispositivo de sujeción; una liberación incontrolada de la presión puede hacer que los elementos de sujeción se muevan bruscamente y lesionen a personas o proyecten las piezas.	Mantenimiento, Localización de averías
33	**Mecánico** Peligro durante el desmontaje de la celda al final de su vida útil: Al desmontar los segmentos del vallado perimetral, el bastidor base del robot y el armario de control, se originan peligros por componentes pesados (aplastamiento, caída), por energía residual en las líneas (aire comprimido, eléctrica) y por bordes cortantes en las piezas de chapa.	Puesta fuera de servicio

Fase de la vida: Transporte

Mecánico

Peligro por caída de piezas durante el transporte y la instalación de la celda: Durante el transporte con grúa o carretilla elevadora de los componentes de la celda (segmentos del vallado perimetral, armario de control, bastidor base del robot), las piezas pueden caer por errores de eslingado o por balanceo de la carga y golpear a personas.

Fases de la vida: Transporte, Montaje

MEDIDAS DE PROTECCIÓN EXISTENTES EN LA MÁQUINA

- Todos los componentes de la celda (segmentos del vallado perimetral, armario de control, bastidor base del robot) están provistos de puntos de elevación integrados de forma permanente, diseñados conforme a las normas aplicables (p. ej., cáncamos conforme a DIN 580 o tuercas de cáncamo conforme a DIN 582) con una carga máxima de utilización (WLL) claramente marcada en cada punto de elevación.
- El centro de gravedad de cada componente se sitúa por diseño o se documenta mediante una marca en el componente de modo que pueda mantenerse una sujeción estable sin balanceo de la carga, con un ángulo de eslinga de como máximo 60 grados respecto a la vertical ($\beta \leq 60°$) (diseño basado en la regla alemana DGUV 109-017 como referencia de planificación).
- Con ello se reduce, a través del propio diseño, la probabilidad de un error de eslingado.
- Riesgo residual por balanceo de la carga y presencia de personas en la zona peligrosa:
- Documentación técnica de transporte: para cada componente debe facilitarse, como parte de los documentos de montaje, un plano de eslingado (dibujo con puntos de elevación, posición del centro de gravedad, selección de accesorios de elevación y WLL) (Reglamento (UE) 2023/1230, anexo III, punto 1.7.4.2, información sobre transporte y manipulación).
- Acotado de la zona peligrosa: durante todas las elevaciones con grúa, la zona situada debajo y al lado de la carga debe asegurarse con barreras físicas (cinta de balizamiento, vallas de cierre) de modo que no sea posible el acceso involuntario de personas.
- Accesorios de elevación: selección y uso de accesorios de elevación verificados (cadenas, eslingas, grilletes) con una WLL suficiente y un certificado de inspección vigente conforme al Reglamento alemán de seguridad de los equipos de trabajo (BetrSichV).
- Una función de seguridad en el sentido de EN ISO 13849-1 no es aplicable a esta fase de transporte; no debe asignarse ningún PLr.

INDICACIONES PARA EL USUARIO

- Manual de instrucciones (Reglamento (UE) 2023/1230, anexo III, punto 1.7.4.2):
- Incluir los planos de eslingado con puntos de elevación, posición del centro de gravedad y WLL por componente en los capítulos 5.2 y 5.3.
- Requisito de cualificación: las operaciones con grúa y el eslingado de cargas solo pueden ser realizados por eslingadores instruidos y autorizados (cualificación conforme a la Información alemana DGUV 209-013).
- Señalización de advertencia en cada componente: señal de advertencia «Advertencia;

- Cargas suspendidas» (W015 conforme a EN ISO 7010:2020), indicación de la masa y de la WLL por punto de elevación directamente en el componente.
- Especificación de EPI: casco de seguridad, calzado de seguridad (S3) y chaleco de alta visibilidad son obligatorios durante todas las operaciones de transporte.
- Indicación: está prohibido permanecer debajo de cargas suspendidas.

Fase de la vida: Montaje

Mecánico

Peligro por estabilidad insuficiente de la celda durante la instalación: Si la celda se instala sobre un suelo irregular o sin capacidad de carga, o si los anclajes de alta resistencia no se colocan y aprietan según lo especificado, la instalación puede volcar o desplazarse; las personas situadas en las proximidades pueden ser golpeadas.

Fases de la vida: Montaje, Puesta en servicio

MEDIDAS DE PROTECCIÓN EXISTENTES EN LA MÁQUINA

- Estabilidad garantizada por diseño mediante un bastidor base de dimensiones adecuadas y rígido a la torsión (estructura de bastidor soldado o bastidor de acero estructural) con una amplia superficie de apoyo y un centro de gravedad bajo, conforme al apartado 6.2.6 (estabilidad) de EN ISO 12100:2010.
- Deben preverse taladros de fijación en el bastidor base para el anclaje al suelo con 2 × 4 anclajes de alta resistencia M16, de modo que el anclaje sea posible sin retrabajo; el anclaje se diseña de modo que no pueda aflojarse por sí solo y solo pueda soltarse con una herramienta.
- La posición del centro de gravedad y la resistencia al vuelco deben verificarse mediante cálculo como parte del diseño (verificación de la estabilidad conforme al apartado 6.2.6 de EN ISO 12100:2010).
- Elaboración de un plano de instalación específico de la máquina (plano acotado con una capacidad de carga mínima del suelo de 10 kN/m², tolerancia de planitud del soporte y posiciones de los puntos de anclaje) como parte de la documentación de entrega, que la empresa usuaria debe aprobar antes de iniciar el montaje.
- Marcado de los puntos de anclaje en el bastidor base mediante marcas permanentes (flecha o rotulación), de modo que el personal de montaje pueda identificar las posiciones sin ambigüedad.
- Para el estado de montaje anterior a la colocación de los anclajes: verificación de la estabilidad sin anclaje (verificación de la resistencia al vuelco, relación entre momentos estabilizadores y momentos de vuelco de al menos 1,5 según lo especificado por el fabricante).
- Estas medidas no son funciones de seguridad en el sentido de EN ISO 13849-1 y no requieren un PLr.

INDICACIONES PARA EL USUARIO

- Manual de instrucciones (Reglamento (UE) 2023/1230, anexo III, punto 1.7.4): capítulo 7 (Condiciones de instalación) y capítulo 8 (Montaje e instalación) con especificaciones vinculantes sobre: capacidad de carga mínima del suelo (al menos 10 kN/m²), planitud exigida del soporte, obligación de anclar al suelo con 2 × 4 anclajes de alta resistencia M16 (par de apriete 110 N·m) con indicación del tipo de anclaje y de la profundidad de anclaje, y referencia al plano de instalación.
- Señalización de advertencia en el bastidor base: señal de advertencia general W001 conforme a EN ISO 7010:2020 con el texto complementario «Riesgo de vuelco antes del anclaje», en al menos dos lados opuestos del bastidor base, visible durante el montaje.

- Requisito de cualificación: la instalación y el anclaje solo pueden ser realizados por personal especializado cualificado (mecánicos industriales o montadores con experiencia en la instalación de máquinas); el requisito debe indicarse en el manual de instrucciones.
- Aviso sobre EPI: calzado de seguridad (EN ISO 20345, clase de protección S3) y guantes de protección durante el montaje; especificación en el manual de instrucciones.

Corrupción/ciberseguridad

La conexión de equipos ajenos genera una situación peligrosa: Un equipo ajeno conectado (el sistema de control de línea o MES de nivel superior de la empresa usuaria, la pasarela de mantenimiento remoto, señales del lado de la empresa usuaria procedentes del sistema de aspiración o del suministro de gas) envía señales inesperadas, escribe en variables de control u ocupa recursos. La máquina arranca, cambia el modo de funcionamiento o ignora las condiciones de parada porque las funciones del equipo ajeno no se tuvieron en cuenta en la evaluación del riesgo. [Reglamento (UE) 2023/1230, anexo III, punto 1.1.9, párrafo primero; punto 1.2.1, párrafo cuarto, letra h); punto 1.2.4.4]

Fases de la vida: Montaje, Puesta en servicio, Funcionamiento

MEDIDAS DE PROTECCIÓN EXISTENTES EN LA MÁQUINA

- Diseñar las interfaces con equipos ajenos como interfaces de señal definidas con semántica fija (sin habilitación de movimientos únicamente por señales ajenas), encaminar las señales relevantes para la seguridad solo a través de entradas y salidas seguras, asignar de forma inequívoca la cadena de parada y de parada de emergencia del equipo ajeno.
- Lista blanca de participantes y variables autorizados, comprobación de plausibilidad de las órdenes entrantes, enclavamiento de los cambios de modo de funcionamiento a través de interfaces externas, diagnóstico de participantes ausentes o desconocidos.
- Referencia de evidencia, vía B: IEC 62443-3-3 SR 1.2, SR 2.1, SR 3.5, SR 5.2, SR 7.7.

INDICACIONES PARA EL USUARIO

- Manual de instrucciones y descripción de interfaces para el integrador (señales, estados, requisitos para el conjunto de máquinas conforme al anexo III, punto 1.2.4.4), con la advertencia de que la conexión de equipos no autorizados exige una nueva evaluación del riesgo.

Fase de la vida: Puesta en servicio

Eléctrico

Peligro por contacto directo o indirecto con partes activas de la fuente de corriente de soldadura, del armario de control del robot y del sistema de mando de la celda (400 V CA, 32 kVA): El contacto con bornes, cables o el interior del armario de control cuando este está abierto sin haber sido aislado puede provocar una descarga eléctrica con fibrilación ventricular o quemaduras.

Fases de la vida: Mantenimiento, Puesta en servicio, Localización de averías

MEDIDAS DE PROTECCIÓN EXISTENTES EN LA MÁQUINA

- Todas las partes activas del interior del armario de control (bornes, barras colectoras, bornes de potencia de la fuente de corriente de soldadura) se diseñan con cubiertas de protección contra el contacto (grado de protección de al menos IP 2X o IPXXB conforme a EN 60204-1:2018, apartado 6.2.2), de modo que el contacto con partes activas se impide por la propia forma de la envolvente sin necesidad de un resguardo.
- Además, las distancias mínimas entre partes activas y partes accesibles se diseñan de modo que se mantenga el grado de protección IP 2X incluso con la puerta del armario abierta (caperuzas de protección, cubiertas aislantes en las regletas de bornes).
- Con ello se atiende por analogía el anexo III, punto 1.5.1 (Alimentación de energía eléctrica), del Reglamento (UE) 2023/1230, así como el apartado 6.2 de EN 60204-1:2018.
- Aislamiento y desconexión de la energía (LOTO): interruptor general con posición OFF bloqueable conforme a EN 60204-1:2018, apartado 5.3, y EN ISO 14118:2018 (prevención de una puesta en marcha inesperada / aislamiento de la energía).
- El interruptor general debe desconectar de la red la instalación completa en todos los polos como dispositivo de seccionamiento; la tensión residual en los condensadores de la fuente de corriente de soldadura debe limitarse a menos de 60 V CC en 5 s mediante un tiempo de descarga o un circuito de descarga activa; cuando no se consiga, se coloca en la envolvente un aviso de advertencia que indique el tiempo de descarga (EN 60204-1:2018, apartado 6.2.4).
- Cierre de las puertas del armario: las puertas de los armarios de control principales llevan una cerradura que solo puede abrirse con llave e impide la apertura no autorizada (EN 60204-1:2018, apartado 6.2.2).
- Conexión equipotencial de protección y conductor de protección: todas las envolventes de los armarios de control, la fuente de corriente de soldadura y el armario de control del robot se conectan mediante un conductor de protección (PE) continuo de sección adecuada (EN 60204-1:2018, apartado 8.2), de modo que, en caso de fallo de aislamiento, la corriente de defecto se derive con seguridad y se dispare el dispositivo de protección (interruptor automático / RCD).
- Dispositivo de corriente diferencial residual (RCD): uso de un RCD (tipo B, dado que son posibles corrientes de defecto continuas procedentes de los convertidores de frecuencia y de la fuente de corriente de soldadura) con una corriente diferencial de funcionamiento asignada de 30 mA para los circuitos en los que trabajan personas; en los circuitos en los que un RCD no es compatible con el proceso de soldadura se utiliza en su lugar una vigilancia del aislamiento (EN 60204-1:2018, apartados 6.3.3 y 7.7).

- No es una función de seguridad con requisito de PLr; las medidas actúan de forma pasiva y por diseño (señalización de advertencia: véase la etapa 3).

INDICACIONES PARA EL USUARIO

- Manual de instrucciones (Reglamento (UE) 2023/1230, anexo III, punto 1.7.4): documentar el procedimiento de aislamiento (LOTO) con una instrucción paso a paso, incluido el tiempo de descarga de los condensadores de la fuente de corriente de soldadura y la comprobación de la ausencia de tensión con un instrumento de medida adecuado (detector de tensión de categoría CAT III 600 V).
- Requisito de cualificación: los trabajos en la instalación eléctrica solo pueden ser realizados por personas con cualificación en electricidad (Elektrofachkraft) conforme al reglamento alemán de prevención de accidentes DGUV Vorschrift 3, o por personas instruidas en electricidad bajo la supervisión de una persona con cualificación en electricidad.
- Especificación de EPI: al trabajar en un armario abierto deben llevarse guantes aislantes (conforme a EN 60903, clase 00 para tensiones de hasta 500 V CA), gafas de protección (protección frente a arco eléctrico) y calzado aislante eléctricamente.
- Señalización de advertencia: la señal de advertencia W012 «Advertencia;
- Electricidad» conforme a EN ISO 7010:2020 debe colocarse de forma permanente y claramente visible en todas las puertas de los armarios y en la fuente de corriente de soldadura.
- Advertencia sobre el riesgo residual en el manual de instrucciones: tras accionar el interruptor general, los condensadores de la fuente de corriente de soldadura y del convertidor de frecuencia del robot pueden seguir presentando tensiones peligrosas (tiempo de espera de al menos 1 minuto para la fuente de corriente de soldadura; para el accionamiento del robot, según lo especificado por el fabricante del robot); la ausencia de tensión debe comprobarse siempre mediante medición.

Combinación

Peligro por una parametrización incorrecta del sistema de control del robot o del controlador de seguridad (p. ej., distancias de seguridad incorrectas, límites de velocidad incorrectos en modo de reglaje, habilitaciones de zona incorrectas): Unos parámetros erróneos pueden hacer que las funciones de seguridad no actúen como está previsto y, con ello, poner en peligro a las personas por los movimientos del robot o de la mesa giratoria.

Fases de la vida: Puesta en servicio, Reglaje, Mantenimiento

MEDIDAS DE PROTECCIÓN EXISTENTES EN LA MÁQUINA

- Los parámetros relevantes para la seguridad (límites de velocidad, zonas de protección, habilitaciones de zona) se almacenan exclusivamente en el controlador de seguridad (PLC de seguridad) y se protegen contra modificaciones no autorizadas o involuntarias mediante un concepto de acceso basado en roles y protegido por contraseña.
- Los juegos de parámetros de las funciones de seguridad SF-01 a SF-05 se almacenan en el controlador de seguridad como registros de datos inmutables protegidos por suma de verificación (p. ej., CRC-32 o equivalente), de modo que cualquier modificación involuntaria se detecta automáticamente al arrancar el sistema y se impone un estado seguro.
- Este principio corresponde al principio de mando inherentemente seguro conforme al apartado 6.2.11 de EN ISO 12100 (principios de control que limitan la aparición de peligros) y reduce la posibilidad de que lleguen a ser efectivos parámetros erróneos.
- Requisito de validación antes de la liberación: cada modificación de los parámetros relevantes para la seguridad requiere una prueba de aceptación documentada (prueba funcional de todas las funciones de seguridad SF-01 a SF-05 afectadas), realizada por dos personas autorizadas (principio de doble control) antes de la nueva puesta en servicio.
- El controlador de seguridad no puede liberar el funcionamiento automático hasta que se haya dado una confirmación positiva.
- Base: EN ISO 13849-2:2012 (validación de las funciones de seguridad) y EN ISO 11161:2007+A1:2010 (verificación y validación de sistemas de fabricación integrados).
- Verificación de los parámetros por el controlador de seguridad: el controlador de seguridad (PLr e para SF-02 y SF-04, PLr d para SF-01, SF-03 y SF-05 conforme a EN ISO 13849-1:2023) comprueba la coherencia de los parámetros relevantes para la seguridad con los valores de referencia almacenados (comparación de sumas de verificación) al arrancar y de forma cíclica.
- En caso de discrepancia se activa la categoría de parada 1 conforme a EN 60204-1:2018 y se bloquea el rearranque (sin rearranque automático conforme a EN ISO 14118:2018).
- Modo de reglaje SF-05: la velocidad reducida segura de 250 mm/s (SF-05, PLr d) se limita a nivel de hardware en el controlador de seguridad y no puede anularse mediante parámetros del sistema de control del robot.
- La vigilancia la realiza una SRP/CS conforme a EN ISO 13849-1:2023, con la categoría y el PL de SF-05 (PLr d).
- Habilitación por zonas de la mesa giratoria SF-04: la liberación del movimiento de giro de 180 grados (SF-04, PLr e) se realiza exclusivamente a través del controlador de seguridad sobre la

base de señales de sensores verificadas; por diseño se excluye una liberación causada únicamente por parámetros de zona erróneos en el sistema de control del robot.

- Gestión de cambios: todos los cambios de parámetros se almacenan con marca de tiempo, identificación del usuario y valor anterior/posterior en un registro de cambios a prueba de manipulaciones (pista de auditoría) del controlador de seguridad.
- Base: EN ISO 11161:2007+A1:2010.

INDICACIONES PARA EL USUARIO

- Manual de instrucciones (Reglamento (UE) 2023/1230, anexo III, punto 1.7.4): descripción del procedimiento de cambio de parámetros con una guía paso a paso, relación de todos los parámetros relevantes para la seguridad de cada función de seguridad (SF-01 a SF-05), obligación de realizar una prueba de validación tras cada cambio y obligación de documentación en el registro de cambios.
- Requisito de cualificación: los cambios de parámetros en el controlador de seguridad solo pueden ser realizados por personal especializado con cualificación demostrada en seguridad funcional (p. ej., certificación TÜV como Functional Safety Engineer o equivalente) y con conocimiento del sistema.
- Esto debe establecerse en el manual de instrucciones y en un procedimiento operativo.
- Señalización de advertencia: la señal de advertencia «Advertencia;
- Electricidad» (W012 conforme a EN ISO 7010:2020) y la señal de prohibición complementaria «Prohibido el paso a personas no autorizadas» (ASR A1.3 alemana, D-P006) deben colocarse en el controlador de seguridad y en el armario de control.
- Además, una señal de información con el texto: «Cambios de parámetros solo por personal especializado autorizado; se requiere una prueba de validación posterior».
- Lista de comprobación de puesta en servicio: antes de cada primera puesta en servicio y tras cada cambio de parámetros debe cumplimentarse y firmarse una lista de comprobación de puesta en servicio específica del sistema (base: EN ISO 11161:2007+A1:2010).

Combinación

Peligro por los diferentes niveles de seguridad de las submáquinas de distintos fabricantes (robot, fuente de corriente de soldadura, mesa giratoria, sistema de aspiración): Un enclavamiento de interfaz ausente o incompleto entre las submáquinas puede hacer que una submáquina arranque aunque otra se encuentre en un estado inseguro (EN ISO 11161).

Fases de la vida: Puesta en servicio, Funcionamiento, Localización de averías

MEDIDAS DE PROTECCIÓN EXISTENTES EN LA MÁQUINA

- Arquitectura del sistema con un único controlador de seguridad de nivel superior (Safety Master) como principio de mando inherentemente seguro conforme al apartado 6.2.11 de EN ISO 12100: todas las señales de estado relevantes para la seguridad de las submáquinas (modo de funcionamiento del robot, posición final de la mesa giratoria, funcionamiento del sistema de aspiración, fuente de corriente de soldadura lista) se encaminan exclusivamente a través del controlador de seguridad.
- Ningún accionamiento de submáquina recibe una señal de habilitación a menos que el controlador de seguridad haya evaluado el estado global como seguro.
- Con esta centralización, la posibilidad de un enclavamiento de interfaz incompleto se reduce por diseño al mínimo: no existen vías de habilitación paralelas e independientes entre las submáquinas.
- La definición de interfaces se realiza conforme a EN ISO 11161:2007+A1:2010 (integración del sistema, responsabilidades, descripción de interfaces) y se documenta en el concepto de seguridad de la instalación completa.
- Matriz de enclavamientos conforme a EN ISO 11161:2007+A1:2010: para cada combinación de submáquinas se elabora una matriz de estados completa (modo de funcionamiento x estado de las demás submáquinas) y se implementa en el controlador de seguridad.
- Cada señal de habilitación se implementa como una combinación AND de todos los estados de seguridad pertinentes.
- La función de seguridad SF-04 (habilitación del movimiento de giro de 180 grados de la mesa giratoria solo cuando la zona de giro está libre, PLr e) garantiza que la mesa giratoria solo gire cuando el campo de protección de la cortina fotoeléctrica está libre, las garras están cerradas y el robot se encuentra demostrablemente fuera de la zona de giro.
- La función de seguridad se diseña con PLr e conforme a EN ISO 13849-1:2023 y se valida conforme a EN ISO 13849-2:2012.
- Las funciones de seguridad SF-01 (parada segura al abrir la puerta de mantenimiento, categoría de parada 1, PLr d) y SF-02 (parada segura al interrumpirse la cortina fotoeléctrica, PLr e) se coordinan en toda la instalación completa: una señal de parada de una submáquina activa la parada coordinada de todas las submáquinas a través del controlador de seguridad.
- Para el robot y la mesa giratoria se aplica la categoría de parada 1 conforme a EN 60204-1:2018, apartado 9.2.2.
- La parada de emergencia de la instalación completa (SF-03, categoría de parada 1, PLr d) conforme a EN ISO 13850:2015 actúa simultáneamente sobre todas las submáquinas a través

del controlador de seguridad.

- Los dispositivos de parada de emergencia están dispuestos en el pupitre de mando, en la puerta de mantenimiento y en la consola de programación.
- Prevención de la puesta en marcha inesperada conforme a EN ISO 14118:2018: tras cada parada (parada de emergencia, activación de un dispositivo de protección, interrupción del suministro de energía) se requiere una orden deliberada de rearranque; se excluye el rearranque automático.
- Modo de reglaje con velocidad reducida segura (SF-05, 250 mm/s, PLr d) y dispositivo de validación conforme a EN ISO 10218-2:2025, apartado 5.7.7; en este modo, el robot y la mesa giratoria solo se mueven con el dispositivo de validación accionado y a velocidad reducida segura, y la fuente de corriente de soldadura se desconecta de forma segura mediante SF-01 mientras la puerta de mantenimiento está abierta.

INDICACIONES PARA EL USUARIO

- Manual de instrucciones de la instalación completa conforme al anexo III, punto 1.7.4, del Reglamento (UE) 2023/1230: la lógica de enclavamiento de interfaces (matriz de estados, condiciones de habilitación por submáquina) debe documentarse por completo.
- Para cada submáquina, el punto de transferencia de la responsabilidad de seguridad (fabricante de la submáquina hasta la interfaz, integrador a partir de la interfaz) se define por escrito en el concepto de seguridad de la instalación completa conforme a EN ISO 11161:2007+A1:2010 y debe indicarse en el manual de instrucciones.
- Requisito de cualificación: la puesta en servicio, la parametrización y las modificaciones del controlador de seguridad solo pueden ser realizadas por personal especializado cualificado con conocimiento de EN ISO 13849-1:2023 y EN ISO 11161.
- Señalización de advertencia en el pupitre de mando: señal de advertencia «Advertencia;
- Arranque automático» (W018 conforme a EN ISO 7010:2020).
- El manual de instrucciones debe describir los procedimientos de localización de averías y de puesta en servicio, incluida la secuencia en la que pueden ponerse en servicio las submáquinas y los pasos de verificación para comprobar el enclavamiento de interfaces antes del primer funcionamiento automático.

Corrupción/ciberseguridad

Corrupción involuntaria por una configuración errónea o un error de manejo: Se carga un archivo de receta o de parámetros incorrecto, no se han configurado roles ni contraseñas (contraseña predeterminada activa), la configuración se restablece de forma incompleta tras un fallo. Los ajustes relevantes para la seguridad se desvían sin que se advierta de la configuración liberada. [Reglamento (UE) 2023/1230, anexo III, punto 1.1.9, párrafo tercero; punto 1.2.1, párrafo segundo, letras b), d) y e)]

Fases de la vida: Reglaje, Funcionamiento, Puesta en servicio

MEDIDAS DE PROTECCIÓN EXISTENTES EN LA MÁQUINA

- Separar los ajustes relevantes para la seguridad de las recetas de proceso, de modo que un cambio de receta no pueda modificarlos; limitar de forma estricta los rangos de valores en el controlador de seguridad (límites procedentes de la evaluación del riesgo, anexo III, punto 1.2.1, párrafo segundo, letra d)).
- Cambio forzado de contraseña en la puesta en servicio, modelo de roles con aprobación de doble control para los cambios relevantes para la seguridad, comparación de la configuración activa con la referencia liberada (suma de verificación) al arrancar con indicación de cualquier desviación, registro de cambios.
- Referencia de evidencia, vía B: IEC 62443-3-3 SR 1.5, SR 2.1, SR 3.4, SR 7.6.

INDICACIONES PARA EL USUARIO

- Manual de instrucciones: lista de comprobación de la puesta en servicio (contraseñas, roles, guardar la configuración de referencia), descripción de los datos designados como relevantes para la seguridad, instrucción de realizar un ensayo funcional tras los cambios de configuración.

Corrupción/ciberseguridad

Fallo o perturbación de la conexión a la red de comunicación: Un fallo de red, una sobrecarga (tormenta de difusión, denegación de servicio), la rotura de un cable o un cambio de segmento de red interrumpen la comunicación entre componentes de control o la comunicación orientada a la seguridad (PROFIsafe). Al restablecerse, se produce un arranque inesperado o se adoptan de forma incontrolada valores de consigna obsoletos. [Reglamento (UE) 2023/1230, anexo III, punto 1.2.6; punto 1.2.1, párrafo segundo, letra a); punto 1.2.3]

Fases de la vida: Funcionamiento, Puesta en servicio

MEDIDAS DE PROTECCIÓN EXISTENTES EN LA MÁQUINA

- Diseñar las funciones de seguridad de modo que la pérdida de comunicación conduzca al estado seguro (watchdog, supervisión temporal de los telegramas seguros) y que el rearranque solo se produzca tras una confirmación deliberada (anexo III, punto 1.2.3).
- Desacoplar la comunicación relacionada con la seguridad de la comunicación estándar.
- Segmentación de la red y limitación de la carga (limitación de tasa, protección contra tormentas en los conmutadores), vigilancia de la calidad de la red con mensaje de diagnóstico, comportamiento definido ante la pérdida de la conexión en todos los modos de funcionamiento, probado y documentado.
- Referencia de evidencia, vía B: IEC 62443-3-3 SR 7.1, SR 7.2, SR 5.1, SR 5.2.

INDICACIONES PARA EL USUARIO

- Manual de instrucciones: requisitos para la red de la empresa usuaria (segmentación, participantes permitidos, sin dispositivos ajenos en el segmento de seguridad), descripción del comportamiento ante un fallo de comunicación y del procedimiento de rearranque.

Corrupción/ciberseguridad

Software relevante para la seguridad no identificable o no marcado: El estado de versión y la suma de verificación del software de seguridad no pueden consultarse en la máquina, y el software y los datos relevantes para la seguridad no están designados como tales. Tras una intervención, una actualización o la sustitución de un equipo no puede determinarse si la máquina sigue en el estado verificado; el funcionamiento con software no autorizado pasa inadvertido. [Reglamento (UE) 2023/1230, anexo III, punto 1.1.9, párrafos tercero y cuarto; punto 1.7.4.2]

Fases de la vida: Puesta en servicio, Mantenimiento, Funcionamiento

MEDIDAS DE PROTECCIÓN EXISTENTES EN LA MÁQUINA

- Diseñar el software relevante para la seguridad como una unidad delimitada con su propio número de versión y suma de verificación (separada del software estándar y de visualización), de modo que sea técnicamente posible una identificación inequívoca.
- Página de información en el HMI que muestre la versión y la suma de verificación de todos los componentes de software relevantes para la seguridad (siempre fácilmente accesible sin inicio de sesión, anexo III, punto 1.1.9, párrafo cuarto), identificación de los datos relevantes para la seguridad en nombres de archivo, menús y exportaciones, comparación con el informe de recepción al arrancar.
- Referencia de evidencia, vía B: IEC 62443-3-3 SR 3.4.

INDICACIONES PARA EL USUARIO

- Manual de instrucciones: lista del software y de los datos relevantes para la seguridad con sus versiones (anexo III, punto 1.7.4.2), instrucciones para consultar la información de versión, advertencia sobre su importancia para la conformidad y sobre la obligación de notificar las desviaciones.

Corrupción/ciberseguridad

Acceso de ingeniería sin protección al controlador de seguridad: El acceso de programación del controlador de seguridad o del PLC de seguridad es accesible sin contraseña o con las credenciales predeterminadas del fabricante; el programa de seguridad puede sobrescribirse o ponerse en estado de parada durante el funcionamiento, y es posible forzar entradas y salidas. Las funciones de protección quedan inoperantes o se controlan directamente los actuadores. [Reglamento (UE) 2023/1230, anexo III, punto 1.1.9, párrafos segundo y tercero; punto 1.2.1, párrafo segundo, letra a)]

Fases de la vida: Puesta en servicio, Mantenimiento, Localización de averías

MEDIDAS DE PROTECCIÓN EXISTENTES EN LA MÁQUINA

- Separar físicamente el acceso de programación del controlador de seguridad de la red de proceso (puerto propio, dentro del armario eléctrico cerrado), no permitir forzar señales relevantes para la seguridad en la versión de serie, permitir cambios de programa solo con la máquina en estado de parada asegurado.
- Contraseña individual para el acceso al programa de seguridad con cambio obligatorio de contraseña en la puesta en servicio, protección contra escritura y niveles de protección de acceso del controlador activados, registro de todos los accesos y cambios de programa con versión y suma de verificación, visualización del estado del programa en el HMI.
- Referencia de evidencia, vía B: IEC 62443-3-3 SR 1.1, SR 1.5, SR 2.1, SR 2.8, SR 3.4, SR 7.7.

