



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



Departamento de Ciencia de la Energía y Mecánica
Carrera de Mecatrónica
Trabajo de Integración Curricular, previo a la obtención del
título de Ingeniero en Mecatrónica

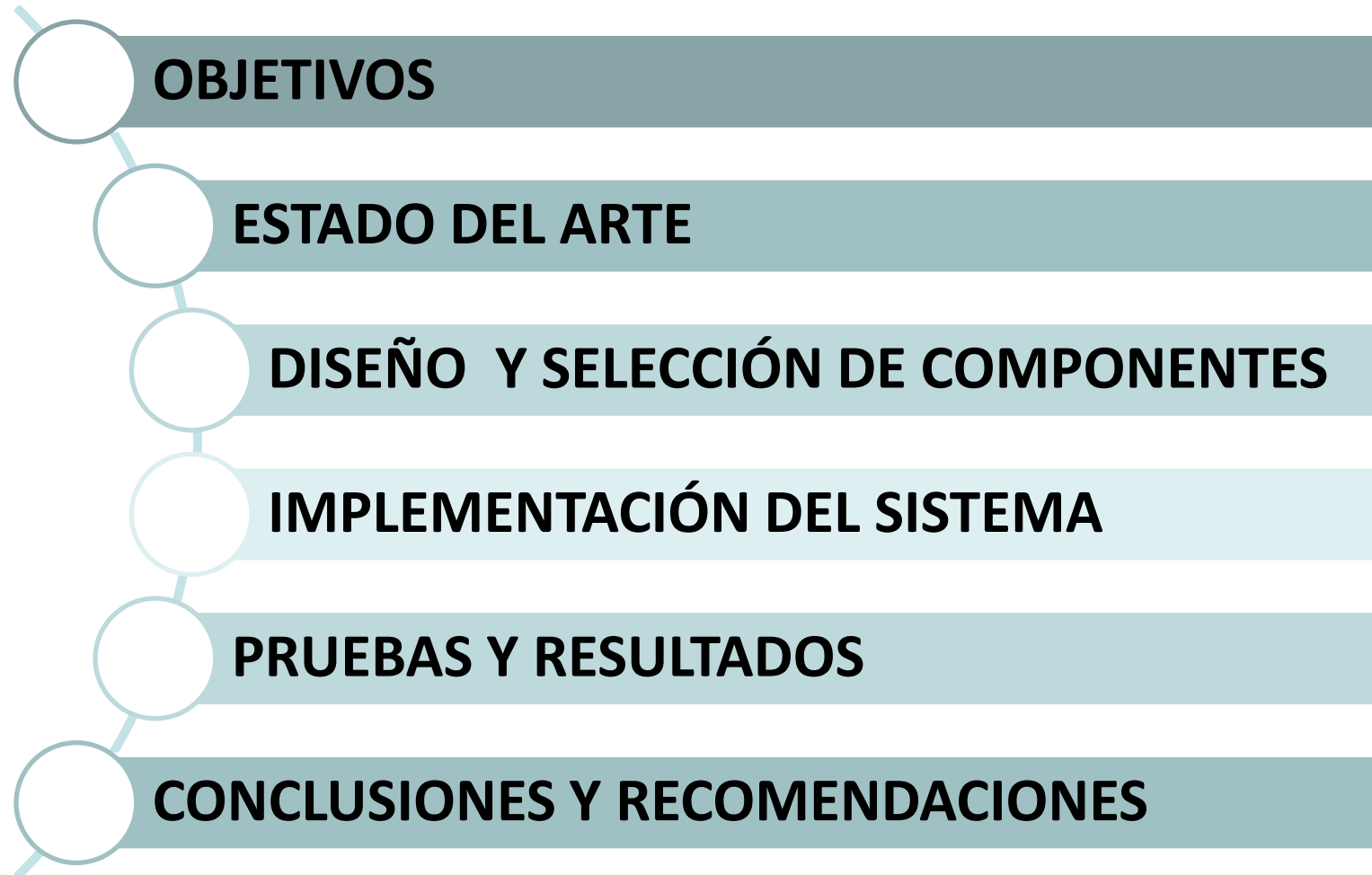
Tema: Rediseño e implementación de un sistema de Soldadura Robotizada GMAW ESPEL, indexado al CIM como estación de suelda GMAW.

Autor: Toapanta Toapanta, Alexander Ronaldo

Director: Ing. Acuña Coello, Fausto Vinicio

Latacunga, Agosto 2023





Objetivo General

Rediseñar e implementar el sistema de Soldadura Robotizada GMAW ESPEL, indexado al CIM como estación de suelda GMAW.

Objetivos Específicos

- Analizar información preliminar y la línea base del proyecto
- Analizar las alternativas de solución y Determinar los parámetros de diseño
- Diseñar el sistema mecatrónico de la estación de soldadura robotizada GMAW y Seleccionar los componentes
- Construir e Implementar la estación de soldadura robotizada GMAW
- Operar la estación de soldadura robotizada GMAW y Elaborar guías de prácticas



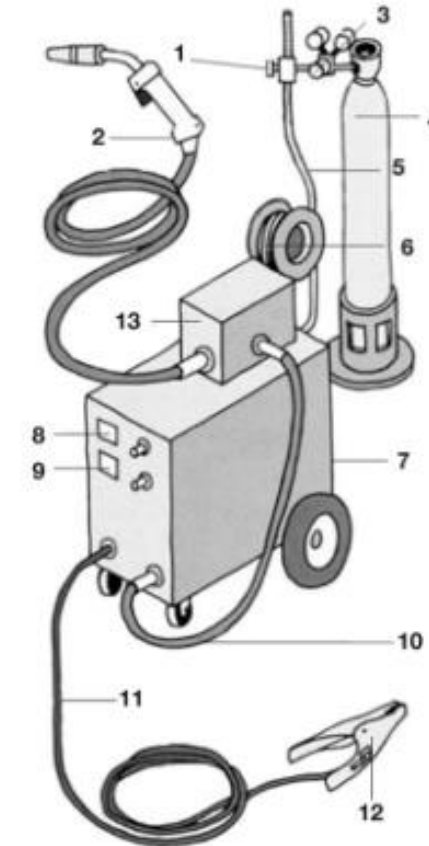
Fundamentación teórica

- **Manufactura integrada por computador CIM**

Según (Artiga & Joya, 2019) la Manufactura Integrada por Computadora (CIM) es un método de manufactura en el cual el proceso entero de producción es controlado por una computadora

