



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica  
Carrera de Mecatrónica**

**Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del  
título de Ingeniero en Mecatrónica**

**Diseño e implementación de una mesa con desplazamiento en  
un eje cartesiano para soldadura lineal con brazo robótico  
KUKA KR5Arc del Laboratorio de Robótica Industrial en la  
Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga.**

**Autores:** Cobeña Govea Tomas Lecxinton  
Guamanquispe Yanzapanta Andrés Leonardo

**Tutor:** Ing. Singaña Amaguaña Marco Adolfo, Mgtr.

**Latacunga  
2023**



- ✿ Planteamiento del Problema
- ✿ Objetivos
- ✿ Estado del Arte
- ✿ Diseño Mecánico
- ✿ Implementación del Sistema Mecánico
- ✿ Diseño Eléctrico y Electrónico
- ✿ Sistema de Control
- ✿ Calibración y Aplicación de Soldadora Fronius para Posición 1G
- ✿ Calibración y Aplicación de Soldadora Fronius para Posición 2F
- ✿ Ensayos Destructivos y no Destructivos
- ✿ Validación de Hipótesis
- ✿ Conclusiones y Recomendaciones



La ausencia de accesorios y componentes que complementen la celda robotizada de soldadura, no permite desarrollar nuevas aplicaciones.

El brazo robótico KUKA KR5Arc desplaza su TCP en forma lineal mediante la combinación de trayectorias en arco de sus articulaciones, esto limita el rango de movimiento del brazo para realizar cordones de soldadura lineales.

Se indexará un accesorio a la celda robótica de soldadura para la realización de nuevas aplicaciones, dicho accesorio consiste en el diseño e implementación de una mesa con desplazamiento en un eje cartesiano.



## Objetivo General

Diseñar e implementar una mesa con desplazamiento en un eje cartesiano para soldadura lineal con brazo robótico KUKA KR5Arc del Laboratorio de Robótica Industrial en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga.



## Objetivos Específicos

- Realizar el estado del arte en relación a mesas lineales.
- Realizar el diseño mecánico de la mesa lineal para movimientos de alta precisión utilizando software CAD/CAE.
- Seleccionar e implementar sensores y actuadores.
- Diseñar el sistema de control para aplicaciones de soldadura con brazo robótico.
- Configurar el sistema de comunicación entre dispositivos.
- Realizar pruebas parciales de configuración y funcionalidad de dispositivos.
- Realizar pruebas de funcionalidad de la aplicación de soldadura, con movimientos sincronizados entre diferentes dispositivos.



**Figura 1**

*Mesa para soldadura robotizada*



Tomado de (Metronic Metal, 2021).

**Figura 2**

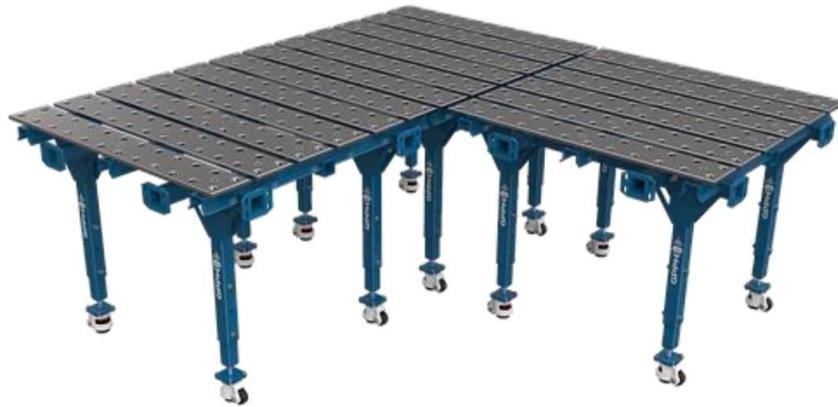
*Modelo de mesa modular.*



Mesa modular marca GPPH. Tomado de (GPPH, 2021).

**Figura 3**

*Modelo de mesa con superficie adaptable.*



Tomado de (MetaWelding, 2021).

**Figura 4**

*Modelo de mesa modular.*



Tomado de (KUKA, 2023).

**Figura 5**

*Unidad de acondicionamiento modular tipo KUKA KP1-MDC.*



Tomado de (KUKA, 2023).

**Figura 6**

*Mesa posicionadora tipo KUKA KP2-HV – 2 ejes*



Tomado de (KUKA, 2023).

**Figura 7**

*Mesa posicionadora tipo KUKA  
KP2-SV – 2 ejes.*



Tomado de (KUKA, 2023).

**Figura 8**

*Mesa posicionadora tipo KUKA KP3-V2H – 3 ejes.*



Tomado de (KUKA, 2023).

**Figura 9**

*Mesa posicionadora tipo KUKA  
KP3-V2MD – 3 ejes*



Tomado de (KUKA, 2023).

**Figura 10**

*Mesa posicionadora de soldadura.*



Mesa posicionadora disponible en el  
Laboratorio de Robótica Industrial.  
Tomado de(Arias y Toapanta, 2013).

## ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

- Sujetadores de fácil acoplamiento
- Capacidad máxima de carga:  $60 \text{ kg} = 588 \text{ N}$
- Rango de desplazamiento de la mesa lineal:  $0 \text{ mm} - 1100 \text{ mm}$
- Rango longitudinal del cordón de soldadura:  $300 \text{ mm} - 1200 \text{ mm}$
- Precisión de movimiento:  $\pm 1 \text{ mm}$
- Sistema de control independiente
- Compatibilidad con el módulo de entradas y salidas WAGO
- Interfaz Humano – Máquina
- Robustez y rigidez mecánica
- Velocidad de desplazamiento lineal:  $500 \text{ mm}/\text{min}$



## MOTOR Y REDUCTOR DE VELOCIDAD

**Figura 10**

*Servo motor 110SJT - M040D (A)*



Tomado de (GSK, 2012).

**Figura 11**

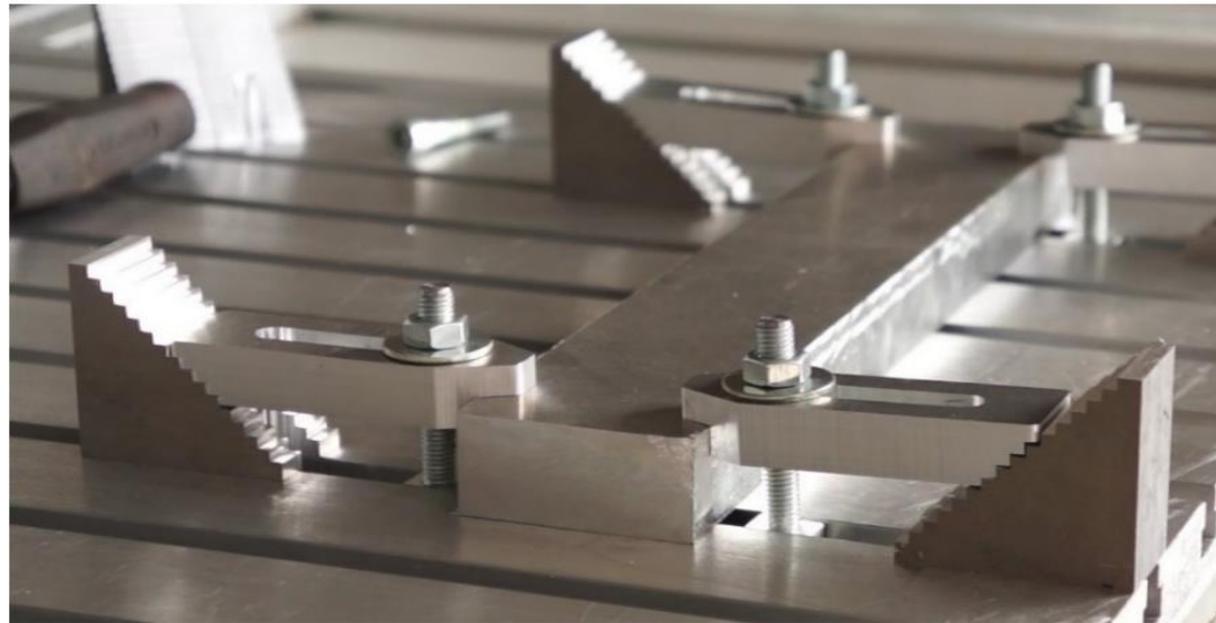
*Reductor de velocidad tornillo-corona.*



Tomado de (STEPPER, 2023).

## MÉTODO DE SUJECCIÓN ELEGIDO

**Figura 12**  
*Steps Clamps*



Tomado de (McMaster-Crr, 2023).

## SISTEMA DE TRANSMISIÓN ELEGIDO

**Figura 13**  
*Husillo de bolas.*



Tomado de (HIWIN, 2020).

## RIELES Y RODAMIENTOS LINEALES ELEGIDOS

### Figura 14

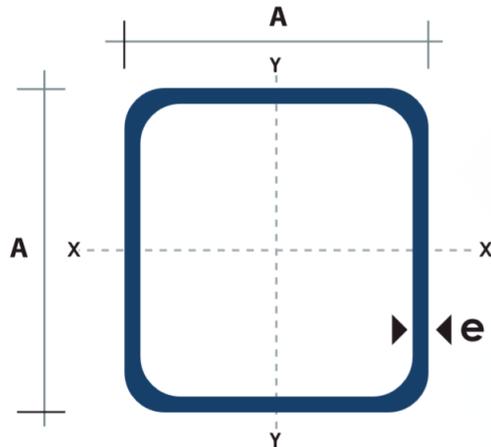
*Bloques lineales HGH20CA y rieles HGR20T.*



Tomado de (HIWIN, 2020).

## MATERIAL ELEGIDO PARA LA ESTRUCTURA

**Figura 15**  
*Husillo de bolas.*



Dimensiones			Área	Ejes X-Xe Y-Y		
A mm	Espesor mm (e)	Peso Kg/m	Área cm <sup>2</sup>	I cm <sup>4</sup>	W cm <sup>3</sup>	i cm <sup>3</sup>
75	4.0	8.59	10.95	89.98	24.00	2.87

Tomado de (DIPAC, 2020).

$$\delta flex = \frac{M_{m\acute{a}x}}{W_{x-x}}$$

$$FS = \frac{S_y}{\delta flex}$$

$$\frac{M_{m\acute{a}x}}{W_{x-x}} = \frac{S_y}{FS}$$

$$W_{x-x} = \frac{M_{m\acute{a}x} \cdot FS}{S_y}$$

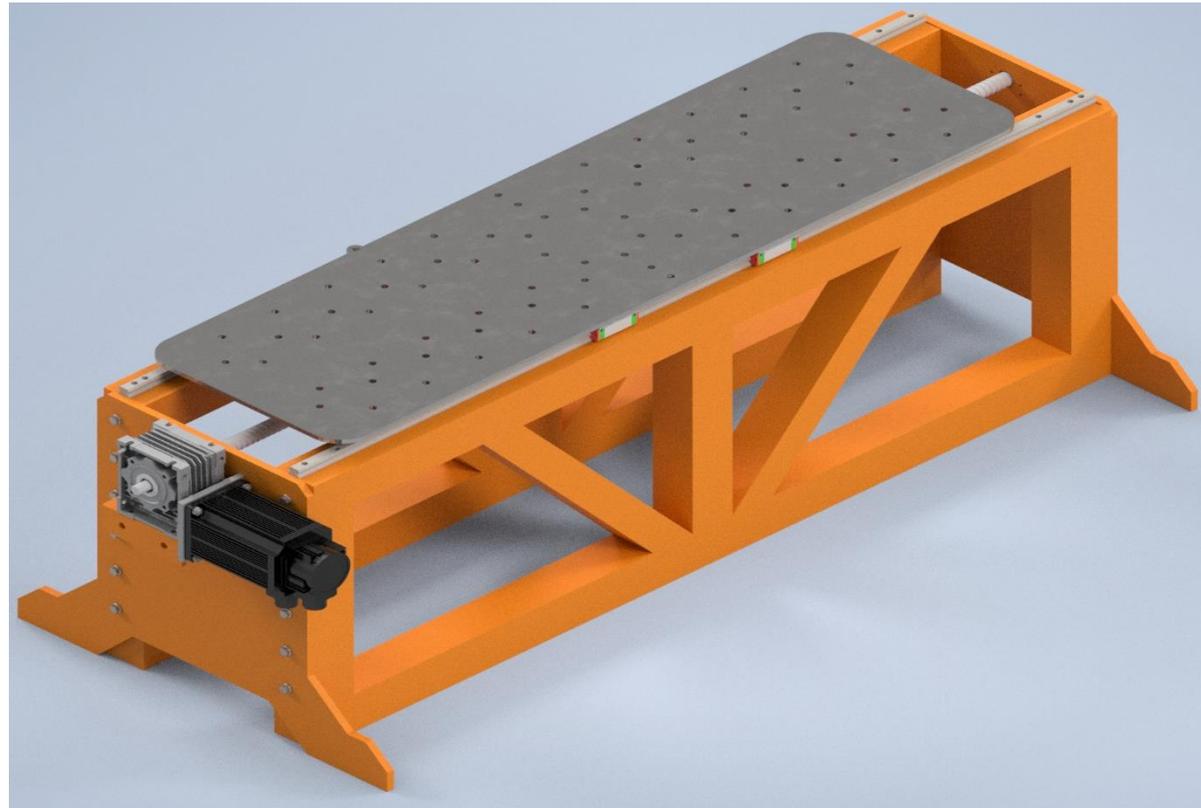
$$W_{x-x} = \frac{735 \cdot 3}{250 \times 10^6}$$