INDICACIONES PARA EL USUARIO

- Manual de instrucciones: protección de acceso y gestión de contraseñas como obligación de la empresa usuaria, prohibición de modificar el programa sin nueva comprobación y documentación, referencia a los requisitos en caso de modificación sustancial.

Fase de la vida: Reglaje

Mecánico

Peligro de aplastamiento y cizallamiento por la mesa giratoria durante el giro automático: Partes del cuerpo del operador (manos, brazos) pueden ser arrastradas y aplastadas entre la mesa giratoria y la pared central divisoria fija o el vallado perimetral, en particular al introducir la mano en la mesa giratoria durante el giro para recolocar una pieza desplazada (mal uso razonablemente previsible).

Fases de la vida: Funcionamiento, Reglaje, Localización de averías

MEDIDAS DE PROTECCIÓN EXISTENTES EN LA MÁQUINA

- Dimensionar las holguras entre el borde de la mesa giratoria y la pared central divisoria fija, así como el vallado perimetral, de modo que no se originen puntos de aplastamiento: las holguras no deben ser inferiores a las distancias mínimas de la tabla 1 de EN ISO 13854:2019 (25 mm para los dedos, 100 mm para la mano, 120 mm para el brazo, 500 mm para el cuerpo).
- Alternativamente, mantener la holgura tan pequeña que ninguna parte del cuerpo pueda penetrar en ella (dimensiones de abertura conforme a la tabla 4 de EN ISO 13857:2019).
- Cuando no pueda lograrse ninguna de las dos holguras, la geometría del bastidor de la mesa debe configurarse de modo que no se forme una cuña convergente (flancos paralelos o divergentes en lugar de una holgura convergente).
- Además: reducir la masa y la velocidad de giro de la mesa giratoria al mínimo funcionalmente necesario (dimensionamiento del accionamiento) para limitar la energía cinética que actúa en la holgura de aplastamiento.
- Riesgo residual tras la etapa 1: la zona de giro sigue siendo una zona peligrosa en la que no se debe entrar mientras el accionamiento esté en marcha.
- Medidas técnicas de protección:
- Habilitación del movimiento de giro solo cuando la zona de giro está libre (SF-04, PLr e, EN ISO 13849-1:2023): un ESPE (cortina fotoeléctrica de tipo 4 conforme a EN IEC 61496-1:2020) vigila por completo la zona de giro; disposición y distancia de seguridad conforme a EN ISO 13855:2024.
- Enclavamiento con bloqueo de la puerta de mantenimiento conforme a EN ISO 14119:2025 con desbloqueo de escape (SF-01, PLr d; categoría de parada 1 conforme a EN 60204-1:2018).
- Modo de reglaje: movimiento de giro solo a velocidad reducida segura de 250 mm/s y con el dispositivo de validación accionado (SF-05, PLr d, categoría de parada 1 conforme a EN 60204-1:2018).
- Parada de emergencia en la zona del operador conforme a EN ISO 13850:2015, integrada en SF-03 (PLr d, categoría de parada 1 conforme a EN 60204-1:2018).
- Aislamiento de la energía antes de las intervenciones: válvula de aislamiento con enclavamiento mecánico (consignación) conforme a EN ISO 4414:2010; bloquear la mesa giratoria por forma en su posición final (EN ISO 14118:2018).

INDICACIONES PARA EL USUARIO

- Manual de instrucciones: está prohibido entrar en la zona de giro con la mesa giratoria en marcha o sin asegurar.

- Antes de cualquier intervención (p. ej., recolocar una pieza), la instalación debe desconectarse por completo y asegurarse (lockout/tagout).
- Para el reglaje se aplica un procedimiento propio con dispositivo de validación, que se describe en el manual de instrucciones.
- Señales de advertencia en la máquina: en la mesa giratoria se colocan las señales de advertencia W019 «Advertencia;
- Aplastamiento» y W024 «Advertencia;
- Aplastamiento de manos» y la señal de prohibición P015 «Prohibido introducir las manos» (conforme a EN ISO 7010:2020).
- Quién puede intervenir: el reglaje y la localización de averías solo pueden ser realizados por personal formado.
- La formación debe repetirse al menos una vez al año y registrarse por escrito.
- Equipo de protección individual: los guantes de protección no protegen contra el aplastamiento.
- Introducir la mano en la zona de giro solo con la mesa giratoria detenida.
- En toda la zona de la instalación es obligatorio el calzado de seguridad S3 conforme a EN ISO 20345.

Mecánico

Peligro de aplastamiento y arrastre por el robot de soldadura (robot industrial) en modo de reglaje: A velocidad reducida (mando de acción mantenida), el operador o el personal de reglaje pueden ser aplastados o arrastrados entre el brazo del robot y los equipos periféricos (vallado perimetral, mesa giratoria, utillaje de soldadura) por movimientos inesperados del robot.

MEDIDAS DE PROTECCIÓN EXISTENTES EN LA MÁQUINA

- Limitación de la velocidad a un máximo de 250 mm/s (velocidad del TCP) en modo de reglaje mediante el controlador del robot como requisito de diseño inherente al robot (EN ISO 10218-1:2025, apartados 5.2.7 y 5.5.3).
- Además: las distancias mínimas entre las posiciones extremas del robot en modo de reglaje y los equipos periféricos fijos (vallado perimetral, mesa giratoria, utillaje de soldadura) deben maximizarse por diseño, en la medida en que la disposición de la celda lo permita, para reducir geométricamente los puntos de aplastamiento y arrastre.
- Los puntos de aplastamiento restantes que queden por debajo de una distancia mínima de 500 mm (cuerpo) o 300 mm (cabeza) conforme a la tabla 1 de EN ISO 13854:2019 y que no puedan resolverse por diseño pasan a la etapa 2 como riesgo residual.
- SF-05 «Velocidad reducida segura de 250 mm/s con dispositivo de validación en modo de reglaje», PLr d conforme a EN ISO 13849-1:2023: la función de seguridad SLS (velocidad limitada segura, denominada en este documento velocidad reducida segura) se implementa mediante una SRP/CS de PLr d.
- El dispositivo de validación (de 3 posiciones, con función de pánico) conforme a EN ISO 10218-2:2025, apartado 5.7.7, debe mantenerse accionado de forma continua; al soltarlo o al pulsarlo a fondo se inicia una parada de categoría 1 conforme a EN 60204-1:2018.
- El personal de reglaje lleva consigo la consola de programación; esta debe tener la autoridad exclusiva para habilitar el movimiento mientras haya personas en el espacio protegido (EN ISO 10218-2:2025, apartado 5.7.5).
- El acceso al espacio protegido en modo de reglaje solo es posible a través de la puerta de mantenimiento con bloqueo conforme a EN ISO 14119:2025.
- El bloqueo libera la puerta para el modo de reglaje únicamente cuando se ha seleccionado el modo de funcionamiento «Reglaje» en el selector de modo de funcionamiento bloqueable.
- Aislamiento de la energía antes de entrar en el espacio protegido sin la consola de programación: aislamiento seguro conforme a EN ISO 14118:2018 (preparación de lockout/tagout).
- Los puntos de aplastamiento restantes se comprobaron en la recepción en fábrica con respecto a las distancias mínimas de la tabla 1 de EN ISO 13854:2019.

INDICACIONES PARA EL USUARIO

- Manual de instrucciones (Reglamento (UE) 2023/1230, anexo III, punto 1.7.4): el modo de reglaje se realiza exclusivamente por personal de reglaje instruido y autorizado, con cualificación demostrada como operador de robots.
- Descripción de las posturas corporales y de las zonas de movimiento admisibles en modo de reglaje.

- Señalización de advertencia en la puerta de mantenimiento: señal de advertencia W018 «Advertencia;
- Arranque automático» conforme a EN ISO 7010:2020 e indicación «Llevar siempre consigo el dispositivo de validación».
- Especificación de EPI: calzado de seguridad S3 (EN ISO 20345), ropa de protección ajustada (sin riesgo de arrastre por ropa suelta).
- Indicación en el manual de instrucciones de que está prohibido entrar en el espacio protegido sin una consola de programación activa y sin dispositivo de validación.

Mecánico

Peligro de aplastamiento en la interfaz entre la mesa giratoria y el robot de soldadura (zona de transferencia): Durante el giro, el utillaje cargado entra en la zona de trabajo del robot; una entrada no coordinada del robot en la zona de giro o la falta de enclavamiento entre el movimiento de la mesa giratoria y la habilitación del robot pueden provocar colisiones y lesiones por aplastamiento.

Fases de la vida: Funcionamiento, Reglaje, Localización de averías

MEDIDAS DE PROTECCIÓN EXISTENTES EN LA MÁQUINA

- El radio de giro de la mesa giratoria y el límite del espacio de trabajo del robot (envolvente del TCP) se coordinan entre sí en la fase de diseño de modo que la zona de giro máxima del utillaje y el espacio de trabajo mínimo del robot mantengan entre sí una distancia geométrica mínima de >= 500 mm (distancia mínima para evitar el aplastamiento del cuerpo conforme a la tabla 1 de EN ISO 13854:2019) cuando ambos movimientos estuvieran activos simultáneamente.
- Así se minimiza por diseño la zona de solapamiento; con esta topología de la instalación no es posible eliminar por completo el solapamiento por limitaciones funcionales, por lo que el solapamiento residual restante se protege mediante la etapa 2.
- SF-04 «Habilitación del movimiento de giro de 180 grados de la mesa giratoria solo cuando la zona de giro está libre» con PLr e conforme a EN ISO 13849-1:2023 (gráfico de riesgo: S2/F2/P2).
- Implementación como función de seguridad enclavada en el PLC de seguridad: (a) Vigilancia de parada del robot: el robot debe encontrarse en una posición de reposo definida fuera de la zona de giro y debe confirmarlo mediante una señal de realimentación segura (salida segura del controlador del robot conforme a EN ISO 10218-2:2025, apartados 5.4.7 y 5.5.8) antes de que se conceda la habilitación de la mesa giratoria.
- (b) Habilitación de la mesa giratoria al robot: mientras la mesa giratoria no esté en su posición final y bloqueada, el controlador del robot no recibe ninguna señal de habilitación para la zona de entrada; la mesa giratoria se bloquea por forma en su posición final.
- (c) Enclavamiento con bloqueo de la puerta de mantenimiento hacia la zona de giro conforme a EN ISO 14119:2025 con desbloqueo de escape, integrado en SF-01 (PLr d).
- (d) Parada de emergencia de toda la instalación conforme a EN ISO 13850:2015, integrada en SF-03 (PLr d), categoría de parada 1 conforme a EN 60204-1:2018.
- (e) En modo de reglaje se aplica SF-05: velocidad reducida segura <= 250 mm/s con dispositivo de validación (PLr d); el personal de reglaje solo puede entrar en la zona de giro con el dispositivo de validación accionado y a velocidad reducida.
- La distancia del vallado perimetral a la zona de giro cumple la tabla 2 de EN ISO 13857:2019; el vallado perimetral está diseñado conforme a EN ISO 14120:2015.

INDICACIONES PARA EL USUARIO

- Manual de instrucciones (Reglamento (UE) 2023/1230, anexo III, punto 1.7.4): descripción de la lógica de enclavamiento SF-04 y de los modos de funcionamiento Automático y Reglaje; indicación expresa de que está prohibido entrar en la zona de giro con la instalación en marcha.
- Modo de reglaje: debe documentarse el requisito de cualificación (solo personal especializado formado y con conocimiento del dispositivo de validación).

- Señalización de advertencia en la zona de giro: señales de advertencia W019 «Advertencia;
- Aplastamiento» y W024 «Advertencia;
- Aplastamiento de manos» conforme a EN ISO 7010:2020; en la puerta de mantenimiento, además, la señal de prohibición complementaria «Prohibido el paso a personas no autorizadas» (ASR A1.3 alemana, D-P006).
- Especificación de EPI en el manual de instrucciones: calzado de seguridad S3 conforme a EN ISO 20345; en modo de reglaje, además, ropa de protección ajustada (sin riesgo de atrapamiento por ropa suelta).
- Advertencia sobre el riesgo residual en el modo de reglaje y en la localización de averías: mantener siempre accionado el dispositivo de validación y no entrar nunca en la zona de giro sin él.

Mecánico

Caída de piezas o de partes del utillaje por fallo del dispositivo de sujeción neumático: En caso de fallo o fuga del aire comprimido, los elementos de sujeción se abren de forma incontrolada; piezas de hasta 40 kg pueden caer de la mesa giratoria y golpear a personas en el puesto de carga.

Fases de la vida: Funcionamiento, Reglaje, Localización de averías

MEDIDAS DE PROTECCIÓN EXISTENTES EN LA MÁQUINA

- Uso de garras de cierre neumático con una válvula antirretorno pilotada (válvula de retención de presión) en la línea de sujeción, directamente en el cilindro de sujeción: en caso de fallo del aire comprimido o de fuga en la línea de alimentación, la presión de sujeción queda retenida en el cilindro y la pieza permanece sujeta; las garras solo se abren cuando la válvula se abre activamente por pilotaje.
- La fuerza de sujeción se dimensiona para el peso máximo de pieza de 40 kg más un factor de seguridad conforme a EN ISO 4414:2010.
- Además: limitación de la presión de servicio al nivel necesario para la función de sujeción, para minimizar la energía neumática almacenada (EN ISO 4414:2010).
- Vigilancia de la presión de sujeción con función de seguridad: un presostato en la línea de sujeción vigila la presión de sujeción; si la presión cae por debajo de la presión de sujeción mínima, se bloquea la habilitación del movimiento de giro de la mesa giratoria (vinculado a SF-04, PLr e conforme a EN ISO 13849-1:2023).
- Mientras no se confirme la presión de sujeción, la mesa giratoria no gira.
- Enclavamiento mecánico del movimiento de giro: bloqueo por forma de la mesa giratoria en la posición de carga, de modo que se impida un giro involuntario con una pieza sujeta o suelta; el enclavamiento solo se libera una vez confirmada la presión de sujeción (enclavado con SF-04, PLr e).
- Encapsulado/dispositivo de retención: dispositivo de retención mecánico (chapa deflectora) debajo de la mesa giratoria, dimensionado para el peso máximo de pieza de 40 kg y la altura máxima de caída, para mantener las piezas que caen alejadas del puesto de carga; diseño conforme a EN ISO 14120:2015.
- Distancia de seguridad en el puesto de carga: disposición del puesto de carga de modo que la zona peligrosa debajo de la mesa giratoria quede fuera de la zona habitual de permanencia.

INDICACIONES PARA EL USUARIO

- Manual de instrucciones (Reglamento (UE) 2023/1230, anexo III, punto 1.7.4): descripción del principio de sujeción (garras de cierre neumático con válvula de retención de presión) y de la vigilancia de la presión de sujeción; prohibición de permanecer debajo de la mesa giratoria durante el funcionamiento y durante la localización de averías sin una parada asegurada; procedimiento en caso de fallo del aire comprimido (parar la máquina, restablecer el suministro de aire comprimido, retirar la pieza solo tras comprobar la presión).
- Aislamiento de la energía antes de las intervenciones: instrucción de despresurizar por completo el sistema neumático antes de los trabajos de mantenimiento y conservación conforme a EN ISO 4414:2010 y EN ISO 14118:2018 (prevención de un rearranque inesperado y de una liberación

inesperada de energía); debido a la válvula de retención de presión, la presión de sujeción permanece retenida en los cilindros de sujeción, por lo que las garras deben abrirse y despresurizarse antes de cualquier trabajo en el dispositivo de sujeción; prever una válvula de corte y escape con posibilidad de bloqueo (lockout).

- Señalización de advertencia: colocar las señales de advertencia W015 «Advertencia;
- Cargas suspendidas» y W024 «Advertencia;
- Aplastamiento de manos» conforme a EN ISO 7010:2020 en la mesa giratoria y en el puesto de carga.
- Cualificación: los trabajos de localización de averías y de reglaje deben ser realizados únicamente por personal especializado formado; los requisitos se especificarán en el manual de instrucciones.
- EPI: prescribir el uso de calzado de seguridad (S3 conforme a EN ISO 20345) en el puesto de carga como protección frente al riesgo residual.

Mecánico

Peligro de aplastamiento y choque por rearranque inesperado de la mesa giratoria o del robot tras una parada de emergencia o tras la eliminación de una avería: Si no existe un sistema coordinado de prevención del rearranque (EN ISO 11161), las submáquinas individuales pueden arrancar automáticamente mientras todavía hay personas en la zona peligrosa.

Fases de la vida: Localización de averías, Mantenimiento, Reglaje

MEDIDAS DE PROTECCIÓN EXISTENTES EN LA MÁQUINA

- Medidas de diseño inherentemente seguro agotadas: el rearranque tras una parada de emergencia o tras la eliminación de una avería es un evento del sistema de mando que, dado el principio de funcionamiento de la instalación completa (funcionamiento automático coordinado del robot y de la mesa giratoria), no puede eliminarse por diseño sin anular la función de la máquina.
- No existe ninguna medida geométrica ni energética que impida el rearranque en sí sin suprimir la función de la máquina.
- La protección debe lograrse, por tanto, íntegramente mediante medidas de la etapa 2 (sistema de mando y enclavamiento).
- Prevención coordinada del rearranque conforme a EN ISO 11161:2007+A1:2010: el sistema de mando de la instalación completa no debe liberar el rearranque de una submáquina (mesa giratoria, robot) hasta que se haya dado una orden de rearranque manual y deliberada desde una posición segura fuera de todas las zonas peligrosas.
- La orden de rearranque no debe activarse automáticamente tras el rearme de la parada de emergencia ni tras la eliminación de la avería.
- Las funciones de seguridad SF-01 (parada segura, categoría de parada 1 al abrir la puerta de mantenimiento, PLr d conforme a EN ISO 13849-1:2023) y SF-03 (parada de emergencia de la instalación completa, categoría de parada 1, PLr d conforme a EN ISO 13849-1:2023) garantizan que todos los accionamientos se lleven de forma segura al estado de reposo.
- La prevención del rearranque se implementa como parte integrante de las funciones de seguridad SF-01, SF-03 y SF-04 y se ejecuta con su respectivo PLr (SF-04: PLr e;
- SF-01 y SF-03: PLr d conforme a EN ISO 13849-1:2023).
- Función de seguridad SF-04 (habilitación del movimiento de giro de 180 grados de la mesa giratoria solo cuando la zona de giro está libre, PLr e conforme a EN ISO 13849-1:2023): la mesa giratoria solo puede ejecutar su movimiento de giro cuando la cortina fotoeléctrica de tipo 4 conforme a EN IEC 61496-1:2020 (posicionada conforme a EN ISO 13855:2024) ha detectado que la zona de giro está libre.
- Esta función permanece activa tras el rearranque e impide el arranque con personas presentes.
- Función de seguridad SF-05 (velocidad reducida segura de 250 mm/s con dispositivo de validación en modo de reglaje, PLr d conforme a EN ISO 13849-1:2023): en modo de reglaje, el rearranque se libera exclusivamente mediante un dispositivo de validación (de 3 posiciones conforme a EN ISO 10218-2:2025, apartado 5.7.7), de modo que se excluye un rearranque inesperado a plena velocidad.

- Desconexión y aislamiento de la energía conforme a EN ISO 14118:2018: antes de entrar en la zona peligrosa para la localización de averías o el mantenimiento, el suministro de energía de todos los accionamientos pertinentes (eléctrico, neumático conforme a EN ISO 4414:2010) debe desconectarse mediante un dispositivo de aislamiento bloqueable y asegurarse contra una reconexión involuntaria (lockout/tagout).
- La energía residual (energía neumática almacenada) debe disiparse antes de cualquier intervención; la mesa giratoria debe bloquearse por forma en su posición final.
- Enclavamiento con bloqueo de la puerta de mantenimiento conforme a EN ISO 14119:2025 con desbloqueo de escape: el bloqueo mantiene cerrada la puerta de mantenimiento mientras los movimientos peligrosos no se hayan detenido de forma segura (parada de categoría 1 completada).
- La integración se realiza en el marco de SF-01 (PLr d).

INDICACIONES PARA EL USUARIO

- Manual de instrucciones (Reglamento (UE) 2023/1230, anexo III, punto 1.7.4): descripción de la secuencia de rearranque tras una parada de emergencia y tras la eliminación de una avería; indicación expresa de que el rearranque solo es admisible después de haber abandonado por completo todas las zonas peligrosas y de haber dado desde el exterior una orden de confirmación manual.
- Descripción del procedimiento de lockout/tagout conforme a EN ISO 14118:2018 para todas las actividades de mantenimiento y de localización de averías.
- Señalización de advertencia en la puerta de mantenimiento y en los dispositivos de confirmación: advertencia de rearranque inesperado (señal de advertencia W018 «Advertencia;
- Arranque automático» conforme a EN ISO 7010:2020), indicación de la obligación de confirmar desde el exterior.
- Requisito de cualificación: las actividades de reglaje y mantenimiento solo pueden ser realizadas por personal especializado instruido que haya recibido formación en el procedimiento de rearranque y en el método lockout/tagout (EN ISO 10218-2:2025, apartado 7.5.12).
- Especificación de EPI: debe llevarse calzado de seguridad (S3 conforme a EN ISO 20345) al entrar en la zona peligrosa para la localización de averías o el mantenimiento;
- EPI adicional según lo que determine la evaluación del riesgo del puesto de trabajo de la empresa usuaria.

Mecánico

Función de parada de emergencia ausente o no coordinada entre submáquinas (robot, mesa giratoria, fuente de corriente de soldadura, sistema de aspiración): Una parada de emergencia en una submáquina no detiene necesariamente todas las demás submáquinas; las personas pueden verse expuestas a peligro por componentes que siguen funcionando.

Fases de la vida: Funcionamiento, Reglaje, Localización de averías

MEDIDAS DE PROTECCIÓN EXISTENTES EN LA MÁQUINA

- Medidas de diseño inherentemente seguro agotadas: la coordinación de varios mandos independientes requiere necesariamente una lógica de mando de nivel superior.
- Una medida de diseño puro (geometría, limitación de la energía, sustitución) no puede sustituir la interconexión que falta de los circuitos de parada de emergencia.
- El principio de funcionamiento de la instalación completa exige una coordinación activa del mando.
- Circuito de parada de emergencia de nivel superior (SF-03) conforme a EN ISO 13850:2015 y EN ISO 11161:2007+A1:2010: todos los dispositivos de parada de emergencia de la instalación completa se integran en un circuito de seguridad común de nivel superior que, al accionarse en cualquier punto, lleva todas las submáquinas peligrosas (robot, mesa giratoria, fuente de corriente de soldadura, sistema neumático) a una parada coordinada; el sistema de aspiración sigue funcionando por razones operativas.
- Categoría de parada 1 conforme a EN 60204-1:2018 (parada controlada seguida de desconexión de la energía): el robot realiza una parada controlada a lo largo de su trayectoria, la mesa giratoria frena activamente, la fuente de corriente de soldadura se desconecta y las garras permanecen sujetas gracias a la válvula de retención de presión.
- La marcha posterior del sistema de aspiración no es una función de seguridad, pero es necesaria por razones operativas.
- La función de seguridad SF-03 se especifica con PLr d conforme a EN ISO 13849-1:2023 y se implementa en categoría 3 con PL d.
- La integración del robot se realiza a través del controlador del robot conforme a EN ISO 10218-2:2025, apartado 5.3.3 (alcance de actuación de la parada de emergencia, interfaz de seguridad con el mando de nivel superior).
- Los dispositivos de parada de emergencia deben diseñarse conforme a EN ISO 13850:2015 (pulsador de seta, fondo amarillo, con enclavamiento automático, desbloqueo solo mediante una acción deliberada).
- Los dispositivos de parada de emergencia deben situarse de modo que desde cada puesto de operación pueda alcanzarse al menos un dispositivo de parada de emergencia sin exposición a un peligro (EN ISO 13850:2015).
- Bloqueo de rearranque: tras una parada de emergencia es necesario un rearme manual antes de que la instalación pueda volver a arrancar (EN ISO 13850:2015, apartado 4.1.4), para evitar un rearranque inesperado conforme a EN ISO 14118:2018.

INDICACIONES PARA EL USUARIO

- Manual de instrucciones (Reglamento (UE) 2023/1230, anexo III, punto 1.7.4): descripción de la topología de parada de emergencia de la instalación completa con un plano de distribución de todos los dispositivos de parada de emergencia y del ámbito de actuación de cada uno de ellos.
- Indicación clara de que, tras una parada de emergencia, debe inspeccionarse la zona peligrosa de todas las submáquinas antes de efectuar el rearme.
- Modo de reglaje y localización de averías: indicación de que la intervención en la zona peligrosa solo es admisible cuando todas las submáquinas se han detenido por completo y la puerta de mantenimiento se ha asegurado contra el cierre (candado personal en el dispositivo de bloqueo).
- Requisito de cualificación: reglaje y localización de averías solo por personal especializado instruido que conozca la topología de parada de emergencia.
- Señalización en el pupitre de mando: rótulo de texto que indique el ámbito de actuación de los dispositivos de parada de emergencia (la parada de emergencia actúa sobre todas las submáquinas de la celda), complementado con la señal de advertencia W018 «Advertencia;
- Arranque automático» conforme a EN ISO 7010:2020.

Mecánico

Peligro de corte y punción por el hilo de soldadura (hilo macizo de 1,0 a 1,2 mm) en la antorcha de soldadura: El hilo que sobresale de la antorcha actúa como una aguja; durante el reglaje, el enhebrado del hilo o la limpieza de la antorcha pueden producirse pinchazos o cortes en manos y dedos.

Fases de la vida: Reglaje, Mantenimiento, Limpieza

MEDIDAS DE PROTECCIÓN EXISTENTES EN LA MÁQUINA

- Retroceso automático del hilo al finalizar la soldadura: el control del alimentador de hilo hace retroceder automáticamente el hilo una cantidad definida (de 5 a 10 mm) hacia el interior de la antorcha después de cada ciclo de soldadura, de modo que la punta afilada del hilo queda dentro del tubo de contacto y ya no sobresale libremente.
- Por diseño, esto minimiza el punto peligroso (punta de hilo libre) en las fases de la vida de reglaje y limpieza.
- Además: selección de un sistema de alimentación de hilo que, en modo de avance por impulsos (reglaje), haga avanzar el hilo solo mientras se mantenga pulsado el pulsador (principio de hombre muerto), de modo que el hilo no avance de forma incontrolada.
- Limitación mecánica de la longitud del hilo: en el cuello de la antorcha se prevé un tope de longitud de hilo ajustable (capuchón de protección de la antorcha con una abertura definida) que limita el hilo que sobresale al mínimo necesario para el proceso.
- Bloqueo de la alimentación automática de hilo: la alimentación automática de hilo se bloquea en cuanto se abre la puerta de mantenimiento; con la puerta abierta, el hilo solo puede avanzar en modo de avance por impulsos a velocidad de enhebrado reducida.
- Modo de avance por impulsos de la alimentación de hilo: el modo de avance por impulsos a velocidad de enhebrado reducida es una función de la fuente de corriente de soldadura, no una función de seguridad; está concebido para evitar un avance rápido involuntario del hilo.
- Señalización del punto peligroso en la antorcha y en el alimentador de hilo con la señal de advertencia W022 «Advertencia;
- Elemento afilado» conforme a EN ISO 7010:2020.

INDICACIONES PARA EL USUARIO

- Manual de instrucciones (Reglamento (UE) 2023/1230, anexo III, punto 1.7.4): indicación expresa de que el hilo de soldadura presenta una punta afilada que puede perforar la piel incluso estando parado.
- Descripción del procedimiento seguro para enhebrar el hilo (hacer avanzar el hilo solo en modo de avance por impulsos a velocidad de enhebrado reducida, cortar el extremo del hilo limpiamente con alicates de corte, no tantear nunca con la mano desnuda).
- Señalización de advertencia en el portaantorcha y en el alimentador de hilo: señal de advertencia W022 «Advertencia;
- Elemento afilado» conforme a EN ISO 7010:2020.
- Requisito de cualificación: las actividades en la antorcha y en el alimentador de hilo (enhebrado del hilo, limpieza) solo pueden ser realizadas por personal especializado instruido; el requisito

debe documentarse en el manual de instrucciones.

- Especificación de EPI: al enhebrar el hilo y al limpiar la antorcha deben llevarse guantes de protección resistentes al corte (conforme a EN 388, resistencia a la perforación de al menos el nivel de prestaciones 2); la especificación debe figurar en el manual de instrucciones y en el aviso colocado en el puesto de trabajo.
- Indicación sobre el corte seguro de la punta del hilo: antes de cualquier actividad manual en la antorcha, la punta del hilo debe cortarse limpiamente y sin rebabas con unos alicates de corte adecuados; la herramienta debe estar disponible en el puesto de trabajo.

Mecánico

Peligro ergonómico y de aplastamiento en la carga y descarga manuales de piezas de hasta 40 kg: Las piezas de hasta 15 kg se cargan a mano; las piezas de más de 15 kg, con la ayuda de elevación suministrada por la empresa usuaria. En caso de mal uso razonablemente previsible (levantar sin la ayuda de elevación), se produce una sobrecarga musculoesquelética junto con el riesgo de perder el agarre y la consiguiente caída de la pieza sobre los pies o las manos.

Fases de la vida: Funcionamiento, Reglaje

MEDIDAS DE PROTECCIÓN EXISTENTES EN LA MÁQUINA

- Limitación de la masa de las piezas manipuladas manualmente a un máximo de 15 kg.
- El umbral lo establece el fabricante para unas 40 elevaciones por hora y se deriva de la masa de referencia conforme a EN 1005-2:2003+A1:2008.
- Para piezas de más de 15 kg y hasta 40 kg, el utillaje de sujeción de la pieza en el puesto de carga se diseña de modo que la carga desde arriba con la ayuda de elevación suministrada por la empresa usuaria sea posible sin reagarrar (acceso despejado, profundidad de inserción, geometría de los topes de posicionamiento).
- El puesto de carga está preparado para una ayuda de elevación suministrada por la empresa usuaria (la ayuda de elevación no forma parte del suministro, capacidad de carga de al menos 40 kg, radio de acción que cubra toda la zona de carga).
- El acceso desde arriba está despejado, de modo que el operador pueda alcanzar la posición de carga sin reagarrar ni soltar la pieza.
- Marcado en el suelo (amarillo/negro conforme a la ASR A1.3 alemana) de la zona de depósito y de giro de la ayuda de elevación en el puesto de carga, de modo que el operador no se sitúe debajo de la carga suspendida durante la carga.
- La cortina fotoeléctrica del puesto de carga (SF-02, PLr e) protege la zona peligrosa de la abertura de la máquina; no protege contra la caída de la propia pieza, pero sí limita la zona en la que pueden encontrarse las manos durante la carga.

INDICACIONES PARA EL USUARIO

- Manual de instrucciones (Reglamento (UE) 2023/1230, anexo III, punto 1.7.4): especificación clara de la regla de manipulación (hasta 15 kg a mano, por encima de 15 kg con la ayuda de elevación suministrada por la empresa usuaria, capacidad de carga de al menos 40 kg) y de los puntos de enganche correctos en la pieza.
- Especificación de la postura corporal durante la carga conforme a EN 1005-4.
- Señalización de advertencia en el puesto de carga: señales de advertencia W015 «Advertencia;
- Cargas suspendidas» y W024 «Advertencia;
- Aplastamiento de manos» y señal de obligación M008 «Uso obligatorio de calzado de seguridad» conforme a EN ISO 7010:2020.
- Rótulo de texto «Manipulación manual solo hasta 15 kg; por encima, utilizar la ayuda de elevación» directamente en el puesto de carga.
- Requisito de cualificación: antes de comenzar el trabajo, los operadores deben recibir instrucción sobre el uso de la ayuda de elevación y sobre la manipulación ergonómicamente correcta

(instrucción documentada).

- Especificación de EPI: el calzado de seguridad S3 conforme a EN ISO 20345 y los guantes de protección (resistentes al corte, con buen agarre) se establecen como EPI mínimo para todas las actividades de carga y descarga.

Mecánico

Peligro de tropiezo, resbalón y caída en la zona del puesto de carga y del pasillo de mantenimiento debido a proyecciones de soldadura en el suelo, cables, mangueras (aire comprimido, gas de protección) y zonas mojadas durante los trabajos de limpieza.

Fases de la vida: Funcionamiento, Reglaje, Mantenimiento, Limpieza, Localización de averías

MEDIDAS DE PROTECCIÓN EXISTENTES EN LA MÁQUINA

- Mantener por diseño los cables y las mangueras (aire comprimido, gas de protección) fuera de la zona del suelo del puesto de carga y del pasillo de mantenimiento, guiándolos por canaletas, cadenas portacables o sistemas de guiado de cables suspendidos del techo, de modo que no se originen peligros de tropiezo.
- Diseñar las conexiones en el puesto de carga como columnas colgantes de techo o paneles de tomas montados en la pared.
- Reducir la exposición del suelo a las proyecciones de soldadura mediante chapas de protección integradas en el diseño (pantallas contra proyecciones) en el puesto de soldadura, de modo que se minimice su llegada a la zona del operador.
- El suelo de la nave no forma parte del suministro; el requisito para el lugar de instalación (revestimiento de suelo antideslizante) se transmite a la empresa usuaria en la etapa 3.
- Limitar el riesgo residual de los peligros de tropiezo y resbalón restantes mediante las siguientes medidas técnicas:
- Marcado en el suelo (amarillo/negro conforme a la ASR A1.3 alemana) para identificar las vías de circulación y las zonas peligrosas conforme al anexo III, punto 1.5.15, del Reglamento (UE) 2023/1230.
- Iluminación fija adecuada del puesto de carga y del pasillo de mantenimiento conforme al anexo III, punto 1.1.4, del Reglamento (UE) 2023/1230, de modo que los obstáculos y las zonas mojadas puedan detectarse a tiempo; el alumbrado integrado en la máquina conforme a EN 1837 proporciona 500 lx en el puesto de carga y 200 lx en el pasillo de mantenimiento.
- Alfombrillas de protección contra proyecciones en la zona inmediata de soldadura, fáciles de retirar y de limpiar.

INDICACIONES PARA EL USUARIO

- Manual de instrucciones (Reglamento (UE) 2023/1230, anexo III, punto 1.7.4):
- Referencia al peligro de tropiezo y resbalón por proyecciones de soldadura, mangueras y humedad; prescribir intervalos y procedimientos de limpieza de la zona del suelo.
- Requisito de cualificación: todas las personas que accedan al puesto de carga y al pasillo de mantenimiento deben haber recibido instrucción sobre los peligros y la disposición de las vías de circulación.
- Especificación de EPI: al acceder al puesto de carga y al pasillo de mantenimiento debe llevarse calzado de seguridad con suela antideslizante (S3 conforme a EN ISO 20345).
- Señalización de advertencia en el acceso al puesto de carga y al pasillo de mantenimiento: colocar la señal de advertencia W011 «Advertencia;

- Superficie resbaladiza» y la señal de obligación M008 «Uso obligatorio de calzado de seguridad» conforme a EN ISO 7010:2020.
- Requisito para el lugar de instalación: revestimiento de suelo antideslizante en el puesto de carga y en el pasillo de mantenimiento, con una clase de deslizamiento de al menos R 11 conforme a la regla alemana DGUV 108-003.

Mecánico

Peligro por el acceso simultáneo de varias personas a diferentes zonas de la celda (EN ISO 11161): Hay una segunda persona dentro de la celda sin que el personal de reglaje lo sepa; cuando el robot o la mesa giratoria arrancan, la segunda persona es golpeada.

Fases de la vida: Reglaje, Mantenimiento, Localización de averías

MEDIDAS DE PROTECCIÓN EXISTENTES EN LA MÁQUINA

- Medidas de diseño inherentemente seguro agotadas: el principio de funcionamiento de la instalación completa exige zonas accesibles para los trabajos de reglaje, mantenimiento y localización de averías.
- El peligro se debe a la presencia simultánea de varias personas en diferentes zonas, lo que no puede resolverse únicamente mediante geometría, distancia o limitación de la energía sin anular el fin operativo.
- Con este tipo de instalación no es técnicamente realizable reducir la energía del robot o de la mesa giratoria a un nivel que excluya con seguridad las lesiones.
- Protección de las personas cuando varias personas entran en la celda, conforme a EN ISO 11161:2007+A1:2010: la puerta de mantenimiento dispone de un dispositivo de bloqueo para candados personales.
- Cada persona que entra en la celda coloca su candado personal en el dispositivo de bloqueo de la puerta abierta.
- Mientras haya un candado colocado, la puerta no puede cerrarse y no puede iniciarse el modo automático.
- Los movimientos solo son posibles entonces en modo de reglaje, con el dispositivo de validación accionado y a velocidad reducida segura.
- La confirmación solo es posible desde el exterior, en el pupitre de mando.
- Enclavamiento con bloqueo de la puerta de mantenimiento conforme a EN ISO 14119:2025 con desbloqueo de escape desde el interior conforme a EN ISO 14119:2025, apartado 6.9.1, de modo que las personas atrapadas en el interior puedan abandonar la celda en todo momento.
- La habilitación del arranque automático (robot y mesa giratoria) se implementa como función de seguridad: el arranque automático solo es posible cuando la puerta de mantenimiento está cerrada y mantenida cerrada por el bloqueo y se ha dado la confirmación desde el exterior.
- La función de acceso es SF-01 (parada segura al abrir la puerta de mantenimiento) con PLr d conforme a EN ISO 13849-1:2023.
- Con independencia de ello, la liberación del giro de la mesa giratoria sigue protegida por SF-04 (PLr e).
- En modo de reglaje se aplica SF-05 (velocidad reducida segura de 250 mm/s con dispositivo de validación, PLr d conforme a EN ISO 13849-1:2023).
- El dispositivo de validación es personal.
- La celda dispone exactamente de un dispositivo de validación, en la consola de programación; por ello, los movimientos en modo de reglaje solo se permiten cuando en la celda no hay nadie

más que la persona que sostiene el dispositivo de validación (para la instrucción de procedimiento, véase la etapa 3).

- Las distancias de seguridad entre el espacio de trabajo del robot y las zonas donde se encuentran personas cumplen la tabla 2 de EN ISO 13857:2019 y los apartados 5.4.6 y 5.8.9 de EN ISO 10218-2:2025.

INDICACIONES PARA EL USUARIO

- Manual de instrucciones (Reglamento (UE) 2023/1230, anexo III, punto 1.7.4): descripción de la protección de las personas en la puerta de mantenimiento (un candado personal por persona en el dispositivo de bloqueo, desbloqueo de escape desde el interior) y de la obligación de colocar el candado antes de entrar y de retirarlo solo después de salir de la celda.
- Instrucción de procedimiento para trabajos con varias personas (reglaje, mantenimiento, localización de averías) con una asignación clara de funciones (persona responsable, coordinación).
- Señales de advertencia en la puerta de mantenimiento: señal de advertencia W018 «Advertencia;
- Arranque automático» conforme a EN ISO 7010:2020, rótulo de texto «Colocar su candado personal antes de entrar».
- Requisito de cualificación: el personal de reglaje y de mantenimiento debe recibir instrucción sobre el concepto de acceso de varias personas y sobre el uso del dispositivo de bloqueo para candados personales y del desbloqueo de escape.
- La instrucción debe documentarse.
- Especificación de EPI en el manual de instrucciones: calzado de seguridad S3 conforme a EN ISO 20345 y ropa de protección ajustada (sin riesgo de atrapamiento por ropa suelta) cuando se esté dentro de la celda.

Eléctrico

Peligro por la corriente de soldadura en la pieza y en el utillaje: El circuito de soldadura conduce corrientes elevadas (normalmente de 100 a 350 A); en caso de una conexión a tierra defectuosa o de un aislamiento dañado, las personas que toquen la pieza o el utillaje pueden recibir una descarga eléctrica.

Fases de la vida: Reglaje, Funcionamiento, Localización de averías

MEDIDAS DE PROTECCIÓN EXISTENTES EN LA MÁQUINA

- Diseñar el bastidor del utillaje y los portapiezas de modo que las superficies conductoras accesibles al tacto que se encuentren dentro del circuito de la corriente de soldadura queden aisladas galvánicamente del bastidor de la máquina por diseño, mediante aislamiento (placas aislantes de epoxi reforzado con fibra de vidrio entre la placa base del utillaje y la mesa de la máquina, así como insertos aislantes en las garras de sujeción).
- Por diseño, esto interrumpe la trayectoria involuntaria de la corriente a través del bastidor y de las superficies exteriores accesibles.
- Además: definir el punto de conexión del cable de masa directamente en la pieza o en un lugar designado del utillaje que el operador no pueda tocar, e integrarlo mediante la conformación (rebaje, canal de guiado del cable) de modo que, por diseño, se dificulte un posicionamiento incorrecto de la pinza de masa.
- Fuente de corriente de soldadura: la fuente de corriente de soldadura tiene clase de protección I y grado de protección IP23S conforme a EN IEC 60974-1; la integración en la cadena de conductores de protección de la instalación completa debe realizarse conforme al apartado 8 de EN 60204-1:2018 (secciones de los conductores de protección, puntos de conexión).
- Vigilancia de la conexión de masa: la vigilancia de la corriente de tierra de la fuente de corriente de soldadura está activada; en caso de interrupción o de una resistencia de contacto inadmisiblemente alta, se bloquea el proceso de soldadura.
- La función es un enclavamiento operativo sin requisito de PL (no es una función de seguridad en el sentido de EN ISO 13849-1:2023); no se le atribuye ninguna reducción del riesgo.
- Conexión equipotencial: todas las partes conductoras del utillaje que no estén aisladas deliberadamente se incluyen en la conexión equipotencial de protección de la instalación (EN 60204-1:2018, apartado 8.2).
- Restricción del acceso durante el proceso de soldadura: el puesto de carga está protegido por la cortina fotoeléctrica (SF-02, PLr e conforme a EN ISO 13849-1:2023); durante la soldadura activa, el acceso a la zona de soldadura se impide mediante la puerta de mantenimiento enclavada (SF-01, PLr d) y la lógica de habilitación de la mesa giratoria (SF-04, PLr e), de modo que el contacto con partes activas en modo automático se impide tanto por medios de diseño como de ingeniería de control.
- Guiado de cables: los cables de soldadura y los cables de masa se tienden en canaletas cerradas o en conductos de protección (protección contra daños mecánicos); deben respetarse los radios de curvatura mínimos especificados por el fabricante; los cables deben asegurarse con descarga de tracción.

INDICACIONES PARA EL USUARIO

- Manual de instrucciones (Reglamento (UE) 2023/1230, anexo III, punto 1.7.4): descripción de la conexión correcta de la pinza de masa (posición, limpieza de la superficie de contacto, zonas de sujeción admisibles); indicación de que está prohibido tocar la pieza y el utillaje durante el proceso de soldadura; intervalos de inspección del aislamiento y del estado de los cables (inspección visual cada jornada de trabajo, medición semestral del aislamiento por una persona con cualificación en electricidad, véase el capítulo 10.2).
- Requisito de cualificación: el reglaje, la localización de averías y el mantenimiento de la fuente de corriente de soldadura y de sus conexiones solo pueden ser realizados por una persona con cualificación en electricidad o por una persona instruida en electricidad bajo la supervisión de una persona con cualificación en electricidad (términos definidos en EN 60204-1:2018, apartado 3.1).
- Señalización de advertencia en el utillaje y en la zona de soldadura: colocar la señal de advertencia W012 «Advertencia;
- Electricidad» conforme a EN ISO 7010:2020 en un lugar claramente visible; colocar un rótulo de texto «Comprobar la pinza de masa antes de iniciar la soldadura».
- Especificación de EPI en el manual de instrucciones: al realizar el reglaje y la localización de averías en la zona de soldadura deben llevarse guantes aislantes (clase de protección adecuada para baja tensión) y ropa de protección para soldadura.

Eléctrico

Interferencias de CEM entre la fuente de corriente de soldadura y el controlador de seguridad (controlador del robot, unidad de evaluación de la cortina fotoeléctrica, controlador del bloqueo del resguardo): Los impulsos de interferencia de alta frecuencia del arco MAG pueden influir en las funciones de seguridad y provocar disparos intempestivos o, lo que es más crítico, el fallo no detectado de funciones de seguridad (EN ISO 11161).

Fases de la vida: Funcionamiento, Reglaje

MEDIDAS DE PROTECCIÓN EXISTENTES EN LA MÁQUINA

- Separación espacial y galvánica de los circuitos de soldadura respecto de los circuitos de seguridad mediante especificación de diseño:
- Tender el conductor de retorno de la corriente de soldadura como conductor de retorno dedicado, cerca de la pieza y directamente de vuelta desde el utillaje de soldadura, de modo que no se formen bucles de corriente de gran superficie que actúen como antenas.
- Tender los cables de la corriente de soldadura y los cables de señal/control de seguridad en canaletas separadas con una separación mínima de 200 mm (distancias de separación conforme a EN 50174-2 y al anexo H de EN 60204-1:2018); cruces solo en ángulo recto.
- Conectar a tierra la fuente de corriente de soldadura y el controlador de seguridad en barras colectoras de conexión equipotencial separadas, unidas con baja impedancia al conductor de protección del sistema, para evitar caminos de impedancia común.
- Estas medidas reducen el acoplamiento en la fuente sin necesidad de un dispositivo de protección.
- Para el riesgo residual restante de interferencias conducidas y radiadas:
- Ejecutar todos los cables de señal y de control de seguridad (cortina fotoeléctrica SF-02, bloqueo del resguardo SF-01, habilitación del giro SF-04, parada de emergencia SF-03) como cables apantallados; conectar la pantalla en ambos extremos con baja impedancia a la barra colectora de conexión equipotencial.
- Utilizar filtros de red (filtros antiparasitarios) en la alimentación del controlador de seguridad y de la unidad de evaluación de la cortina fotoeléctrica, dimensionados conforme a EN IEC 61000-6-2:2019 (requisitos de inmunidad para entornos industriales).
- Instalar el controlador del robot, la unidad de evaluación de la cortina fotoeléctrica y el controlador del bloqueo del resguardo únicamente en armarios de control con apantallamiento continuo (envolventes metálicas, entradas de cables conformes con la CEM).
- El controlador de seguridad y todos los componentes de las funciones de seguridad SF-01 a SF-05 deben cumplir de forma demostrable los requisitos de inmunidad de EN IEC 61000-6-2:2019 (la evidencia de los fabricantes de los componentes consta en el expediente).
- Las funciones de seguridad SF-01 (PLr d), SF-02 (PLr e), SF-03 (PLr d), SF-04 (PLr e) y SF-05 (PLr d) deben validarse conforme a EN ISO 13849-1:2023 y EN ISO 13849-2:2012; la validación debe demostrar la inmunidad de la SRP/CS conforme al anexo L de EN ISO 13849-1:2023 y las medidas contra fallos de causa común (anexo F).

- Fuente de corriente de soldadura: equipo con marcado CE y declaración UE de conformidad que abarca también la Directiva 2014/30/UE sobre compatibilidad electromagnética; emisiones de la fuente conforme a EN IEC 60974-10 (CEM de los equipos de soldadura por arco), emisiones de la instalación completa conforme a EN IEC 61000-6-4:2019 (informe de ensayo RSZ-2600-EMV-001).
- Instalación completa: realizar una prueba de aceptación de CEM conforme a EN IEC 61000-6-2:2019 en estado de funcionamiento con el proceso de soldadura activo, para verificar la inmunidad de las funciones de seguridad en condiciones reales de funcionamiento.

INDICACIONES PARA EL USUARIO

- Manual de instrucciones (Reglamento (UE) 2023/1230, anexo III, punto 1.7.4):
- Indicación de que las modificaciones del tendido de cables (cables de corriente de soldadura, cables de control) solo pueden ser realizadas por personal especializado cualificado con conocimientos de CEM.
- Instrucción de mantenimiento: inspección visual de las terminaciones de pantalla, de las conexiones equipotenciales y de la separación de las canaletas; intervalo de inspección de seis meses (véase el capítulo 10.2).
- Indicación de que tras cada sustitución de la fuente de corriente de soldadura, del controlador del robot o de componentes de seguridad es necesaria una nueva comprobación funcional de CEM de las funciones de seguridad.
- Requisito de cualificación: el personal de reglaje (modo de funcionamiento Reglaje, SF-05 activa) debe recibir instrucción sobre los patrones de fallo relacionados con la CEM en los controladores de seguridad.
- Rótulo en el armario de control del controlador de seguridad: «Modificar el tendido de cables solo conforme al esquema eléctrico RSZ-2600-EPL-001».

Térmico

Peligro de quemaduras por piezas y cordones de soldadura calientes: Los conjuntos recién soldados alcanzan varios cientos de grados Celsius en la zona del cordón; la retirada sin guantes de protección adecuados o el contacto con el cordón pueden provocar quemaduras graves.

Fases de la vida: Funcionamiento, Reglaje

MEDIDAS DE PROTECCIÓN EXISTENTES EN LA MÁQUINA

- Medidas de diseño inherentemente seguro agotadas: el principio de funcionamiento de la soldadura por arco con gas de protección exige necesariamente un aporte de calor a la pieza; la temperatura del cordón resultante no puede reducirse físicamente a un nivel seguro sin suprimir el propio proceso de soldadura.
- No está prevista la sustitución del proceso de unión (p. ej., encolado, atornillado) y no cumpliría los requisitos del producto.
- Una medida geométrica (distancia al cordón mediante conformación) no puede realizarse por diseño en el punto de agarre para la retirada, ya que el operador debe agarrar el conjunto.
- Tiempo de enfriamiento forzado: un tiempo de bloqueo en el sistema de mando tras finalizar la soldadura (temporizador en el mando de la instalación), durante el cual permanece bloqueada la liberación de la retirada en el puesto de carga (lado de retirada).
- El tiempo de bloqueo se almacena para cada programa de soldadura; depende de la geometría de la pieza y del aporte de calor.
- Esta función no es una función de seguridad en el sentido de EN ISO 13849-1 (sin PLr asignado), sino un enclavamiento relacionado con el proceso; reduce la probabilidad de ocurrencia, pero no sustituye la obligación de usar EPI.
- Luz de advertencia / dispositivo de señalización: indicador óptico (luz de señalización roja en el puesto de retirada) que está activo durante el tiempo de bloqueo por enfriamiento y se apaga en cuanto se concede la liberación.
- Apantallamiento térmico: la pared central divisoria fija con cortina de soldadura entre la zona de soldadura y el puesto de retirada protege al operador del calor radiante (diseño conforme a EN ISO 13732-1:2008 en cuanto a los valores límite de temperatura de contacto, como referencia de diseño para superficies que puedan tocarse involuntariamente).

INDICACIONES PARA EL USUARIO

- Manual de instrucciones (Reglamento (UE) 2023/1230, anexo III, punto 1.7.4): referencia al riesgo de quemaduras por piezas y cordones de soldadura calientes; especificación del tiempo de enfriamiento necesario antes de la retirada; obligación de llevar guantes de protección térmica (EPI de categoría II, adecuados para el calor de contacto conforme a EN 407, con un nivel de prestaciones de al menos el nivel 3 de calor de contacto) y, en su caso, protección de antebrazos.
- Señalización de advertencia en el puesto de retirada: señal de advertencia W017 «Advertencia;
- Superficie caliente» y señal de obligación M009 «Uso obligatorio de guantes de protección» conforme a EN ISO 7010:2020, que deben colocarse de forma permanente y claramente visible en el puesto de carga (lado de retirada) (Reglamento (UE) 2023/1230, anexo III, punto 1.7.1).

- Cualificación e instrucción: los operadores y el personal de reglaje deben recibir, antes de comenzar el trabajo, instrucción sobre el riesgo de quemaduras, los tiempos de enfriamiento y la obligación de usar EPI; la instrucción debe documentarse.
- Suministro de EPI: el manual de instrucciones debe indicar a la empresa usuaria que debe proporcionar guantes de protección térmica adecuados (EN 407) y vigilar su uso.

Térmico

Peligro de quemaduras e incendio por proyecciones de soldadura (chispas): En la soldadura MAG se generan proyecciones a temperaturas superiores a 1500 °C; pueden caer sobre materiales combustibles (embalajes, aceites, ropa) del entorno y provocar incendios o quemaduras.

Fases de la vida: Funcionamiento, Reglaje

MEDIDAS DE PROTECCIÓN EXISTENTES EN LA MÁQUINA

- Optimización de los parámetros de soldadura para minimizar las proyecciones: uso de un proceso de arco de bajas proyecciones (p. ej., arco pulsado o arco corto de tipo CMT) en lugar del arco corto convencional, en la medida en que lo permita la tarea de unión.
- Al reducir de forma específica la energía y la cantidad de las proyecciones transferidas, se reduce por diseño la probabilidad de que proyecciones capaces de provocar ignición alcancen materiales combustibles.
- Además: situar la zona de soldadura de modo que dentro del radio de protección contra proyecciones de 1 m alrededor de la zona de soldadura no se almacenen ni se tiendan materiales de servicio combustibles (aceites, lubricantes, embalajes).
- Las tuberías que conduzcan medios combustibles deben tenderse fuera de la zona de proyecciones o dotarse de protecciones no combustibles.
- Resguardo: la zona de soldadura está cerrada por el vallado perimetral con paneles de relleno opacos a la luz de soldadura y ventanas de observación con protección para soldadura (EN ISO 14120:2015) y por la pared central divisoria de la mesa giratoria; los paneles de relleno y la pared central divisoria son incombustibles y resistentes a las proyecciones de soldadura.
- Este cerramiento impide que las proyecciones salgan a la zona de trabajo general.
- Hacia el puesto de carga, la pared central divisoria de la mesa giratoria con su cortina de soldadura conforme a EN ISO 25980 apantalla la zona de soldadura.
- Sistema de aspiración en la zona de soldadura: captación de los humos y las partículas de soldadura directamente en el punto de origen conforme a EN ISO 21904-1:2020, para aspirar las partículas incandescentes y reducir la carga térmica del entorno.
- Asegurar la zona de exclusión de 1 m alrededor del vallado perimetral: marcado permanente en el suelo en amarillo y negro conforme a la norma alemana de lugares de trabajo ASR A1.3 y, cuando sea posible, barreras físicas; sin zonas de almacenamiento ni de depósito dentro de la zona.
- Protección contra incendios: prever en la celda un soporte para un extintor (CO2 o polvo, sin agua debido a la instalación eléctrica); el suministro y la inspección de los agentes extintores son responsabilidad de la empresa usuaria (indicación en el manual de instrucciones, etapa 3).
- Funciones de seguridad: la puerta de mantenimiento está integrada en el controlador de seguridad mediante SF-01 (PLr d) y la abertura de carga mediante SF-02 (PLr e); la soldadura solo se realiza con la puerta de mantenimiento cerrada y bloqueada.

INDICACIONES PARA EL USUARIO

- Manual de instrucciones (conforme al Reglamento (UE) 2023/1230, anexo III, punto 1.7.4): referencia al radio de protección contra proyecciones y prohibición de almacenar materiales combustibles en la zona de soldadura.

- Especificación de los rangos admisibles de los parámetros de soldadura (corriente, tensión, alimentación de hilo) para minimizar las proyecciones.
- Instrucciones para la limpieza periódica de las proyecciones en las superficies de la máquina y en la zona de soldadura (reducción de la carga de fuego).
- Instrucciones de procedimiento en caso de incendio (alarma, extinción en primera intervención, evacuación).
- Señales de advertencia en el vallado perimetral conforme a EN ISO 7010:2020: señal de advertencia general W001 con el texto complementario «Peligro de incendio por proyecciones de soldadura». «Advertencia;
- Superficie caliente» (W017) en la zona de soldadura.
- Señal de obligación M010 «Uso obligatorio de ropa de protección» en la puerta de mantenimiento.
- Requisito de cualificación: el personal de reglaje y los operadores deben estar formados en el manejo de la instalación de soldadura y en el manejo de los equipos de protección contra incendios.
- El personal de reglaje requiere una cualificación como soldador especializado o una instrucción documentada equivalente.
- Especificación de EPI: durante los trabajos de reglaje en la zona de soldadura deben llevarse los siguientes EPI: ropa de protección para soldadura ignífuga (conforme a EN ISO 11611), guantes de soldador (conforme a EN 12477), pantalla facial de soldadura o casco de soldadura con filtro de soldadura conforme a EN ISO 16321-2 (anteriormente EN 169).
- En modo automático con la puerta de mantenimiento cerrada no se requiere EPI de soldador; no obstante, está prohibido entrar en la zona de soldadura durante el funcionamiento (manual de instrucciones).

Térmico

Riesgo de quemaduras por la antorcha de soldadura caliente y su cuello: El cuello de la antorcha y el tubo de contacto se calientan intensamente tras el proceso de soldadura; al cambiar la antorcha, al limpiarla o durante el reglaje sin un tiempo de enfriamiento pueden producirse quemaduras en manos y dedos.

Fases de la vida: Mantenimiento, Reglaje, Limpieza

MEDIDAS DE PROTECCIÓN EXISTENTES EN LA MÁQUINA

- Uso de refrigeración activa de la antorcha (antorcha refrigerada por agua en lugar de antorcha refrigerada por aire): la refrigeración continua por agua limita por diseño la energía térmica en el cuello de la antorcha y en el tubo de contacto a un nivel de temperatura considerablemente más bajo.
- Además: el soporte de la antorcha y el sistema de cambio se diseñan de modo que, al cambiar la antorcha, el operador toque únicamente zonas de agarre térmicamente desacopladas (mango de plástico o de cerámica, sin contacto directo del metal con el cuello de la antorcha).
- Diseño conforme a EN ISO 13732-1:2008 (umbral de quemadura para metal desnudo de aproximadamente 51 °C para un tiempo de contacto de 1 min y de 48 °C para 10 min).
- Vigilancia del tiempo de enfriamiento: un sensor de temperatura en el cuello de la antorcha informa al sistema de mando de la máquina; el HMI indica la liberación para el cambio y la limpieza de la antorcha solo una vez que la temperatura ha descendido por debajo del valor límite.
- La función es un enclavamiento operativo sin requisito de PL según EN ISO 13849-1; no se le atribuye ninguna reducción del riesgo.
- Resguardo: la zona de soldadura está cerrada por el vallado perimetral con paneles de relleno opacos a la luz de soldadura y ventanas de observación con protección para soldadura (EN ISO 14120:2015); el acceso a la antorcha para el mantenimiento y la limpieza se realiza exclusivamente a través de la puerta de mantenimiento protegida (SF-01, PLr d).
- De este modo se excluye por diseño el acceso involuntario a la antorcha caliente durante el funcionamiento automático.
- Previsión de un soporte de reposo de la antorcha con un alojamiento térmicamente aislado (almohadilla de cerámica o de silicona) inmediatamente junto al puesto de soldadura, de modo que la antorcha se deje de forma definida tras el proceso y no se apoye sobre superficies metálicas conductoras.

INDICACIONES PARA EL USUARIO

- Manual de instrucciones: indicar expresamente el tiempo de enfriamiento tras el final de la soldadura antes de cualquier cambio de antorcha, limpieza o trabajo de reglaje en la antorcha (valor de referencia según lo especificado por el fabricante de la antorcha); incluir un procedimiento para el cambio de antorcha con el paso «esperar el tiempo de enfriamiento o comprobar la temperatura».
- Señalización de advertencia: colocar de forma permanente y claramente visible la señal de advertencia «Advertencia;

- Superficie caliente» (W017 conforme a EN ISO 7010:2020) en la zona de la antorcha y en la puerta de mantenimiento.
- Cualificación: solo las personas instruidas pueden realizar los cambios de antorcha y la limpieza; la instrucción abarca el riesgo de quemaduras, los tiempos de enfriamiento y el uso correcto de los EPI.
- Especificación de EPI: los guantes de protección térmica (adecuados para el calor de contacto, clase de protección conforme a EN 407) son obligatorios durante el cambio de antorcha, la limpieza y los trabajos de reglaje en la antorcha; este requisito debe indicarse en el manual de instrucciones y señalizarse con la señal de obligación «Uso obligatorio de guantes de protección» (M009 conforme a EN ISO 7010:2020) en la puerta de mantenimiento.

Radiación

Peligro por la radiación óptica del arco MAG (UV, visible, IR): El arco emite radiación ultravioleta, visible e infrarroja intensa; la observación del arco sin protección (también a través de una puerta de mantenimiento abierta en modo de reglaje) puede causar lesiones oculares (queratoconjuntivitis, daño retiniano) y quemaduras cutáneas.

Fases de la vida: Reglaje, Funcionamiento

MEDIDAS DE PROTECCIÓN EXISTENTES EN LA MÁQUINA

- Medidas de diseño inherentemente seguro agotadas: el principio de funcionamiento de la soldadura MAG exige necesariamente un arco abierto con alta intensidad de radiación; la corriente, la tensión y la energía del arco no pueden reducirse a un nivel en el que se elimine el peligro de radiación sin interrumpir el proceso de soldadura.
- En un sistema de soldadura robotizado con posiciones de soldadura cambiantes no es posible desplazar geométricamente el punto peligroso.
- Cerramiento de la zona de soldadura: vallado perimetral con paneles de relleno opacos a la luz de soldadura y ventanas de observación con protección para soldadura como resguardo fijo conforme a EN ISO 14120:2015; los paneles de relleno y el recubrimiento (negro mate, superficie absorbente de la luz) deben diseñarse de modo que no escape al exterior ninguna reflexión relevante de UV/IR.
- Las ventanas de observación y las cortinas de soldadura deben diseñarse conforme a EN ISO 25980.
- Puerta de mantenimiento: la puerta de mantenimiento debe estar equipada con bloqueo conforme a EN ISO 14119:2025 (enclavamiento con bloqueo del resguardo, desbloqueo de escape conforme a EN ISO 14119:2025, apartado 6.9.1).
- La función de seguridad «SF-01 Parada segura (categoría de parada 1) al abrir la puerta de mantenimiento» debe implementarse con PLr d conforme a EN ISO 13849-1:2023: el bloqueo libera la puerta únicamente cuando el arco se ha extinguido y el robot está parado; por ello no es necesario calcular una distancia de seguridad conforme a EN ISO 13855:2024.
- Modo de reglaje con la puerta de mantenimiento abierta: mientras la puerta de mantenimiento está abierta, la fuente de corriente de soldadura se desconecta de forma segura mediante SF-01 (vía de desconexión del PLC de seguridad como en SF-03, PLr d conforme a EN ISO 13849-1:2023), de modo que no pueda encenderse ningún arco con la puerta abierta.
- El bloqueo adicional de la habilitación de soldadura en el control estándar (habilitación de soldadura solo con la puerta de mantenimiento cerrada y bloqueada) es un enclavamiento operativo sin requisito de PL.
- La función «SF-05 Velocidad reducida segura de 250 mm/s con dispositivo de validación en modo de reglaje» (PLr d) se aplica a los movimientos del robot y de la mesa giratoria.
- Con la puerta de mantenimiento cerrada, el bloqueo (SF-01) protege contra la radiación del arco.
- Protección contra la radiación en la abertura de carga: la pared central divisoria de la mesa giratoria con su cortina de soldadura conforme a EN ISO 25980 apantalla el puesto de carga, de modo que ninguna radiación directa pueda alcanzar al operador.

INDICACIONES PARA EL USUARIO

- Manual de instrucciones: indicación del peligro de radiación del arco MAG (UV, visible, IR) conforme al anexo III, puntos 1.7.4.1 y 1.7.4.2, del Reglamento (UE) 2023/1230; declaración de que la fuente de corriente de soldadura se desconecta de forma segura mediante SF-01 mientras la puerta de mantenimiento está abierta; descripción de los requisitos de EPI para las actividades de reglaje y mantenimiento en las proximidades de la zona de soldadura.
- Requisito de cualificación: el personal de reglaje y de mantenimiento debe conocer el peligro de radiación asociado a la soldadura por arco; la instrucción conforme al Reglamento alemán de seguridad y salud frente a la radiación óptica artificial (OStrV) debe señalarse en el manual de instrucciones como obligación de la empresa usuaria.
- Especificación de EPI: para las actividades en las que no pueda excluirse por completo un riesgo residual por radiación difusa (p. ej., reflejos durante el reglaje en las inmediaciones): gafas de soldadura o pantalla facial de soldadura con filtro de soldadura conforme a EN ISO 16321-2 (anteriormente EN 169), ropa de protección resistente a los UV y guantes de protección.
- Señalización de advertencia: señal de advertencia «Advertencia;
- Radiación óptica» (W027 conforme a EN ISO 7010:2020) en la puerta de mantenimiento y en la abertura de carga; señales de obligación «Uso obligatorio de protección ocular» (M004) y «Uso obligatorio de ropa de protección» (M010) conforme a EN ISO 7010:2020 que deben colocarse en la puerta de mantenimiento.
- Datos de emisión: información sobre la radiación óptica del arco en el manual de instrucciones conforme al anexo III, puntos 1.5.10 y 1.7.4.2, del Reglamento (UE) 2023/1230; la base son los datos del fabricante de la fuente de corriente de soldadura y la evaluación de la emisión de radiación conforme a EN 12198 (radiación de las máquinas).

Radiación

Peligro por campos electromagnéticos (EMF) generados por la fuente de corriente de soldadura y los cables de soldadura: Las altas corrientes de soldadura generan campos magnéticos intensos; las personas con implantes activos (marcapasos cardíacos, bombas de insulina) pueden verse expuestas a peligro por los campos.

Fases de la vida: Funcionamiento, Reglaje, Mantenimiento

MEDIDAS DE PROTECCIÓN EXISTENTES EN LA MÁQUINA

- Tender y agrupar los cables de soldadura (conductor de corriente y conductor de retorno) de modo que los conductores de ida y de retorno queden muy próximos en el espacio (pares de cables trenzados o tendidos en paralelo con la mínima distancia entre ellos): los campos magnéticos de ambos conductores se anulan parcialmente, lo que reduce de forma significativa la intensidad de campo resultante en el entorno.
- Mantener los cables lo más cortos que sea técnicamente posible y evitar enrollamientos innecesarios o tendidos en bucle, ya que los bucles aumentan la intensidad de campo.
- Instalar la fuente de corriente de soldadura alejada del puesto de carga y del pupitre de mando.
- Asegurar el acceso a la zona de soldadura (celda de soldadura) durante el funcionamiento mediante el resguardo fijo existente (vallado perimetral conforme a EN ISO 14120:2015), de modo que las personas no puedan acceder a las inmediaciones de los cables de soldadura activos durante el funcionamiento automático.
- Diseñar la puerta de mantenimiento con bloqueo conforme a EN ISO 14119:2025 (SF-01, PLr d), que solo permite la entrada una vez desconectada la corriente de soldadura.
- Durante el modo de reglaje y durante los trabajos de mantenimiento en las proximidades de los cables: desconectar la corriente de soldadura antes de entrar en la zona peligrosa y asegurarla contra una nueva conexión (aislamiento de la energía y parada conforme a EN ISO 14118:2018).
- Los cables de soldadura discurren íntegramente dentro del vallado perimetral, de modo que las personas situadas fuera de la celda mantienen la distancia respecto a los cables activos.

INDICACIONES PARA EL USUARIO

- Manual de instrucciones: declaración expresa de que el funcionamiento de la máquina de soldar genera campos electromagnéticos intensos.
- Las personas con implantes metálicos activos o pasivos (marcapasos cardíacos, bombas de insulina, implantes cocleares, implantes metálicos) no deben acceder a las inmediaciones de los cables de soldadura ni de la fuente de corriente de soldadura.
- Antes de iniciar actividades de reglaje o de mantenimiento en las proximidades de los cables, debe desconectarse la corriente de soldadura.
- Requisito de cualificación: el personal de reglaje y de mantenimiento debe recibir instrucción sobre el peligro de los EMF; las personas con implantes conocidos deben quedar excluidas de las actividades en las inmediaciones de los cables de soldadura activos.
- Señalización de advertencia: colocar la señal de advertencia «Advertencia;
- Campo magnético» (W006 conforme a EN ISO 7010:2020) en la puerta de mantenimiento, en el puesto de carga y en la fuente de corriente de soldadura.

- Además, colocar la señal de prohibición «Prohibido el acceso a personas con dispositivos cardíacos implantados activos» (P007 conforme a EN ISO 7010:2020) en los mismos lugares.
- Las emisiones de EMF deben describirse cualitativamente en el manual de instrucciones; la base para la evaluación son los datos del fabricante de la fuente de corriente de soldadura conforme a EN IEC 62822-2 (evaluación de los equipos de soldadura por arco con respecto a la exposición de las personas a los EMF).

Materiales/sustancias

Peligro por inhalación de humos y vapores de soldadura (óxidos metálicos, manganeso, óxidos de hierro): La soldadura MAG de acero estructural genera partículas y gases nocivos; cuando la aspiración es insuficiente (cartucho filtrante saturado, sistema desconectado), las concentraciones en la zona de respiración del operador superan los valores límite de exposición en el lugar de trabajo.

Fases de la vida: Funcionamiento, Reglaje, Mantenimiento, Limpieza

MEDIDAS DE PROTECCIÓN EXISTENTES EN LA MÁQUINA

- Sustitución del material de aportación de soldadura: uso de hilos macizos con un contenido de manganeso demostrablemente reducido (aleación con bajo contenido de Mn, p. ej., contenido de Mn < 1,0 % según la ficha de datos de seguridad) en lugar de hilos tubulares o hilos con alto contenido de manganeso, en la medida en que la tarea de soldadura (acero estructural, calidad de la soldadura) lo permita.
- Además: optimización de los parámetros de soldadura (tensión de arco, velocidad de avance del hilo, composición del gas de protección) a un ajuste de bajas emisiones de humos conforme a la recomendación del fabricante de la fuente de corriente de soldadura, para minimizar la generación de humos en origen.
- Ambas medidas reducen la masa de contaminantes emitida y, con ello, la probabilidad de una exposición nociva; la gravedad del posible daño permanece inalterada.
- Ventilación técnica y aspiración conforme a EN ISO 21904-1:2020 (aspiración de humos de soldadura): captación del humo de soldadura mediante la campana de captación situada sobre la zona de soldadura, con un caudal volumétrico de 1800 m^3/h, que garantiza la velocidad de captación en el punto de generación.
- El sistema de aspiración debe estar equipado con vigilancia del filtro (presostato diferencial) que active una alarma cuando el cartucho filtrante esté saturado o la aspiración presente un fallo; la celda se detiene de forma controlada y solo puede volver a ponerse en marcha una vez subsanado el fallo (enclavamiento operativo sin requisito de PL según EN ISO 13849-1, sin reducción del riesgo atribuida).
- Apantallamiento de la zona de soldadura mediante el vallado perimetral con paneles de relleno opacos a la luz de soldadura (EN ISO 14120:2015) y la pared central divisoria de la mesa giratoria, para minimizar la salida de humos hacia la zona del operador.
- Se recomienda a la empresa usuaria, como medida adicional, un control del aire ambiente para determinar la concentración de humos de soldadura en el puesto de carga.

INDICACIONES PARA EL USUARIO

- Manual de instrucciones (conforme al anexo III, punto 1.7.4, del Reglamento (UE) 2023/1230): especificación de los tipos de humos de soldadura emitidos y referencia a los valores límite de exposición en el lugar de trabajo que deben respetarse conforme a TRGS 900 y TRGS 528; instrucción para la inspección y la sustitución periódicas de los cartuchos filtrantes (intervalo de mantenimiento según la especificación del fabricante, EN ISO 21904-1:2020); prohibición de soldar cuando el sistema de aspiración ha fallado o está desconectado.

- Señales de advertencia en la zona de soldadura: señal de advertencia general W001 conforme a EN ISO 7010:2020 con el texto complementario «Humos de soldadura nocivos» y señal de obligación «Uso obligatorio de protección respiratoria» (M017) como señalización del riesgo residual.
- Requisito de EPI: mascarilla autofiltrante FFP3 conforme a EN 149 o equipo de protección respiratoria con ventilación asistida para los trabajos de reglaje, mantenimiento y limpieza en la zona de soldadura cuando el sistema de aspiración está desconectado.
- Requisito de cualificación: los operadores y el personal de reglaje deben recibir instrucción sobre los peligros de los humos de soldadura y el manejo correcto del sistema de aspiración (TRGS 528, apartado 5).

Ruido

Peligro por el ruido durante el proceso de soldadura MAG y por el accionamiento de la mesa giratoria: El proceso de soldadura (ruido del arco, proyecciones) y los accionamientos mecánicos generan niveles de presión acústica relevantes en el puesto de carga; en funcionamiento continuo (trabajo en dos turnos, 16 h), el nivel de exposición diaria al ruido LEX,8h puede alcanzar o superar los valores de acción del Reglamento alemán de seguridad y salud frente al ruido y las vibraciones (LärmVibrationsArbSchV).

Fases de la vida: Funcionamiento, Reglaje

MEDIDAS DE PROTECCIÓN EXISTENTES EN LA MÁQUINA

- Reducción del ruido en origen mediante medidas de diseño conforme a EN ISO 11688-1:
- Optimización del proceso de soldadura: selección de parámetros de soldadura de bajas emisiones (arco pulsado en lugar de arco corto, cuando sea técnicamente viable desde el punto de vista del proceso), ya que el arco corto genera mayores emisiones de proyecciones y de ruido.
- Encapsulado del accionamiento y aislamiento del ruido estructural del accionamiento de la mesa giratoria: montaje elástico del motor de accionamiento y del reductor en el bastidor de la máquina para reducir la transmisión del ruido estructural a las superficies radiantes.
- Bastidor de la máquina con perfiles fonoabsorbentes o amortiguados (p. ej., revestimiento de chapa con esteras amortiguadoras bituminosas) en lugar de superficies de chapa de acero sin amortiguar, para reducir la radiación sonora.
- La medición y la declaración de los valores de emisión de ruido se realizarán en la etapa 2 y en la etapa 3.
- Apantallamiento acústico de la zona de soldadura mediante la pared central divisoria de la mesa giratoria y los paneles de relleno cerrados del vallado perimetral entre la zona de soldadura y el puesto de carga.
- Encapsulado o revestimiento del accionamiento de la mesa giratoria con material fonoabsorbente, siempre que se garantice la accesibilidad para el mantenimiento (el revestimiento debe diseñarse como resguardo conforme a EN ISO 14120:2015).
- Medición del ruido en el puesto de carga conforme a EN ISO 11202:2010 en condiciones de funcionamiento representativas (modo automático, soldadura MAG activa, mesa giratoria en funcionamiento) para determinar el nivel de presión acústica de emisión LpA (medido: 84 dB(A), K = 2,5 dB).
- El nivel de exposición diaria al ruido LEX,8h lo determina la empresa usuaria conforme al Reglamento alemán de seguridad y salud frente al ruido y las vibraciones (LärmVibrationsArbSchV).
- Nota: no se ve afectada ninguna función de seguridad conforme a EN ISO 13849-1; la determinación del PLr no es aplicable a este peligro.

INDICACIONES PARA EL USUARIO

- Manual de instrucciones (Reglamento (UE) 2023/1230, anexo III, punto 1.7.4.2, letra u)): indicación del nivel de presión acústica de emisión LpA medido en el puesto de carga conforme a

EN ISO 11202:2010 y EN ISO 4871:2009 (con incertidumbre de medición K); cuando LpA supere 80 dB(A), indicación adicional del nivel de potencia acústica LWA conforme a EN ISO 3746:2010.

- Indicación sobre las obligaciones de la empresa usuaria conforme al Reglamento alemán de seguridad y salud frente al ruido y las vibraciones (LärmVibrationsArbSchV): evaluación de riesgos, programa de reducción del ruido a partir del valor superior de acción LEX,8h de 85 dB(A), obligación de poner a disposición protección auditiva a partir de 80 dB(A), obligación de utilizarla a partir de 85 dB(A).
- Señalización de advertencia en el puesto de carga: señal de obligación «Uso obligatorio de protección auditiva» (M003 conforme a EN ISO 7010:2020), que debe colocarse en un lugar claramente visible.
- Cualificación e instrucción: la empresa usuaria debe instruir al personal de operación sobre el peligro del ruido, los valores de acción y el uso correcto de la protección auditiva.
- Especificación de EPI: la empresa usuaria debe proporcionar una protección auditiva adecuada (orejeras o tapones) con un valor de atenuación (SNR) suficiente, que corresponda al LEX,8h determinado por ella; selección conforme a EN 458.

Ergonómico

Iluminación insuficiente en el puesto de carga y en el pasillo de mantenimiento: Una iluminancia inadecuada dificulta la carga y la descarga seguras de las piezas y la realización de los trabajos de mantenimiento, y aumenta el riesgo de errores y accidentes.

Fases de la vida: Funcionamiento, Reglaje, Mantenimiento, Limpieza

MEDIDAS DE PROTECCIÓN EXISTENTES EN LA MÁQUINA

- Iluminación del puesto de trabajo integrada en la máquina, en el puesto de carga y en el pasillo de mantenimiento, que debe preverse como parte del diseño: las luminarias se integran de forma permanente en la estructura de la máquina (incorporadas en el bastidor del vallado perimetral), de modo que la iluminancia en el puesto de carga y en el pasillo de mantenimiento queda garantizada de forma permanente con independencia del alumbrado de la nave.
- El diseño se realiza conforme al apartado 6.2.8 (ergonomía) de EN ISO 12100:2010 en combinación con EN 1837 (alumbrado integrado en la máquina); el alumbrado tal como se ha construido proporciona 500 lx en el puesto de carga y 200 lx en el pasillo de mantenimiento.
- La integración en el diseño elimina la dependencia de fuentes de iluminación externas que pueden ser insuficientes.
- Riesgo residual por fallo o sombreado de las luminarias integradas: vigilancia de la disponibilidad operativa del alumbrado del puesto de trabajo por el sistema de mando de la máquina (aviso en caso de fallo de una lámpara).
- Además, las zonas del pasillo de mantenimiento deben marcarse con marcas de suelo retrorreflectantes en amarillo y negro conforme a la norma alemana de lugares de trabajo ASR A1.3 (peligros de tropiezo, límites del pasillo) y, en los puntos con peligro de tropiezo, con la señal de advertencia W007 «Advertencia;
- Obstáculo a ras de suelo» conforme a EN ISO 7010:2020.
- Para la vigilancia del alumbrado no se requiere una función de seguridad en el sentido de EN ISO 13849-1; en caso de fallo del alumbrado deben interrumpirse los trabajos (etapa 3).

INDICACIONES PARA EL USUARIO

- Manual de instrucciones (Reglamento (UE) 2023/1230, anexo III, punto 1.7.4): especificación de la iluminancia del alumbrado del puesto de trabajo: 500 lx en el puesto de carga y 200 lx en el pasillo de mantenimiento; indicación de que, en caso de fallo del alumbrado integrado, deben interrumpirse los trabajos hasta que se haya restablecido el alumbrado.
- Rótulo de texto en la puerta de mantenimiento: «Interrumpir el trabajo si falla el alumbrado».
- Requisito de cualificación: el personal de mantenimiento debe recibir instrucción sobre la comprobación del funcionamiento del alumbrado antes de comenzar el trabajo.
- Utilizar luminarias portátiles adecuadas para inspecciones breves en caso de fallo del alumbrado; reanudar el trabajo habitual solo una vez restablecido el alumbrado.

Mecánico

Peligro por alcanzar por encima o por debajo de la cortina fotoeléctrica en el puesto de carga (mal uso razonablemente previsible): Las personas introducen la mano por el lateral de la cortina fotoeléctrica o por debajo de ella en la zona de giro sin que se active la función de protección; la mesa giratoria o el robot pueden arrancar y atrapar manos o brazos.

Fases de la vida: Funcionamiento, Reglaje

MEDIDAS DE PROTECCIÓN EXISTENTES EN LA MÁQUINA

- Medidas de diseño inherentemente seguro agotadas: el puesto de carga requiere una abertura de acceso permanentemente abierta para la introducción manual de las piezas.
- El cierre geométrico completo de esta abertura por diseño dejaría la máquina inoperante.
- Las distancias mínimas conforme a EN ISO 13854:2019 no pueden impedir, como medida de diseño, que se rodee lateralmente una cortina fotoeléctrica mientras la abertura deba seguir disponible para el acceso del operador.
- Limitar la fuerza o la energía de la mesa giratoria o del robot a un nivel no peligroso (etapa 1) no es técnicamente viable con las masas y los pares implicados sin perjudicar la función.
- Campo de protección y protección contra el acceso por debajo: posicionar la cortina fotoeléctrica (tipo 4 conforme a EN IEC 61496-1:2020, SF-02, PLr e) de modo que el campo de protección cubra por completo la abertura de carga.
- Las aberturas restantes por debajo y al lado del campo de protección se cierran con resguardos fijos (EN ISO 14120:2015) conforme a la tabla 4 de EN ISO 13857:2019, de modo que no sea posible alcanzar por debajo ni rodeando el campo de protección.
- Protección de los flancos laterales: deben montarse resguardos fijos (paneles laterales o guías en canal) conforme a EN ISO 14120:2015 a ambos lados de la cortina fotoeléctrica para impedir por diseño que se rodee lateralmente.
- La profundidad de estos flancos debe determinarse conforme a la tabla 4 de EN ISO 13857:2019 (distancia de seguridad en función del tamaño de la abertura), de modo que no se pueda alcanzar la zona peligrosa desde la dirección lateral.
- Especificación de la cortina fotoeléctrica: la cortina fotoeléctrica debe seleccionarse de tipo 4 conforme a EN IEC 61496-1:2020 e integrarse en la función de seguridad SF-02 (PLr e).
- La distancia de seguridad entre la cortina fotoeléctrica y la zona peligrosa más próxima debe calcularse y mantenerse conforme a EN ISO 13855:2024 (acceso a través, resolución de 30 mm para la detección de la mano).
- La integración en el sistema de mando se realiza conforme a EN ISO 13849-1:2023, PLr e (SF-02).

INDICACIONES PARA EL USUARIO

- Manual de instrucciones (Reglamento (UE) 2023/1230, anexo III, punto 1.7.4): declaración expresa de que rodear lateralmente la cortina fotoeléctrica o alcanzar por debajo de ella está prohibido y anula la función de seguridad SF-02.
- Descripción de la maniobra de carga correcta (introducir la pieza desde el frente a través de la cortina fotoeléctrica).

- Indicación del peligro que representan la mesa giratoria y el robot cuando no se ha activado la función de protección.
- Señales de advertencia (EN ISO 7010:2020): «Advertencia;
- Aplastamiento de manos» (W024), que debe colocarse a ambos lados de los paneles de flanco y en el marco de la cortina fotoeléctrica.
- Señal de prohibición «Prohibido introducir las manos» (P015) en la abertura de acceso.
- Requisito de cualificación: en modo de reglaje (SF-05, PLr d, velocidad reducida segura de 250 mm/s con dispositivo de validación) solo puede trabajar personal especializado instruido que conozca la función y las limitaciones de la cortina fotoeléctrica.
- Este requisito debe constar en el manual de instrucciones y en la documentación de instrucción.
- EPI: los guantes de protección no ofrecen protección frente a los peligros de aplastamiento y de atrapamiento de la mesa giratoria o del robot y no son adecuados como medida de protección para este peligro.
- Esta indicación debe incluirse en el manual de instrucciones para evitar suposiciones erróneas.

Corrupción/ciberseguridad

Manipulación de parámetros relevantes para la seguridad a través de la red: El acceso de escritura no autorizado a través del bus de campo, OPC UA o la interfaz MES modifica parámetros relevantes para la seguridad (p. ej., vigilancia de la puerta de mantenimiento, parámetros de la cortina fotoeléctrica, límite de velocidad en modo de reglaje). La función de protección se vuelve ineficaz o la máquina funciona fuera de los límites definidos en la evaluación del riesgo. [Reglamento (UE) 2023/1230, anexo III, punto 1.1.9, párrafos primero y tercero; punto 1.2.1, párrafo segundo, letras a) y d)]

Fases de la vida: Funcionamiento, Reglaje

MEDIDAS DE PROTECCIÓN EXISTENTES EN LA MÁQUINA

- Mantener los parámetros relevantes para la seguridad únicamente en el controlador de seguridad y hacerlos, por principio, no modificables a través de la red de proceso (acceso de escritura separado física o arquitectónicamente, red de seguridad segmentada respecto a la comunicación estándar).
- Almacenar los valores límite procedentes de la evaluación del riesgo como constantes en el programa de seguridad, no como datos de receta.
- Autenticación y autorización para cada acceso de escritura (roles, sin contraseñas predeterminadas), comprobación de la integridad de la configuración relevante para la seguridad (suma de verificación/CRC con procedimiento de liberación), comprobación de plausibilidad de los valores entrantes frente a los límites admisibles, registro de cada cambio de parámetros con marca de tiempo y usuario.
- Referencia de evidencia, vía B: IEC 62443-3-3 SR 1.1, SR 2.1, SR 3.4, SR 3.5, SR 5.1, SR 2.8.

INDICACIONES PARA EL USUARIO

- Manual de instrucciones: requisitos de red para la empresa usuaria (segmentación, firewall, sin conexión directa a internet del sistema de mando), lista de los parámetros relevantes para la seguridad con la advertencia de que los cambios solo son admisibles por personal autorizado y con un ensayo funcional posterior de las funciones de seguridad.

Fase de la vida: Funcionamiento

Mecánico

Peligro de impacto y aplastamiento por el robot de soldadura durante el funcionamiento automático en caso de acceso no autorizado: Las personas que pasan por encima del vallado perimetral o manipulan la puerta de mantenimiento son golpeadas por el eje del robot que se mueve a plena velocidad y fuerza, o son presionadas contra partes fijas.

MEDIDAS DE PROTECCIÓN EXISTENTES EN LA MÁQUINA

- Medidas de diseño inherentemente seguro agotadas: el principio de funcionamiento del robot de soldadura exige el movimiento libre y rápido del brazo del robot con la carga útil completa dentro del espacio de trabajo.
- Limitar la fuerza o la velocidad a un nivel inofensivo para las personas (fuerza de impacto por debajo del umbral de dolor) es técnicamente incompatible con los parámetros de proceso exigidos en funcionamiento automático e impediría el proceso de soldadura.
- Con un robot industrial de 6 ejes no es posible eliminar geométricamente la zona peligrosa solo mediante la conformación.
- Resguardo fijo: vallado perimetral fijo con paneles de relleno opacos a la luz de soldadura y ventanas de observación con filtros de protección para soldadura conforme a EN ISO 14120:2015 alrededor de todo el espacio de trabajo del robot, altura 2200 mm.
- La altura y la distancia a la zona peligrosa deben diseñarse conforme a la tabla 2 de EN ISO 13857:2019, de modo que no sea posible alcanzar por encima ni pasar por encima sin medios auxiliares.
- Las aberturas restantes deben diseñarse conforme a la tabla 4 de EN ISO 13857:2019, de modo que no sea posible alcanzar la zona peligrosa por debajo ni a través.
- Puerta de mantenimiento enclavada con bloqueo (SF-01): la puerta de mantenimiento es un resguardo con enclavamiento y bloqueo conforme a EN ISO 14119:2025.
- La apertura de la puerta activa SF-01 «Parada segura, categoría de parada 1».
- El bloqueo mantiene la puerta cerrada hasta que el robot se haya detenido de forma segura.
- Debe preverse un desbloqueo de escape conforme a EN ISO 14119:2025, apartado 6.9.1.
- SF-01 se especifica con PLr d; integración en el controlador de seguridad conforme a EN ISO 13849-1:2023.
- Protección contra la elusión de los dispositivos de protección: el dispositivo de enclavamiento de la puerta de mantenimiento está protegido contra la neutralización conforme a EN ISO 14119:2025, apartado 8: actuador con codificación de nivel alto conforme a EN ISO 14119:2025, interruptor y actuador montados con elementos de fijación no desmontables.
- Además: los paneles del vallado perimetral deben fijarse de modo que solo puedan soltarse con una herramienta (sin cierres rápidos), de manera que no sea posible una apertura no autorizada sin herramienta.
- Dispositivos de parada de emergencia (SF-03): dispositivos de parada de emergencia en el pupitre de mando, en la puerta de mantenimiento y en la consola de programación conforme a

EN ISO 13850:2015, integrados en SF-03 «Parada de emergencia de toda la instalación, categoría de parada 1», PLr d.

- Protección contra el rearranque inesperado: debe garantizarse el aislamiento de la energía y la prevención del rearranque conforme a EN ISO 14118:2018; el rearranque tras abrir la puerta solo mediante confirmación deliberada en un pupitre de mando situado fuera de la zona peligrosa.
- Modo de reglaje (SF-05): en modo de reglaje, el robot solo se mueve a velocidad reducida segura de 250 mm/s y con dispositivo de validación conforme a SF-05, PLr d; integración conforme a EN ISO 10218-2:2025, apartados 5.5.6 y 5.7.7, y EN ISO 13849-1:2023.

INDICACIONES PARA EL USUARIO

- Manual de instrucciones (Reglamento (UE) 2023/1230, anexo III, punto 1.7.4): descripción de las reglas de acceso al espacio de trabajo del robot, prohibición de pasar por encima del vallado perimetral, procedimiento de aislamiento de la energía antes de entrar (lockout/tagout conforme a EN ISO 14118:2018), requisitos de cualificación para operadores y personal de reglaje (instrucción de seguridad en robots conforme a EN ISO 10218-2:2025).
- Señalización de advertencia en el vallado perimetral y en la puerta de mantenimiento: señal de advertencia W018 «Advertencia;
- Arranque automático» conforme a EN ISO 7010:2020 y señal de prohibición complementaria «Prohibido el paso a personas no autorizadas» (ASR A1.3 alemana, D-P006).
- La señalización debe colocarse de forma claramente visible y permanente.
- Instrucción: el personal de operación y el personal de reglaje deben recibir instrucción antes de la primera puesta en servicio y, después, a intervalos regulares.
- El acceso no autorizado debe impedirse mediante medidas organizativas (control de acceso, interruptor de llave para la selección del modo de funcionamiento conforme a EN ISO 10218-2:2025, apartado 5.7.2).
- Advertencia sobre el riesgo residual en el manual de instrucciones: a pesar de todas las medidas de protección, existe un riesgo residual en caso de manipulación de los dispositivos de protección; advertencia sobre las consecuencias penales y de responsabilidad de la manipulación.

Materiales/sustancias

Peligro por el gas de protección (mezcla argón-CO2 M21) en caso de fuga: El argón y el CO2 son más pesados que el aire, por lo que el gas de protección puede acumularse a ras de suelo; en caso de fugas mayores en zonas mal ventiladas existe riesgo de asfixia por desplazamiento del oxígeno.

Fases de la vida: Funcionamiento, Mantenimiento, Localización de averías

MEDIDAS DE PROTECCIÓN EXISTENTES EN LA MÁQUINA

- Limitación de la presión en el sistema de tuberías: limitar la presión de servicio del suministro de gas de protección al nivel mínimo necesario para el proceso de soldadura (regulador de presión en la conexión de alimentación de la celda).
- Una presión de sistema menor reduce la cantidad de gas que se escapa en caso de fallo y, con ello, el potencial de acumulación.
- Además: diseñar el trazado de las tuberías y los puntos de conexión de modo que las fugas se minimicen por diseño: uso de racores de anillo cortante o de racores prensados en lugar de abrazaderas para mangueras en los tramos fijos de tubería; reducir las longitudes de manguera al mínimo necesario para el funcionamiento; no tender tuberías a ras de suelo en fosos o cámaras cerradas (tenderlas cerca del techo siempre que sea posible).
- Estas medidas actúan directamente sobre la fuente de energía (gas a presión almacenado) y sobre el lugar del peligro (zona de acumulación).
- Cierre automático del suministro de gas: electroválvula (cerrada en ausencia de tensión) en la línea de suministro del gas de protección, que cierra automáticamente el suministro de gas al parar la máquina, en caso de parada de emergencia (SF-03) y durante las pausas de funcionamiento; además, una válvula de cierre manual fuera de la celda.
- Vigilancia de fugas: comprobación de plausibilidad del consumo de gas a través del sistema de mando de la máquina (indicación cuando hay flujo de gas sin un proceso de soldadura activo, como indicador de fuga); inspección visual diaria de las conexiones de las mangueras como requisito de mantenimiento.
- Instalación del suministro de gas de protección prevista in situ (batería de botellas o estación de extracción) en una zona ventilada de la nave, no en fosos, sótanos o nichos cerrados.
- Si se instala en zonas mal ventiladas, la empresa usuaria debe prever un dispositivo de alarma de oxígeno (indicación en el manual de instrucciones).
- Para este peligro no es necesaria una función de seguridad con requisito de PLr; el riesgo se controla mediante el cierre, el lugar de instalación y la ventilación.

INDICACIONES PARA EL USUARIO

- Manual de instrucciones (Reglamento (UE) 2023/1230, anexo III, punto 1.7.4): indicación del riesgo de asfixia por desplazamiento del oxígeno en caso de fugas mayores en zonas mal ventiladas; requisito de una ventilación adecuada de la nave en el lugar de instalación; trabajos en el suministro de gas solo con la línea cerrada y despresurizada (EN ISO 14118:2018).
- Cualificación: trabajos en tuberías y racores de gas comprimido solo por personal especializado instruido; instrucción conforme a la DGUV Regel 100-500, capítulo 2.26, y a TRGS 528 (obligación de la empresa usuaria).

- Señalización de advertencia: señal de advertencia general W001 conforme a EN ISO 7010:2020 con el texto complementario «Riesgo de asfixia por gas de protección» en el lugar de instalación del suministro de gas; señal de prohibición complementaria «Prohibido el paso a personas no autorizadas» (ASR A1.3 alemana, D-P006) en las zonas de suministro cerradas con llave.
- En trabajos en zonas cerradas o mal ventiladas (p. ej., cambios de botellas en nichos): utilizar un dispositivo portátil de alarma de oxígeno; no trabajar en solitario.

Térmico

Peligro de incendio en el sistema de aspiración de humos de soldadura (incendio del filtro): Las chispas y las partículas incandescentes aspiradas por el proceso pueden acumularse en el cartucho filtrante y provocar un fuego latente o un incendio del filtro, incluso con retraso tras el final de un turno. El humo del incendio puede propagarse a la nave a través del sistema de tuberías y de la recirculación de aire.

Fases de la vida: Funcionamiento, Mantenimiento

MEDIDAS DE PROTECCIÓN EXISTENTES EN LA MÁQUINA

- Reducción de las chispas en el punto de origen mediante el diseño de los parámetros de soldadura y de la geometría de aspiración: diseñar la campana de captación situada sobre la zona de soldadura y el trazado de los conductos de modo que las chispas aspiradas se hayan enfriado antes de llegar al cartucho filtrante.
- Además, prever un separador previo de chispas (deflector / separador ciclónico) como componente integrado directamente aguas arriba del cartucho filtrante, que separe por inercia las partículas gruesas y las chispas antes de que entren en contacto con el medio filtrante.
- Este componente forma parte integrante del diseño del sistema de aspiración, no es un dispositivo de protección posterior.
- Diseño conforme a EN ISO 21904-1:2020 (requisitos para los sistemas de aspiración de humos de soldadura).
- El riesgo residual restante de incendio del filtro se limita mediante las siguientes medidas técnicas de protección:
- Vigilancia térmica del cartucho filtrante: sensor de temperatura (termostato o termopar) en la carcasa del filtro con un umbral de disparo; al superarlo, desconexión automática del ventilador de aspiración y cierre de una compuerta de cierre motorizada en el sistema de tuberías para impedir el aporte de oxígeno.
- Integración en el sistema de mando de la máquina como enclavamiento operativo sin requisito de PL según EN ISO 13849-1, sin reducción del riesgo atribuida; la celda se detiene de forma controlada y solo puede volver a ponerse en marcha una vez subsanado el fallo.
- Dispositivo de extinción en la carcasa del filtro: al menos una abertura de entrada de agente extintor cerrable (lanza de extinción) en la carcasa; un dispositivo de extinción automático no forma parte del suministro y, en caso necesario, lo añade la empresa usuaria conforme a su concepto de protección contra incendios.
- Compuerta de cierre motorizada en el conducto de recirculación de aire hacia la nave: cierre automático al producirse una alarma de incendio para impedir la propagación del humo a la nave.
- Integración en el sistema de mando de la máquina como enclavamiento operativo sin requisito de PL.
- Detectores de humo y de CO en la carcasa del filtro y en el conducto de aire de salida como nivel de detección redundante, con transmisión de la alarma a un puesto con dotación permanente o a una central de detección de incendios (responsabilidad de la empresa usuaria; debe acordarse con el concepto de protección contra incendios del edificio).

- Tiempo de marcha posterior del ventilador de aspiración tras el final de la soldadura: programar a nivel del sistema de mando un tiempo mínimo de marcha posterior de 10 minutos, de modo que las partículas incandescentes que aún se encuentren en el sistema de tuberías se transporten por completo al separador y se enfríen antes de parar la instalación.
- Dimensionamiento del tiempo de marcha posterior en función de la longitud de las tuberías y del caudal volumétrico.

INDICACIONES PARA EL USUARIO

- Manual de instrucciones (conforme al anexo III, punto 1.7.4, del Reglamento (UE) 2023/1230):
- Referencia al peligro de incendio por chispas y partículas incandescentes en el sistema de filtrado; descripción del mecanismo del daño, incluida la ignición diferida.
- El tiempo de marcha posterior prescrito del ventilador de aspiración tras el final de la soldadura (valor mínimo del diseño) como instrucción de servicio vinculante.
- Intervalos de mantenimiento de los cartuchos filtrantes, de los separadores previos de chispas y de los sensores de temperatura; especificación del nivel de carga con el que debe sustituirse el cartucho filtrante (especificación del fabricante, EN ISO 21904-1:2020).
- Prohibición de hacer funcionar el sistema de aspiración con un sensor de temperatura defectuoso o con una compuerta de cierre ineficaz.
- Procedimiento en caso de alarma de incendio: abandonar inmediatamente la instalación, avisar a los bomberos y no intentar actuar por cuenta propia sobre la carcasa del filtro (abrirla puede avivar un fuego latente).
- Indicación de que, al final de un turno, antes de abandonar el edificio debe realizarse una inspección visual de la carcasa del filtro (temperatura, olor).
- Señalización de advertencia en el sistema de aspiración:
- Señal de advertencia general W001 conforme a EN ISO 7010:2020 con el texto complementario «Peligro de incendio por chispas en el filtro» en la carcasa del filtro y en la abertura de mantenimiento.
- Rótulo de texto «No abrir en caso de alarma de incendio» en la trampilla de mantenimiento de la carcasa del filtro.
- Cualificación e instrucción:
- El personal de operación y de mantenimiento debe recibir instrucción antes de comenzar el trabajo y, después, al menos una vez al año, sobre el peligro de incendio, la función de los dispositivos de protección y el comportamiento correcto en caso de incendio (obligación de la empresa usuaria).
- Los trabajos de mantenimiento en el sistema de filtrado solo deben ser realizados por personal instruido con los EPI adecuados (guantes de protección y, en su caso, protección respiratoria durante la sustitución del filtro por la exposición a humos de soldadura).

Ergonómico

Peligro por posturas forzadas y movimientos repetitivos durante la carga y descarga de piezas: El operador realiza repetidamente movimientos de agarre, elevación y sujeción en un ciclo de aproximadamente 90 segundos; las posturas corporales desfavorables (inclinación, estiramiento) con geometrías de pieza variables sobrecargan la columna vertebral, los hombros y las muñecas.

MEDIDAS DE PROTECCIÓN EXISTENTES EN LA MÁQUINA

- Puesto de carga regulable en altura (plataforma de pie regulable en altura para el operador), diseñado para el rango de estatura P5 a P95 de la población de operadores conforme a EN ISO 14738:2008 y EN 1005-4 (altura de trabajo para montaje/manipulación: aproximadamente de 900 a 1100 mm sobre la superficie de apoyo, regulable individualmente).
- Diseñar el portapiezas o el utillaje de sujeción de modo que todos los puntos de agarre estén dentro de la zona de agarre recomendada (altura del codo ±150 mm, alcance horizontal máx. 400 mm delante del cuerpo), sin inclinarse ni estirarse.
- El peso de las piezas y la frecuencia de manipulación se han evaluado con la masa de referencia conforme a EN 1005-2:2003+A1:2008: para unas 40 elevaciones por hora, el fabricante ha fijado un umbral de 15 kg para la manipulación manual; las piezas más pesadas, de hasta 40 kg, se cargan con una ayuda de elevación.
- Diseñar la geometría de agarre del utillaje de sujeción para una posición neutra de la muñeca (sin desviación cubital/radial, sin pronación forzada) conforme al apartado 6.2.8 de EN ISO 12100:2010.
- Para piezas de más de 15 kg debe utilizarse en el puesto de carga una ayuda de elevación (equilibrador, elevador de vacío o grúa pescante giratoria) con una capacidad de carga de al menos 40 kg.
- La ayuda de elevación la proporciona in situ la empresa usuaria y no forma parte del suministro; en el puesto de carga se prevé el espacio libre necesario para su uso.
- El sistema de mando de la máquina no impone un ciclo forzado: el ciclo siguiente solo se inicia cuando el operador pulsa el pulsador de inicio de ciclo, de modo que son posibles micropausas.
- Garantizar en el puesto de carga una iluminación de al menos 500 lx (tarea visual: posicionamiento de la pieza) para evitar posturas incorrectas causadas por una visibilidad insuficiente.

INDICACIONES PARA EL USUARIO

- Manual de instrucciones (Reglamento (UE) 2023/1230, anexo III, punto 1.7.4): especificación de la masa o masas de las piezas, de la evaluación de la manipulación manual de cargas conforme a EN 1005-2:2003+A1:2008 y de las posturas de trabajo conforme a EN 1005-4; instrucciones sobre el ajuste correcto de la altura de trabajo con una guía de ajuste.
- Instrucción ergonómica para los operadores: técnica de elevación correcta, uso de la ayuda de elevación, reconocimiento de las señales de sobrecarga.
- Referencia en el manual de instrucciones a la obligación de la empresa usuaria en materia de vigilancia de la salud conforme al Reglamento alemán sobre medicina preventiva laboral

(ArbMedVV), es decir, la oferta de vigilancia de la salud para actividades con trabajo físico pesado.

- Señalización de advertencia en el puesto de carga: rótulo de texto «Manipulación manual solo hasta 15 kg; por encima, utilizar la ayuda de elevación».
- Requisito de cualificación: los operadores deben recibir instrucción sobre el manejo ergonómicamente correcto y sobre el ajuste de la plataforma de pie.

Corrupción/ciberseguridad

Evidencias de las intervenciones ausentes o incompletas (registro): Las intervenciones en el hardware, el software o la configuración relevantes para la seguridad no se registran, o se registran sin marca de tiempo ni autor; los registros se sobrescriben tras un periodo breve o están expuestos a manipulación. Las intervenciones no autorizadas pasan inadvertidas y la pista de auditoría no está disponible cuando la solicitan las autoridades. [Reglamento (UE) 2023/1230, anexo III, punto 1.1.9, párrafos segundo y quinto; punto 1.2.1, párrafo segundo, letra f)]

Fases de la vida: Funcionamiento, Mantenimiento, Localización de averías

MEDIDAS DE PROTECCIÓN EXISTENTES EN LA MÁQUINA

- Prever el registro de eventos como función fija del sistema de mando (que el operador no pueda desactivar), con una memoria no volátil de tamaño suficiente.
- Registro de eventos relevantes para la seguridad con marca de tiempo, identidad del usuario y contenido del cambio (inicio de sesión, cambio de parámetros y de configuración, carga de software con versión y suma de verificación, apertura de módulos relevantes para la seguridad, sesiones de acceso remoto), protección contra borrado y modificación, exportación en forma legible, conservación de las cargas y de los datos asociados hasta cinco años después de la carga (anexo III, punto 1.2.1, letra f)).
- Referencia de evidencia, vía B: IEC 62443-3-3 SR 2.8, SR 2.9, SR 2.11, SR 3.9, SR 6.1.

INDICACIONES PARA EL USUARIO

- Manual de instrucciones: acceso a los registros y su exportación, obligaciones de conservación de la empresa usuaria cuando se transmite la máquina, procedimiento ante un requerimiento de una autoridad, advertencia sobre la capacidad de almacenamiento y la sincronización horaria.

Corrupción/ciberseguridad

Datos de producción o de recetas falseados procedentes del MES o de la nube: Los datos de pedidos y de recetas tomados del MES, del ERP o de una plataforma en la nube (p. ej., parámetros de soldadura, número de programa o asignación de pieza) están falseados, obsoletos o destinados a otra máquina. La máquina funciona con especificaciones fuera de los límites seguros o con una referencia errónea de pieza y de programa. [Reglamento (UE) 2023/1230, anexo III, punto 1.1.9, párrafo tercero; punto 1.2.1, párrafo segundo, letras b) y d)]

MEDIDAS DE PROTECCIÓN EXISTENTES EN LA MÁQUINA

- Limitar los límites de seguridad en el controlador de seguridad con independencia de los datos de receta adoptados; los datos de receta solo controlan parámetros de proceso dentro de esos límites (anexo III, punto 1.2.1, párrafo segundo, letra d)).
- Verificación de la integridad y del origen de los conjuntos de datos transferidos (firma o suma de verificación, asignación de máquina y herramienta), comprobación de plausibilidad frente a los rangos admisibles con rechazo y notificación, paso de liberación por personal autorizado para las nuevas recetas, registro de los conjuntos de datos transferidos.
- Referencia de evidencia, vía B: IEC 62443-3-3 SR 3.1, SR 3.4, SR 3.5, SR 1.2.

INDICACIONES PARA EL USUARIO

- Manual de instrucciones: responsabilidad de la empresa usuaria respecto a la calidad de los datos, descripción de las comprobaciones y de los avisos, instrucción para los conjuntos de datos rechazados.

Corrupción/ciberseguridad

Acceso remoto no autorizado o erróneo a través de la pasarela de mantenimiento remoto: A través de la conexión VPN IPsec de la pasarela de mantenimiento remoto, una persona no autorizada con credenciales robadas, o un técnico autorizado en un momento inoportuno, interviene en el controlador de la celda: cambio de programa o de parámetros, confirmación de fallos o arranque de movimientos mientras hay personas en el puesto de carga o en el pasillo de mantenimiento. [Reglamento (UE) 2023/1230, anexo III, punto 1.1.9, párrafos primero y tercero; punto 1.2.1, párrafo segundo, letras a) y d)]

Fases de la vida: Funcionamiento, Mantenimiento, Localización de averías

MEDIDAS DE PROTECCIÓN EXISTENTES EN LA MÁQUINA

- Acceso remoto diseñado de modo que no pueda activar movimientos peligrosos ni eludir funciones de seguridad: la pasarela de mantenimiento remoto solo llega al control estándar y al panel HMI; el PLC de seguridad no dispone de ninguna vía de acceso remoto.
- Las órdenes de movimiento y la confirmación de fallos solo son posibles desde puestos de mando con vista a la zona peligrosa (anexo III, punto 1.2.2).
- Mantenimiento remoto desactivado en el momento de la entrega; una sesión solo puede habilitarse in situ con el interruptor de llave del pupitre de mando, finaliza automáticamente transcurridas cuatro horas y se indica como «Mantenimiento remoto activo» en el panel HMI;
- VPN IPsec con autenticación multifactor y cuentas personales para los técnicos remotos; registro de cada sesión con usuario, hora y acciones realizadas, conservación conforme al anexo III, punto 1.2.1, letra f).
- Referencia de evidencia, vía B: IEC 62443-3-3 SR 1.1, SR 1.13, SR 2.1, SR 2.8, SR 3.8.

INDICACIONES PARA EL USUARIO

- Manual de instrucciones (capítulo 13.3): procedimiento para habilitar y finalizar las sesiones de mantenimiento remoto, obligación de que haya una persona responsable disponible in situ, actuación en caso de sospecha de acceso no autorizado (finalizar la sesión con el interruptor de llave, informar al fabricante), contacto para las notificaciones de seguridad del fabricante.

Fase de la vida: Mantenimiento

Materiales/sustancias

Peligro por el polvo del filtro al cambiar el cartucho filtrante de la unidad de aspiración de humos de soldadura: El cartucho filtrante contiene humos de soldadura separados con óxidos metálicos y partículas finas; si se cambia sin medidas adecuadas de protección respiratoria, se liberan polvos que son inhalados.

Fases de la vida: Mantenimiento, Limpieza

MEDIDAS DE PROTECCIÓN EXISTENTES EN LA MÁQUINA

- Retención del polvo por diseño durante el cambio del filtro: la unidad filtrante está equipada con un sistema bag-in/bag-out integrado, de modo que el cartucho filtrante contaminado puede retirarse y sellarse en una bolsa de plástico cerrada sin contacto directo con el polvo.
- Por diseño, esto minimiza la liberación de polvo en origen (sustitución de la retirada abierta por un procedimiento de cambio cerrado conforme al apartado 6.2.4 de EN ISO 12100).
- Además: el impulso de limpieza (golpe de presión) previo al cambio solo debe permitirse con la carcasa cerrada y el sistema de aspiración desactivado, para compactar los depósitos de polvo en el cartucho y reducir la liberación al abrirlo.
- Medidas técnicas de protección para el riesgo residual restante (polvo residual al abrir la carcasa y manipular el cartucho):
- Carcasa de aspiración con enclavamiento de presión negativa: por diseño, la carcasa del filtro solo puede abrirse con el ventilador desconectado y el sistema despresurizado (enclavamiento mecánico, sin función de seguridad con requisito de PLr, ya que no interviene ningún accionamiento de movimiento).
- Aspiración local en el lugar del cambio: debe preverse en la carcasa del filtro una boquilla de conexión para una unidad de aspiración móvil (aspirador industrial de clase de polvo H conforme a EN 60335-2-69, apto para polvos de humos de soldadura); esta se activa durante el cambio y capta las partículas residuales liberadas.
- Señalización de la unidad filtrante: señal de advertencia general W001 conforme a EN ISO 7010:2020 con el texto complementario «Polvo nocivo», que debe colocarse de forma permanente en la carcasa del filtro.

INDICACIONES PARA EL USUARIO

- Manual de instrucciones (capítulo 10.2): instrucción detallada paso a paso para el cambio del filtro con la descripción del procedimiento bag-in/bag-out; información sobre la composición de los polvos separados (óxidos metálicos, partículas finas, posiblemente sustancias CMR según el material de aportación); indicación sobre la eliminación (los cartuchos filtrantes contaminados deben eliminarse como residuos peligrosos conforme a la normativa de residuos aplicable).
- Requisito de cualificación: el cambio de filtro solo debe ser realizado por personal especializado formado que haya sido informado del peligro que suponen los polvos de humos de soldadura.
- Especificación de EPI: durante el cambio de filtro deben llevarse como mínimo: mascarilla autofiltrante FFP3 conforme a EN 149 para partículas finas y óxidos metálicos; guantes de protección (resistentes a productos químicos); gafas de seguridad (protección contra partículas).

- Los requisitos de EPI deben especificarse de forma permanente en el manual de instrucciones y mediante una señal de obligación «Uso obligatorio de protección respiratoria» (M017 conforme a EN ISO 7010:2020) en la carcasa del filtro.
- Referencia a la legislación de seguridad y salud en el trabajo: debe informarse a la empresa usuaria de sus obligaciones conforme a TRGS 528 (trabajos de soldadura) y al Reglamento alemán sobre sustancias peligrosas (GefStoffV), en particular en lo relativo a la evaluación de riesgos por polvos CMR y a la puesta a disposición de EPI adecuados.

Mecánico

Peligro por energía neumática residual durante los trabajos de mantenimiento y de eliminación de averías: Tras desconectar el suministro de aire comprimido, queda presión residual en las tuberías y los cilindros del dispositivo de sujeción; una liberación incontrolada de la presión puede hacer que los elementos de sujeción se muevan bruscamente y lesionen a personas o proyecten las piezas.

Fases de la vida: Mantenimiento, Localización de averías

MEDIDAS DE PROTECCIÓN EXISTENTES EN LA MÁQUINA

- Limitar por diseño la energía neumática residual: en caso de caída de presión, las garras de cierre neumático mantienen la pieza mediante una válvula antirretorno pilotada (válvula de retención de presión) en la línea de sujeción; el presostato vigila la presión de sujeción (SF-04).
- El volumen atrapado entre la válvula de retención de presión y el cilindro se minimiza por diseño (tuberías cortas, válvulas de retención de presión montadas directamente en el cilindro), de modo que solo permanezca almacenada una pequeña cantidad de energía.
- Antes de cualquier intervención, la presión de sujeción atrapada se libera abriendo las garras; en caso de fallo, se libera de forma controlada mediante el accionamiento manual de la válvula de retención de presión.
- Diseño conforme a EN ISO 4414:2010.
- Nota: esta medida reduce la gravedad de un suceso de energía residual restante, ya que la energía cinética de los elementos de sujeción es considerablemente menor con un volumen residual pequeño y una purga estrangulada.
- Válvula de corte de mantenimiento con función de purga (apta para lockout/tagout) conforme a EN ISO 4414:2010 y EN ISO 14118:2018: instalar una válvula de corte con purga controlada integrada (función de escape suave) a la entrada del dispositivo de sujeción neumático; en la posición de corte, la válvula debe purgar el tramo de línea situado aguas abajo de forma controlada y estrangulada antes de que sea posible cualquier intervención.
- La válvula debe asegurarse con un candado (dispositivo de bloqueo).
- Manómetro o indicador de presión en el tramo de línea entre la válvula de corte y el cilindro, de modo que el operador pueda verificar visualmente la reducción de la presión a 0 bar (EN ISO 4414:2010).
- Indicador de presión residual en el acceso de mantenimiento: antes de cualquier intervención se comprueba la ausencia de presión en el indicador de presión residual; el indicador es un dispositivo operativo sin requisito de PL según EN ISO 13849-1:2023.
- Resguardo: los utillajes de sujeción se encuentran dentro del vallado perimetral (EN ISO 14120:2015); el acceso para el mantenimiento y la eliminación de averías se realiza a través de la puerta de mantenimiento con bloqueo conforme a EN ISO 14119:2025 (SF-01, PLr d).

INDICACIONES PARA EL USUARIO

- Manual de instrucciones (Reglamento (UE) 2023/1230, anexo III, punto 1.7.4): instrucción de trabajo para el mantenimiento y la eliminación de averías en el dispositivo de sujeción neumático con un procedimiento explícito paso a paso: (a) retirar la pieza y abrir las garras, (b) cerrar el suministro de aire comprimido en la válvula de corte de mantenimiento y esperar a la purga, (c)

en caso de fallo, liberar la presión residual atrapada mediante el accionamiento manual de la válvula de retención de presión y comprobar a continuación que el indicador de presión residual muestra 0 bar, (d) colocar el candado de bloqueo, (e) solo entonces intervenir en el sistema.

- Incluir una indicación sobre el peligro de la presión residual y de la proyección de piezas.
- Señalización de advertencia en el dispositivo de sujeción y en la válvula de corte: señal de advertencia general W001 conforme a EN ISO 7010:2020 con el texto complementario «Presión residual en el utillaje de sujeción»; señal de información «Antes de intervenir: purgar a 0 bar y bloquear la válvula de corte».
- Requisito de cualificación: los trabajos de mantenimiento y de eliminación de averías en el sistema neumático solo deben ser realizados por especialistas instruidos con conocimiento de las reglas de seguridad neumática (EN ISO 4414:2010).
- Especificación de EPI: prescribir gafas de seguridad (protección ocular frente a piezas proyectadas) y guantes de protección al abrir conexiones neumáticas.

Fase de la vida: Puesta fuera de servicio

Mecánico

Peligro durante el desmontaje de la celda al final de su vida útil: Al desmontar los segmentos del vallado perimetral, el bastidor base del robot y el armario de control, se originan peligros por componentes pesados (aplastamiento, caída), por energía residual en las líneas (aire comprimido, eléctrica) y por bordes cortantes en las piezas de chapa.

MEDIDAS DE PROTECCIÓN EXISTENTES EN LA MÁQUINA

- Diseñar los segmentos del vallado perimetral, el bastidor base del robot y el armario de control con puntos de elevación normalizados (p. ej., taladros roscados para cáncamos conforme a DIN 580 o argollas de grúa integradas), de modo que cada componente pueda eslingarse individualmente y con posición asegurada sin que las personas tengan que situarse debajo de la carga suspendida.
- Desbarbar ya en la fase de diseño los bordes de chapa de las piezas de envolvente y de los perfiles del vallado perimetral y redondearlos con un radio >= 0,5 mm (plano de fabricación), para reducir de forma inherente el riesgo de cortes.
- Diseñar las tuberías neumáticas con un estado de reposo sin energía al aislar la energía: seleccionar las válvulas de modo que, al desconectar el suministro de aire comprimido, las tuberías se purguen automáticamente (retorno por muelle a la posición de purga conforme a EN ISO 4414:2010); la presión atrapada en los cilindros de sujeción por la válvula de retención de presión se libera antes del desmontaje abriendo las garras.
- Aislamiento y desconexión de la energía antes de iniciar el desmontaje: identificar el dispositivo de seccionamiento de la energía eléctrica (interruptor general con posibilidad de bloqueo conforme a EN 60204-1:2018, apartado 5.3) y la válvula de corte con función de purga para el aire comprimido (EN ISO 4414:2010), y bloquearlos en un estado asegurado y sin energía antes de iniciar el desmontaje (procedimiento lockout/tagout conforme a EN ISO 14118:2018).
- Verificar mediante medición la ausencia de tensión antes de abrir el armario de control y las conexiones de las líneas.
- Manipulación de cargas: para componentes con un peso individual superior a 25 kg (masa de referencia conforme a EN 1005-2:2003+A1:2008) deben utilizarse equipos de elevación adecuados (grúa, transpaleta, elevador de vacío) con capacidad de carga suficiente y marcado CE (puntos de elevación y pesos: véase el manual de instrucciones, capítulos 5.2 y 5.3).
- Distancia segura durante la elevación: prohibición de permanecer debajo de cargas suspendidas conforme al procedimiento operativo; vallado de la zona de desmontaje.

INDICACIONES PARA EL USUARIO

- Manual de instrucciones (capítulo 11, Reglamento (UE) 2023/1230, anexo III, punto 1.7.4): instrucciones de desmontaje paso a paso con una secuencia definida (primero el aislamiento de la energía y la purga, después el desmontaje mecánico); datos de peso y posición del centro de gravedad de cada componente; especificación de los puntos de elevación con un esquema; referencia al procedimiento lockout/tagout conforme a EN ISO 14118:2018.

- Señalización de advertencia en el armario de control y en el distribuidor neumático: señal de advertencia «Advertencia;
- Electricidad» (W012 conforme a EN ISO 7010:2020) y una señal de información que indique la posible presión residual en las tuberías neumáticas.
- Requisito de cualificación: el desmontaje solo debe ser realizado por personal especializado con formación en electrotecnia (para trabajos en equipos eléctricos) e instrucción en el manejo de equipos de elevación.
- Especificación de EPI: guantes de protección contra riesgos mecánicos (EN 388), calzado de seguridad S3 (EN ISO 20345), casco de seguridad al utilizar equipos de elevación.

3 Datos técnicos

- Máquina/instalación: Celda de soldadura robotizada RSZ-2600 (conjunto de máquinas)
- Tipo/modelo: RSZ-2600
- Número de serie: RSZ2600-2026-0001
- Año de fabricación: 2026
- Tipo de máquina: Conjunto de máquinas en el sentido del artículo 3, punto 1, letra d), del Reglamento relativo a las máquinas
- Modos de funcionamiento: Automático, Reglaje
- Placa de características: en la pared lateral derecha del armario de control; datos indicados: fabricante, tipo, número de serie, año de fabricación, datos de conexión eléctrica, peso, marcado CE

3.1 Equipamiento

Dimensiones y pesos: superficie de la celda de aproximadamente 6,5 x 4,0 m; altura de 2,6 m; peso total de aproximadamente 4600 kg. Grupos constructivos individuales más pesados: mesa giratoria de dos estaciones de aproximadamente 1900 kg, robot con base de aproximadamente 850 kg, armario de control de aproximadamente 350 kg, fuente de corriente de soldadura con unidad de alimentación de hilo de aproximadamente 120 kg, unidad de aspiración de humos de soldadura de aproximadamente 250 kg, segmentos del vallado perimetral en total aproximadamente 400 kg; pupitre de mando, cableado, instalación de fluidos y piezas pequeñas aproximadamente 730 kg.

Datos de la pieza: peso máximo de la pieza de 40 kg; dimensiones envolventes máximas de la pieza de 800 x 600 x 400 mm; materiales: acero no aleado y de baja aleación; tiempo de ciclo de aproximadamente 90 segundos.

Equipo eléctrico: tensión asignada de 400 V CA, 3/N/PE, 50 Hz; sistema TN-S; potencia conectada de 32 kVA; protección por fusibles en el lado de la alimentación de 63 A gG; tensión de mando de 24 V CC; dispositivo de protección diferencial residual de tipo B; equipo eléctrico diseñado conforme a EN 60204-1.

Técnica de soldadura: fuente de corriente de soldadura MAG de 400 A con un factor de marcha del 60 por ciento; tensión máxima en vacío de 80 V; clase de protección I, grado de protección IP23S; unidad de alimentación de hilo para diámetros de hilo de 1,0 a 1,2 mm; antorcha de soldadura refrigerada por agua con unidad de refrigeración y vigilancia de la temperatura en el cuello de la antorcha; estación de limpieza de la antorcha con unidad de pulverización y cortahílos; gas de protección: mezcla de gases M21 conforme a EN ISO 14175 (aportado por el cliente), caudal de aproximadamente 15 l/min.

Robot: robot industrial de brazo articulado de 6 ejes; alcance de 2600 mm; carga útil de 12 kg; repetibilidad de +/- 0,05 mm; velocidad reducida segura en modo de reglaje de un máximo de 250 mm/s en el TCP.

Mesa giratoria: mesa giratoria de dos estaciones con eje de giro vertical, giro de 180 grados; capacidad de carga de 2 x 40 kg más los utillajes de sujeción; tiempo de giro de aproximadamente 3 segundos; garras de sujeción de piezas de cierre neumático con presostato, válvula antirretorno pilotada (válvula de retención de presión) y sensor de presencia de pieza en cada estación.

Utillajes de sujeción específicos de la pieza de la empresa usuaria: máximo 60 kg por estación; contorno de interferencia conforme al plano de instalación RSZ-2600-LAY-001; aislados eléctricamente del bastidor de la mesa; garras de cierre neumático con válvula de retención de presión y conectadas a la vigilancia de la presión de sujeción (SF-04); el fabricante aprueba los utillajes nuevos antes de su primera utilización.

Neumática: presión de servicio de 6 bar; calidad del aire comprimido: exento de aceite conforme a ISO 8573-1; conexión G 1/2; consumo medio de aire de aproximadamente 90 Nl/min.

Iluminación del puesto de trabajo: integrada en la máquina conforme a EN 1837; 500 lx en el puesto de carga, 200 lx en el pasillo de mantenimiento; aviso de fallo en el panel HMI.

Aspiración de humos de soldadura: caudal de aspiración de 1800 m³/h; cartucho filtrante de la clase de humos de soldadura W3 (eficiencia de separación de al menos el 99 por ciento, ensayada conforme a EN ISO 21904-2; requisito derivado de la evaluación del riesgo conforme a la regla técnica alemana para sustancias peligrosas TRGS 528); funcionamiento en recirculación, conexión de aire de escape opcional; vigilancia del rendimiento de aspiración con mensaje de fallo; separador previo de chispas antepuesto al cartucho filtrante; vigilancia de la temperatura del cartucho filtrante, compuertas de cierre motorizadas y detectores de humo y de CO en la carcasa del filtro y en el conducto de aire de escape; carcasa del filtro con sistema de cambio bag-in/bag-out para la sustitución del cartucho; funcionamiento posterior del ventilador de aspiración durante al menos 10 minutos tras el fin de la soldadura.

Emisión de ruido (declaración conforme a EN ISO 4871): nivel de presión acústica de emisión ponderado A en el puesto de carga LpA = 84 dB(A), incertidumbre de medición K = 2,5 dB, determinado conforme a EN ISO 11202; nivel de potencia acústica ponderado A LWA = 96 dB(A), incertidumbre KWA = 3 dB, determinado conforme a EN ISO 3746 (grado de precisión 3). Condiciones de funcionamiento durante la medición: modo automático con un programa de soldadura aprobado y un tiempo de ciclo de aproximadamente 90 segundos, aspiración de humos de soldadura en funcionamiento, puerta de mantenimiento cerrada; la posición de medición es el puesto de carga delante de la abertura de carga (persona de pie). El nivel de presión acústica de pico ponderado C en el puesto de carga no supera 130 dB(C). Los valores indicados son niveles de emisión y no necesariamente niveles de trabajo seguros. La empresa usuaria está obligada a poner a disposición protección auditiva a partir de un nivel de exposición diaria al ruido de 80 dB(A); a partir de 85 dB(A) existe la obligación de llevar protección auditiva y de colocar la señalización correspondiente.

Condiciones ambientales de funcionamiento: temperatura ambiente de +5 a +40 grados C; humedad relativa de hasta el 70 por ciento, sin condensación; altitud de instalación de hasta 1000 m sobre el nivel del mar; solo en locales interiores secos; sin atmósfera potencialmente explosiva; velocidad del

aire en la zona de la abertura de carga inferior a 0,5 m/s para que no se altere la cobertura del gas de protección.

4 Descripción de la máquina

La RSZ-2600 es una celda de soldadura MAG asistida por robot para la soldadura por arco de conjuntos de acero con un peso de pieza de hasta 40 kg en producción en serie. Se trata de una máquina especial fabricada como ejemplar único que se introduce en el mercado como conjunto de máquinas con un sistema de control común, como una única unidad. El principio básico: mientras el operador carga y descarga piezas en la estación frontal de la mesa giratoria de dos estaciones, el robot suelda en la segunda estación, detrás de la pared central divisoria fija. El giro de 180 grados de la mesa giratoria alterna las estaciones con un tiempo de ciclo de aproximadamente 90 segundos. Este capítulo describe la estructura de la instalación con sus principales conjuntos, los puestos de trabajo del operador y la secuencia de funcionamiento.

4.1 Estructura y principales conjuntos

La instalación consta de los siguientes conjuntos principales:

(1) Robot industrial de brazo articulado: 6 ejes, alcance de 2600 mm, carga útil de 12 kg, montado sobre una base de acero; suministrado por el fabricante del robot como cuasi máquina con declaración UE de incorporación conforme al anexo V, parte B; con controlador del robot y consola de programación.

(2) Mesa giratoria de dos estaciones: eje de giro vertical con giro de 180 grados, pared central divisoria fija con cortina de soldadura, garras de sujeción de piezas de cierre neumático con presostato, válvula antirretorno pilotada (válvula de retención de presión) con accionamiento manual y sensor de presencia de pieza en cada estación; chapa deflectora debajo de la mesa giratoria como dispositivo de retención; capacidad de carga de 2 x 40 kg más los utillajes de sujeción (máximo 60 kg por estación; para los requisitos, véase el capítulo 3.1).

(3) Equipo de soldadura: fuente de corriente de soldadura MAG de 400 A con un factor de marcha del 60 por ciento (equipo con marcado CE), unidad de alimentación de hilo en el brazo del robot, paquete de mangueras, antorcha de soldadura refrigerada por agua con unidad de refrigeración, vigilancia de la temperatura en el cuello de la antorcha y embrague de protección contra colisiones, estación de limpieza de la antorcha con limpieza de toberas, unidad de pulverización y cortahílos.

(4) Aspiración de humos de soldadura: unidad de aspiración de 1800 m³/h con separador previo de chispas, cartucho filtrante y campana de captación sobre la zona de soldadura; vigilancia del rendimiento de aspiración; vigilancia de la temperatura del cartucho filtrante, compuertas de cierre motorizadas y detectores de humo y de CO en la carcasa del filtro y en el conducto de aire de escape; carcasa del filtro con sistema de cambio bag-in/bag-out para una sustitución del cartucho con poco polvo y con una abertura cerrable de entrada de agente extintor.

(5) Resguardos y dispositivos de protección: resguardo perimetral (vallado perimetral) de 2200 mm de altura con paneles de relleno opacos a la luz de soldadura, ventanas de observación con protección para soldadura y panel de zócalo; puerta de mantenimiento en la parte posterior con

enclavamiento, bloqueo del resguardo, desbloqueo de escape desde el interior y dispositivo de bloqueo para candados personales; cortina fotoeléctrica de tipo 4 en la abertura de carga.

(6) Sistema de control: armario de control con interruptor principal, PLC de seguridad, controlador de la instalación y pasarela de red con cortafuegos para la conexión de datos y el mantenimiento remoto (véase el capítulo 13); intercambio de señales entre todas las submáquinas a través del sistema de control común.

(7) Pupitre de mando: panel HMI con indicación del programa, pulsador para el inicio de ciclo y la confirmación, selector de modo de funcionamiento, interruptor de llave de mantenimiento remoto, dispositivo de parada de emergencia; columna de señalización (verde/amarillo/rojo) en el techo de la celda; luz de señalización roja para el tiempo de bloqueo por enfriamiento en el puesto de retirada.

(8) Suministro de fluidos: unidad de mantenimiento de aire comprimido con válvula de corte de mantenimiento bloqueable con función de escape e indicador de presión residual; conexión para el suministro de gas de protección aportado por el cliente con electroválvula (normalmente cerrada), que corta el suministro de gas en caso de parada de la máquina, en caso de parada de emergencia y durante las pausas de funcionamiento.

(9) Iluminación del puesto de trabajo: iluminación integrada en la máquina conforme a EN 1837 con 500 lx en el puesto de carga y 200 lx en el pasillo de mantenimiento; aviso de fallo en el panel HMI.

4.2 Puestos de trabajo del operador

Puesto de carga (lado frontal): puesto de trabajo del operador para la carga y la descarga de piezas en la respectiva estación frontal de la mesa giratoria. El acceso se realiza a través de la abertura de carga vigilada por la cortina fotoeléctrica. El operador permanece fuera de la zona de trabajo del robot; la pared central divisoria fija protege contra el arco y las proyecciones de soldadura. Una plataforma de pie regulable en altura adapta la altura de trabajo a la estatura del operador (altura de trabajo de aproximadamente 900 a 1100 mm sobre la superficie de apoyo); antes de comenzar el trabajo, ajuste la plataforma de modo que los puntos de agarre queden aproximadamente a la altura del codo.

Pupitre de mando (junto a la abertura de carga): panel HMI para la selección de programa y la indicación de estado, pulsador para el inicio de ciclo y la confirmación, selector de modo de funcionamiento bloqueable, interruptor de llave de mantenimiento remoto, dispositivo de parada de emergencia. Desde el pupitre de mando hay contacto visual con la abertura de carga.

Consola de programación (personal de reglaje): unidad portátil del controlador del robot con parada de emergencia y dispositivo de validación de tres posiciones para el aprendizaje y el desplazamiento en modo de reglaje. Su uso está reservado al personal de reglaje formado.

Acceso de mantenimiento (lado posterior): puerta de mantenimiento con enclavamiento y bloqueo del resguardo; acceso para trabajos de mantenimiento y de reglaje solo con la instalación parada o en modo de reglaje. Durante el funcionamiento automático no está previsto ningún puesto de trabajo dentro de la celda.

4.3 Descripción del funcionamiento

Secuencia de un ciclo automático:

1. El operador coloca la pieza en el utillaje de sujeción de la estación frontal. Las garras neumáticas se cierran; el presostato confirma la presión de sujeción y el sensor de presencia confirma la posición de la pieza.

2. El operador abandona el campo de protección de la cortina fotoeléctrica y pulsa el pulsador de inicio de ciclo en el pupitre de mando. El sistema de control comprueba que el campo de protección esté libre y que todas las funciones de seguridad estén confirmadas.

3. Tras un aviso acústico de arranque, la mesa giratoria gira 180 grados: la estación recién cargada gira hacia la zona de soldadura y la estación con la pieza soldada terminada gira hacia el operador.

4. El robot ejecuta el programa de soldadura liberado en la estación posterior. La aspiración de humos de soldadura funciona controlada por el proceso; la limpieza de la antorcha se realiza controlada por programa a intervalos definidos.

5. Paralelamente, el operador retira la pieza terminada en la estación frontal y carga la siguiente pieza en bruto. La retirada solo se habilita una vez transcurrido el tiempo de bloqueo por enfriamiento almacenado para el programa de soldadura y apagada la luz de señalización roja del puesto de retirada. El tiempo de ciclo es de aproximadamente 90 segundos.

6. Una vez finalizado el programa y accionado de nuevo el inicio de ciclo, la secuencia se repite. En caso de fallos (por ejemplo, interrupción del arco, fin del hilo, fallo de la aspiración), la instalación se detiene de forma controlada; el fallo se indica en el HMI y la columna de señalización cambia a rojo.

En modo de reglaje (interruptor de llave), la mesa giratoria y el robot solo pueden desplazarse con el dispositivo de validación y a velocidad reducida segura; el ciclo automático está bloqueado. Con la puerta de mantenimiento abierta, la fuente de corriente de soldadura está desconectada de forma segura (SF-01); en ese caso, el hilo solo puede hacerse avanzar en modo de avance por impulsos a velocidad de enhebrado reducida.

5 Entrega, transporte, desembalaje

Este capítulo describe la entrega, el transporte interno y el desembalaje seguros de la celda de soldadura robotizada RSZ-2600. La instalación se suministra en las siguientes unidades de transporte premontadas: (1) robot con base de acero en la posición de transporte bloqueada sobre un bastidor de transporte con alojamientos para horquillas; (2) mesa giratoria de dos estaciones con el eje de giro asegurado sobre un bastidor de transporte; (3) armario de control con pupitre de mando; (4) fuente de corriente de soldadura MAG con unidad de alimentación de hilo y estación de limpieza de la antorcha sobre un palé; (5) unidad de aspiración de humos de soldadura sobre un palé; (6) segmentos del vallado perimetral, puerta de mantenimiento y cortina fotoeléctrica en contenedores de rejilla. Todas las unidades están envueltas en film y aseguradas contra desplazamientos; las piezas pequeñas y la documentación se encuentran en una caja de accesorios rotulada en el bastidor de transporte del armario de control.

5.1 Indicaciones de seguridad para el transporte y la manipulación

El transporte y la manipulación de la máquina y de sus grupos constructivos solo pueden ser realizados por personal especializado formado que esté familiarizado con las cargas en cuestión. En todos los trabajos de transporte y desembalaje, lleve el equipo de protección individual adecuado, en particular calzado de seguridad S3 conforme a EN ISO 20345 y guantes de protección adecuados.

> **ADVERTENCIA**
> Caída, vuelco o balanceo de cargas al elevar y desplazar grupos constructivos pesados. Pueden producirse lesiones graves o mortales. No permanezca nunca debajo de cargas suspendidas y asegure la zona de transporte contra el acceso no autorizado.

Inmediatamente después de la entrega, inspeccione la máquina para detectar daños de transporte visibles desde el exterior y compruebe que esté completa. Documente los daños detectados y comuníquelos antes de la instalación. El alcance exacto del suministro figura en los documentos de envío.

5.2 Pesos, posiciones del centro de gravedad y medios de transporte

Las masas y las posiciones del centro de gravedad de los distintos grupos constructivos son determinantes para la selección de los medios de transporte, los equipos de elevación y los accesorios de elevación:

- Masa total de la instalación: aproximadamente 4600 kg (repartida en varias unidades de transporte)
- Mesa giratoria de dos estaciones: aproximadamente 1900 kg, centro de gravedad centrado sobre el eje de giro, posición del centro de gravedad marcada en el bastidor
- Robot con base de acero: aproximadamente 850 kg, con el centro de gravedad alto; respetar la marca del centro de gravedad en el bastidor de transporte

- Armario de control: aproximadamente 350 kg
- Unidad de aspiración de humos de soldadura: aproximadamente 250 kg
- Fuente de corriente de soldadura MAG con unidad de alimentación de hilo: aproximadamente 120 kg
- Segmentos del vallado perimetral, en total: aproximadamente 400 kg
- Pupitre de mando, cableado, instalación de fluidos y piezas pequeñas: aproximadamente 730 kg (repartidos en varios bultos)

Medios de transporte admisibles: carretilla elevadora con capacidad de carga residual suficiente (al menos 2,5 t) y longitud de horquillas suficiente para la mesa giratoria y el robot; puente grúa con accesorios de elevación verificados (capacidad de carga de al menos 2 t) para el posicionamiento en espacios reducidos; transpaleta solo para unidades paletizadas de hasta 300 kg. Los equipos de elevación, las carretillas de manutención y los accesorios de elevación deben estar dimensionados y verificados para la carga real que se vaya a mover. Utilice únicamente accesorios de elevación en perfecto estado y autorizados, y respete su capacidad de carga.

5.3 Puntos de elevación y elevación segura

Para la elevación, utilice únicamente los puntos de elevación y de enganche de la carga previstos:

- Robot con base: cuatro argollas de grúa marcadas en la base de acero; no enganchar nunca accesorios de elevación al brazo del robot, al cableado ni al paquete de mangueras. Como alternativa, transporte con carretilla elevadora utilizando los alojamientos para horquillas del bastidor de transporte.
- Mesa giratoria: alojamientos para horquillas en el bastidor base o cuatro argollas de grúa en las esquinas del bastidor; la pared central divisoria no es portante y no debe utilizarse como punto de elevación.
- Armario de control: argollas de grúa en la parte superior del armario (retirarlas antes de la puesta en servicio y sustituirlas por tapones ciegos).
- Unidades paletizadas (fuente de corriente, unidad de aspiración): transporte con carretilla elevadora o transpaleta sobre el palé.

> **AVISO**
> Accesorios de elevación enganchados al brazo del robot, al cableado, al paquete de mangueras o a la pared central divisoria de la mesa giratoria. Se dañan los reductores, los cables y la pared central divisoria. Utilice únicamente las argollas de grúa y los alojamientos para horquillas marcados.

Enganche la carga de modo que se excluyan el vuelco, el desplazamiento o el balanceo (ángulo de eslinga de los accesorios de elevación no superior a 60 grados respecto a la vertical, utilizar protectores de cantos). Eleve la carga lentamente y sin tirones, guíela de forma controlada y

depositela sin golpes. Durante el transporte interno, asegure la carga contra el deslizamiento y el vuelco. Para el transporte en vehículos de carretera se aplica la sujeción de la carga conforme a EN 12195-1.

5.4 Seguros de transporte

Todos los seguros de transporte están marcados en rojo. Antes de la puesta en servicio deben retirarse: (1) los pernos de bloqueo del eje de giro de la mesa giratoria en el bastidor base; (2) los seguros de transporte de los ejes del robot (el robot se encuentra en la posición de transporte marcada; la liberación se realiza conforme a las instrucciones del fabricante y solo después de anclar la base); (3) las cinchas tensoras y los protectores de cantos de los bastidores de transporte; (4) los clips de bloqueo de la puerta de mantenimiento y de los elementos del vallado. Secuencia: retirar los seguros de transporte solo después de haber alineado y anclado el grupo constructivo correspondiente en su lugar de instalación definitivo (véase el capítulo 8). Conserve todos los seguros de transporte para un transporte o una puesta fuera de servicio posteriores; el lugar de almacenamiento previsto es el compartimento del zócalo del armario de control.

5.5 Desembalaje

Desembale la máquina y sus grupos constructivos sobre una superficie adecuada, nivelada y con capacidad de carga suficiente. Al abrir el embalaje, proceda de forma que no se ponga en peligro ni la máquina ni al personal, y evite daños en los elementos montados, las líneas y los resguardos y dispositivos de protección. Elimine el material de embalaje de forma adecuada y conforme a la normativa local. Tras el desembalaje, vuelva a comprobar con los documentos de envío que el suministro esté completo.

5.6 Almacenamiento antes de la instalación

Si la máquina debe almacenarse temporalmente antes de la instalación, deben respetarse las condiciones de almacenamiento admisibles conforme al capítulo 6: locales cerrados y secos, de -10 a +50 grados C, humedad relativa máxima del 60 por ciento, sin condensación. El embalaje y las cubiertas protectoras deben permanecer en la máquina hasta la instalación. Para un periodo de almacenamiento superior a 12 meses se aplican las inspecciones adicionales conforme al capítulo 6.2.

6 Condiciones de almacenamiento

Este capítulo describe las condiciones de almacenamiento de la celda de soldadura robotizada RSZ-2600, así como de sus componentes y grupos constructivos, entre la entrega, la instalación y un posible almacenamiento intermedio posterior. El objetivo es evitar daños causados por condiciones ambientales inadmisibles, por corrosión y por periodos de parada excesivamente largos.

Condiciones de almacenamiento admisibles: temperatura de almacenamiento de -10 a +50 grados C; humedad relativa máxima del 60 por ciento, sin condensación. La máquina debe almacenarse seca, limpia y protegida de la intemperie en locales cerrados. Deben evitarse la condensación, la humedad directa, las grandes fluctuaciones de temperatura y las atmósferas agresivas (por ejemplo, aire con contenido de sal o de cloro).

La máquina contiene equipo eléctrico, componentes neumáticos, así como una fuente de corriente de soldadura MAG con alimentador de hilo y una aspiración de humos de soldadura con cartucho filtrante. Estos grupos constructivos son especialmente sensibles a la humedad y a la suciedad. El controlador del robot y el armario de control deben cubrirse para protegerlos del polvo; las puertas deben mantenerse cerradas. Durante el almacenamiento intermedio deben conservarse o restablecerse las cubiertas protectoras y los embalajes previstos por el fabricante. El hilo de soldadura debe almacenarse en un lugar seco y en su embalaje original.

6.1 Protección contra la corrosión

Las superficies metálicas desnudas y sin recubrimiento, en particular las superficies de sujeción de la mesa giratoria, las guías y los utillajes de sujeción, deben tratarse antes del almacenamiento con aceite anticorrosivo exento de ácidos o con cera de conservación. La protección contra la corrosión debe renovarse si el periodo de almacenamiento supera los 6 meses. La protección contra la corrosión existente en el momento de la entrega no debe retirarse sin necesidad; antes de la puesta en servicio debe retirarse de las superficies funcionales sin dejar residuos. Durante un almacenamiento prolongado, el estado de la protección contra la corrosión debe comprobarse trimestralmente y renovarse según sea necesario.

6.2 Periodo máximo de almacenamiento e inspecciones periódicas

El periodo máximo de almacenamiento admisible sin medidas especiales es de 12 meses. Durante el almacenamiento deben realizarse inspecciones trimestrales: estado de la protección contra la corrosión, sequedad y limpieza del lugar de almacenamiento, integridad de los embalajes y de las cubiertas protectoras.

Si se supera el periodo de almacenamiento de 12 meses, antes de la puesta en servicio deben realizarse: inspección visual de todos los grupos constructivos para detectar corrosión y daños; inspección o sustitución de las baterías de respaldo del controlador del robot (posible pérdida de las referencias de los ejes); medición del aislamiento del equipo eléctrico; inspección de los

componentes neumáticos para detectar juntas endurecidas; comprobación funcional de todos los dispositivos de seguridad conforme al capítulo 8 (primera puesta en servicio). En caso de duda, debe consultarse al fabricante.

7 Condiciones de emplazamiento

Lugar de instalación: en la planta de la empresa usuaria, conforme al plano de instalación RSZ-2600-LAY-001. La máquina está destinada a la instalación fija en una nave de producción seca. Este capítulo describe los requisitos relativos al espacio necesario, la cimentación, las condiciones ambientales y las conexiones de suministro que la empresa usuaria debe garantizar in situ antes de la entrega.

7.1 Espacio necesario y dimensiones

Superficie ocupada por la celda: aproximadamente 6,5 x 4,0 m; altura de 2,6 m. Alrededor de toda la celda debe preverse un espacio libre de al menos 1,0 m para el manejo, el mantenimiento y las vías de evacuación; delante de la puerta de mantenimiento, en la parte posterior, de al menos 1,2 m (radio de apertura de la puerta más espacio de trabajo). Delante de la abertura de carga debe mantenerse libre una zona de manejo y de preparación de al menos 2,0 m de profundidad para la preparación de las piezas y el flujo de material. En esta zona, la empresa usuaria proporciona una ayuda de elevación con una capacidad de carga de al menos 40 kg para piezas de más de 15 kg (por ejemplo, un equilibrador o una grúa giratoria de columna); no forma parte del alcance del suministro. Altura libre necesaria de la nave: al menos 3,2 m (trabajos de instalación y de mantenimiento en el techo de la celda). Las vías de acceso deben comprobarse antes de la entrega: unidad de transporte más grande (mesa giratoria) de aproximadamente 2,4 x 1,8 x 2,0 m y 1900 kg. Las vías de circulación y las zonas peligrosas deben marcarse conforme a la regla técnica alemana para lugares de trabajo ASR A1.8.

7.2 Cimentación / capacidad de carga

La máquina se instala sobre un suelo industrial de hormigón nivelado; no se requiere una cimentación independiente. Requisitos: clase de resistencia del hormigón de al menos C25/30, espesor de la losa del suelo de al menos 200 mm, planitud de +/- 5 mm referida a la superficie de instalación, carga superficial de al menos 10 kN/m². La base del robot y el bastidor base de la mesa giratoria se anclan al suelo con anclajes de alta resistencia (M16, profundidad de anclaje conforme a la homologación del fabricante del anclaje); el anclaje debe absorber las fuerzas dinámicas del robot (momento de vuelco en la base de hasta aproximadamente 8 kNm). El suelo no debe presentar grietas en la zona de anclaje; las distancias mínimas al borde de los anclajes deben cumplir la homologación del anclaje. Los revestimientos o recubrimientos del suelo no deben perjudicar la transmisión de fuerzas. Si las condiciones del suelo son distintas, la capacidad de carga debe ser evaluada in situ por una persona competente contratada por el cliente.

7.3 Condiciones ambientales

En el lugar de instalación deben mantenerse las siguientes condiciones ambientales: temperatura ambiente de +5 a +40 grados C; humedad relativa de hasta el 70 por ciento, sin condensación; altitud de instalación de hasta 1000 m sobre el nivel del mar; entorno interior seco, sin zona potencialmente explosiva y sin atmósfera agresiva ni con alta carga de polvo. Deben evitarse las corrientes de aire en la zona de la abertura de carga (velocidad del aire inferior a 0,5 m/s), ya que

alteran la cobertura del gas de protección del proceso de soldadura y reducen la eficacia de la aspiración de humos; las puertas de la nave y las salidas de ventilación deben disponerse en consecuencia. La zona de instalación debe tener pocas vibraciones (sin proximidad inmediata a prensas o punzonadoras con fuertes vibraciones del suelo), para que no se vean afectados la repetibilidad del robot ni el funcionamiento de los sensores de seguridad.

Entorno electromagnético: la celda está destinada a entornos industriales (inmunidad conforme a EN IEC 61000-6-2, emisión conforme a EN IEC 61000-6-4, evidencia en el informe de ensayo RSZ-2600-EMV-001). No está destinada a entornos residenciales ni a la conexión a una red pública de baja tensión que también alimente edificios residenciales. El tendido de cables, las conexiones de las pantallas de los cables y la conexión equipotencial conforme al esquema eléctrico RSZ-2600-EPL-001 solo pueden ser modificados por personal cualificado con conocimientos de CEM; los cables de corriente de soldadura y los cables de control permanecen en canaletas separadas. Tras sustituir la fuente de corriente de soldadura, el controlador del robot o componentes de seguridad, repita el ensayo funcional de las funciones de seguridad SF-01 a SF-05.

7.4 Conexiones de suministro

Para el funcionamiento de la máquina, el cliente debe proporcionar in situ las siguientes conexiones de suministro:

- Electricidad: 400 V CA, 3/N/PE, 50 Hz, sistema TN-S; potencia conectada de 32 kVA; protección por fusibles de 63 A gG aportada por el cliente in situ; cable de alimentación de 5 x 16 mm² Cu (valor orientativo, tener en cuenta el método de instalación) hasta el interruptor principal del armario de control; se requiere un campo giratorio a derechas; toma de tierra de cimentación o conexión equipotencial conforme a las disposiciones VDE.
- Aire comprimido: 6 bar (+/- 0,5 bar), exento de aceite conforme a ISO 8573-1; conexión G 1/2 en la unidad de mantenimiento; caudal mínimo de 200 Nl/min; se recomienda una válvula de corte aportada por el cliente in situ cerca de la máquina.
- Gas de protección: mezcla de gases M21 conforme a EN ISO 14175 (82 por ciento de argón, 18 por ciento de CO2) procedente de una red de distribución centralizada o de una batería de botellas; presión de flujo de 2 a 4 bar, caudal de aproximadamente 15 l/min; asegurar las botellas contra el vuelco.
- Aspiración: la aspiración de humos de soldadura funciona en recirculación; opcionalmente, el cliente puede prever in situ un conducto de aire de escape (conexión DN 250). La empresa usuaria es responsable de garantizar una ventilación adecuada de la nave conforme a la regla técnica alemana para sustancias peligrosas TRGS 528.
- Iluminación: la empresa usuaria proporciona in situ la iluminación de la nave. La iluminación del puesto de trabajo de la celda forma parte del alcance del suministro (integrada en la máquina conforme a EN 1837, 500 lx en el puesto de carga, 200 lx en el pasillo de mantenimiento, aviso de fallo en el panel HMI).

8 Montaje e instalación, primera puesta en servicio

El montaje, la instalación y la primera puesta en servicio los realiza el fabricante o personal especializado encargado por el fabricante. Este capítulo describe los requisitos y los procedimientos; sirve además a la empresa usuaria como referencia para un posterior traslado dentro de la planta, que solo puede realizarse previa consulta con el fabricante.

8.1 Seguridad

El montaje, la instalación y la primera puesta en servicio de la celda de soldadura robotizada RSZ-2600 solo pueden ser realizados por personal especializado formado con cualificación en mecánica, electrotecnia, neumática y técnica de soldadura. El fabricante del robot suministra el robot como cuasi máquina con declaración UE de incorporación conforme al anexo V, parte B, e instrucciones de montaje conforme al anexo XI; para todos los trabajos en este componente deben observarse además las correspondientes instrucciones de montaje del fabricante del robot.

Antes de iniciar cualquier trabajo mecánico o eléctrico, la máquina debe separarse de forma segura de la alimentación de energía: desconectar el interruptor principal y asegurarlo en la posición de desconexión con un candado (LOTO), cortar el aire comprimido en la válvula de aislamiento de la unidad de mantenimiento y purgarlo, comprobar la ausencia de presión en el indicador de presión residual y encargar a una persona con cualificación en electricidad la comprobación de la ausencia de tensión. Debe aplicarse el procedimiento de llave y candado de la empresa usuaria.

> **PELIGRO**
> Tensión eléctrica de 400 V en el cable de alimentación, en el armario de control y en la fuente de corriente de soldadura. El contacto con partes activas provoca la muerte o lesiones graves. Los trabajos en el equipo eléctrico solo pueden realizarlos personas con cualificación en electricidad y únicamente tras aislar, asegurar contra la reconexión y comprobar la ausencia de tensión; tras el aislamiento, espere al menos 1 minuto a que se descargue la fuente de corriente de soldadura; para los accionamientos del robot se aplica el tiempo de espera indicado por el fabricante del robot.

> **ADVERTENCIA**
> Movimientos inesperados de los ejes del robot y de la mesa giratoria al conectar por primera vez la alimentación de energía y durante el montaje. Pueden producirse lesiones graves o mortales. Antes de la conexión, asegúrese de que no haya personas en la zona de trabajo del robot ni en la zona de giro de la mesa giratoria.

Además del peligro eléctrico, deben tenerse en cuenta también el sistema neumático como sistema a presión, las sustancias peligrosas del proceso de soldadura MAG y la exposición al ruido. Antes de trabajar en el circuito de sujeción y en las garras neumáticas de sujeción de piezas, deben abrirse primero las garras, porque la válvula de retención de presión mantiene encerrada la presión de sujeción en el cilindro; a continuación, debe despresurizarse el circuito neumático y comprobarse

que el indicador de presión residual marca 0 bar. Durante los trabajos deben llevarse como mínimo: calzado de seguridad S3 conforme a EN ISO 20345, guantes de protección y casco de seguridad para los trabajos por encima de la cabeza; para las pruebas de soldadura, además, el equipo de protección para soldadura conforme al capítulo 2.6.

Antes de iniciar los trabajos deben ponerse a disposición los documentos técnicos necesarios para el montaje, en particular el plano de disposición general y el plano de vista general, los esquemas eléctricos y neumáticos y los esquemas de los circuitos de seguridad.

8.2 Montaje e instalación

La celda de soldadura robotizada RSZ-2600 se instala como conjunto de máquinas. Para la instalación debe preverse una superficie de aproximadamente 6,5 x 4,0 m con una altura de 2,6 m; deben cumplirse los requisitos relativos a la cimentación, la capacidad de carga y el entorno conforme al capítulo 7.

Secuencia de montaje:
1. Alinear la mesa giratoria en la posición indicada en el plano de instalación (comprobar la nivelación con un nivel de burbuja de precisión) y anclarla con cuatro anclajes de alta resistencia M16; par de apriete conforme a la homologación del anclaje (valor orientativo 110 Nm).
2. Posicionar la base del robot, medirla respecto a la mesa giratoria conforme al plano de instalación y anclarla con cuatro anclajes de alta resistencia M16; solo entonces soltar los seguros de transporte de los ejes del robot.
3. Instalar el armario de control con el pupitre de mando, así como la fuente de corriente de soldadura y la unidad de aspiración; montar la estación de limpieza de la antorcha en la base.
4. Montar los segmentos del vallado perimetral, los paneles de zócalo, la puerta de mantenimiento con enclavamiento/bloqueo del resguardo y la cortina fotoeléctrica conforme al plano de instalación; respetar las distancias de seguridad conforme a EN ISO 13857 y EN ISO 13855 según lo indicado en el plano.
5. Instalación eléctrica por una persona con cualificación en electricidad conforme a los esquemas de circuitos: cable de alimentación al interruptor principal, conexión equipotencial de todos los grupos constructivos, cableado de las submáquinas y de los circuitos de seguridad; comprobar la secuencia de fases (campo giratorio a derechas).
6. Conectar la neumática conforme al esquema neumático (6 bar, conexión G 1/2); realizar una prueba de estanquidad.
7. Conectar el suministro de gas de protección y purgar las líneas; conectar el sistema de aspiración y alinear la campana de captación.

Una vez realizadas todas las conexiones, debe comprobarse lo siguiente: asiento firme de todas las fijaciones y anclajes, cerramiento completo, funcionamiento de la puerta de mantenimiento con enclavamiento y bloqueo del resguardo, alineación correcta de la cortina fotoeléctrica y retirada completa de todos los seguros de transporte (capítulo 5.4).

Reducción del ruido y de las vibraciones: montar por completo los paneles de relleno del vallado, los paneles de zócalo y la cubierta del accionamiento de la mesa giratoria; forman parte de la reducción del ruido. No puentear los elementos de apoyo elásticos del accionamiento de la mesa giratoria con uniones rígidas. Durante la instalación no se requieren otras medidas contra el ruido ni contra las vibraciones.

8.3 Primera puesta en servicio

La primera puesta en servicio solo puede realizarse una vez finalizados por completo el montaje y la instalación y con todos los resguardos y dispositivos de protección correctamente montados y conectados. Antes de conectar por primera vez la alimentación de energía, debe garantizarse que no haya personas en la zona de trabajo del robot, en la zona de giro de la mesa giratoria ni dentro del vallado perimetral.

En el marco de la primera puesta en servicio, deben realizarse los ensayos relevantes para la seguridad conforme al plan de ensayos del fabricante y documentarse en el acta de recepción:

- Ensayo del conductor de protección y medición del aislamiento conforme a EN 60204-1 (informe de ensayo eléctrico)
- Eficacia del circuito de parada de emergencia en todos los dispositivos de parada de emergencia (pupitre de mando, puerta de mantenimiento, consola de programación)
- Funcionamiento de la cortina fotoeléctrica, incluidas la medición de la marcha por inercia y la verificación de la distancia de seguridad conforme a EN ISO 13855
- Funcionamiento de la puerta de mantenimiento con enclavamiento y bloqueo del resguardo, del desbloqueo de escape, del dispositivo de bloqueo para candados personales y de la función de bloqueo de rearranque
- Funcionamiento de la vigilancia de la presión en el circuito de sujeción, de la válvula de retención de presión en la línea de sujeción con su accionamiento manual y de los sensores de presencia de pieza
- Funcionamiento del dispositivo de validación, del selector de modo de funcionamiento y de la velocidad reducida segura (medición en el TCP, máximo 250 mm/s)
- Eficacia del sistema de aspiración de humos de soldadura (medición del caudal volumétrico) y funcionamiento de la vigilancia de la temperatura del cartucho filtrante, de las compuertas de cierre, de los detectores de humo y de CO y del funcionamiento posterior
- Funcionamiento del tiempo de bloqueo por enfriamiento con la luz de señalización del puesto de retirada, de la vigilancia de la temperatura en el cuello de la antorcha y de la iluminación del puesto de trabajo (500 lx en el puesto de carga, 200 lx en el pasillo de mantenimiento, aviso de fallo)
- Validación de todas las funciones de seguridad conforme a EN ISO 13849-2 (documentación en el registro de verificación de la seguridad)

A continuación se realizan marchas de prueba: primero un ciclo en vacío sin pieza en modo de reglaje y, después, ciclos automáticos con pieza y evaluación de los resultados de soldadura. Los programas de soldadura utilizados deben estar aprobados; debe respetarse el uso previsto conforme al capítulo 2.1.

Los resultados de la primera puesta en servicio deben documentarse en los informes de ensayo y en las actas de recepción. La máquina solo se entrega a la empresa usuaria y el funcionamiento de producción solo se inicia tras la superación de todos los ensayos de las funciones de seguridad, la recepción documentada y la instrucción del personal de manejo.

9 Manejo

Este capítulo está dirigido al operador y al personal de reglaje de la celda de soldadura robotizada RSZ-2600. Una instrucción inicial documentada y el conocimiento del capítulo 2 (Seguridad) son requisitos previos para todas las actividades. El operador trabaja exclusivamente en el puesto de carga y en el pupitre de mando; las actividades dentro de la celda están reservadas al personal de reglaje y de mantenimiento. Durante todos los trabajos debe llevarse el equipo de protección individual prescrito conforme al capítulo 2.6.

9.1 Seguridad

Para el manejo se aplican las siguientes normas de seguridad:

- La máquina solo puede manejarse con todos los resguardos completamente montados y operativos. Antes del inicio de cada turno deben realizarse las comprobaciones diarias conforme al capítulo 9.4.
- No introduzca nunca las manos en la zona de trabajo del robot, no eluda los resguardos ni manipule la cortina fotoeléctrica. Nadie puede permanecer en la zona de giro de la mesa giratoria mientras esta gira. Los guantes de protección no protegen contra el aplastamiento; introduzca las manos en la zona de giro solo cuando la mesa giratoria esté detenida.
- Las piezas solo deben colocarse y retirarse con la estación frontal parada. Retire las piezas soldadas solo una vez transcurrido el tiempo de bloqueo por enfriamiento (luz de señalización roja del puesto de retirada apagada) y manipúlelas solo con guantes de protección térmica; en la zona del cordón de soldadura alcanzan varios cientos de °C tras la soldadura.
- Manipule a mano las piezas de hasta 15 kg y las piezas de más de 15 kg solo con la ayuda de elevación suministrada por la empresa usuaria en el puesto de carga (por ejemplo, un equilibrador o un sistema de grúa, capacidad de carga de al menos 40 kg); la masa máxima por pieza es de 40 kg.
- No mire directamente al arco, tampoco a través de reflejos; la cortina de soldadura, los paneles de relleno del vallado perimetral y las ventanas de observación deben estar sin daños.
- El funcionamiento solo está permitido con la aspiración de humos de soldadura en funcionamiento eficaz. Si se produce un fallo en la aspiración, la celda se detiene de forma controlada; no puede volver a ponerse en marcha hasta que se haya eliminado el fallo.
- Las averías, los daños y los ruidos inusuales deben comunicarse de inmediato; en caso de deficiencias relevantes para la seguridad, la máquina debe detenerse y asegurarse contra el rearranque.
- En la zona de la abertura de carga solo debe permanecer el operador; las demás personas deben mantener libre la zona de manejo marcada.

> **ADVERTENCIA**
> Piezas y utillajes de sujeción calientes tras la soldadura (varios cientos de °C en la zona del cordón de soldadura). Pueden producirse quemaduras graves en las manos y los antebrazos. Retire las piezas solo una vez transcurrido el tiempo de bloqueo por enfriamiento y solo con guantes de protección térmica, y no las toque con la piel desprotegida.

El tiempo de bloqueo por enfriamiento está almacenado para cada programa de soldadura. Mientras transcurre, la retirada permanece bloqueada y la luz de señalización roja del puesto de retirada está encendida.

9.2 Elementos de mando e indicadores

Interruptor principal (en el armario de control): desconecta todos los polos de la instalación completa; puede bloquearse en la posición de desconexión para el mantenimiento y la reparación.

Pupitre de mando junto a la abertura de carga:

- Panel HMI: selección de programa, contador de piezas, indicación del estado de funcionamiento y de los mensajes de fallo en texto claro, indicación de los intervalos de mantenimiento.
- Pulsador de inicio de ciclo (verde): inicia el ciclo automático cuando el campo de protección está libre y no hay ningún fallo pendiente.
- Pulsador de confirmación/rearme (azul, iluminado): confirmación tras la actuación de un resguardo, tras desenclavar el dispositivo de parada de emergencia y tras la eliminación de un fallo; parpadea cuando se requiere una confirmación.
- Dispositivo de parada de emergencia (rojo sobre fondo amarillo): detiene la instalación completa en situaciones peligrosas.
- Selector de modo de funcionamiento (interruptor de llave): posiciones Automático y Reglaje; la llave permanece en poder de la persona autorizada.
- Interruptor de llave de mantenimiento remoto (posiciones Desconectado y Habilitado): habilita una sesión de mantenimiento remoto por parte del fabricante (véase el capítulo 13.3); la llave permanece en poder de la persona responsable de la empresa usuaria.

Columna de señalización en el techo de la celda: verde = funcionamiento automático en curso; amarillo = instalación en espera (fin de ciclo, falta de material, confirmación requerida); rojo = fallo o parada de emergencia; además, un aviso acústico de arranque antes de cada arranque automático.

Consola de programación (solo personal de reglaje): unidad portátil del controlador del robot con pantalla, teclas de desplazamiento manual, dispositivo de validación de tres posiciones y parada de emergencia propia.

Otros indicadores: manómetro de la unidad de mantenimiento (aire comprimido), indicador de presión residual en el acceso de mantenimiento, indicador de caudal del gas de protección en la fuente de corriente de soldadura, indicador de presión diferencial del cartucho filtrante en la unidad de aspiración; luz de señalización roja en el puesto de retirada (encendida durante el tiempo de bloqueo por enfriamiento); en el panel HMI, la indicación de liberación para el cambio y la limpieza

de la antorcha (vigilancia de la temperatura en el cuello de la antorcha) y los avisos de fallo de la iluminación del puesto de trabajo y de sobretemperatura o alarma de incendio de la unidad de aspiración.

9.3 Modos de funcionamiento

La máquina dispone de los modos de funcionamiento Automático y Reglaje. Se seleccionan con el selector de modo de funcionamiento:

Modo automático (selector en posición Automático): funcionamiento normal para la producción en serie. Todos los resguardos están activos; la puerta de mantenimiento está bloqueada; el acceso se realiza exclusivamente a través de la abertura de carga vigilada por la cortina fotoeléctrica. El ciclo se desarrolla automáticamente tras la habilitación mediante el pulsador de inicio de ciclo.

Modo de reglaje (selector en posición Reglaje, interruptor de llave): modo de funcionamiento para el aprendizaje, la prueba de programas y la localización de averías por parte de personal de reglaje formado. Los movimientos del robot y de la mesa giratoria solo son posibles con el dispositivo de validación de tres posiciones de la consola de programación accionado y a velocidad reducida segura (máximo 250 mm/s en el TCP). Con la puerta de mantenimiento abierta, la fuente de corriente de soldadura está desconectada de forma segura (SF-01); en ese caso, el hilo solo puede hacerse avanzar en modo de avance por impulsos a velocidad de enhebrado reducida. La llave permanece en poder de la persona autorizada; tras finalizar los trabajos, es obligatorio volver a conmutar a la posición Automático.

> **ADVERTENCIA**
> Movimientos del robot y de la mesa giratoria mientras hay personas dentro de la celda en modo de reglaje. Pueden producirse aplastamientos e impactos con lesiones graves. Entre en la celda solo con la consola de programación en la mano, asegure la puerta de mantenimiento contra el cierre con su candado personal en el dispositivo de bloqueo y no accione el dispositivo de validación hasta que no haya ninguna otra persona en la zona de movimiento.

Mantenimiento (no es un modo de funcionamiento): los trabajos de mantenimiento mecánicos, eléctricos y neumáticos se realizan con la máquina aislada y asegurada contra el rearranque (interruptor principal bloqueado, aire comprimido purgado); véase el capítulo 10.

Las demás fases de la vida, es decir, el transporte y la instalación (capítulos 5 y 8), la limpieza (capítulo 10.2) y la localización de averías (capítulo 10.4), así como la puesta fuera de servicio y el desmontaje (capítulo 11), se describen en los respectivos capítulos indicados. Los trabajos de limpieza deben realizarse siempre con la máquina parada y aislada.

9.4 Puesta en marcha y reglaje

Puesta en marcha diaria (respetar la secuencia):
1. Inspección visual: vallado perimetral con paneles de relleno y ventanas de observación, cortina de soldadura, cortina fotoeléctrica y puerta de mantenimiento sin daños; ninguna persona ni objeto extraño en la celda; zona de manejo libre; iluminación del puesto de trabajo en funcionamiento

(ningún aviso de fallo en el panel HMI); plataforma de pie ajustada a la propia estatura.
2. Abrir los suministros de fluidos: abrir la válvula de aislamiento del aire comprimido (6 bar en la unidad de mantenimiento), abrir el suministro de gas de protección (caudal de aproximadamente 15 l/min), comprobar la reserva de hilo.
3. Conectar el interruptor principal; esperar a que el sistema de control complete su secuencia de arranque.
4. Comprobación funcional de la cortina fotoeléctrica con la varilla de ensayo (la interrupción de cada zona de haces debe generar un aviso); una vez por semana, además, comprobación funcional de un dispositivo de parada de emergencia (cada vez uno distinto, véase el capítulo 10.2).
5. Comprobar que la aspiración está lista para funcionar (ningún mensaje de fallo en el HMI, indicador de presión diferencial en la zona verde); la aspiración arranca controlada por el proceso.
6. Seleccionar el programa de soldadura en el HMI, confirmar los mensajes de fallo y habilitar la instalación mediante el inicio de ciclo.

Reglaje y cambio de producto (solo personal de reglaje): cambio de programa en el HMI; sustitución de los utillajes de sujeción específicos de la pieza solo con la instalación parada y el circuito de sujeción despresurizado (abrir primero las garras, después cortar y purgar el aire comprimido, véase el capítulo 10.4); utilizar solo utillajes de sujeción aprobados por el fabricante conforme al capítulo 3.1; tras cada reglaje, realizar una inspección de la primera pieza y documentar la liberación. Sustituir las piezas de desgaste de la antorcha (tubo de contacto, tobera de gas) según la vida útil especificada.

Aprendizaje de programas nuevos (solo personal de reglaje): exclusivamente en modo de reglaje con el dispositivo de validación y a velocidad reducida; los programas nuevos deben verificarse primero en modo de reglaje a velocidad reducida y, a continuación, en un ciclo automático sin pieza; la liberación debe documentarse.

9.5 Desconexión

Desconexión en funcionamiento normal (fin de turno):
1. Dejar que finalice el ciclo en curso; no interrumpirlo en mitad del proceso de soldadura.
2. Retirar la pieza terminada; llevar la instalación a la posición inicial mediante el HMI.
3. Dejar que la aspiración siga funcionando (funcionamiento posterior automático de al menos 10 minutos, requisito de protección contra incendios de la evaluación del riesgo); a continuación, realizar una comprobación visual de la carcasa del filtro para detectar un calentamiento inusual u olor a quemado.
4. Cerrar el suministro de gas de protección; en paradas prolongadas, cerrar la válvula de aislamiento del aire comprimido.
5. Desconectar el interruptor principal. En paradas de fin de semana o paradas de la planta, bloquear además el interruptor principal.

Desconexión de emergencia: accionar el dispositivo de parada de emergencia. Todas las submáquinas se detienen de forma controlada (categoría de parada 1); la columna de señalización cambia a rojo.

Rearranque tras una parada de emergencia:
1. Determinar y eliminar la causa de la situación peligrosa; asegurarse de que no haya personas dentro de la celda.
2. Desenclavar el dispositivo de parada de emergencia accionado (girándolo o tirando de él).
3. Confirmar en el pupitre de mando; a continuación, activar el inicio de ciclo. Una pieza cuyo proceso de soldadura se haya interrumpido debe marcarse como pieza de retrabajo e inspeccionarse.

Comportamiento tras un corte de corriente: tras el restablecimiento de la alimentación, la instalación permanece parada gracias al bloqueo de rearranque. Antes de confirmar, debe comprobarse el estado de la instalación (posición de la pieza, posición de la antorcha, presión de sujeción); a continuación, confirmar y volver a arrancar como tras una parada de emergencia. Si la antorcha ha quedado atrapada o ha colisionado, avisar al personal de reglaje. El rescate de una persona atrapada se describe en el capítulo 2.6.

Actuación en caso de fallo del aire comprimido: la válvula de retención de presión mantiene sujetas las piezas; el presostato bloquea el movimiento de giro de la mesa giratoria y la máquina se detiene de forma controlada. Detenga la máquina, restablezca el suministro de aire comprimido (6 bar en la unidad de mantenimiento) y retire la pieza solo cuando se haya vuelto a confirmar la presión de sujeción. A continuación, confirme y vuelva a arrancar como tras una parada de emergencia.

> **ADVERTENCIA**
> Incendio en la carcasa del filtro de la unidad de aspiración causado por chispas y partículas incandescentes, posiblemente con retardo tras el fin del turno. Pueden producirse quemaduras graves e intoxicación por humo. No abra la carcasa del filtro en caso de alarma de incendio, abandone la zona y avise a los bomberos.

Incendio en la unidad de aspiración: si reacciona la vigilancia de la temperatura del cartucho filtrante o un detector de humo o de CO, el sistema de control desconecta el ventilador de aspiración, cierra las compuertas de cierre motorizadas y detiene la celda de forma controlada. Abandone la zona inmediatamente, avise a los bomberos e informe a su superior. No abra la carcasa del filtro, porque el aire entrante puede avivar los materiales en combustión lenta hasta producir llamas; el agente extintor solo lo introducen los bomberos a través de la abertura cerrable de entrada de agente extintor de la carcasa del filtro. El rearranque solo está permitido una vez eliminado el fallo y con la autorización del departamento de mantenimiento. La unidad de aspiración no debe funcionar con un sensor de temperatura defectuoso ni con una compuerta de cierre ineficaz.

10 Mantenimiento

Este capítulo está dirigido al personal especializado de mantenimiento responsable del mantenimiento de la celda de soldadura robotizada RSZ-2600. Los trabajos de mantenimiento deben realizarse con la máquina parada. Antes de realizar trabajos mecánicos, eléctricos y neumáticos, la máquina debe aislarse mediante el interruptor principal, que puede bloquearse en la posición de desconexión, y asegurarse contra el rearranque; la alimentación neumática debe despresurizarse. Antes de trabajar en las garras, deben abrirse primero las garras, porque la válvula de retención de presión mantiene encerrada la presión de sujeción en el cilindro; a continuación, debe cortarse y purgarse el aire comprimido y comprobarse que el indicador de presión residual marca 0 bar. Si una garra no puede abrirse, la presión debe liberarse de forma controlada mediante el accionamiento manual de la válvula de retención de presión (para el procedimiento, véase el capítulo 10.4). Las comprobaciones funcionales de los dispositivos de protección conforme al capítulo 10.2 se realizan con la máquina conectada, desde el exterior de la celda. Observe además la documentación del fabricante de los componentes adquiridos, en particular las instrucciones de montaje del fabricante del robot, así como la documentación de la fuente de corriente de soldadura MAG, de la alimentación de hilo, de la estación de limpieza de la antorcha y del sistema de aspiración de humos de soldadura.

> **PELIGRO**
> Tensión eléctrica de 400 V en el armario de control y en la fuente de corriente de soldadura. El contacto con partes activas provoca la muerte o lesiones graves. Los trabajos en el equipo eléctrico solo pueden realizarlos personas con cualificación en electricidad; previamente, desconecte y bloquee el interruptor principal, espere al menos 1 minuto a que se descargue la fuente de corriente de soldadura (accionamientos del robot: tiempo de espera indicado por el fabricante del robot) y compruebe la ausencia de tensión.

10.1 Registro de mantenimiento

Todos los trabajos de inspección, mantenimiento y reparación realizados deben documentarse de forma trazable. El registro de mantenimiento sirve como prueba del mantenimiento adecuado de la celda de soldadura robotizada RSZ-2600 y debe conservarse durante toda la vida útil de la máquina. Para cada intervención deben anotarse en el registro de mantenimiento, como mínimo, los siguientes datos: fecha, trabajos realizados, piezas de repuesto y consumibles utilizados, nombre del personal especializado que realiza el trabajo e irregularidades detectadas. Las inspecciones relevantes para la seguridad de los resguardos y dispositivos de protección, como la cortina fotoeléctrica, la puerta de mantenimiento con bloqueo del resguardo y el circuito de parada de emergencia, deben anotarse por separado. Con la máquina se suministra un formulario para el registro de mantenimiento (RSZ-2600-WNW-001) (véase el capítulo 12); como alternativa, puede utilizarse un sistema interno equivalente (por ejemplo, un software de mantenimiento). El registro de mantenimiento debe conservarse al menos hasta la puesta fuera de servicio de la máquina; la responsabilidad de ello recae en la empresa usuaria.

10.2 Plan de inspección y mantenimiento

El plan de inspección y mantenimiento establece qué tareas deben realizarse en la máquina y con qué intervalos. Para los componentes adquiridos se aplican además los requisitos de mantenimiento de la documentación del fabricante correspondiente.

Diariamente (operador): inspección visual de los resguardos y dispositivos de protección; comprobación funcional de la cortina fotoeléctrica con la varilla de ensayo; comprobación del rendimiento de aspiración (indicador de presión diferencial), del caudal del gas de protección y de la presión del aire comprimido; comprobar si las toberas de la antorcha presentan adherencias de proyecciones; comprobar que las mangueras del gas de protección, los cables de soldadura y de masa y la pinza de masa no presentan daños y están bien fijados; comprobar que la iluminación del puesto de trabajo funciona; limpiar la zona de trabajo y retirar las proyecciones del suelo en el puesto de carga.

Semanalmente (operador/personal de reglaje): comprobación funcional de la parada de emergencia (alternando entre los distintos dispositivos de parada de emergencia); comprobar el tubo de contacto y la tobera de gas de la antorcha y sustituirlos si están desgastados; limpiar los rodillos de alimentación de hilo y la guía de hilo; purgar el condensado de la unidad de mantenimiento; comprobar que la cortina de soldadura, los paneles de relleno del vallado perimetral y las ventanas de observación no presentan daños.

Mensualmente (personal de reglaje/mantenimiento): limpiar la estación de limpieza de la antorcha y rellenar el agente de pulverización; comprobar la estanquidad de los racores y las mangueras neumáticos; inspeccionar el cartucho filtrante de la aspiración y sustituirlo si la presión diferencial se encuentra en la zona roja; comprobación funcional del bloqueo del resguardo, del desbloqueo de escape y del dispositivo de bloqueo de la puerta de mantenimiento; comprobar si los cables del robot y el paquete de mangueras presentan puntos de rozamiento; vaciar el separador previo de chispas de la unidad de aspiración (tratar el polvo del mismo modo que al sustituir el cartucho filtrante); comprobar el nivel de refrigerante de la unidad de refrigeración y, en caso necesario, rellenar con el refrigerante especificado por el fabricante de la antorcha.

Semestralmente (mantenimiento): comprobación funcional documentada de todas las funciones de seguridad (SF-01 a SF-05) conforme al plan de ensayos adjunto de las funciones de seguridad (RSZ-2600-PPS-001, véase el capítulo 12); comprobar el anclaje de la base del robot y de la mesa giratoria (pares de apriete); inspección visual del equipo eléctrico; inspección visual de las conexiones de pantalla y de la conexión equipotencial; medición del aislamiento del circuito de soldadura por una persona con cualificación en electricidad; comprobación funcional del sensor de temperatura y de las compuertas de cierre, así como de los detectores de humo y de CO de la unidad de aspiración.

Anualmente (fabricante): revisión general conforme al contrato de mantenimiento, incluido el mantenimiento del robot según las especificaciones del fabricante (lubricación de los reductores, baterías del controlador del robot), comprobación de la calibración del robot, inspección del

enclavamiento y del bloqueo del resguardo conforme a EN ISO 14119, nuevo cálculo o inspección de la distancia de seguridad de la cortina fotoeléctrica conforme a EN ISO 13855, inspección de la fuente de corriente de soldadura conforme a EN 60974-4.

> **ADVERTENCIA**
> Polvo de humos de soldadura al sustituir el cartucho filtrante. Su inhalación puede causar daños permanentes en las vías respiratorias. Lleve una mascarilla autofiltrante contra partículas FFP3 conforme a EN 149, gafas de protección y guantes desechables; no levante polvo.

Sustitución del cartucho filtrante (mantenimiento): esperar a que finalice el funcionamiento posterior de la aspiración y, a continuación, aislar la máquina; mediante el sistema de cambio bag-in/bag-out de la carcasa del filtro, retirar el cartucho saturado introduciéndolo en la bolsa de cambio y cerrar la bolsa herméticamente de inmediato; limpiar la carcasa del filtro con un aspirador industrial de clase de polvo H conforme a EN 60335-2-69, sin soplarla ni barrerla; montar un cartucho nuevo de la clase de humos de soldadura W3 y comprobar que la junta asienta correctamente; tras volver a conectar, comprobar el indicador de presión diferencial; eliminación conforme al capítulo 11.3.

Limpieza de la celda (personal de reglaje/mantenimiento): solo con la máquina aislada y asegurada contra el rearranque; retirar las proyecciones por medios mecánicos; recoger el polvo con un aspirador industrial de clase de polvo H, sin soplarlo con aire comprimido ni barrerlo; no utilizar productos de limpieza inflamables; limpiar las ventanas de observación y los cristales frontales de la cortina fotoeléctrica con un paño suave; tras la limpieza, realizar la comprobación funcional de la cortina fotoeléctrica.

Además, se aplican las obligaciones legales de inspección de la empresa usuaria conforme al Reglamento alemán de seguridad de los equipos de trabajo (BetrSichV) y a la DGUV Vorschrift 3 (reglamento alemán del seguro de accidentes sobre instalaciones y equipos eléctricos) (inspección periódica del equipo eléctrico). Los componentes dañados o desgastados de los resguardos y dispositivos de protección deben repararse o sustituirse antes de volver a poner la máquina en servicio.

10.3 Plan de lubricación

El plan de lubricación establece qué puntos de lubricación de la máquina deben abastecerse, con qué intervalos y con qué lubricantes:

- Reductores del robot (ejes 1 a 6): lubricación exclusivamente en el marco del servicio anual del fabricante conforme a las especificaciones del fabricante del robot (grasa para reductores según la documentación del robot).
- Corona de giro y rodamiento de la mesa giratoria: lubricar semestralmente con grasa multiuso KP2K-30 conforme a DIN 51502 (2 engrasadores en el bastidor base, aproximadamente 10 g cada uno).
- Guías y articulaciones de las garras neumáticas de sujeción de piezas: aplicar mensualmente una capa fina de aceite para máquinas exento de ácidos; no utilizar cantidades excesivas

(adherencias de proyecciones).

- Bisagras y enclavamiento de la puerta de mantenimiento: lubricar semestralmente con grasa multiuso.
- Estación de limpieza de la antorcha: rellenar mensualmente el depósito del agente de pulverización (agente antiproyecciones sin silicona).

Los componentes neumáticos están diseñados para aire exento de aceite y no deben lubricarse con aceite. Utilice únicamente los lubricantes especificados o lubricantes equivalentes autorizados por el fabricante. Los consumibles y lubricantes usados deben eliminarse de forma adecuada y respetuosa con el medio ambiente conforme al capítulo 11.3. Para todos los trabajos de lubricación, la máquina debe estar aislada; lleve guantes de protección adecuados.

10.4 Localización de averías

Diagnóstico: los mensajes de fallo se leen desde el exterior de la celda, con la máquina conectada, en el panel HMI, en la columna de señalización y en los indicadores. Las intervenciones dentro de la celda con la máquina conectada (por ejemplo, desplazar el robot para liberarlo o comprobar la trayectoria del programa) solo están permitidas al personal de reglaje en modo de reglaje con el dispositivo de validación y a velocidad reducida segura. El acceso se realiza exclusivamente a través de la puerta de mantenimiento; cada persona que entra asegura la puerta con su candado personal en el dispositivo de bloqueo. Los trabajos mecánicos, eléctricos y neumáticos solo comienzan tras el aislamiento: para trabajos en las garras, retirar primero la pieza y abrir las garras; desconectar y bloquear el interruptor principal (LOTO); cortar el aire comprimido en la válvula de corte de mantenimiento, esperar a que finalice la purga, comprobar que el indicador de presión residual marca 0 bar y asegurar la válvula con un candado; esperar al menos 1 minuto a que se descargue la fuente de corriente de soldadura; para los accionamientos del robot se aplica el tiempo de espera indicado por el fabricante del robot.

> **ADVERTENCIA**
> Puesta en marcha inesperada del robot y de la mesa giratoria y aire comprimido almacenado en el circuito de sujeción durante la localización de averías. Pueden producirse aplastamientos con lesiones graves. Antes de entrar en la celda, detenga la máquina y asegure la puerta de mantenimiento con su candado personal. Antes de trabajar en las garras, abra primero las garras, porque la válvula de retención de presión mantiene encerrada la presión de sujeción en el cilindro. A continuación, corte y purgue el aire comprimido y compruebe que el indicador de presión residual marca 0 bar. Si una garra no puede abrirse, libere la presión de forma controlada mediante el accionamiento manual de la válvula de retención de presión.

Fallo	Causa posible	Solución
La instalación no arranca en modo automático	Circuito de seguridad abierto (puerta de mantenimiento, cortina fotoeléctrica), parada de emergencia accionada	Cerrar la puerta de mantenimiento, despejar la cortina fotoeléctrica, desenclavar el dispositivo de parada de emergencia, confirmar en el pupitre de mando
La cortina fotoeléctrica se activa sin motivo aparente	Suciedad o desalineación de la óptica	Limpiar los cristales frontales del emisor y del receptor, comprobar la alineación (indicador de alineación) y, a continuación, realizar la comprobación funcional
La mesa giratoria no gira	Presión de sujeción inferior al valor de consigna, el sensor de presencia de pieza no responde, campo de protección ocupado	Comprobar el suministro de aire comprimido (6,0 bar), comprobar la sujeción de la pieza, despejar la zona de giro
Fallo del aire comprimido (la presión de sujeción desciende, mensaje de fallo en el panel HMI)	Fallo del suministro de aire comprimido in situ, válvula de corte cerrada, fuga en el circuito de sujeción	Detener la máquina; la válvula de retención de presión mantiene sujetas las piezas. Restablecer el suministro de aire comprimido (6,0 bar), comprobar si hay fugas, retirar la pieza solo una vez confirmada la presión de sujeción y, a continuación, confirmar en el pupitre de mando
El bloqueo del resguardo de la puerta de mantenimiento no se libera	El robot o la mesa giratoria aún no han alcanzado la parada segura, el arco aún no se ha extinguido	Esperar a que se complete la parada (indicación en el pupitre de mando) y, a continuación, volver a solicitar la liberación
Cordón de soldadura defectuoso (proyecciones, porosidad)	Alimentación de hilo alterada, gas de protección insuficiente, tobera de la antorcha desgastada	Comprobar la alimentación de hilo y el caudal de gas, sustituir la tobera/el tubo de contacto, comprobar los parámetros de soldadura
Aspiración insuficiente / mensaje de fallo	Cartucho filtrante saturado, campana de captación desplazada	Sustituir el cartucho filtrante (clase de humos de soldadura W3, procedimiento conforme al capítulo 10.2, eliminación como residuo peligroso conforme al capítulo 11.3), corregir la posición de la campana
El robot se detiene con un mensaje de colisión	Se ha activado el embrague de protección contra colisiones de la antorcha o la detección de	Eliminar la causa en la zona de trabajo, comprobar si la antorcha y el embrague de protección contra

Fallo	Causa posible	Solución
	colisiones del robot (vigilancia del par/de la corriente)	colisiones presentan daños, comprobar la trayectoria del programa, confirmar el mensaje en la consola de programación
La retirada permanece bloqueada, la luz de señalización roja del puesto de retirada está encendida	Está transcurriendo el tiempo de bloqueo por enfriamiento del programa de soldadura	Esperar a que transcurra el tiempo de bloqueo por enfriamiento; no puentear el tiempo de bloqueo
Mensaje de fallo de la refrigeración de la antorcha o ausencia de liberación para el cambio de la antorcha	Nivel de refrigerante demasiado bajo, unidad de refrigeración defectuosa, cuello de la antorcha todavía demasiado caliente	Comprobar el nivel de refrigerante y rellenar, comprobar la unidad de refrigeración y el paquete de mangueras; sustituir la antorcha solo tras la indicación de liberación en el panel HMI
Sobretemperatura o alarma de incendio de la unidad de aspiración	Partículas incandescentes en el filtro; ha reaccionado el sensor de temperatura, el detector de humo o el detector de CO	Proceder conforme al capítulo 9.5 (Incendio en la unidad de aspiración); no abrir la carcasa del filtro
Mensaje: fallo de la iluminación del puesto de trabajo	Luminaria defectuosa	Interrumpir el trabajo en la zona afectada, hacer reparar la luminaria por una persona con cualificación en electricidad

Si un fallo no puede eliminarse con estas medidas, debe contactarse con el fabricante (para los datos de contacto, véase el capítulo 12.1). No están permitidas las intervenciones no autorizadas en las funciones de seguridad.

11 Desmontaje y eliminación

Este capítulo describe los principios para la puesta fuera de servicio definitiva, el desmontaje y la eliminación respetuosa con el medio ambiente de la celda de soldadura robotizada RSZ-2600. El desmontaje es una fase de la vida independiente de la máquina y solo puede ser realizado por personal cualificado y formado. Observe también la información contenida en los documentos técnicos asociados, en particular el plano de disposición general y el plano de vista general, así como los esquemas eléctricos y neumáticos.

11.1 Indicaciones de seguridad para el desmontaje

> **ADVERTENCIA**
> Energía almacenada (energía eléctrica, aire comprimido, masas en movimiento), así como sustancias peligrosas y residuos del proceso de soldadura. Pueden producirse lesiones graves o mortales. Antes del desmontaje, aísle la máquina, espere a que transcurra el tiempo de descarga, purgue el sistema neumático y bloquee en su posición los grupos constructivos móviles.

Antes de iniciar los trabajos de desmontaje, la máquina debe detenerse de forma segura y desconectarse de la alimentación de energía en todos los polos: desconectar el interruptor principal y asegurarlo con un candado en la posición de desconexión; encargar a una persona con cualificación en electricidad que aísle el cable de alimentación, lo asegure contra la reconexión, compruebe la ausencia de tensión, lo ponga a tierra y en cortocircuito y cubra las partes activas adyacentes (las cinco reglas de seguridad de EN 50110-1). Esperar al menos 1 minuto antes de abrir la fuente de corriente de soldadura y el armario de control (tiempo de descarga medido de la fuente de corriente de soldadura: 1,9 s hasta ≤ 60 V; el tiempo de espera incluye un margen de seguridad); para los accionamientos del robot se aplica el tiempo de espera indicado por el fabricante del robot.

El sistema neumático debe despresurizarse: abrir las garras de sujeción de piezas antes de aislar la máquina, porque la válvula de retención de presión mantiene encerrada la presión de sujeción en el cilindro; a continuación, cerrar la válvula de corte de mantenimiento, purgar el sistema mediante su posición de escape y comprobar en el indicador de presión residual que se ha eliminado la presión. Si una garra no puede abrirse, liberar la presión encerrada de forma controlada mediante el accionamiento manual de la válvula de retención de presión.

Los grupos constructivos móviles con posible energía potencial almacenada deben asegurarse contra movimientos involuntarios antes de soltar las fijaciones: llevar el robot a la posición de transporte y bloquearlo con el seguro de transporte guardado; bloquear la mesa giratoria con el pasador de bloqueo del eje de giro.

Para la manipulación y la retirada de grupos constructivos pesados, utilice equipos de elevación y de transporte adecuados, así como equipo de protección individual. Masas y puntos de elevación de los grupos constructivos: véanse los capítulos 5.2 y 5.3.

11.2 Secuencia de desmontaje

El desmontaje se realiza en el orden inverso al del montaje (capítulo 8.2):
1. Desconectar los suministros: gas de protección, aire comprimido y conexión de aspiración; vaciar y marcar las líneas.
2. Encargar a una persona con cualificación en electricidad que desconecte y marque las conexiones eléctricas; desconectar el cable de alimentación.
3. Desmontar la cortina fotoeléctrica, la puerta de mantenimiento y los segmentos del vallado perimetral.
4. Retirar la fuente de corriente de soldadura con la unidad de refrigeración, la unidad de alimentación de hilo, la estación de limpieza de la antorcha y la unidad de aspiración.
5. Bloquear el robot en la posición de transporte, soltar el anclaje y elevar el robot con su base.
6. Bloquear la mesa giratoria, soltar el anclaje y elevar la mesa giratoria; por último, retirar el armario de control y el pupitre de mando.
Los pares de apriete y de aflojamiento de las uniones figuran en el plano de disposición general y en los documentos de montaje. Para el almacenamiento intermedio o el transporte posterior se aplican los capítulos 5 y 6.

11.3 Separación y eliminación de los fluidos de servicio

Antes de la separación de materiales, todos los materiales de servicio y auxiliares deben vaciarse, recogerse y separarse de forma adecuada. Deben tenerse en cuenta en particular: las grasas lubricantes de la corona de giro de la mesa giratoria y de los reductores del robot; el agente antiproyecciones de la estación de limpieza de la antorcha; el refrigerante de la unidad de refrigeración y del paquete de mangueras de la antorcha de soldadura refrigerada por agua (recogerlo y eliminarlo conforme a la ficha de datos de seguridad, no verterlo a la red de alcantarillado); los restos de hilo de soldadura; el cartucho filtrante de la unidad de aspiración de humos de soldadura, así como los polvos de humos de soldadura depositados en la carcasa, en el separador previo de chispas y en las tuberías.

> **ADVERTENCIA**
> Polvo de humos de soldadura en el cartucho filtrante y en los depósitos de polvo de la unidad de aspiración. Su inhalación puede causar daños permanentes en las vías respiratorias. Al manipular el cartucho filtrante, lleve una mascarilla autofiltrante contra partículas FFP3 conforme a EN 149 y guantes desechables, y no levante polvo. Elimine el cartucho filtrante y los depósitos de polvo en un embalaje estanco al polvo como residuo peligroso (código 15 02 02* de la Lista Europea de Residuos; en Alemania, AVV 15 02 02*: materiales de filtración contaminados por sustancias peligrosas, o según la clasificación de la empresa de gestión de residuos).

Los fluidos de servicio, los residuos de filtros y los componentes contaminados con sustancias peligrosas no deben llegar a la basura doméstica ni al medio ambiente. Recoja estos materiales por separado y elimínelos a través de una instalación de eliminación autorizada. Son aplicables las

fichas de datos de seguridad de las sustancias utilizadas y los requisitos de la empresa de gestión de residuos autorizada competente en la región.

11.4 Separación de materiales y reciclaje

Tras retirar los fluidos de servicio, deben desmontarse los grupos constructivos y separarse los materiales por tipos:

- Acero y fundición (vallado perimetral con paneles de relleno, bastidores, mesa giratoria, base): valorización como chatarra
- Metales no férricos (cables de cobre, cables de soldadura, tubos de contacto): recogida selectiva
- Aparatos eléctricos y electrónicos (sistemas de control, accionamientos, HMI, sensores, fuente de corriente de soldadura): recogida selectiva y eliminación como residuos de aparatos eléctricos y electrónicos a través de instalaciones autorizadas de recogida y valorización
- Pilas y acumuladores (baterías de respaldo del controlador del robot): sistema de recogida de pilas y baterías
- Plásticos (cubiertas, mangueras, cortina): valorización material o energética
- Material de embalaje y de aislamiento: canales locales de valorización

Durante el desmontaje y la eliminación, observe los requisitos legales y reglamentarios aplicables en el lugar de instalación. En caso de duda, los materiales y los fluidos de servicio deben eliminarse a través de una empresa de gestión de residuos autorizada; la eliminación debe documentarse.

12 Planos y otra información

Con la máquina se suministran los siguientes documentos:

- Plano de instalación (RSZ-2600-LAY-001)
- Esquemas de circuitos del equipo eléctrico (RSZ-2600-EPL-001)
- Esquema neumático (RSZ-2600-PPL-001)
- Lista de piezas de repuesto (RSZ-2600-ET-001)
- Plan de ensayos de las funciones de seguridad SF-01 a SF-05 (RSZ-2600-PPS-001)
- Formulario de registro de mantenimiento (RSZ-2600-WNW-001)
- Declaración UE de conformidad

En la entrega, la empresa usuaria recibe el acta de recepción de la primera puesta en servicio, con las versiones de referencia y las sumas de verificación del software relevante para la seguridad (programa del PLC de seguridad, configuración de seguridad del controlador del robot, parametrización de la cortina fotoeléctrica; véase el capítulo 13.2).

12.1 Planos y piezas de repuesto

El plano de instalación (RSZ-2600-LAY-001) se suministra con la máquina. El fabricante facilita, previa solicitud, el plano de disposición general y los planos de conjunto (juego de planos RSZ-2600-ZG-001 y siguientes) para el mantenimiento y para el pedido de piezas de repuesto.

Piezas de repuesto y de desgaste: solo pueden utilizarse piezas de repuesto originales o piezas equivalentes autorizadas por el fabricante. Principales piezas de desgaste: tubos de contacto y tobera de gas de la antorcha de soldadura, rodillos de alimentación de hilo, sirga de guía del hilo, cortina de soldadura, cartucho filtrante de la aspiración, cepillos del panel de zócalo y juegos de juntas de las garras neumáticas. Información para pedidos: lista de piezas de repuesto adjunta RSZ-2600-ET-001; al realizar pedidos, indique siempre el tipo y el número de serie de la máquina.

Contacto para piezas de repuesto y consultas técnicas: Muster Maschinenbau GmbH, Beispielstraße 1, 12345 Musterstadt, Alemania, correo electrónico service@muster-maschinenbau.example.

12.2 Documentación eléctrica

La documentación eléctrica conforme a EN 60204-1 se suministra con la máquina: esquemas de circuitos (esquema eléctrico RSZ-2600-EPL-001), planos de bornes y listas de cables, plano de disposición del armario de control, lista de materiales del equipo eléctrico, documentación de los programas del PLC y del PLC de seguridad con lista de señales, así como los informes de ensayo del ensayo del conductor de protección y de la medición del aislamiento. En el armario de control se guarda una copia de los esquemas de circuitos. Las modificaciones de la instalación eléctrica solo pueden realizarlas personas con cualificación en electricidad y únicamente con la autorización del fabricante; cuando se realicen modificaciones, los planos deben actualizarse en consecuencia.

12.3 Registro de la evaluación del riesgo

La evaluación del riesgo según EN ISO 12100, con la totalidad de los 42 peligros, su valoración y las medidas de protección adoptadas, forma parte del expediente técnico del fabricante. Se presenta a las autoridades de vigilancia del mercado previa solicitud motivada. Los peligros residuales relevantes para el funcionamiento y las indicaciones derivadas de ellos figuran en el capítulo «Seguridad».

13 Ciberseguridad

Este capítulo está dirigido a la empresa usuaria y a los especialistas responsables de las redes y del mantenimiento. Describe cómo se integra la celda de soldadura robotizada RSZ-2600 en la red de la empresa usuaria, cómo se comprueba la versión del software y cómo funcionan el mantenimiento remoto y las actualizaciones. Cuando una intervención en el controlador afecte a una función de seguridad, se aplican además las indicaciones del capítulo 2 (Seguridad).

13.1 Integración en la red de la empresa usuaria

Conecte la celda a la red de la empresa usuaria únicamente a través de la pasarela suministrada. No conecte ningún otro dispositivo ni ninguna otra red a la red de la celda dentro del armario de control.

- Coloque la pasarela en un segmento de red dedicado para equipos de producción, no en la red de oficina.
- Permita únicamente las conexiones que necesita la celda: OPC UA desde el MES hacia la celda y la conexión VPN con el servidor de mantenimiento remoto del fabricante.
- No establezca ninguna conexión directa a internet para el controlador.
- Modifique las reglas del cortafuegos solo previa consulta con el fabricante.

13.2 Versión del software y evidencia de las intervenciones

La versión y la suma de verificación del software relevante para la seguridad se muestran en el panel HMI, en «Info», y pueden consultarse sin iniciar sesión. El software relevante para la seguridad comprende el programa del PLC de seguridad, la configuración de seguridad del controlador del robot y la parametrización de la cortina fotoeléctrica; las versiones de referencia y las sumas de verificación están registradas en el acta de recepción. Compárelas con el acta de recepción después de cada intervención, actualización y sustitución de un equipo. El registro de eventos recoge los inicios de sesión, los cambios de parámetros, las cargas de software y las sesiones de mantenimiento remoto con marca de tiempo y usuario. Si los valores no coinciden, no habilite el modo automático e informe al fabricante.

13.3 Mantenimiento remoto

El mantenimiento remoto está desactivado en el momento de la entrega. Una sesión solo puede habilitarse con el interruptor de llave de mantenimiento remoto del pupitre de mando y finaliza automáticamente al cabo de cuatro horas; mientras está activa, el panel HMI muestra «Mantenimiento remoto activo». Debe haber una persona responsable disponible in situ. Si sospecha que se ha producido un acceso no autorizado, finalice la sesión inmediatamente con el interruptor de llave de mantenimiento remoto e informe al fabricante a través de la dirección de contacto para las notificaciones de seguridad.

13.4 Actualizaciones

Durante el periodo de soporte, hasta marzo de 2039, el fabricante facilita en el portal de clientes actualizaciones de seguridad para el software de control, del HMI y de la pasarela, con notas de la versión y suma de verificación. El fabricante informa por correo electrónico a los contactos registrados sobre las nuevas actualizaciones; los avisos de seguridad se publican además en https://www.muster-maschinenbau.example/security/advisories. Para instalar una actualización:

- Descargar la actualización del portal de clientes y comparar la suma de verificación con las notas de la versión.
- Detener la celda, seleccionar el modo de reglaje, mantener cerrada la puerta de mantenimiento e instalar la actualización por USB en el panel HMI o en una sesión de mantenimiento remoto habilitada in situ.
- A continuación, comparar la versión y la suma de verificación en «Info» con las notas de la versión y registrarlas como nueva referencia en el acta de recepción.
- Antes de habilitar el modo automático, realizar y documentar el ensayo funcional de todas las funciones de seguridad SF-01 a SF-05 conforme al plan de ensayos adjunto RSZ-2600-PPS-001 (véanse los capítulos 10.2 y 12).

13.5 Conservación de los registros

El controlador protege el registro de eventos contra el borrado y la modificación y conserva las cargas de software con los datos correspondientes durante un máximo de cinco años desde la carga. El registro puede exportarse en formato legible en el panel HMI. Asegúrese de que la fecha y la hora del controlador sean correctas; de lo contrario, las marcas de tiempo no podrán utilizarse. Entregue los registros a la nueva empresa usuaria si se transfiere la celda y póngalos a disposición de una autoridad previa solicitud motivada.

13.6 Información sobre ciberseguridad

Esta sección contiene datos del fabricante sobre la ciberseguridad de la máquina.

La máquina dispone de las siguientes interfaces digitales:

Tabla 6: Interfaces digitales de la máquina

Interfaz	Protocolo	Conexión	Actualización
Red de la celda hacia el robot, la mesa giratoria y la fuente de corriente de soldadura (Red / bus de campo / integración en la línea)	PROFINET IO con PROFIsafe	Solo in situ, en la máquina	In situ, por personal de servicio técnico
Conexión con el MES de la empresa usuaria (Red / bus de campo / integración en la línea)	OPC UA (Sign & Encrypt) a través de Ethernet	Red de la instalación	In situ, por personal de servicio técnico
Mantenimiento remoto a través de la pasarela VPN (Acceso remoto / mantenimiento remoto)	VPN IPsec a través de la conexión a internet de la empresa usuaria	Conexión a través de internet	A distancia
Panel HMI en el pupitre de mando (Panel de operador (HMI) con gestión de usuarios y parámetros)	Manejo táctil con roles y cuentas de usuario	Solo in situ, en la máquina	In situ, por personal de servicio técnico
Puerto USB en el panel HMI (USB / soportes de datos extraíbles)	USB 2.0 para copias de seguridad e importación de programas	Solo in situ, en la máquina	Mediante soportes de datos extraíbles
Acceso de programación al PLC de seguridad y al controlador del robot (Acceso de ingeniería / programación)	Puerto de ingeniería (Ethernet) en el armario de control	Solo in situ, en la máquina	In situ, por personal de servicio técnico

Nombre y datos de contacto del fabricante

Muster Maschinenbau GmbH

Beispielstraße 1, 12345 Musterstadt, Alemania

service@muster-maschinenbau.example

https://www.muster-maschinenbau.example

Punto de contacto único para vulnerabilidades y política de divulgación

Notificación de vulnerabilidades: security@muster-maschinenbau.example

Política de divulgación coordinada de vulnerabilidades: https://www.muster-maschinenbau.example/security/disclosure

Identificación inequívoca del producto

Denominación del producto: Celda de soldadura robotizada RSZ-2600

Tipo: RSZ-2600

Otros datos de identificación: Número de serie en la placa de características situada en la pared lateral derecha del armario de control; versión de software en el panel HMI, en «Info»

Finalidad prevista, entorno de seguridad y propiedades de seguridad

Finalidad prevista: Soldadura MAG asistida por robot de conjuntos de acero de hasta 40 kg en producción en serie, con instalación fija en una nave de producción.

Entorno de seguridad previsto por el fabricante: Funcionamiento en una red de producción separada de las redes de oficina e internet; conexión con el MES solo a través de la pasarela suministrada; mantenimiento remoto solo a través de la pasarela VPN tras habilitarlo en el pupitre de mando; armario de control y puertos de programación cerrados con llave.

Funcionalidades esenciales: Control del robot, de la mesa giratoria, del proceso de soldadura y de la aspiración de humos; recepción de pedidos y comunicación de datos de producción mediante OPC UA; copias de seguridad por USB; mantenimiento remoto por parte del fabricante.

Propiedades de seguridad: Cuentas de usuario personales con roles; conexión OPC UA cifrada y firmada; VPN con inicio de sesión multifactor; registro de eventos de inicios de sesión, cambios de parámetros y sesiones de mantenimiento remoto; versión y suma de verificación del software relativo a la seguridad en el panel HMI; sin acceso remoto al controlador de seguridad.

Circunstancias que pueden dar lugar a riesgos de ciberseguridad significativos

Conexión de la red de la celda directamente a la red de oficina o a internet; mantenimiento remoto habilitado de forma permanente; contraseñas compartidas; archivos de origen desconocido a través de USB; actualizaciones de seguridad no instaladas; funcionamiento continuado tras el fin del periodo de soporte.

Asistencia técnica en materia de seguridad y fecha de finalización del periodo de asistencia

Tipo de soporte técnico de seguridad: Actualizaciones de seguridad del software de control, del HMI y de la pasarela a través del portal de clientes; avisos de seguridad por correo electrónico; asistencia del servicio técnico del fabricante para la integración de la celda en la red de la empresa usuaria.

Fin del periodo de asistencia: 03/2039

Instrucciones detalladas

a) Puesta en servicio y uso seguros: Cambie la contraseña inicial en el primer inicio de sesión (el controlador lo exige) y cree cuentas personales para todos los operadores; integre la pasarela conforme al plano de red del fabricante y permita únicamente OPC UA hacia el MES y la conexión VPN con el fabricante; realice una copia de seguridad de la configuración aceptada y registre su suma de verificación en el acta de recepción.

b) Repercusión de los cambios en la seguridad de los datos: Las conexiones de red adicionales, las reglas de cortafuegos modificadas, los cambios en el programa de seguridad o la conexión de otras máquinas pueden mermar la ciberseguridad y las funciones de seguridad. Realice dichos cambios únicamente tras consultar al fabricante y, a continuación, compruebe las funciones de seguridad.

c) Instalación de actualizaciones relevantes para la seguridad: Descargar las actualizaciones de seguridad del portal de clientes, comparar la suma de verificación e instalarlas por USB en el panel HMI con la celda parada, el modo de reglaje seleccionado y la puerta de mantenimiento cerrada, o durante una sesión de mantenimiento remoto habilitada; a continuación, comprobar la versión y la suma de verificación en el panel HMI.

d) Puesta fuera de servicio segura y eliminación de los datos del usuario: Antes de la puesta fuera de servicio, realice una copia de seguridad de los programas de soldadura y de los registros, restablezca la celda mediante «Ajustes de fábrica» (esto borra las cuentas de usuario, los certificados, los programas y los registros) y solicite al fabricante que bloquee el acceso de mantenimiento remoto.

Índice de anexos

La máquina incluye los siguientes documentos adicionales (anexo de este manual de instrucciones):

- Declaración de conformidad

Este documento se ha elaborado con apoyo de IA. La revisión y la responsabilidad del contenido corresponden al fabricante.
#ce-copilot:ki-unterstuetzt; ai-disclosure=ai-assisted; generator=CE-Copilot; digitalsourcetype=compositeWithTrainedAlgorithmicMedia