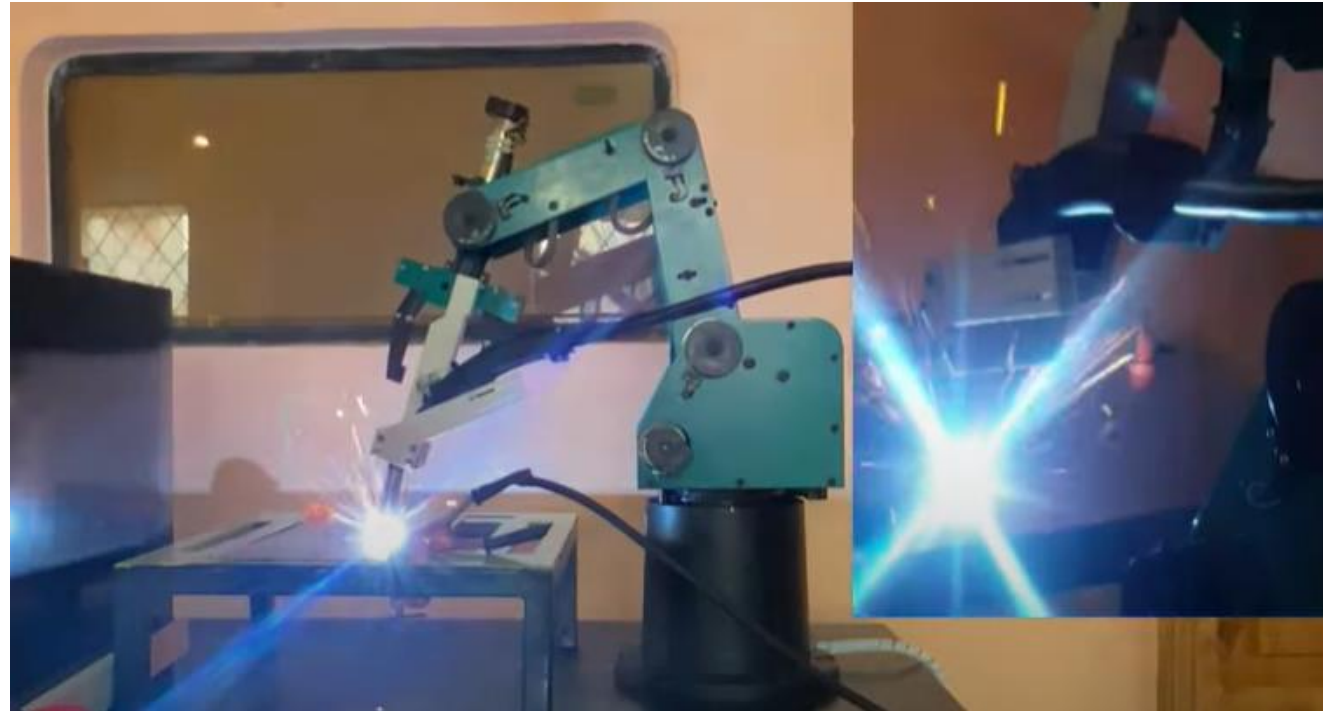
- **Proceso GMAW**

Un proceso GMAW es un proceso de soldadura de arco el cual incorpora la alimentación automática de un electrodo continuo consumible que está protegido por un gas suministrado externamente



Línea base del laboratorio

- Un sistema interactivo para suelda y corte robotizado multifunción, usando tecnología inverter en un Scorbot ER-4U

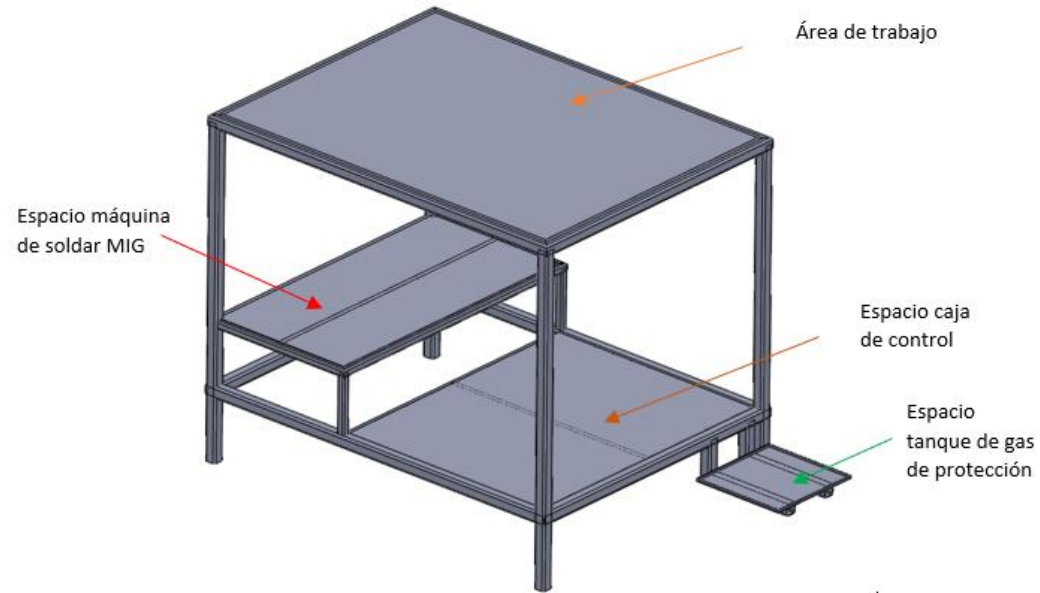


Parámetros de diseño



- ✓ Estructuras abiertas para fácil accesibilidadPeso permisible del manipulador.
- ✓ Diseño de un agarre que se acople al brazo y a la antorcha de tal manera que la suelda sea efectiva.
- ✓ Para garantizar el envío y recepción de datos del CIM a la estación de suelda robotizada GMAW, se llevará a cabo la implementación de módulos de comunicación

Diseño del espacio de trabajo del Scorbot ER-4U para soldadura



Rediseño mecánico de la mesa de trabajo

Para el rediseño se parte de la mesa de suelda existente ya utilizada en el trabajo *“Diseño e implementación de un sistema interactivo para suelda y corte robotizado multifunción, usando tecnología inverter en un Scrobot ER-4U del laboratorio de CNC de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga”*.



Análisis estático del diseño de la propuesta de mesa de trabajo

Dato inicial

$$m_1 = 10.8 \text{ kg}$$

$$m_2 = 2.26 \text{ Kg}$$

- Se calcula el peso

$$W = m * g$$

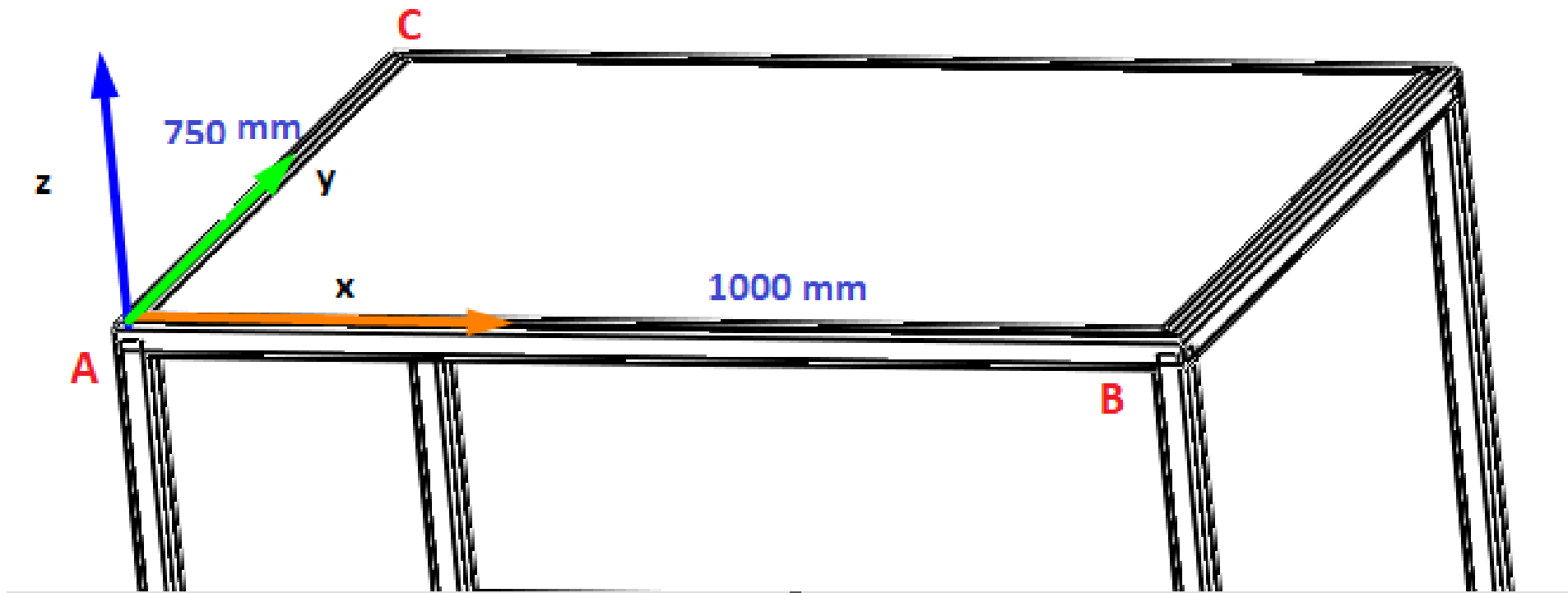
$$W_1 = 10,8 \text{ kg} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$W_1 = 105.84 \text{ N}$$

$$W_2 = 22.14 \text{ N}$$



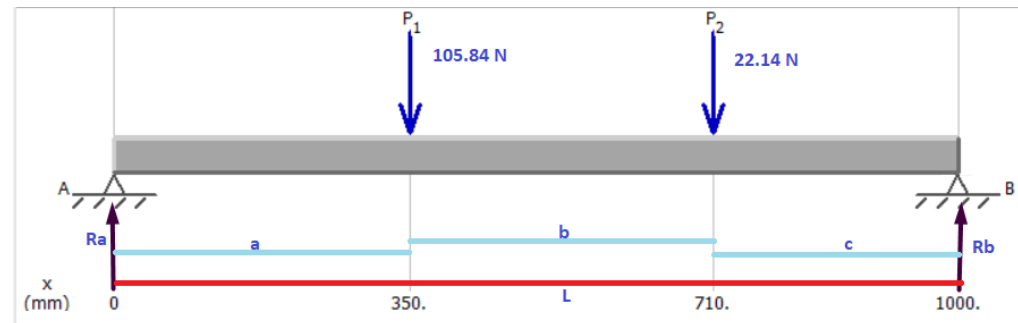
Medidas de la parte superior de la mesa de trabajo



$$L = 1000 \text{ mm} \quad a = 350 \text{ mm} \quad b = 360 \text{ mm} \quad c = 290 \text{ mm}$$



Reacciones en apoyos en los puntos A-B



Realizando una sumatoria de momentos en el punto A con el sentido horario como positivo.

$$\curvearrowright \sum M_A = 0$$

$$-(105.84 \text{ N}) * 0.35\text{m} - (22.14\text{N}) * 0.71\text{m} + R_B * 1\text{m} = 0$$

$$R_B = 52.7634\text{N}$$

Entonces la reacción en el punto B se da de la siguiente manera

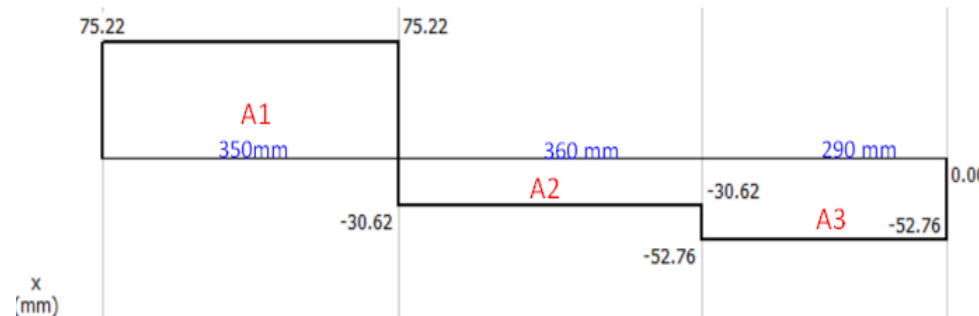
$$\uparrow \sum F_y = 0$$

$$R_A - P_1 - P_2 + R_B = 0$$

$$R_A = 105.84 \text{ N} + 22.14 \text{ N} - 52.7634 \text{ N}$$

$$R_A = 75.216 \text{ N}$$

Diagrama de fuerzas cortantes



Se aprecia una primera área A_1 , una segunda A_2 y una tercera A_3 necesarias para el cálculo del momento por el método de las áreas:

- Para el A_1

$$a = 0.35m$$

$$R_A = 75.216 N$$

Al existir una fuerza P_1 mayor que la fuerza P_2 , el área A_1 será mucho mayor que la A_2 y A_3 por lo que en ella se dará el momento máximo y esto se comprueba en la Figura 20.

El momento máximo se da de la siguiente manera

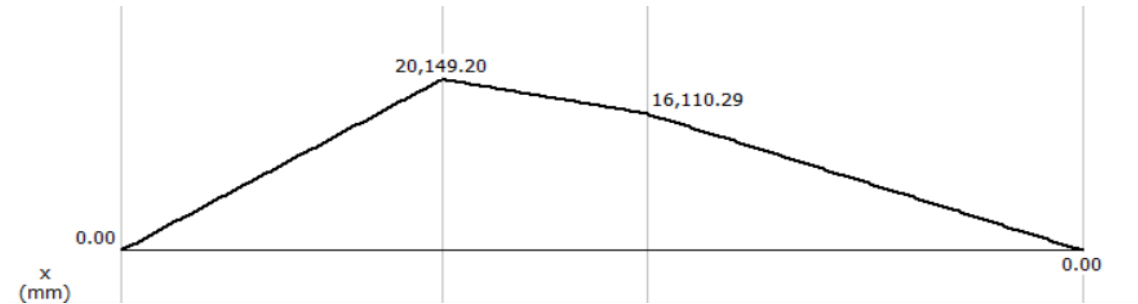
$$M = R_A * a$$

$$M = 75.216 N * 0.35m$$

$$M = 26.327 N.m$$



Diagrama de momento



Esfuerzo debido a flexión

$$\sigma = \frac{M + C}{I}$$

$$\sigma = \frac{20.15 \text{ N.m} + 0.2500m}{25.4 \times 10^3 \text{ mm}^4}$$

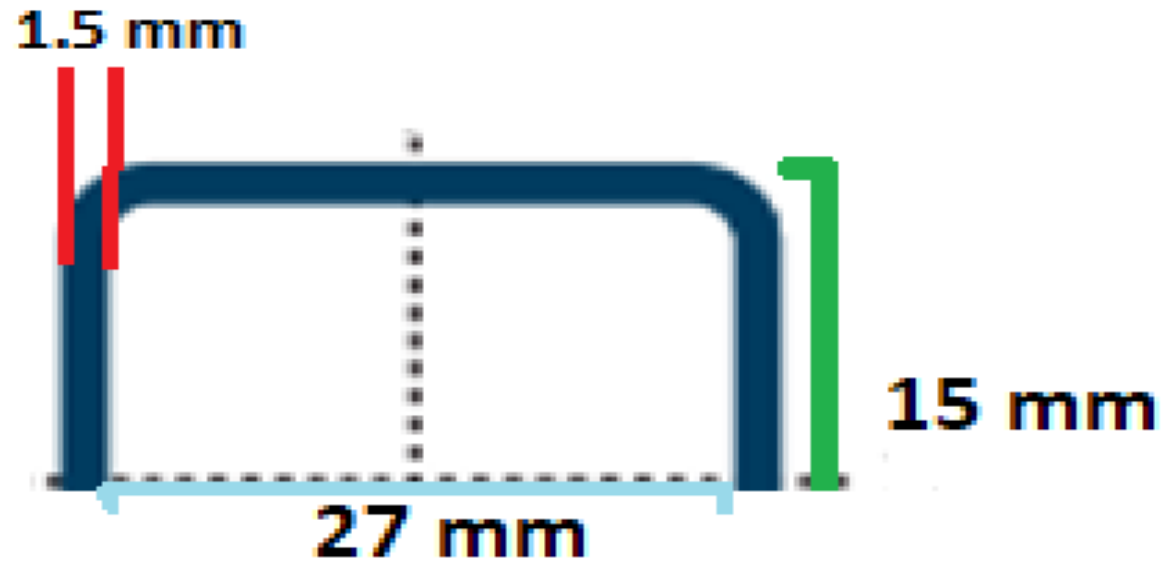
$$\sigma = 19.83 \text{ MPa}$$

Y por último se determina el esfuerzo cortante de la siguiente manera:

$$\tau = \frac{V Q}{I t}$$

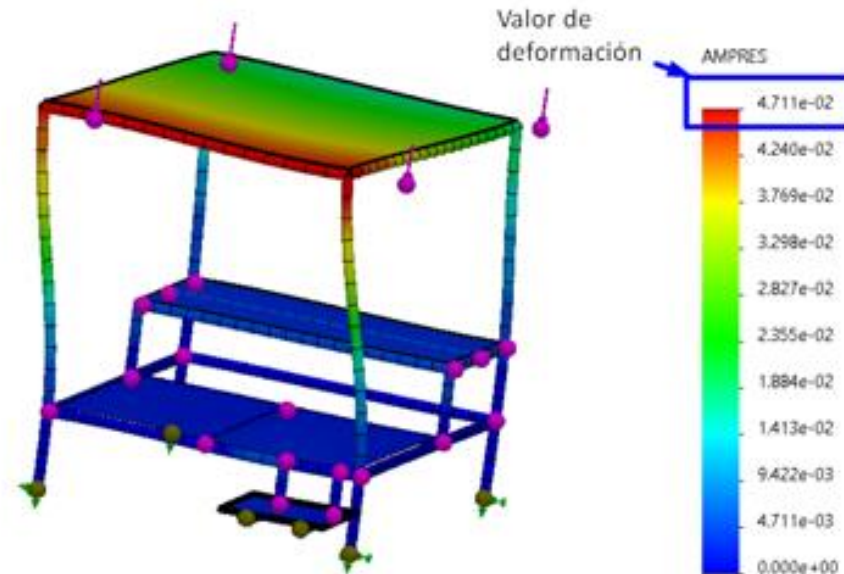


Medidas tubo cuadrado con su eje neutro



Análisis de pandeo en la mesa de trabajo

Análisis de pandeo en la mesa de trabajo



El valor máximo de pandeo es de $4.71 \times 10^2 \text{ mm}$, lo cual es muy insignificante y no llega ni al valor de un milímetro, por lo que se demuestra que el diseño realizado está acorde a lo necesitado.

Selección del tipo de proceso de soldadura GMAW

Criterios	Alternativas	
	Alternativa 1	Alternativa 2
Adecuado para soldar material ferroso	3	5
Utilización de gas activo	3	5
Soldadura de hilo continuo	5	5
Facilidad de operación	5	5
Total	16	20



Selección del material para soldadura MAG

Alternativa 1. Posición plana (1F)

Alternativa 2. Posición horizontal (2F)

Alternativa 3. Posición vertical (3F)

Alternativa 4. Posición sobre cabeza (4F)

Criterios	Alternativas			
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Facilidad	5	4	3	2
Viable	5	1	1	1
Total	10	5	4	3



Selección del material para soldadura MAG

Alternativa 1. Posición plana (1F)

Alternativa 2. Posición horizontal (2F)

Alternativa 3. Posición vertical (3F)

Alternativa 4. Posición sobre cabeza (4F)

Alternativas para selección de la posición de soldadura

Criterios	Alternativas			
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Facilidad	1	5	2	1
Viable	1	5	1	1
Total	2	10	3	2



Selección del material para soldadura MAG

Alternativa 1. Posición plana (1G)

Alternativa 2. Posición horizontal (2G)

Alternativa 3. Posición vertical (3G)

Alternativa 4. Posición sobre cabeza (4G)

Alternativas para selección de la posición de soldadura

Criterios	Alternativas			
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Facilidad	1	5	2	1
Viable	1	5	1	1
Total	2	10	3	2



Selección del tipo de junta de soldadura

Alternativa 1. A tope

Alternativa 2. En esquina

Alternativa 3. En T

Alternativa 4. Traslape

Alternativa 5. De borde

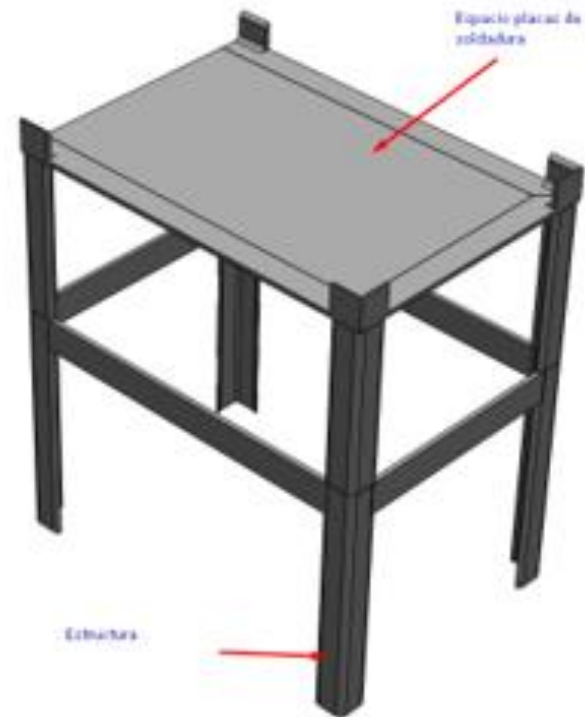
Alternativas para selección de juntas de soldadura

Criterios	Alternativas				
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Alternativa 5
Facilidad	5	2	4	4	2
Viable	5	1	4	4	1
Total	10	3	8	8	3



Propuesta de diseño de la mesa para la realización de soldadura

Propuesta de mesa para la realización de suelda



Parámetros para considerar la selección del protocolo de comunicación

Alternativa 1. Protocolo MQTT.

Alternativa 2. Comunicación serial.

Criterios	Alternativas	
	Alternativa 1	Alternativa 2
Compatibilidad	4	3
Velocidad de comunicación	4	4
Manejo de la interferencia de ruido	3	2
Facilidad de implementación.	4	3
Total	15	12



Selección del lenguaje de programación

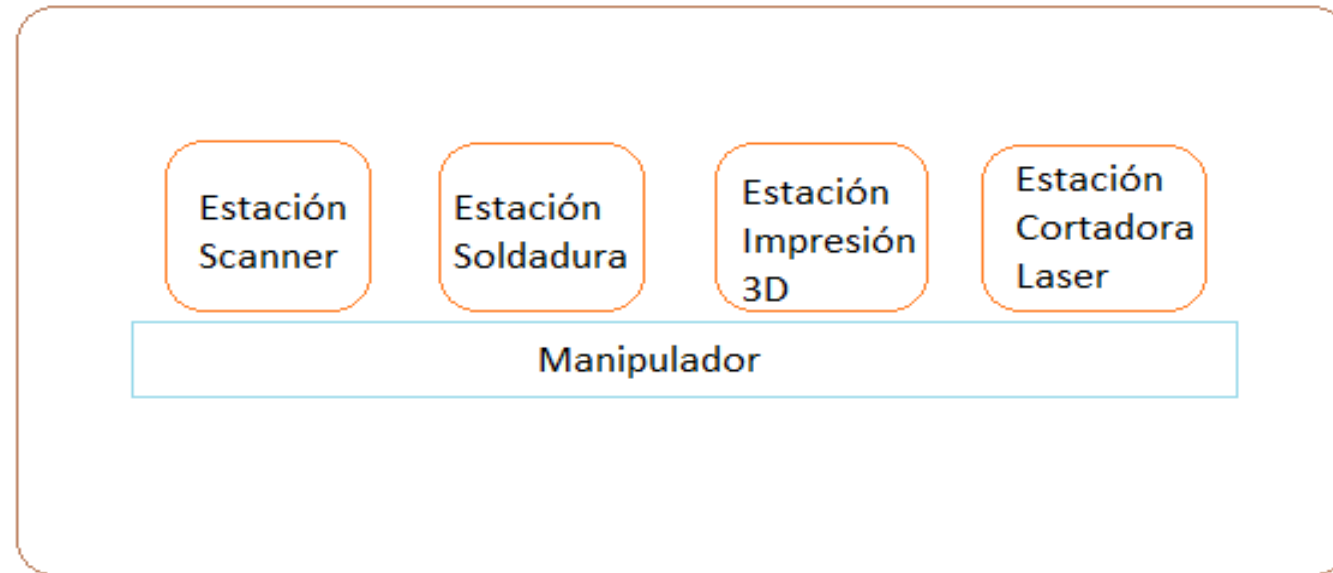
Alternativa 1. Lenguaje C/C++.

Alternativa 2. El lenguaje Python.

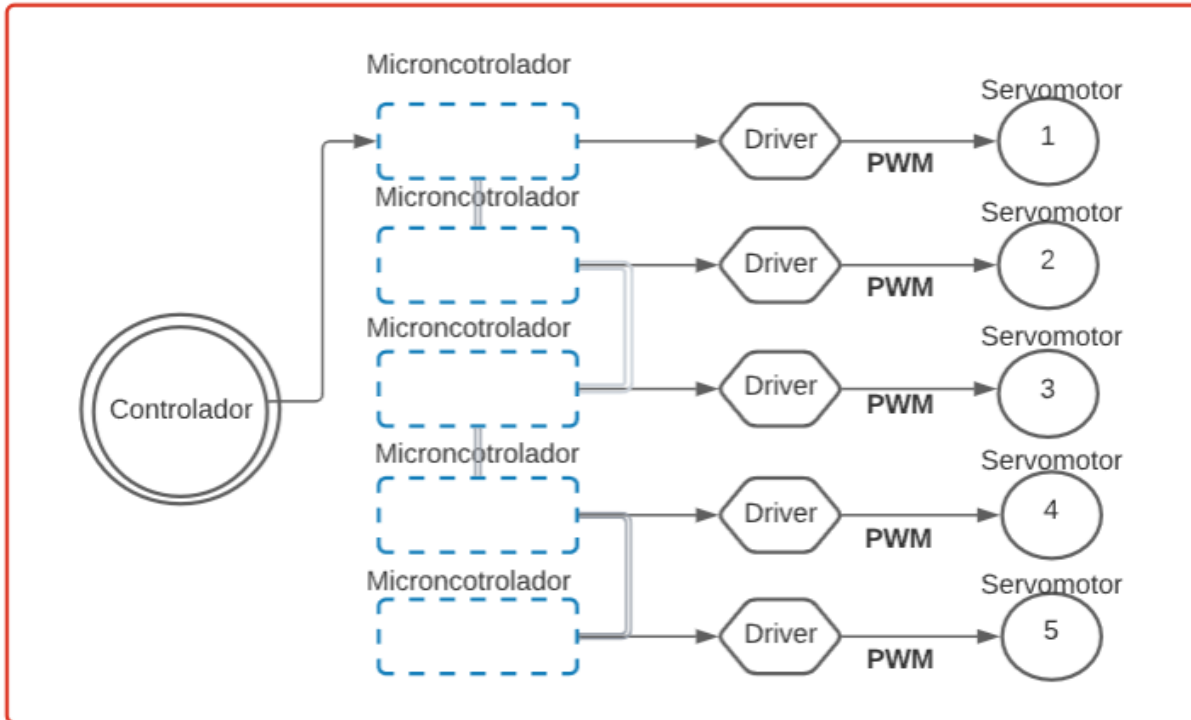
Criterios	Alternativas	
	Alternativa 1	Alternativa 2
Licencia libre	5	5
Librerías de control	4	5
Librerías para el protocolo MQTT	5	5
Facilidad de interpretación.	3	4
Total	17	19



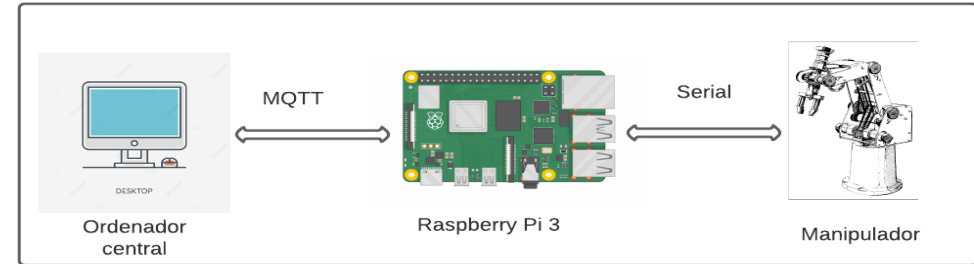
Disposición del espacio de trabajo



Comunicación de la estación de soldadura



Descripción de la etapa de comunicación

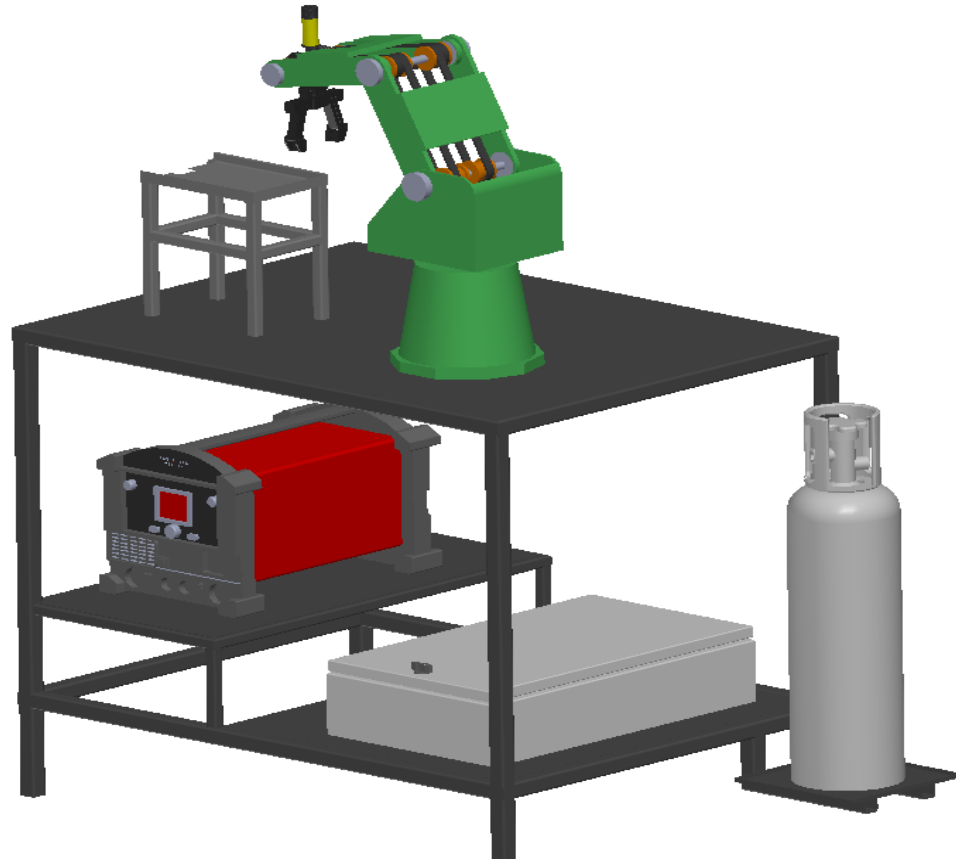


HMI de la estación de soldadura robotizada GMAW



IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

Diseño CAD del sistema

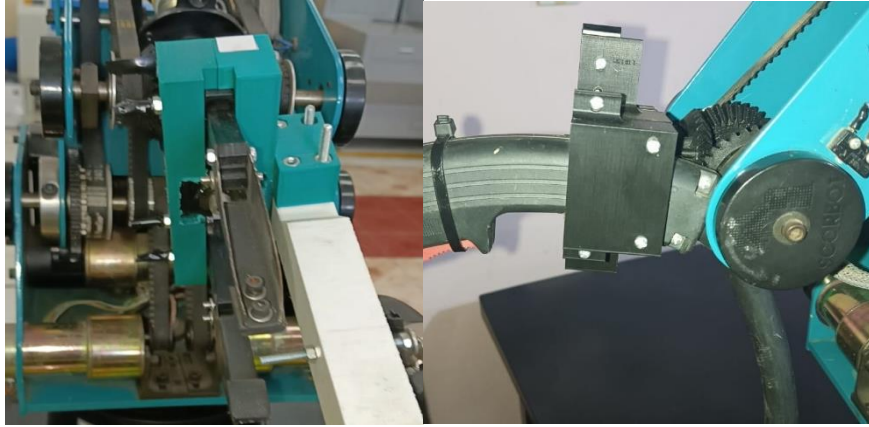


Implementación del sistema



Implementación de antorcha

Acople de antorcha MIG montado sobre el manipulador

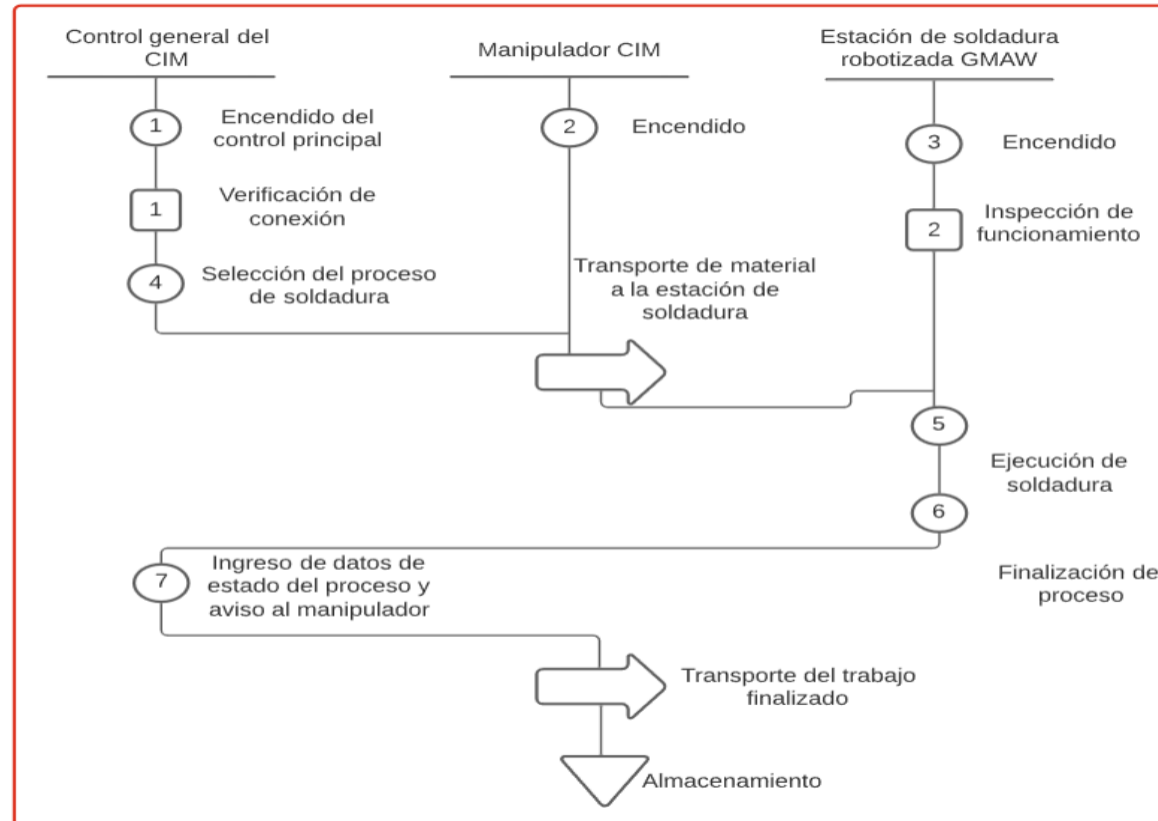


Prototipo a ser implementado como estación de soldadura GMAW



IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

Arquitectura para el control CIM de la estación de soldadura GMAW

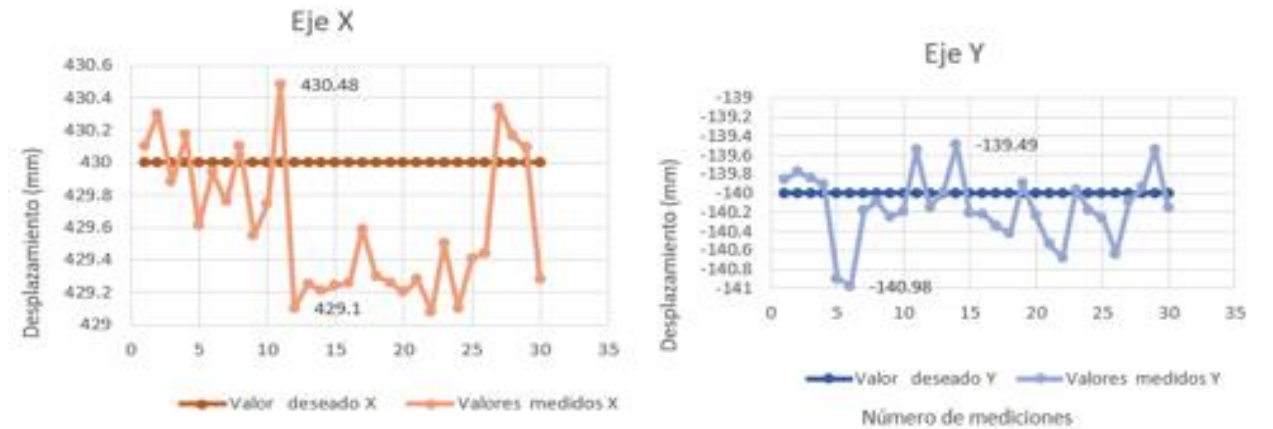


IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

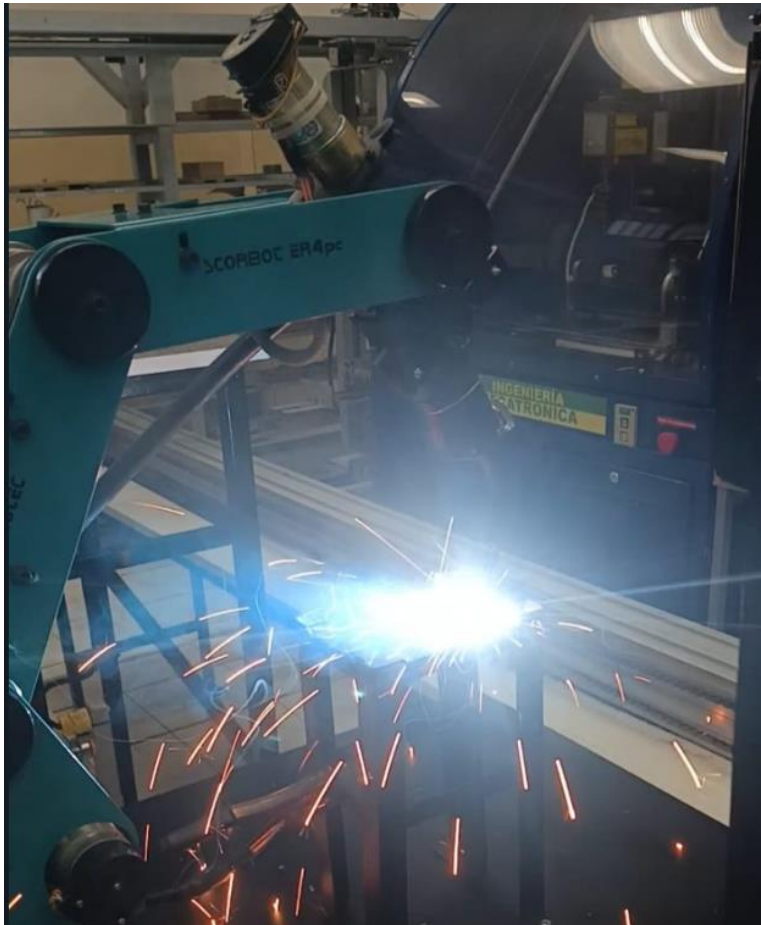
Control computarizado del CIM



Pruebas de repetibilidad



Pruebas de soldadura



Valores obtenidos para soldadura a tope

Longitud deseada	Numero de prueba	Longitud del cordón alcanzado en mm
60 mm	1	63.4
65 mm	2	67.35
70 mm	3	72.8

Valores obtenidos para soldadura en T

Longitud deseada	Numero de prueba	Longitud del cordón alcanzado en mm
60 mm	1	63.1
65 mm	2	67.3
70 mm	3	68.4

Valores obtenidos para soldadura a traslape

Longitud deseada	Numero de prueba	Longitud del cordón alcanzado en mm
55 mm	1	57.8
60 mm	2	62.5
65 mm	3	63.1



Validación de hipótesis individual

Hipótesis

Mediante el rediseño e implementación de una estación de soldadura robotizada GMAW, se podrá indexar a un CIM como estación de suelda GMAW para realizar prácticas de manufactura en el Laboratorio CNC de la ESPE Sede Latacunga

Variables

Independiente

Mediante el rediseño e implementación de una estación de soldadura robotizada GMAW

Dependiente

Indexar a un CIM como estación de suelda GMAW para realizar prácticas de manufactura en el Laboratorio CNC de la ESPE Sede Latacunga



H_0 : Mediante el rediseño e implementación de una estación de soldadura robotizada GMAW, no se podrá indexar a un CIM como estación de suelda GMAW para realizar prácticas de manufactura en el Laboratorio CNC de la ESPE Sede Latacunga

H_1 : Mediante el rediseño e implementación de una estación de soldadura robotizada GMAW, se podrá indexar a un CIM como estación de suelda GMAW para realizar prácticas de manufactura en el Laboratorio CNC de la ESPE Sede Latacunga

Valoraciones de los parámetros de evaluación

Ítem	Parámetro	Aceptación	Rechazo	Número de valoraciones
1	Integración de la estación de soldadura al CIM	28	2	30
2	Funcionamiento de la estación de soldadura con el CIM	24	6	30
3	Indexación de la estación de soldadura robotizada al CIM	23	7	30
4	Programación de trayectorias de suelda por medio del HMI de la estación de soldadura	25	5	30
5	Prácticas de los estudiantes en el CIM	18	12	30
Total		118	32	150



Cálculo del estadístico de prueba Chi - Cuadrado

Datos	f_o	f_t	$(f_o - f_t)$	$(f_o - f_t)^2$	$\frac{(f_o - f_t)^2}{f_t}$
Aceptación 1	28	23.6	4.4	19.36	0.82033898
Aceptación 2	24	23.6	0.4	0.16	0.00677966
Aceptación 3	23	23.6	-0.6	0.36	0.01525424
Aceptación 4	25	23.6	1.4	1.96	0.08305085
Aceptación 5	18	23.6	-5.6	31.36	1.32881356
Rechazo 1	2	6.4	-4.4	19.36	3.025
Rechazo 2	6	6.4	-0.4	0.16	0.025
Rechazo 3	7	6.4	0.6	0.36	0.05625
Rechazo 4	5	6.4	-1.4	1.96	0.30625
Rechazo 5	12	6.4	5.6	31.36	4.9
Total					10.5667373

Estadístico de prueba: 10,56

Grados de libertad

$$v = (f - 1)(c - 1)$$

$$v = (5 - 1)(2 - 1)$$

$$v = 4$$

Tabla 10. Distribución de Chi - Cuadrado

v/α	0,005	0,01	0,025	0,05	0,1
1	7,879	6,635	5,024	3,842	2,706
2	10,597	9,210	7,378	5,992	4,605
3	12,838	11,345	9,348	7,815	6,251
4	14,860	13,277	11,143	9,488	7,779
5	16,750	15,086	12,833	11,071	9,236
6	18,548	16,812	14,449	12,592	10,645
7	20,278	18,475	16,013	14,067	12,017
8	21,955	20,090	17,535	15,507	13,362
9	23,589	21,666	19,023	16,919	14,684
10	25,188	23,209	20,483	18,307	15,987
11	26,757	24,725	21,920	19,675	17,275
12	28,300	26,217	23,337	21,026	18,549
13	29,819	27,688	24,736	22,362	19,812
14	31,319	29,141	26,119	23,685	21,064
15	32,802	30,578	27,488	24,996	22,307

Nota. El término v corresponde a los grados de libertad y α es el nivel de significancia. Tomado de (Facultad Regional Mendoza UTN, 2023)

Comprobación

$$x^2 > 9.488$$

Se acepta H_1



Validación de hipótesis general

Hipótesis

Mediante el diseño e implementación de un Sistema de Manufactura Integrada por Computador con 4 estaciones de Manufactura Aditiva y Sustractiva, se podrá realizar Prácticas de Manufactura en el Laboratorio CNC de la ESPE Sede Latacunga.

Variables

Independiente

Mediante el diseño e implementación de un Sistema de Manufactura Integrada por Computador con 4 estaciones de Manufactura Aditiva y Sustractiva

Dependiente

Realizar Prácticas de Manufactura en el Laboratorio CNC de la ESPE Sede Latacunga.



Funcionamiento simultaneo de estaciones

N° de repetición	Prueba de funcionamiento simultáneo en las estaciones de soldadura robotizada GMAW y la estación de impresión 3D	
	Funciona	No funciona
1	X	
2	X	
3	X	
4	X	
5		X
6	X	
7	X	
8		X
9	X	
10		X
Total	7	3

H_0 : Mediante el diseño e implementación de un Sistema de Manufactura Integrada por Computador con 4 estaciones de Manufactura Aditiva y Sustractiva, no se podrá realizar Prácticas de Manufactura en el Laboratorio CNC de la ESPE Sede Latacunga.

H_1 : Mediante el diseño e implementación de un Sistema de Manufactura Integrada por Computador con 4 estaciones de Manufactura Aditiva y Sustractiva, se podrá realizar Prácticas de Manufactura en el Laboratorio CNC de la ESPE Sede Latacunga.

Existe un **70%** de probabilidad de que se realicen con éxito prácticas de manufactura en el CIM frente a un **30%** de probabilidad de que no se lleve a cabo el proceso correctamente, es decir que **no se coloquen las bandejas con el material de manera correcta.**

Por ende se acepta la hipótesis H_1 .



Conclusiones

- Al término del proyecto de integración curricular, se rediseño un sistema de soldadura robotizada como una estación de suelda GMAW indexada con un error promedio en el eje X de 1.372 mm en el eje Y de 1.3 mm y en el eje Z de 2.848 mm, determinando que el sistema se encuentra en un rango permitido para lo que se refiere a un manipulador académico estudiantil según la norma ISO 9283, además que su efectividad es de un 80% al trabajar de forma individual y de un 70% trabajando de forma simultánea con el resto de las estaciones del CIM del laboratorio CNC de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga.
- Con la información recopilada en estado del arte y ya partiendo de una línea base, se logró indexar al CIM del laboratorio de CNC de la Universidad de las Fuerzas Armas ESPE la estación de soldadura robotizada GMAW, donde el control de la misma se realiza por medio de una interfaz de usuario maquina (HMI) en el ordenador principal, donde dicha interfaz permite realizar cordones de soldadura en tres tipos de juntas las veces que el usuario requiera y trabajando en conjunto con el resto de estaciones indexas al CIM.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Después de realizar pruebas de funcionamiento simultaneo de la estación de soldadura robotizada GMAW con el resto de las estaciones se obtuvo que tiene un porcentaje de éxito del 70 % y de error al 30% esto debido a las características de la estación de suelda a perder pasos en el eje Z y el fallo del sexto eje del CIM para la colocación de las bandejas con el material, determinando de esta manera que porcentaje de trabajo exitoso.
- Se opera la estación de soldadura robotizada GMAW con 30 estudiantes de la materia de Manufactura Asistida por Computador, los cuales realizaron practicas con la ayuda de un manual de operación para trabajar de forma independiente e indexado al CIM controlados desde el ordenador central, al término de esta práctica los estudiantes fueron encuestados en donde se recolectaron datos que permitieron validar la hipótesis que Mediante el rediseño e implementación de una estación de soldadura robotizada GMAW, se podrá indexar a un CIM como estación de suelda GMAW.



Recomendaciones

- Se debe tomar en cuenta los valores de los errores al momento de programar las trayectorias de suelda en el HMI del usuario para poder compensar en la misma programación y lograr un mejor cordón.
- No se debe tomar el material con las manos sin que estas tengan algún tipo de protección ya que le material está caliente y puede producir quemaduras.
- Las trayectorias de soldadura deben ser ejecutadas en vacío es decir sin prender la maquina soldadora para la comprobación y la corrección de la misma previo a la realización del cordón.
- Mantener en todo momento de la realización de la suelda un casco de soldadura para la protección de la vista.



Gracias



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA