

## Factibilidad de instalación de célula robótica para soldadura FSW: una revisión bibliográfica

**Paul Alexis Sisniegas Gálvez**

*Universidad Católica de Trujillo*

<https://orcid.org/0000-0002-4611-6100>

p.sisniegas@uct.edu.pe

**Viviano Paulino Ninaquispe Zare**

*Universidad Católica de Trujillo*

<https://orcid.org/0000-0002-8735-4164>

v.ninaquispe@uct.edu.pe

**Ascon Dionicio Gregorio Mayer**

*Universidad Nacional de Trujillo*

<https://orcid.org/0000-0003-2275-6629>

gascon@unitru.edu.pe

**Oscar Daniel Vásquez Salazar**

*Universidad Nacional de Trujillo*

<https://orcid.org/0009-0008-7154-2487>

ovasquezs@unitru.edu.pe

**Nilson Deonil Campos Vásquez**

*Universidad Nacional de Trujillo*

<https://orcid.org/0000-0001-5625-3355>

ncampos@unitru.edu.pe

**José Laureano Vásquez Díaz**

*Universidad Nacional de Trujillo*

<https://orcid.org/0009-0008-5520-4584>

jvasquezd@unitru.edu.pe

### Resumen

Dentro de los procesos metalmecánicos, la automatización y robotización es, hoy en día, esencial para conseguir incrementar la producción e impactar profundamente en los procesos de fabricación, entre las cuales se incluyen sistemas, tanto ligeros como pesados, de máquinas de corte, manipulación y soldadura altamente automatizadas. En general, los procesos de corte y soldadura robotizados sólo están implantados en grandes empresas punteras a nivel mundial, debido a su capacidad para acometer este tipo de inversiones, que para las pymes, muchas veces no es posible llevar a cabo.

En este trabajo se propone una célula robotizada para soldadura FSW, dicha célula robótica de soldadura FSW consta de dos bancos de trabajo, dispositivos de sujeción para las piezas a ser soldadas y un robot industrial equipado con husillo para FSW. El robot más apropiado será de marca KUKA®, KR 1000 1300 titan PA-F, el cual está configurado para una carga nominal de 1300 kg para aprovechar de forma óptima el rendimiento y la dinámica del robot.

**Palabras clave:** Soldadura FSW; célula robotizada

### Abstract

Within metalworking processes, automation and robotization is, today, essential to increase production and have a profound impact on manufacturing processes, including systems, both light and heavy, of highly automated cutting, handling and welding machines. In general, robotic cutting and welding processes are only implemented in large leading

companies worldwide, due to their ability to undertake this type of investment, which for SMEs, is often not possible to carry out.

In this work a robotic cell for FSW welding is proposed, said FSW robotic welding cell consists of two workbenches, clamping devices for the parts to be welded, an industrial robot equipped with spindle for FSW. The most suitable robot will be KUKA® brand, KR 1000 1300 titan PA-F, which is configured for a nominal load of 1300 kg to optimally exploit the performance and dynamics of the robot.

**Keywords:** FSW welding; Robotic cell

## 1. INTRODUCCION

La soldadura, en general, es un método ampliamente usado para realizar uniones de partes y piezas mecánicas (Verma & Kumar Lila, 2021); también reparaciones, siendo necesario el uso de poderosos transformadores eléctricos encapsulados en lo que se conoce como máquinas de soldar y, generalmente, aplicando diferentes materiales que fungen de interfaz de dicha unión, llamados materiales de aporte.

En ese sentido, el proceso de soldadura del aluminio suele ser complicado (Shah & Badheka, 2019); esto debido a que es muy sensible a las impurezas y fácil que se produzcan burbujas si se aporta mucho calor, reduciendo así su resistencia. Por tanto, es un problema que comúnmente ocurre al aplicar procesos de soldadura con elevados niveles de energía calorífica (Verma & Kumar Lila, 2021).

Por otro lado, la soldadura en estado sólido por fricción-agitación (FSW) es un método por el cual también es posible la unión de diversos materiales, alcanzando una relevancia singular en

las aplicaciones con materiales de difícil de soldabilidad, como el aluminio y sus aleaciones, de gran importancia en las industrias automotriz, aeronáutica, naval, etc. (Gupta, 2020; Salih et al., 2015). Esta tecnología no está muy difundida en países como el Perú, debido principalmente a que la maquinaria de soldeo para realizarla es voluminosa y de elevado costo. Sin embargo, esto no es óbice para afirmar que es un método que ofrece muy buen balance de costo-beneficio.

Con base al marco teórico, se realiza la propuesta de implementación de una célula robótica para soldadura por fricción – agitación, que permita optimizar los servicios industriales orientados al mantenimiento, reparación y fabricación de componentes de aluminio, según estándares vigentes. La propuesta toma en cuenta las condiciones y restricciones del proceso y pretende también establecer las mejores condiciones para la selección de la célula robótica.

## 2. MATERIALES Y METODOS

### Diseño de la célula de soldadura robotizada

En el proceso que tiene para la elaboración de proyectos, es necesario implementar una metodología de diseño que permita obtener con claridad los requerimientos del cliente, para de esta manera poder homogeneizar tales requerimientos con el diseño y la ingeniería que se aplicará. La metodología lineal de diseño ayuda en la

Realización de proyectos, pues la estructura que sigue es la siguiente:



Figura 1. Metodología lineal de diseño.

La presente metodología es muy útil por los pasos que se establecen para obtener la solución del problema, pero también se puede apoyar de otras

herramientas de diseño como es el QFD, diagramas de flujo, diagrama causa – efecto, entre otras.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSION

El problema que atiende al diseño, surge a partir de la necesidad de optimizar el proceso y mejorar de esta manera la productividad y mantener la calidad en la soldadura de aluminio. **Requerimientos de la optimización en el proceso**

Al evaluar el proceso actual de la soldadura de aluminio, podemos obtener la información siguiente:

- Lentitud en la ejecución de las soldaduras, especialmente en aquellas en las que se debe realizar en ambos lados.
- Dificultad para ejecutar soldaduras de unión en piezas de rotación.

- No se tiene una separación mínima estándar entre piezas para ser soldadas.
- Excesos de material de aporte.
- Distracciones del soldador.

Una vez que hemos obtenido los problemas operativos durante el proceso, debemos clasificarlos en fallas controlables y fallas no controlables, para de esta manera conceptualizar qué fallas son primordiales a solucionar en nuestro diseño.

Fallas controlables	Fallas no controlables
Lentitud en la ejecución de las soldaduras, especialmente en aquellas en las que se debe realizar en ambos lados.	--
Dificultad para ejecutar soldaduras de unión en piezas de rotación.	--
No se tiene una separación mínima estándar entre piezas para ser soldadas.	--
Excesos de material de aporte.	--
Distracciones del soldador.	--

Para reducir o eliminar las fallas del proceso, tenemos que traducir las fallas mencionadas, a términos de ingeniería:

<b>Fallas operativas</b>	<b>Términos de ingeniería</b>
Lentitud en la ejecución de las soldaduras, especialmente en aquellas en las que se debe realizar en ambos lados.	Velocidad de soldeo
Dificultad para ejecutar soldaduras de unión en piezas de rotación.	Rotación de piezas
Excesos de material de relleno.	Exceso de material de aporte.
Distracciones del soldador.	Cordones no uniformes.

### **Metas de diseño**

Una vez que tenemos nuestras fallas en términos de ingeniería, formulamos nuestras metas de diseño.

<b>Términos de ingeniería</b>	<b>Metas de diseño</b>
Velocidad de soldeo	Aumento de velocidad de soldeo.
Rotación de piezas	Facilidad de soldeo de piezas de rotación.
Exceso de material de aporte.	Parámetros exactos.
Cordones no uniformes.	Movimientos exactos y precisos de la herramienta de soldeo.

## Generación y evaluación del diseño

### Aumento de velocidad de soldeo

Las velocidades de soldadura se pueden aumentar debido a que con la célula robótica, se eliminan los tiempos muertos originados por la actuación humana: cambio de posición del soldador; reubicación de máquinas, herramientas y materiales; eliminación de escorias; reacondicionamiento o reemplazo de consumibles; etc. Con el robot, el uso del electrodo no consumible y las

características propias del proceso FSW (ausencia de escoria, tasas de unión elevadas, etc). Según las evidencias encontradas, se puede afirmar que para velocidad de rotación del husillo portaherramienta, la velocidad de avance del cordón de soldadura oscila entre alrededor de los 5 mm/min@800-1600 rpm, en una máquina CNC.

### Facilidad de soldeo de piezas de rotación

Programando el sistema de servocontrol de posicionamiento automático del robot, se le puede dotar de la capacidad de efectuar la soldadura sin necesidad de manipular el material base, ya que éstos tienen la posibilidad de realizar el cordón de soldadura inicialmente en un primer cuadrante de 180°, para luego poder

efectuar el siguiente cuadrante de 180° para completar la unión.

Para ello, se deberá garantizar una alineación precisa de las piezas, recurriendo a un sistema de posicionamiento tipo bastidor que asegure el material base sin necesidad de manipularlo y que permita un recambio rápido de piezas.

### Parámetros exactos

El primer paso es entender los requerimientos y necesidades propios del proceso; la forma, tamaño y espesor del material base, así como el tipo de

unión a efectuar. Las especificaciones están establecidas según AWS en acuerdo con ASME sección IX e ISO 6947.

### Movimientos exactos y precisos de la herramienta de soldeo

Establecidos los requerimientos y necesidades, se debe realizar la programación del brazo para que realice las distintas operaciones, a saber:

- Avance a lo largo de las piezas a soldar.

- Penetración del pin de la herramienta
- Velocidad de rotación del husillo
- Generación del ángulo de penetración
- Amplios rangos de velocidades de giro y traslación.

### Elección de la Célula Robótica

La soldadura robotizada puede considerarse como un sistema de fabricación flexible, al que se está adaptando un número creciente de procesos: no sólo aquellos que por su elevada velocidad de operación impidan

su utilización humana, como el láser, sino también otros que fueron diseñados inicialmente para un soldador.

Factores como la alta reproducibilidad, el excelente control de posicionamiento, flujo de material y parámetros de

proceso, junto con un perfecto seguimiento de las trayectorias, han introducido una sensible mejora de la calidad y disminución de los costos de fabricación al reducir, entre otros, los tiempos de reparación. Para una correcta selección del robot son necesarios dos parámetros fundamentales:

- Carga útil máxima: es la cantidad máxima que puede cargar un robot al centro de la brida del robot.
- Alcance máximo: es la región máxima en la que el robot puede trabajar.

Con base a esta información comenzamos la selección para el robot, el cual debe de tener la capacidad de cargar y poder desplazar la herramienta de soldeo a cada una de las posiciones donde ejecutará las soldaduras. La fuerza ejercida se mide en kilo Newtons (kN), llamada, generalmente, fuerza Z. Si esta fuerza es demasiado baja, habrá riesgo de falta de penetración de la herramienta y, por tanto, riesgo de defectos en la compacidad de la soldadura. Por otro lado, si la fuerza es demasiado alta, la herramienta se introducirá demasiado en el material y la sección soldada se reducirá.

Materiales/Espesor	Rotación	Fuerza Z
5754 H11-2 mm sobre 6061 T6 (a tope)	1 000 rpm	7 000 N
6061 T6-12mm (a tope – doble pasada de 6 mm)	1 200 rpm	8 000 N
5754 H11 -2 mm (a tope)	3 000 rpm	6 000 N
5754 H11 -AS10Fe (fundición) 2 mm (a tope)	2 400 rpm	6 000 N
7075 T6-2 mm sobre 2024 T3-3 mm (traslape)	900 rpm	6 000 N
5754 H11-2 mm sobre S235-1 mm (traslape)	1 000 rpm	4 000 N

De la tabla mostrada, se elige la fuerza Z de mayor valor, correspondiente a 8 000 N, que es equivalente a 815,77 Kg-f. Considerando un factor de seguridad de 1,5 se tiene que la carga demandada será de 1 223,66 Kg-f. Ello conduce a determinar que en la marca KUKA®, el robot más apropiado es el KR 1000 1300

titan PA-F, el cual está configurado para una carga nominal de 1300 kg para aprovechar de forma óptima el rendimiento

y la dinámica del robot. Con distancias de carga reducidas y cargas adicionales favorables, puede instalarse una carga máxima de hasta 1300 kg.

### Parámetros para selección de Robot

Carga útil máxima	1 300 kg-f
Alcance máximo	3 202 mm

Todos los componentes principales del robot están fabricados con fundición de metal liviano, este concepto fue

optimizado teniendo en cuenta la eficiencia de una construcción liviana y de alta rigidez a la torsión y a la flexión.

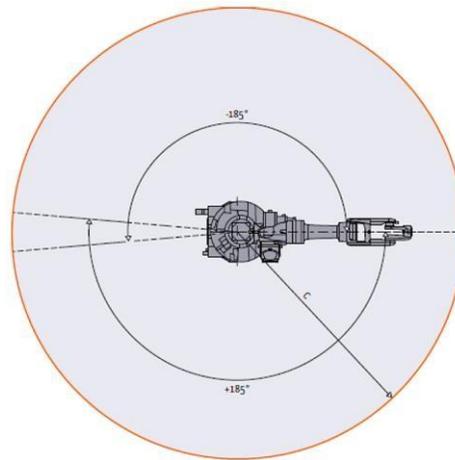


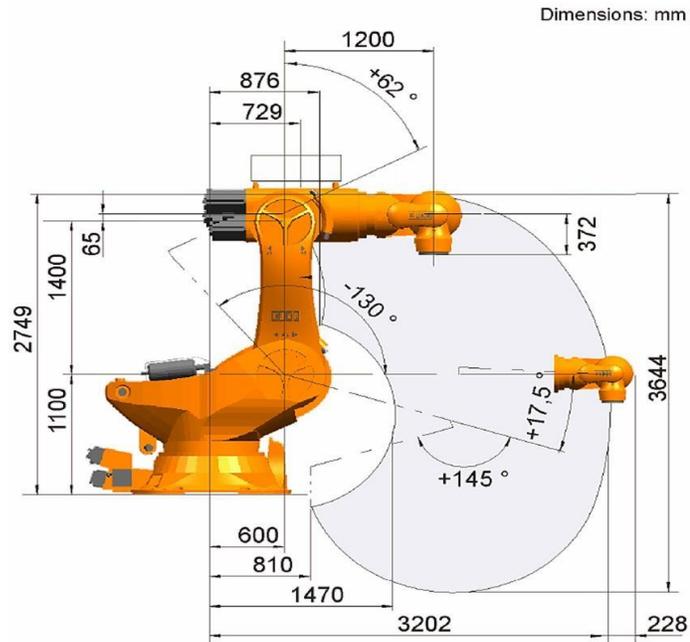
Figura 2. Alcance del brazo del robot.

De ello resulta una alta repetibilidad natural del robot presentando un buen desempeño dinámico con alta resistencia a las vibraciones. Las articulaciones y los reductores se mueven prácticamente libres de juego mientras que los motores de accionamiento son servomotores sin escobillas, con tecnología adaptable,

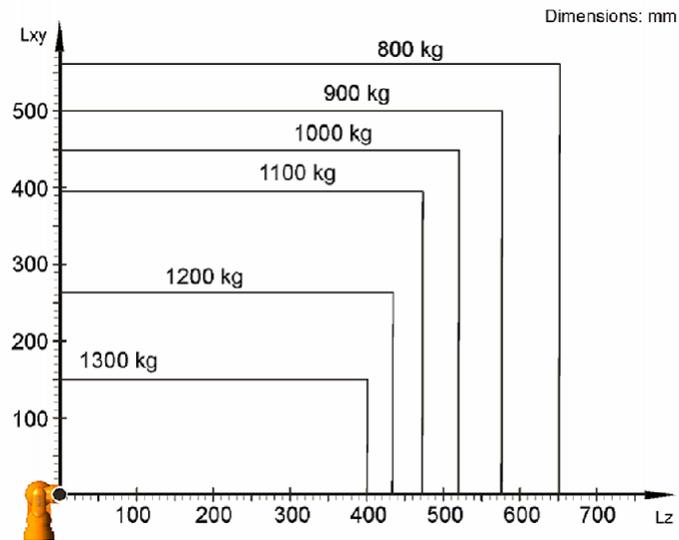
libres de mantenimiento y asegurados contra sobrecargas.

El alcance versátil del brazo del robot permite el uso de instalaciones relativamente simples, y la capacidad del robot para ser reprogramado con nuevas configuraciones de las partes permite que esta forma de automatización se justifique para cantidades de producción relativamente bajas.

**Gráfica del campo de trabajo robot KUKA® KR 1000 1300 titán PA-F**



**Diagrama de cargas robot KUKA® KR 1000 1300 titán PA-F**



**Especificaciones del robot KUKA® KR 1000 1300 titán PA-F**

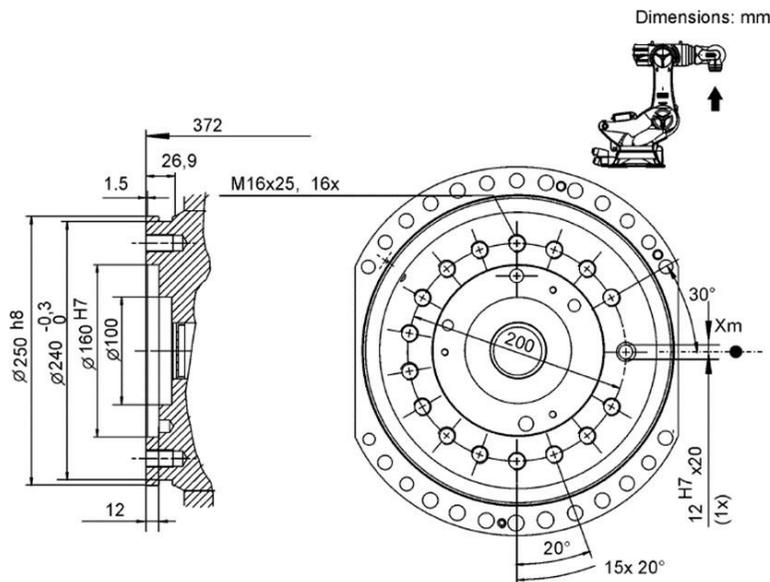
Alcance máximo	3 202 mm
Carga nominal	1 300 kg
Carga máxima	1 300 kg
Máxima carga adicional columna giratoria / brazo de oscilación / brazo	0 kg / 0 kg / 100 kg
Repetibilidad de posición (ISO 9283)	± 0,1 mm
Número ejes	4
Posición de montaje	Suelo
Superficie de colocación	--
Peso	aprox. 4 690 kg

**Datos de los ejes del robot KUKA® KR 1000 1300 titán PA-F**

Ejes	Amplitud por eje	Velocidad con carga nominal
A1	± 150°	58°/s
A2	-130° / 17,5°	50°/s
A3	62° / 145°	50°/s
A4	--	--
A5	± 118°	60°/s
A6	± 350°	72°/s

Para el acople de la herramienta de soldeo, se utilizará la brida de acople.

**Brida de acople robot KUKA® KR 1000 1300 titán PA-F**



**Factores para la selección de la herramienta**

Para soldar piezas y/o componentes de las diversas series de aluminio (2xxx, 5xxx, 6xxx y 7xxx), existen una amplia gama de herramientas. La resistencia, el rendimiento, la calidad y el costo son demandas constantes de los usuarios de FSW.

Las herramientas de soldeo deben satisfacer:

- La estandarización y producción en masa para reducir el costo unitario;
- Haber recibido tratamientos térmicos específicos para garantizar la estabilidad de las propiedades mecánicas;
- Haber superado controles de alta calidad;
- Poseer geometrías optimizadas

para eliminar defectos de soldadura y aumentar la velocidad de soldadura.

- Una vida útil de la soldadura: más de 1 500 m.
- Disponer en versión inteligente: registro de temperatura durante la operación desoldadura.

El material alcanza una temperatura de 500°C durante el proceso. Dos fenómenos conducen al calentamiento: fricción del hombro de la herramienta sobre el material (alrededor del 70 % del calor total); y, la deformación plástica extrema del material debido a la agitación de la herramienta (alrededor del 30% del calor total). Dependiendo del espesor del material a soldar, la herramienta se puede seleccionar usando la siguiente tabla:

Espesor de soldadura	Tipos de soldadura	Referencia Stirweld®
1 a 3 mm	A tope, traslape, en "T"	F-AA-1-X
2 a 4,5 mm	A tope, traslape, en "T"	F-AA-2-X
4 a 6 mm	A tope, traslape, en "T"	F-AA-3-X
5 a 7 mm	A tope, traslape, en "T"	F-AA-4-X
6 a 8 mm	A tope, traslape, en "T"	F-AA-5-X
7 a 10 mm	A tope, traslape, en "T"	F-AA-6-X
9 a 12 mm	A tope, traslape, en "T"	F-AA-7-X

La empresa Stirweld® lanzó al mercado el husillo FSW para robots, cuyo uso como herramienta de soldadura ofrece las mismas características que las máquinas especiales de FSW y se adapta perfectamente a todas las marcas de robots de alto rendimiento, con un coste mucho menor. Tanto como herramienta de soldadura FSW como herramienta de mecanizado, el husillo de FSW para robot se convierte en la nueva herramienta industrial híbrida de alto rendimiento. Esta herramienta innovadora está claramente en línea con la Industria 4.0 y ofrece a las empresas la posibilidad de optimizar su parque de robots aprovechando la tecnología de soldadura por fricción-agitación (FSW). A diferencia de un centro de mecanizado que sólo trabaja en plano, una célula robotizada (o robot de estación de trabajo) con un brazo articulado equipado con un husillo de FSW, es capaz de una amplia gama de movimientos. Una amplia gama de movimientos que permite trabajar en piezas tridimensionales. Con una solución de soldadura por fricción-agitación para robots, las piezas

pueden ensamblarse en siete ejes (frente a los tres ó cinco de una máquina de centro de mecanizado), lo que permite cubrir y soldar toda la superficie de las piezas grandes en tres dimensiones.

Con su rotación de 350°, la célula robótica equipada con el husillo FSW puede trabajar simultáneamente en varias estaciones de trabajo. Una vez soldada una primera pieza, el brazo articulado puede iniciar fácilmente la soldadura en una segunda superficie de trabajo, mientras se carga/descarga la primera pieza (carga pendular o en tiempo de enmascaramiento). Una ganancia considerable de productividad para grandes series de piezas a soldar. Como las células de robot están estandarizadas para facilitar y limitar los costes de mantenimiento, este husillo ofrece un ahorro de costes considerable al adaptar la tecnología FSW en la marca de robot seleccionada.

La soldadura por fricción-agitación puede provocar flash en diferentes aplicaciones, es decir, rebabas en los bordes de la soldadura. Utilizar el husillo FSW para robot significa también beneficiarse de un cabezal híbrido que

puede equiparse con una herramienta de soldadura FSW y una herramienta de mecanizado. Gracias a la interfaz

hombre-máquina desarrollada, el robot puede cambiar de herramienta fácil y rápidamente, con total autonomía.



Figura 3. Características del husillo.

### Características técnicas del husillo FSW para robot

El husillo FSW para robot de Stirweld® tiene características superiores a las de las máquinas especiales de soldadura por fricción-agitación (FSW), aunque es considerablemente menos costoso:

- Velocidad de rotación: de hasta 10.000 rpm. Esto lo convierte en el husillo híbrido FSW para robot más rápido del mercado.
- Capacidad de empuje vertical: 18 000 N. Esto lo convierte en el husillo FSW híbrido para robot más potente del mercado.
- Cambio automático de la herramienta de soldadura por fricción-agitación a la

herramienta de mecanizado o sustitución de la herramienta FSW para un mantenimiento predictivo.

- Husillo refrigerado por agua para garantizar la temperatura ideal para soportar grandes series de producción, las 24 horas del día.
- Funcionamiento 100% eléctrico: el conector del husillo FSW permite una instalación rápida, fiable y robusta por la conexión a las distintas vías. La ausencia de energía hidráulica en el husillo FSW para robot reduce considerablemente el mantenimiento.
- Husillo compatible con la herramienta de hombro estacionario (Stationary shoulder).

### Control de parámetros del robot KUKA® KR 1000 1300 titán PA-F

A través del sistema KUKA® PCD (Process Control and Documentation) se

ha desarrollado especialmente para procesos de trayectoria de soldadura por

fricción-agitación. Al margen de la gestión de los datos de los componentes y los productos, este sistema ofrece un

control de parámetros numérico y gráfico. La exportación de datos, el diagnóstico de procesos y el archivamiento electrónico de todos los

datos de proceso completan la gama de funciones de KUKA® PCD y permiten análisis adicionales, p. ej., en sistemas en la nube. De esta manera, KUKA® PCD es compatible con Industria 4.0 y permite una mayor productividad, así como una calidad y transparencia de datos razonables

**Célula robotizada para soldadura FSW**

La célula robótica de soldadura FSW constará de dos bancos de trabajo, dispositivos de sujeción para las piezas a ser soldadas, un robot industrial equipado con husillo para FSW. En base a la información de producto ofrecida

por la empresa KUKA®, se toman las recomendaciones respecto de las especificaciones que debe tener la célula robótica, adaptadas del producto cell4\_FSW large dual KR, las cuales se muestran en la tabla siguiente:

Longitud (incluyendo control de cabina)	6 770 mm
Ancho (incluyendo control de cabina)	6 320 mm
Altura (incluyendo control de cabina)	3 500 mm
Módulos de aplicación FSW	1
Peso aproximado	8 000 kg
Robot	KR 1000 1300 titán PA-F
Mesas de trabajo	2
Área de las mesas de trabajo	2 400 mm x 1 600 mm
Equipamiento de la célula	Siemens TIA Portal serie 1500, KUKA® SafeOperation, 2 puertas enrollables con protección en el punto de operación y cortina de luz, cerca de policarbonato con 1 o 2 puertas de mantenimiento y mecanismos de bloqueo
Controlador de robot	KR C4 mit KSS 8.6
Operación de la célula	HMI avanzado, pantalla 23.4" con IPC

La célula puede configurarse fácilmente para requisitos específicos y actualizarse con módulos de expansión, para la eficiencia en la máxima calidad. Son aspectos destacados de la célula:

- Máxima utilización del proceso hasta un 95 % con dos estaciones de trabajo en áreas de carga separadas.
- Célula modular compacta basada en el módulo de aplicación FSW.
- Permite la soldadura rentable de metales no ferrosos y combinaciones de materiales mixtos.
- Carga y descarga sin impacto en el tiempo del ciclo.
- Precisión de trayectoria de hasta 0,5 mm alcanzable gracias a la calibración de trayectoria de KUKA®.
- 100% de seguimiento de procesos; y, listo para IIoT y servicios remotos.

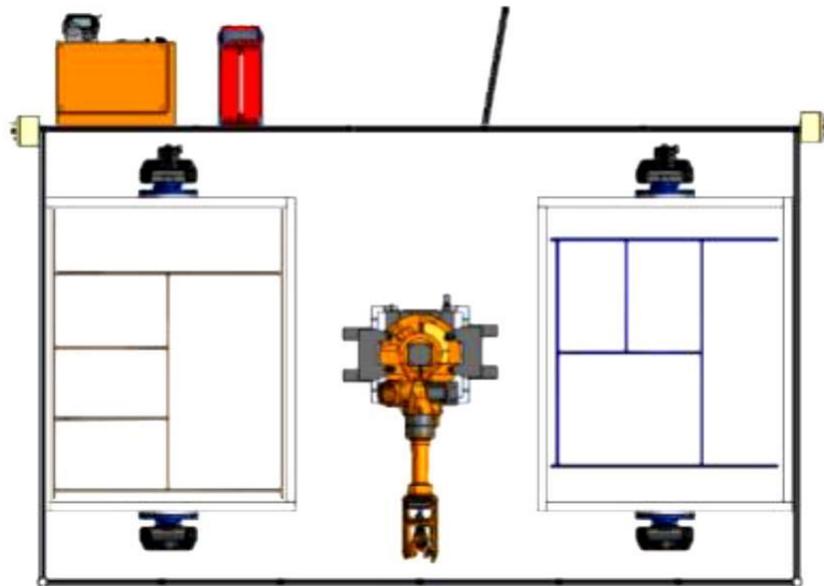


Figura 4. Configuración de la célula del robot.

### Sistemas de Control y Comunicación

Existen dos sistemas que se deben comunicar con el PLC para su control y seguridad. Estos son el robot industrial y el husillo FSW. Para ello, se emplean dos buses de campo: el "Profinet", y el "ETHERNET TCP-IP", con el fin de transmitir la información (datos) para simplificar enormemente la instalación y operación. El "ETHERNET TCP-IP" se emplea paratransmitir comandos de texto al husillo, mientras que el "Profinet" se utiliza para intercambiar señales definidas y variables con el robot, a través de un mapeo de señales.

La razón por la que se escoge el bus de campo "Profinet", es que este viene integrado en

el PLC escogido para este proyecto, lo que facilita su manejo y comprensión por parte de los operarios. Como característica principal, posee un mecanismo de intercambio de datos maestro-esclavo, donde el maestro tiene control unidireccional sobre todos sus dispositivos y procesos esclavos.

La función de la comunicación del PLC con los diferentes sistemas reside en intercambio de información con los

mismos, para emitir órdenes, como la ejecución del programa que se quiera utilizar, y las instrucciones que se le deben transmitir.

El husillo y el robot tienen una interfaz de seguridad, y el control de estas señales (paradas de emergencia y permisos de acción en modo automático) se debe diseñar con una estructura específica. Para ello se emplearán relés de seguridad, método menos complejo, ya que consiste en el empleo de un relé para cada señal crítica que se presente en el sistema global. Estas son las setas de emergencia, el cierre de seguridad de la puerta, y el propio PLC de control. Como principales ventajas frente a otros sistemas, presenta:

- Implementación muy sencilla en el sistema cuando las funciones instrumentadas de seguridad son sencillas.
- No hay software, por lo que no hace falta programación, lo que evita que se produzcan errores en la lógica, corrupciones del software por interferencias eléctricas o riesgo de ciberataques.
- Presenta una velocidad de respuesta muy elevada.
- El coste de esta opción es el más bajo de las tres opciones presentadas; y,
- No es necesaria cualificación específica para su instalación.
- También presenta algunas desventajas: cuando existen muchas funciones instrumentadas de seguridad, el costo de implementación y mantenimiento puede ser elevado;
- Se necesitan incluir convertidores analógico-digitales en el caso de emplear transmisores.
- Presentan una capacidad de diagnóstico muy limitada, ya que solo disponen de dos señales luminosas.
- No es muy escalable, lo que supone un mayor gasto.
- Lógica mucho menos versátil, por lo que cambiarlo es difícil una vez que se instaura.

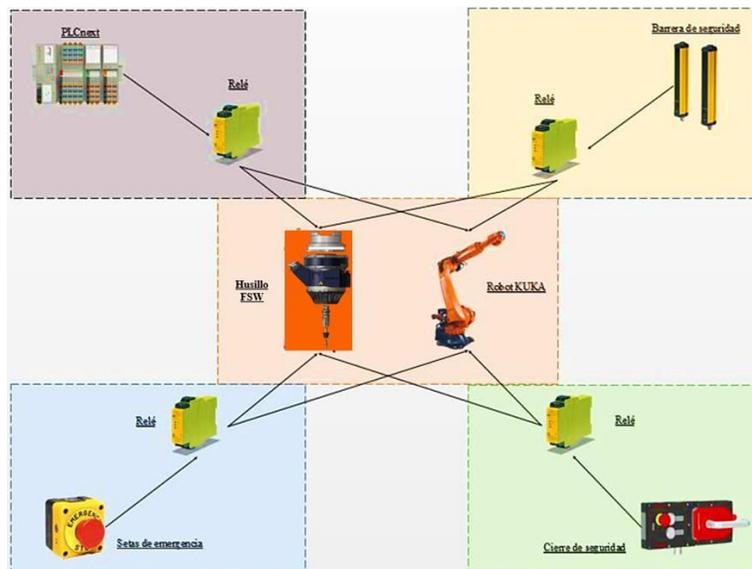


Figura 5. Interfaz del control y comunicación de la célula del robot.

#### 4. CONCLUSIONES

Se determinó que la metodología lineal fue muy útil para el diseño de la célula de soldadura robotizada.

Se determinó que el robot más apropiado para realizar la soldadura

FSW fue de marca

KUKA®, KR 1000 1300 titan PA-F, el cual fue configurado para una carga nominal de 1300

kg para aprovechar de forma óptima el rendimiento y la dinámica del robot.

#### 5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Akbari, M., Aliha, M.R.M., Keshavarz, S.M.E., Bonyadi, A. (2019). Effect of tool parameters on mechanical properties, temperature, and force generation during FSW. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications*, 233 (6), pp. 1033-1043.

[http://doi:](http://doi.org/10.1177/1464420716681591)

[10.1177/1464420716681591](http://doi.org/10.1177/1464420716681591) Fondo Europeo de Desarrollo Regional. (2018). Segundo informe de vigilancia tecnológica: corte y soldadura robotizados Manufactur 4.0. Interreg, Unión Europea.

Gupta, M. K. (2020). Effects of tool profile on mechanical properties of aluminium alloy Al 1120 friction stir welds. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 34(18), 2000–2010. <https://doi.org/10.1080/01694243.2020.1749448>

Minda-Valverde, I.R. & Ricaurte-Segovia, A.F. (2021). Diseño e Implementación de un Brazo Robotico Industrial con 5 Grados de Libertad Guiado por Kinect. Polo del conocimiento.

Minondo Sánchez, I. (2021). Diseño de una Celda Robotizada de Soldadura Híbrida de Alta Potencia. Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón.

Palpacelli, M., Callegari, M., Carbonari, L., Palmieri, G. (2015). Theoretical and experimental analysis of a hybrid industrial robot used for friction stir welding. *International Journal of*

*Mechatronics and Manufacturing Systems*, 8 (5-6), pp. 258-275. [http://doi: 10.1504/IJMMS.2015.073571](http://doi.org/10.1504/IJMMS.2015.073571)

Rodríguez López, L.F. (2015). Automatización del proceso de soldadura para la fabricación de marcos. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Unidad Azcapotcalco, Instituto Politécnico Nacional.

Salih, O. S., Ou, H., Sun, W., & McCartney, D. G. (2015). A review of friction stir welding of aluminium matrix composites. *Materials & Design*, 86, 61–71.

<https://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.07.071>

Shah, P. H., & Badheka, V. J. (2019). Friction stir welding of aluminium alloys: An overview of experimental findings – Process, variables, development and applications. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications*, 233(6), 1191–1226. <https://doi.org/10.1177/1464420716689588>

Verma, R. P., & Kumar Lila, M. (2021). A short review on aluminium alloys and welding in structural applications. *Materials Today: Proceedings*, 46, 10687–10691.

<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.447>

Zhang, H., Huang, Y., Guo, Y., Lu, Q.  
(2018). Technological and Process  
Advances in Robotic Friction Stir  
Welding. Cailiao Daobao/Materials  
Review, Part A 32 (1), pp. 128-134.  
[http://doi: 10.11896/j.issn.1005-  
023X.2018.01.016](http://doi:10.11896/j.issn.1005-023X.2018.01.016)