$$W_{x-x} = 8,82 \text{ cm}^3$$

## DISEÑO CAD

### Figura 16

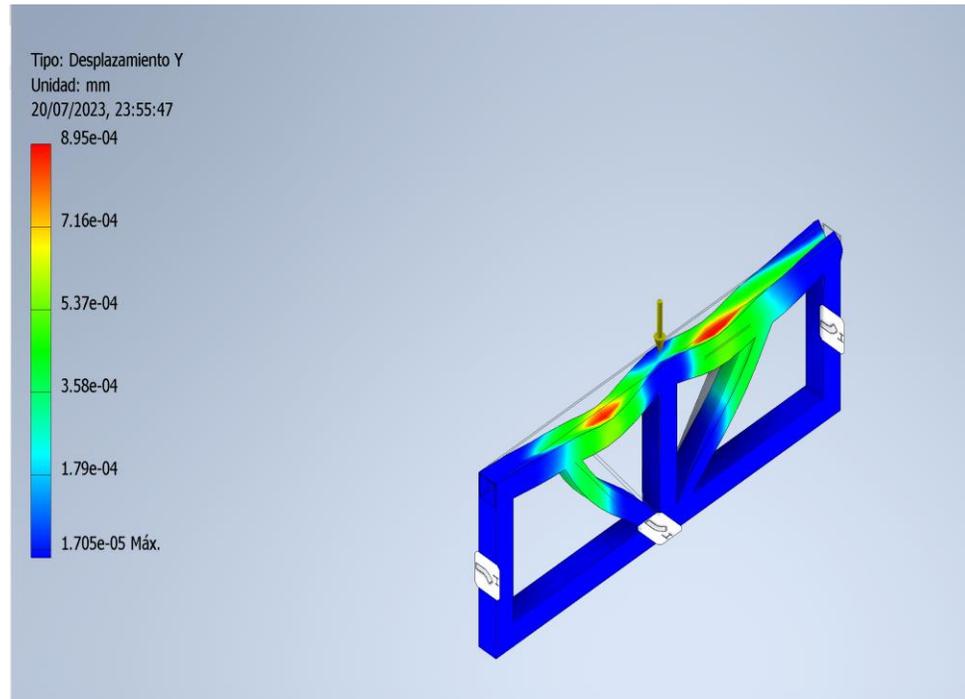
*Diseño Cad de la mesa lineal.*



## ANÁLISIS USANDO SOFTWARE CAE

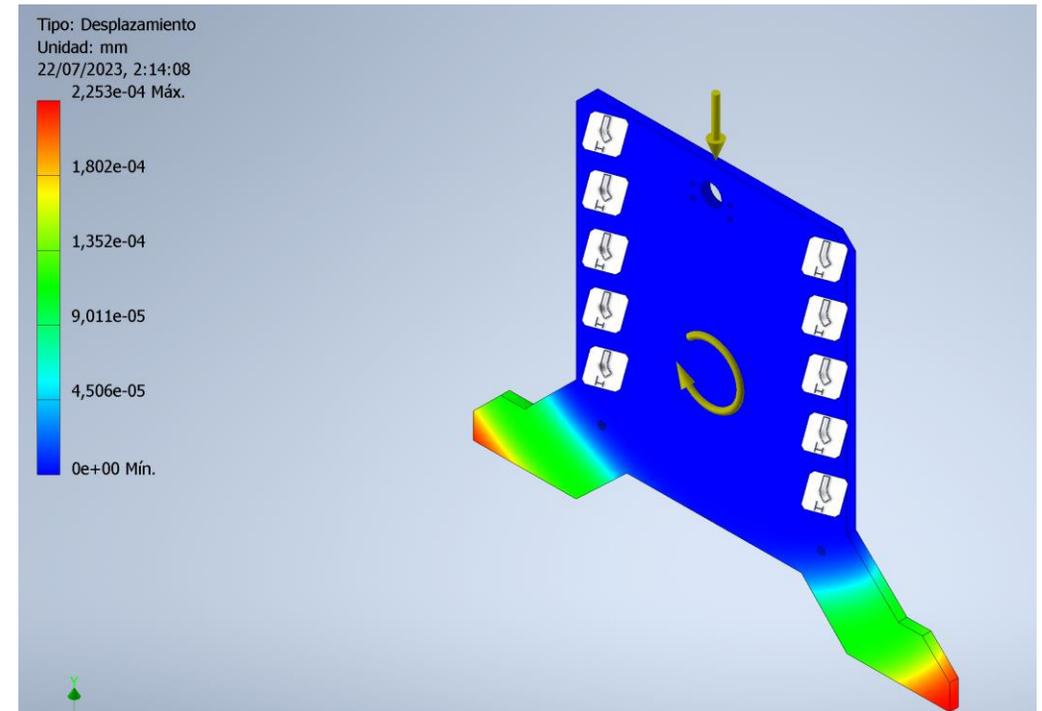
**Figura 17**

*Deformación máxima estructura lateral*



**Figura 18**

*Deformación máxima pared principal.*



# IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA MECÁNICO

**Figura 19**

*Aspecto físico de la mesa lineal.*



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**Figura 20**

*Calibre de conductor para alimentación.*

CONDUCTOR				ESPESOR DE AISLACIÓN	DIÁMETRO EXTERIOR APROX	RESISTENCIA ELÉCTRICA DC a 20°C	PESO TOTAL APROX	CAPACIDAD DE CORRIENTE	
CALIBRE	SECCIÓN NOMINAL	# HILOS	DIÁMETRO APROX					A(1)	A(2)
AWG / MCM	mm <sup>2</sup>	cantidad	mm	mm	mm	ohm/Km	kg/km		
14	2,08	22	1,9	0,38	3,0	8,6100	26	25	35
12	3,31	41	2,4	0,39	3,5	5,4300	38	30	40
10	5,26	26	2,7	0,51	4,0	3,4100	61	40	55
8	8,37	41	3,3	0,76	5,3	2,1400	99	55	80
6	13,30	63	4,2	0,76	6,2	1,3800	147	75	105
4	21,10	100	5,2	1,02	7,8	0,8650	236	95	140
2	33,60	126	7,7	1,02	10,4	0,5440	372	130	190
1/0	53,50	200	9,9	1,27	13,2	0,3450	586	170	260
2/0	67,40	250	10,6	1,27	14,2	0,2730	701	195	300
3/0	85,00	312	12,4	1,27	15,8	0,2170	892	225	350
4/0	107,00	393	14,0	1,27	17,4	0,1720	1119	260	405
250	127,00	495	14,9	1,52	18,9	0,1470	1295	290	455
300	152,00	586	16,4	1,52	20,5	0,1220	1565	320	505
350	177,00	820	17,3	1,52	21,4	0,1050	1889	350	570
400	203,00	1171	19,1	1,52	23,2	0,0920	2031	380	615
500	253,00	1400	20,6	1,52	24,8	0,0735	2671	430	700

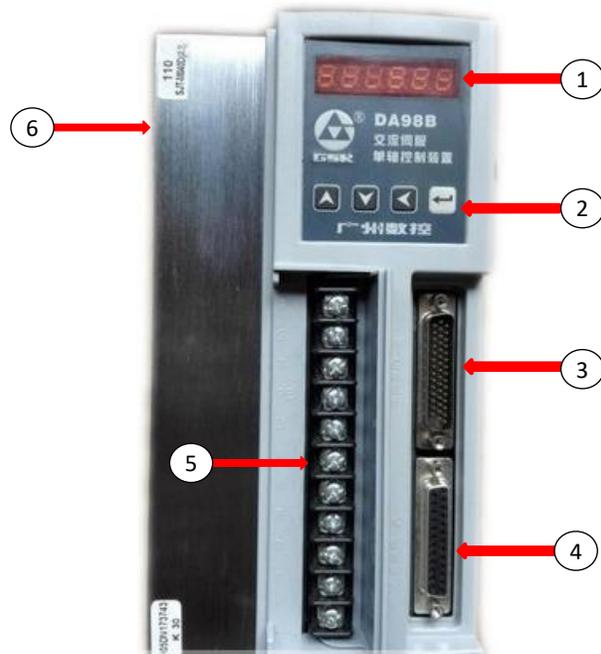
**Figura 21**

*Interruptor termomagnético.*



**Figura 22**

*Unidad de servo controlador.*



1. Panel indicador led.
2. Botones de control.
3. Conector de Señales externas.
4. Conector de retroalimentación del motor.
5. Terminales de alimentación.
6. Radiador

**Figura 23**  
*Luz piloto.*



**Figura 24**  
*Interruptor de leva.*



**Figura 25**  
*Relé encapsulado.*



**Figura 26**  
*Canaleta ranurada dexson.*

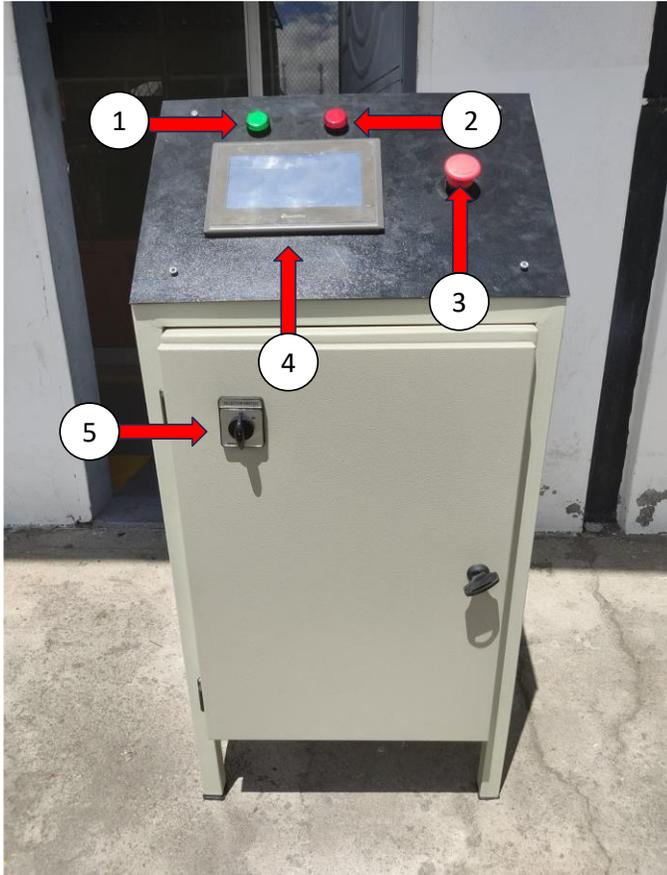


**Figura 27**  
*Panel touch.*



**Figura 28**

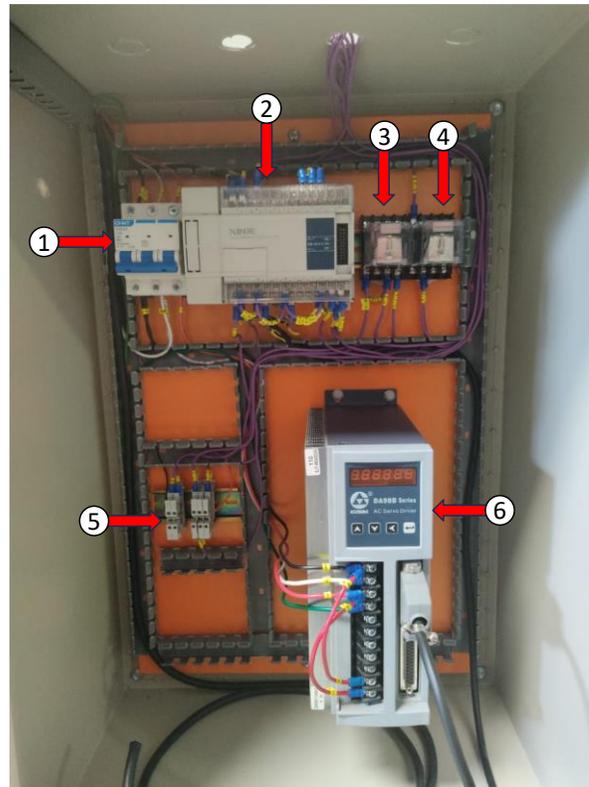
*Tablero de control.*



1. Led indicador de encendido.
2. Led indicador de paro de emergencia.
3. Pulsador de paro de emergencia.
4. Panel touch.
5. Selector de encendido.

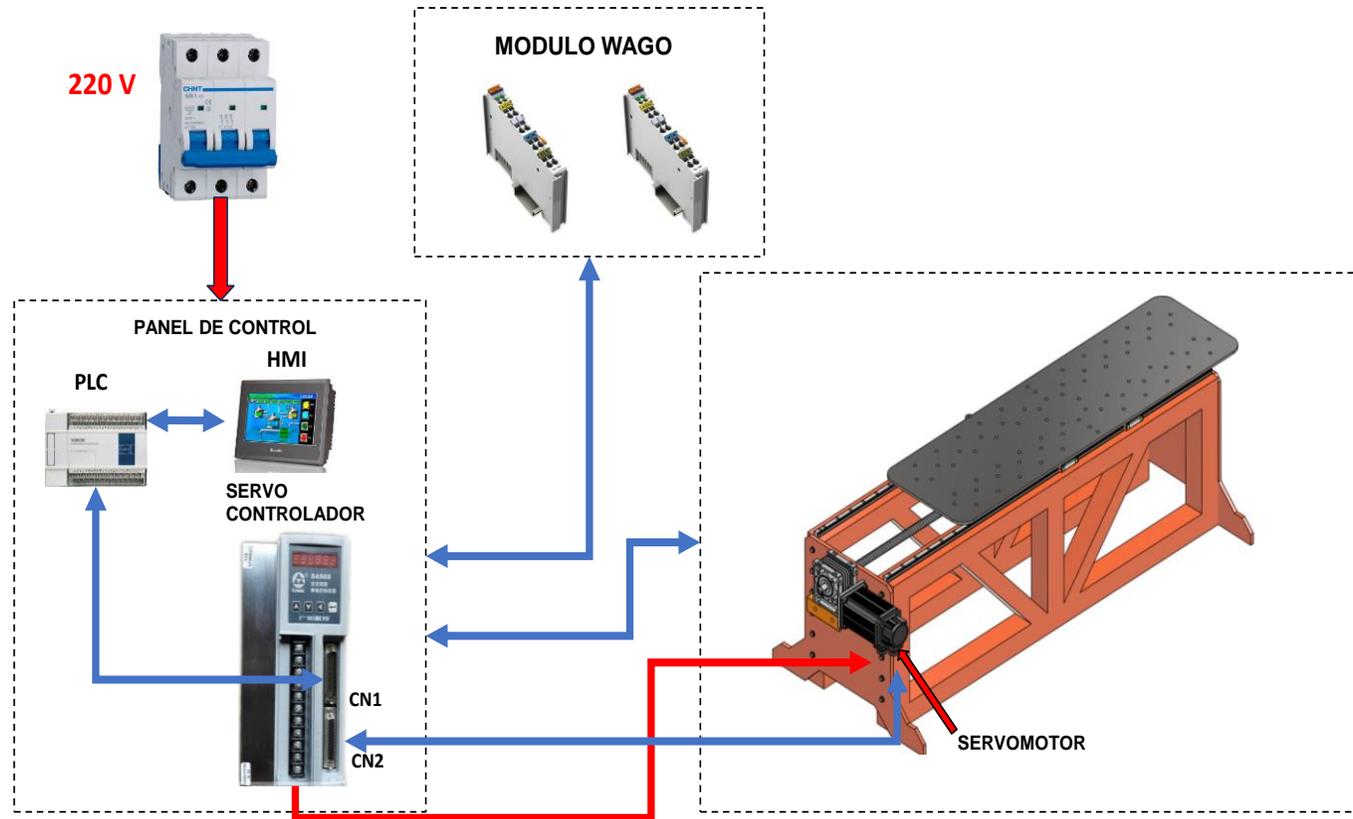
**Figura 29**

*Clasificación interna del tablero de control.*



1. Interruptor termomagnético.
2. PLC.
3. Relé PLC-KRC2
4. Relé KRC2-PLC
5. Borneras de conexión DIN
6. Unidad de control del servo motor

**Figura 30**  
*Esquema de conexión general de la máquina.*



**Figura 31**  
*Ventanas de operación del HMI.*



a) Ventana de inicio, b) Ventana de selección de modo de trabajo, c) Ventana del modo manual, d) Ventana del modo automático.

**Figura 32**  
*Ventanas de información del HMI.*

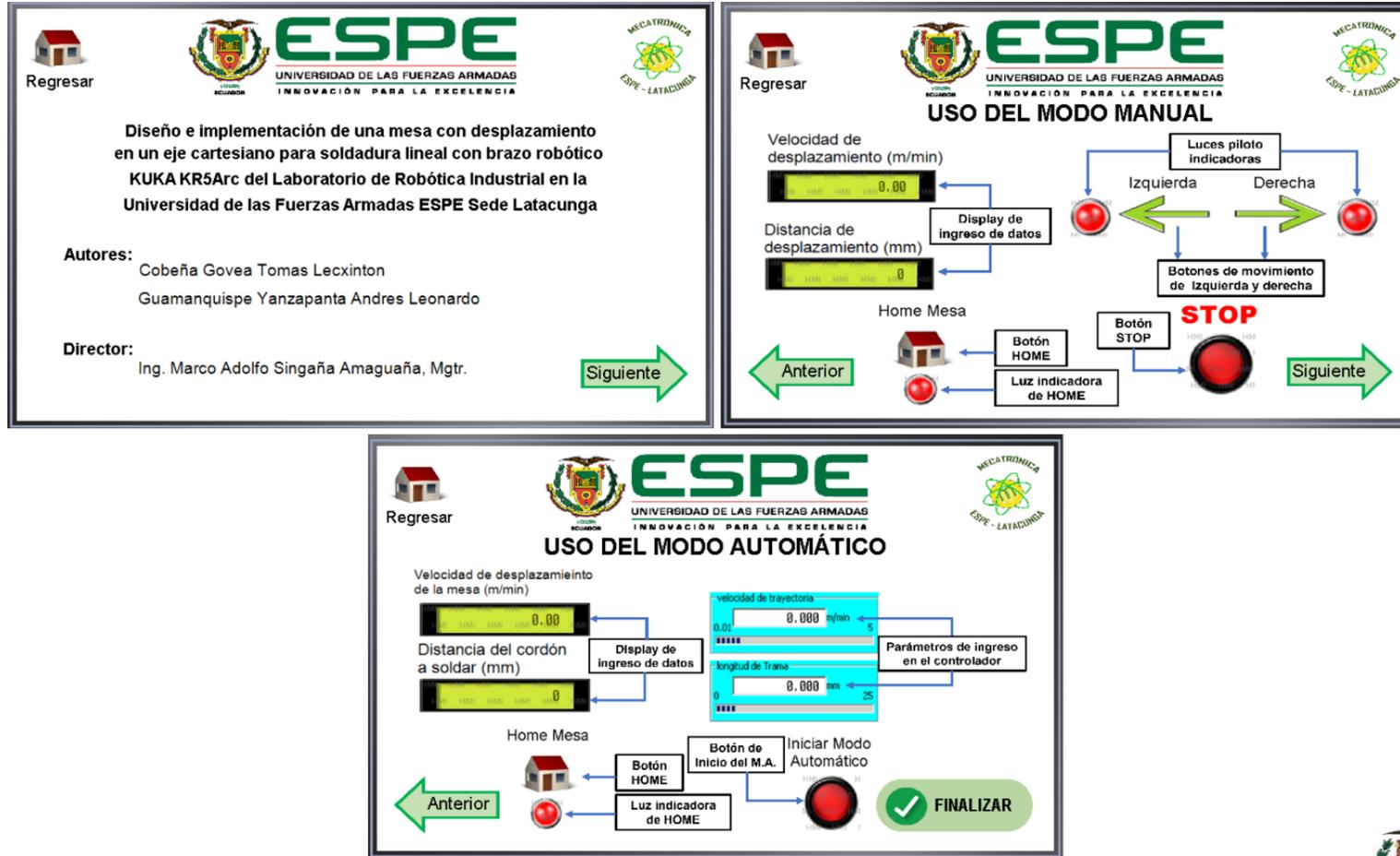


Figura 33

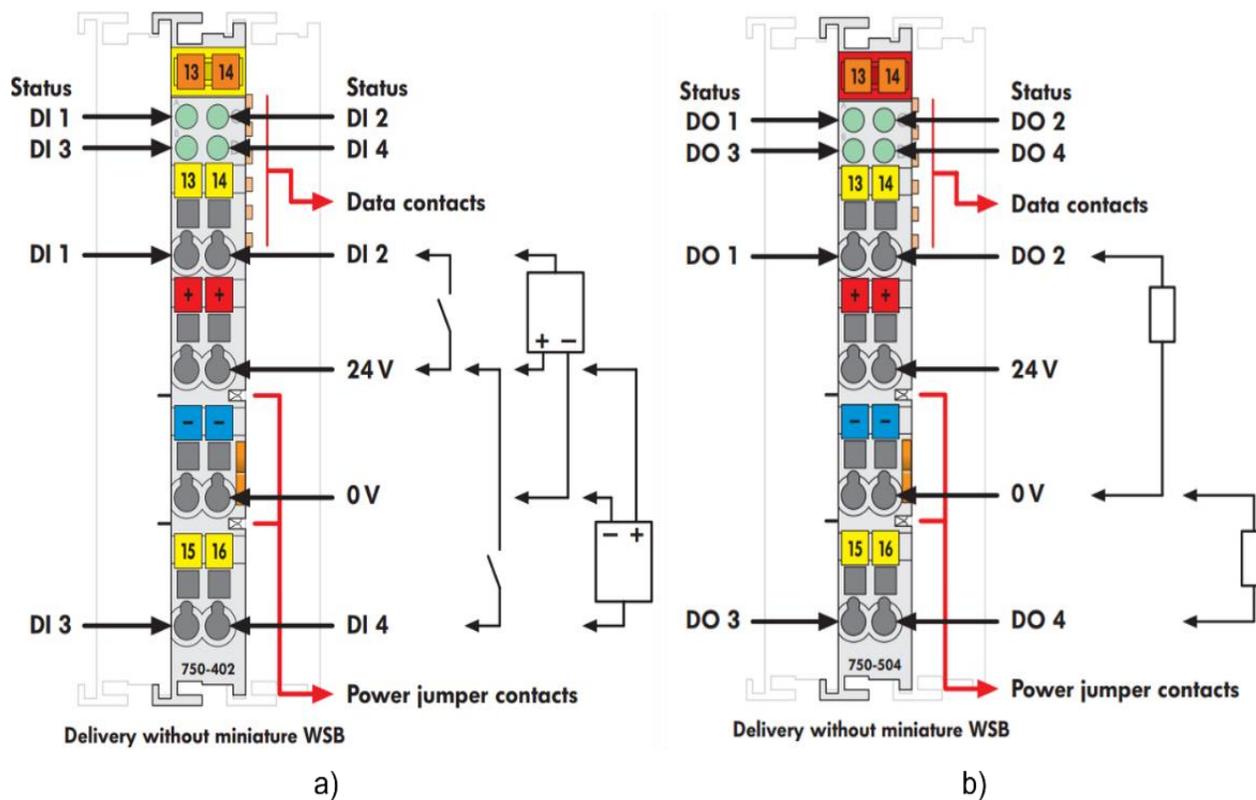
Ventanas de advertencia del HMI.



# SISTEMA DE COMUNICACIÓN ENTRE DISPOSITIVOS

**Figura 35**

*Conexión del módulo de entradas y salidas digitales Wago.*



**Figura 36**

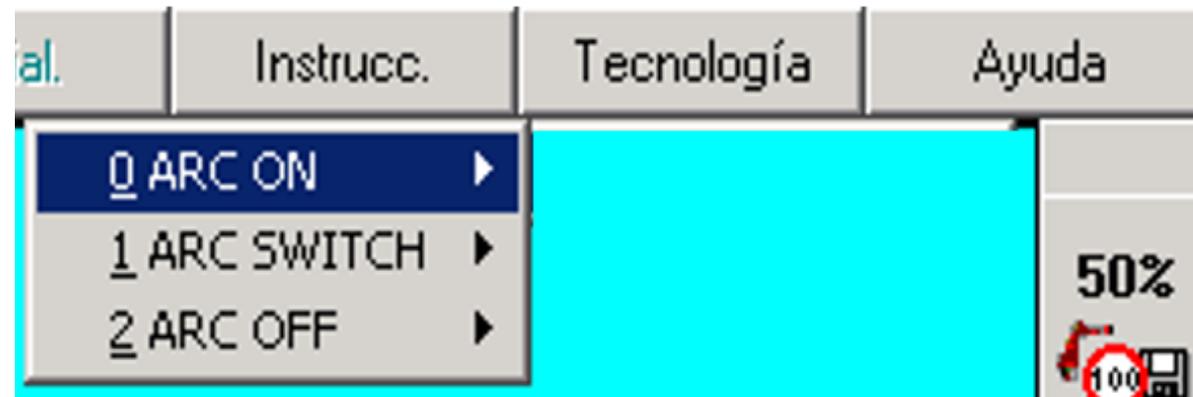
*Entradas y salidas utilizadas para la comunicación.*

114	○	SYS	Final_ML
a)			
115	○		Inicio_ML
b)			

# IMPLEMENTACIÓN Y CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA MECATRÓNICO

**Figura 37**

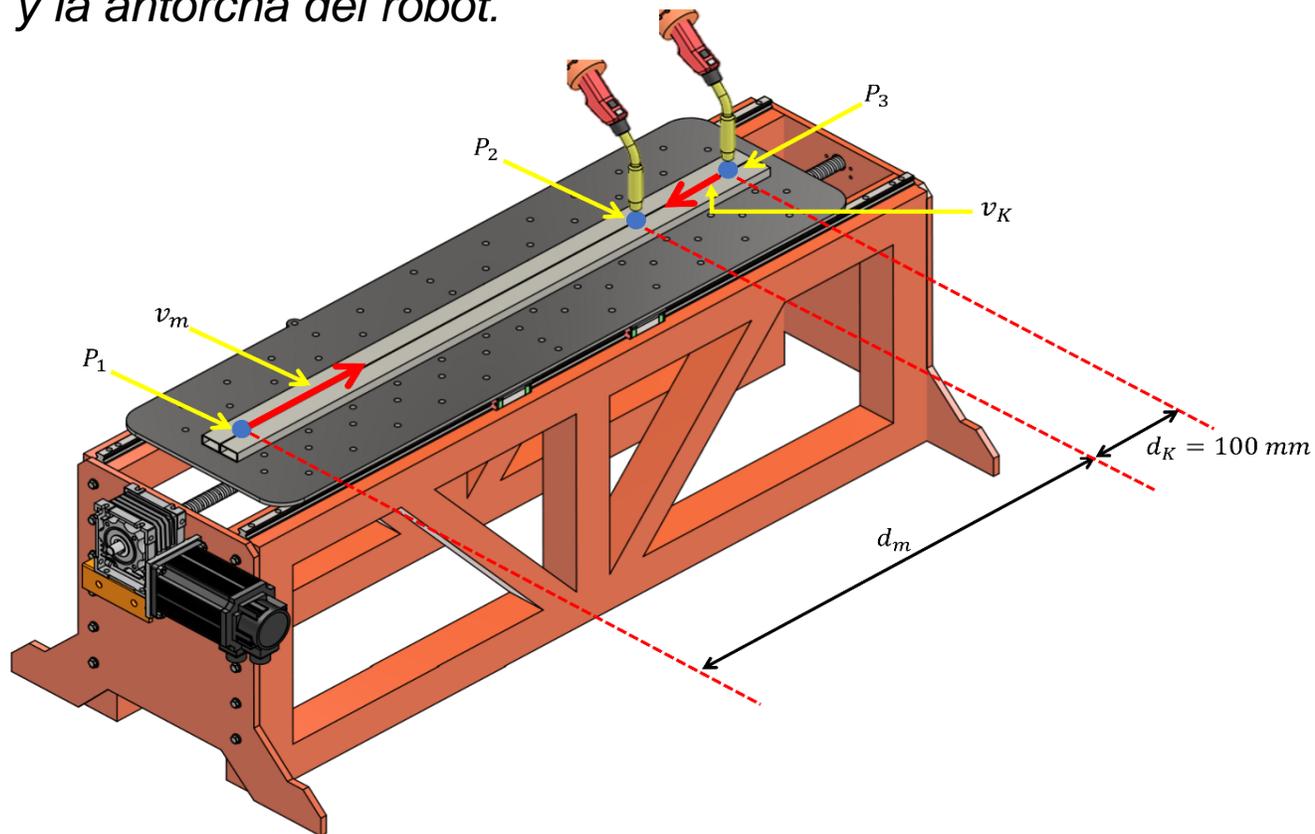
*Funciones para encendido y apagado del arco.*



# IMPLEMENTACIÓN Y CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA MECATRÓNICO

**Figura 38**

*Movimiento relativo entre la mesa lineal y la antorcha del robot.*



**Velocidad del brazo manipulador**

$$v_K = \frac{v_m \cdot d_K}{d_m}$$

**Longitud de trama del arco de soldadura**

$$l_{tr} = \frac{(v_m + v_K) \cdot 1000}{F \times 60}$$

# IMPLEMENTACIÓN Y CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA MECATRÓNICO

Figura 39

Programación del brazo robótico con la mesa lineal

```
1  DEF sol_ml( )
2  INI
3
4  PTP HOME Vel=50 % DEFAULT
5
6  PTP P1 Vel=30 % PDAT1 Tool[16]:TORCHA RA400 Base[8]:tesis_ext
7  PTP P2 Vel=30 % PDAT2 Tool[16]:TORCHA RA400 Base[8]:tesis_ext ← 1
8  LIN P3 Vel=0.3 m/s CPDAT5 Tool[16]:TORCHA RA400 Base[8]:tesis
9
10 WAIT Time=0.05 sec
11 OUT 115 'Inicio_ML' State=TRUE ← 2
12 WAIT Time=0.05 sec
13 OUT 115 'Inicio_ML' State=FALSE
14
15 LIN P4 Vel= 0.3 m/s CPDAT6 ARC_ON Pgeno= 4 S1 Seam1 Tool[16]: ← 3
16 LIN P5 CPDAT7 ARC_OFF Pgeno= 4 E1 Seam1 Tool[16]:TORCHA RA400
17
18 WAIT FOR ( IN 114 'Final_ML' ) ← 4
19
20 LIN P6 Vel=0.3 m/s CPDAT8 Tool[16]:TORCHA RA400 Base[8]:tesis
21 PTP P7 Vel=30 % PDAT3 Tool[16]:TORCHA RA400 Base[8]:tesis_ext ← 5
22
23 PTP HOME Vel=50 % DEFAULT
```



**Tabla 1**

*Datos del encoder para obtener velocidades, en sentido antihorario.*

Prueba	Velocidad ingresada (m/min)	Velocidad medida (m/min)	RPM ingresado	RPM medido	Error (%)
1	0,1	0,101	600	604	0,66
2	0,15	0,151	900	907	0,77
3	0,2	0,203	1200	1218	1,5
4	0,25	0,253	1500	1517	1,13
5	0,3	0,302	1800	1814	0,77
6	0,35	0,354	2100	2124	1,13
7	0,4	0,399	2400	2394	0,25



**Tabla 2**

*Datos del encoder para obtener velocidades, en sentido horario.*

Prueba	Velocidad ingresada (m/min)	Velocidad medida (m/min)	RPM ingresado	RPM medido	Error (%)
1	0,1	0,101	600	604	0,66
2	0,15	0,151	900	907	0,77
3	0,2	0,203	1200	1218	1,5
4	0,25	0,253	1500	1517	1,13
5	0,3	0,302	1800	1814	0,77
6	0,35	0,354	2100	2124	1,13
7	0,4	0,399	2400	2394	0,25



# PRUEBAS PARCIALES DE DESPLAZAMIENTO

**Tabla 3**

*Desplazamiento gradual desde 300 hasta 1100 mm, sentido horario.*

Prueba	Desplazamiento ingresado (mm)	Desplazamiento o medido (mm)	Error (%)
1	300	301	0,33
2	400	399	0,25
3	500	499	0,20
4	600	601	0,17
5	700	701	0,14
6	800	801	0,13
7	900	900	0,00
8	1000	1001	0,10
9	1100	1099	0,09



# PRUEBAS PARCIALES DE DESPLAZAMIENTO

**Tabla 4**

*Desplazamiento gradual desde 300 hasta 1100 mm, sentido antihorario*

Prueba	Desplazamiento ingresado (mm)	Desplazamiento o medido (mm)	Error (%)
1	300	301	0,33
2	400	399	0,25
3	500	499	0,20
4	600	601	0,17
5	700	701	0,14
6	800	801	0,13
7	900	900	0,00
8	1000	1001	0,10
9	1100	1099	0,09



**Tabla 5**

*Pruebas de desplazamiento entre mesa y brazo robótico.*

Prueba	Velocidad Brazo Robótico (m/min)	Distancia ingresada (mm)	Señal Inicio_ML	Señal Final_ML
1	0,2	300	SI	SI
2	0,133	400	SI	SI
3	0,1	500	SI	SI
4	0,08	600	SI	SI
5	0,066	700	SI	SI
6	0,057	800	SI	SI
7	0,005	900	SI	SI
8	0,044	1000	SI	SI
9	0,04	1100	SI	SI



# CALIBRACIÓN DE SOLDADORA FRONIUS

**Tabla 6**

*Valores de calibración para el controlador Fronius, posición 1G.*

Prueba	Longitud de cordón (cm)	Longitud de trama (mm)	Velocidad de alimentación de hilo (m/min)	Corriente (A)	Voltaje (V)
1	30	3,33	2.5	60	10
2	30	3,33	4	90	11.5
3	30	3,33	3	98	16
4	30	3,33	3,3	100	17
5	30	3,33	3,9	111	17,9



**Figura 40**

*Pruebas de calibración de cordón de soldadura posición 1G.*



Prueba 1.



Prueba 2.



Prueba 3.



Prueba 4.



Prueba 5.

# APLICACIÓN DE SOLDADURA EN POSICIÓN 1G

**Figura 41**

*Aplicación de cordón de soldadura posición 1G.*



Aplicación 1.



Aplicación 2.

# APLICACIÓN DE SOLDADURA EN POSICIÓN 1G

**Figura 42**

*Aplicación de cordón de soldadura posición 1G.*



Aplicación 3.



Aplicación 4.

# CALIBRACIÓN DE SOLDADURA EN POSICIÓN 2F

**Tabla 7**

*Valores de calibración para el controlador Fronius, posición 2F.*

Prueba	Longitud de cordón (mm)	Longitud de trama (mm)	Velocidad de alimentación de hilo (m/min)	Corriente (A)	Voltaje (V)	Velocidad total de trayectoria (m/min)
1	100	3,33	2,5	60	10	0,6
2	100	3,33	4	90	11,5	0,3
3	100	3,33	3	77	16	0,16
4	560	1,082	4,3	89	16,7	0,195



# CALIBRACIÓN DE SOLDADURA EN POSICIÓN 2F

**Figura 43**

*Calibración de cordón de soldadura posición 2F.*



Prueba 1.



*Prueba 2.*



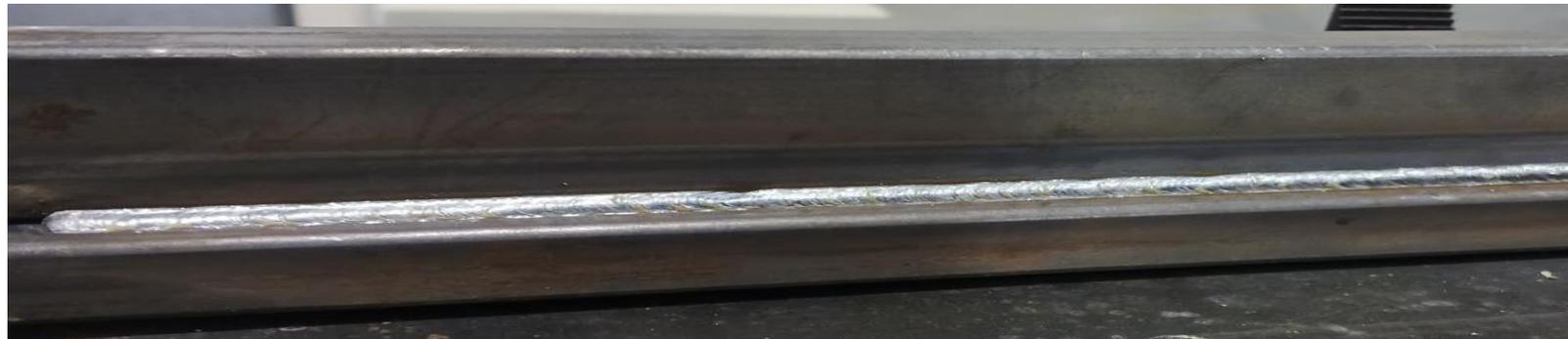
# CALIBRACIÓN DE SOLDADURA EN POSICIÓN 2F

**Figura 44**

*Calibración de cordón de soldadura posición 2F.*



Prueba 3.



Prueba 4.



# APLICACIÓN DE SOLDADURA EN POSICIÓN 2F

**Figura 45**

*Aplicación de cordón de soldadura posición 2F.*



Aplicación 1.



Aplicación 2.



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

La hipótesis es validada aplicando el método hipotético-deductivo (H-D), el cual, según Arroyo (2018, p. 75) citando a (Hempel, 1996, p. 40), menciona que “Toda hipótesis [H] implicada por un informe de observación [E] está confirmada por éste”. Por lo tanto, si E implica lógicamente H, entonces E confirma H.

Mediante el diseño e implementación de una mesa con desplazamiento en un eje cartesiano, se podrá realizar soldadura lineal con brazo robótico KUKA KR5Arc del laboratorio de Robótica Industrial de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga.

Longitud de trama: 3,33 mm.

velocidad de alimentación de hilo: 3,9 m/min.

Corriente: 111 A.

Voltaje: 17,9 V.

$$\frac{H}{I}$$
$$\frac{O}{O}$$

---

Se observa uniformidad del cordón y un espesor constante, la penetración a simple inspección visual es aceptable.



Para complementar las consecuencias observables [O], se aplica un informe de observación [E], realizado por el Ing. Gabriel Velastegui, inspector CWI - NIVEL II / NDT – ASNT / AWS, mediante la aplicación de pruebas no destructivas y destructivas.



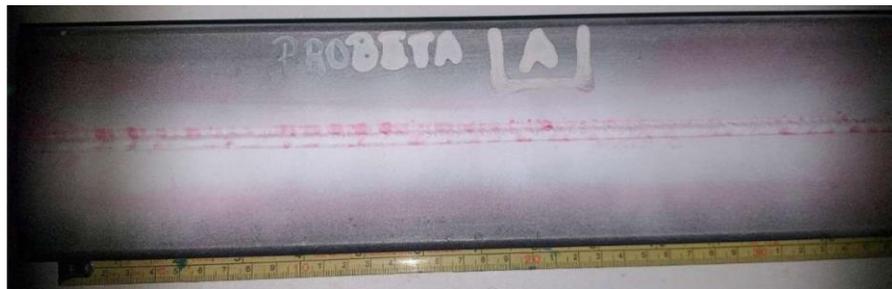
**Figura 46**

*Aplicación de tintes penetrantes a probetas.*



**Figura 47**

*Aplicación de revelador a probetas.*



Del informe técnico de la probeta A y B. Velastegui (2023) afirma lo siguiente:  
En la unión soldada de las Tuberías cuadradas, se realizó la inspección utilizando END (Visual VT y Tintas penetrantes PT). En la Inspección visual presenta buena uniformidad del cordón de soldadura, no presenta porosidades ni fisuras. En la Inspección por Tintas penetrantes presenta Indicaciones redondeadas  $\leq 4,8$  mm, por lo que se encuentra dentro de los parámetros del código AWS D1.1. (p. 1)



**Figura 47**

*Ensayo de rotura probeta A1 y B1.*



**Figura 48**

*Ensayo de rotura probeta A2 v B2.*



Del informe técnico de la probeta A y B. Velastegui (2023) afirma lo siguiente:

La Falla se produce en la zona afectada por el calor (ZAC). La Falla se no se produce en el cordón de soldadura. En la superficie de Fractura no se evidencia porosidades o escoria. (p. 1)



Los resultados del informe de observación [E], realizado por el Ing. Gabriel Velastegui, inspector CWI - NIVEL II / NDT – ASNT / AWS, complementan las consecuencias observables [O], por lo tanto, se valida la hipótesis [H] planteada como “Mediante el diseño e implementación de una mesa con desplazamiento en un eje cartesiano, se podrá realizar soldadura lineal con brazo robótico KUKA KR5Arc del Laboratorio de Robótica Industrial de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga”.



# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES