



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L

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

**“Sistema de Manipulación Robotizado con 5 grados de libertad y base
deslizante, indexado al CIM como sistema de manipulación
independiente”**

Autor:

Díaz Báez, Patricio Israel

Director:

Ing. Acuña Coello, Fausto Vinicio

Latacunga, Febrero de 2023



CONTENIDO

1. OBJETIVOS
2. HIPÓTESIS
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA
4. ESTADO DEL ARTE
5. LINEA BASE
6. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN
7. PARÁMETROS DE DISEÑO
8. DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES
9. IMPLEMENTACIÓN
10. PRUEBAS Y RESULTADOS
11. VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS
12. ANÁLISIS FINANCIERO DE COSTOS Y MANO DE OBRA
13. CONCLUSIONES



1.OBJETIVOS



OBJETIVO ESPECÍFICO

- *Diseñar e implementar un Sistema de Manipulación Robotizado con 5 grados de libertad y base deslizante, indexado al CIM como sistema de manipulación independiente*



OBJETIVOS ESPECÍFICOS



Indagar una documentación biobibliográfica.



Analizar las alternativas de solución y determinar los parámetros de diseño



Diseñar el sistema mecatrónico



Seleccionara materiales



Implementar el prototipo



Evaluar el prototipo y Elaborar guías de prácticas



2. HIPÓTESIS



HIPÓTESIS INDIVIDUAL

¿El Diseño e implementación de un Sistema de Manipulación Robotizado con 5 grados de libertad y base deslizante se podrá indexar a un CIM como sistema de manipulación independiente?



3.FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA



DEFINICIONES

CIM

CIM (Por sus siglas manufactura integrada por computador)

(Groover, 2007, p. 915) (Schey, 2002, p. 929) (P.Radhakrishnan, 2008, p. 9) definen al CIM como:

“Un CIM es la combinación de los beneficios que entrega el control automático, el diseño asistido por computadora (CAD) y la Manufactura asistidas por computador (CAM) en una sola sinergia mediante un software que integre y sincronice todo un conjunto de operaciones”



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEFINICIONES

Elementos

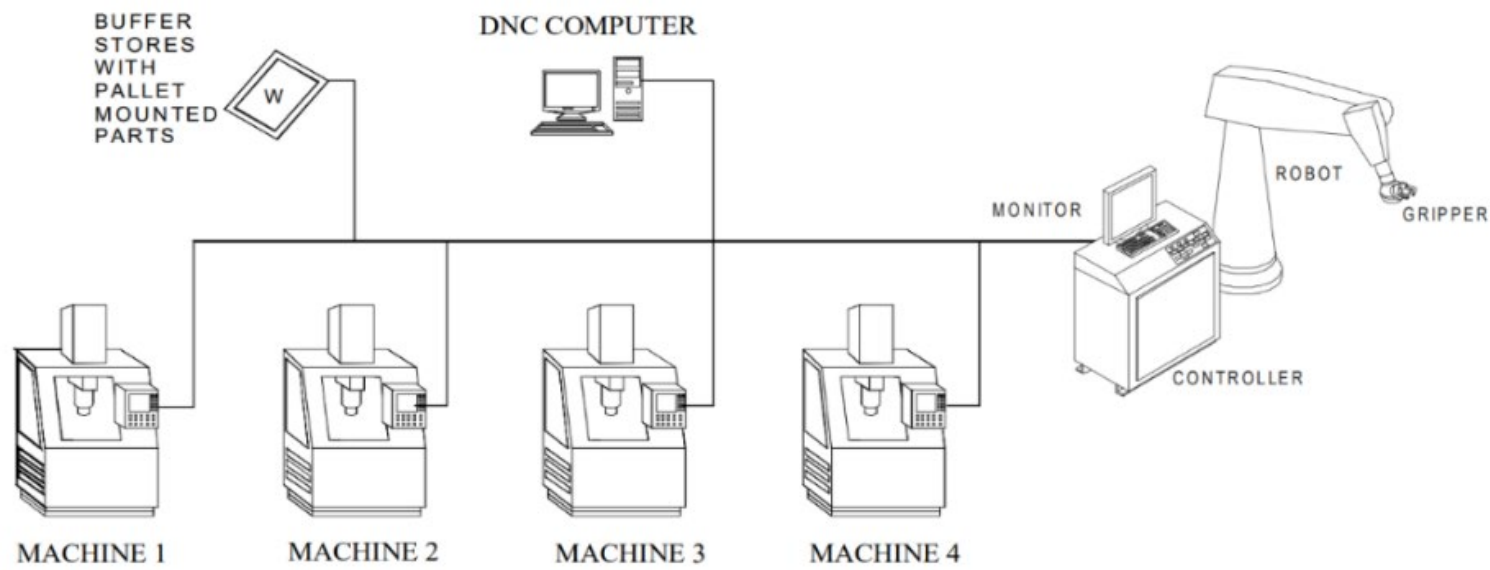
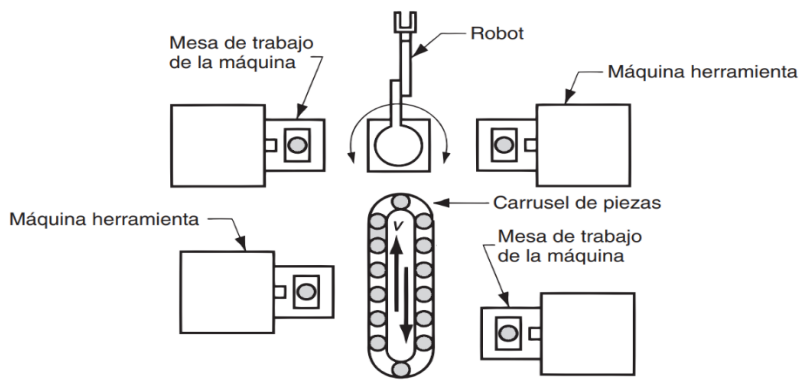


Figura 1



4. ESTADO DEL ARTE



ESTADO DEL ARTE - CIM

CIM Computer Integrated Manufacturing System - Industrial Robot

(Indiamart, 2021)

Precio de \$ 300,000

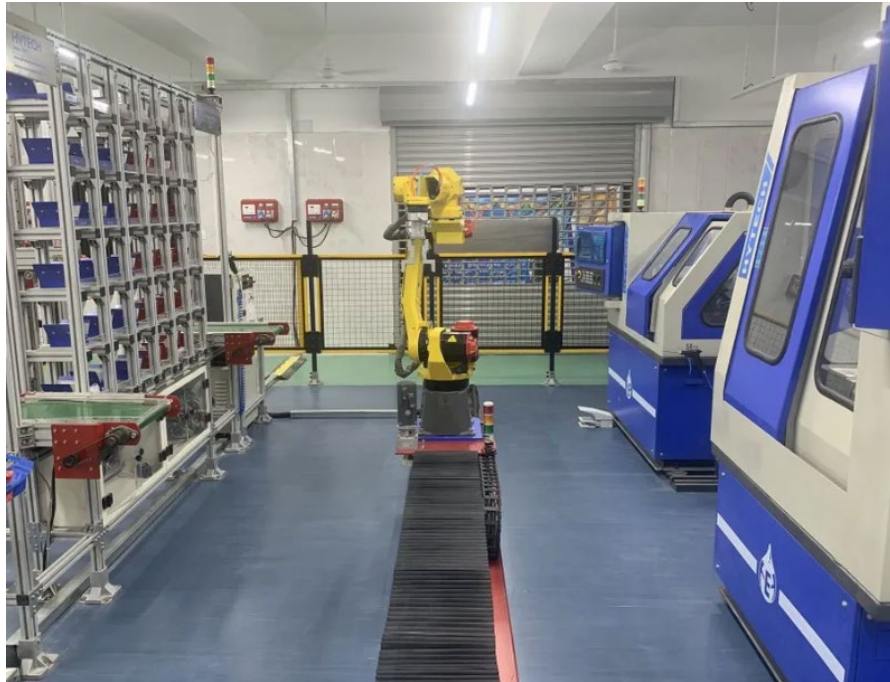


Figura 5



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

ESTADO DEL ARTE - MANIPULADOR

Diseño e implementación de una celda de manufactura flexible de orden aleatorio y distribución en línea mediante robot articulado para prácticas de FMS en el laboratorio de CNC

(Díaz & Mañay, 2017)

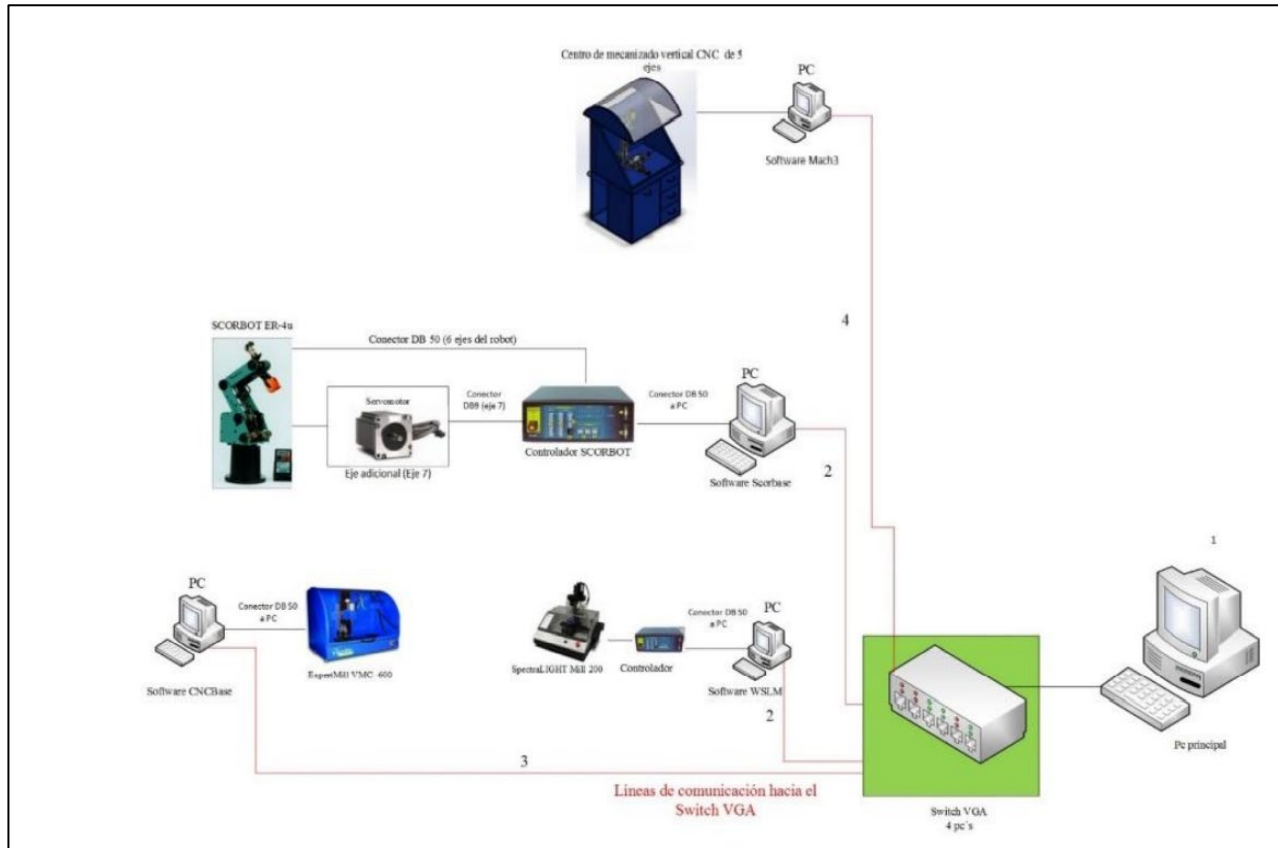


Figura 6



5.LINEA BASE



Requerimientos

- Establecer elementos que cuenta el laboratorio de CNC (Encontrar la ubicación, maquinas que pueden utilizarse, etc)
- Encontrar el tipo de CIM
- Encontrar el tipo de manipulador



Figura 7



Figura 8



6. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN



Ponderación para la evaluación

La ponderación se llevó a cabo utilizando la **Tabla 1** de acuerdo a los factores considerados tanto en el diseño del CIM como del manipulador

Valoración	Ponderación
Muy Bueno	5
Bueno	4
Regular	3
Malo	2
Muy Malo	1

Tabla 1



Selección del CIM

Alternativa 2 – CIM Tipo 1

CIM	Alternativas de manipulación del CIM		
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Características	CIM tipo ensamble	CIM tipo 1	CIM independiente
Independencia entre operaciones	3	5	3
Red Industrial	3	5	2
Versatilidad	3	5	4
Funcionalidad	1	5	4
Manipulación antropomórfica	3	4	3
Accesibilidad en costos económicos	3	4	3
Total	16	28	19

Tabla 2



Selección del Manipulador

Alternativa 1 – ScorBot ER-4u

Manipulador	Alternativas de manipulación del CIM		
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Características	ScorBot ER-4U	Cartesiano	AGV
Repetibilidad	4	3	5
Grados de libertad	4	3	5
Radio de alcance	4	3	5
Apertura del Gripper	4	3	4
Adaptable Red Industrial	5	4	5
Programabilidad	4	2	4
Costo	5	4	1
Total	30	16	29

Tabla 3



7. PARÁMETROS DE DISEÑO



PARÁMETROS DE DISEÑO

Los parámetros que se debe cumplir en el proceso de diseño del CIM y su sistema de manipulación de acuerdo al entorno en el que se ubicará

Dimensionamiento y posicionamiento:

- Cada estación 50cm
- Total de 5 estaciones
- Carrera a implementar de 250 cm



Figura 9



PARÁMETROS DE DISEÑO A MANIPULAR

Peso máximo de levante: carga máxima de 1.1 Kg

Dimensión mínima de agarre: Objetos hasta 7.5 cm de ancho y 5 cm de alto

Altura de la base deslizante: 85 cm ya que se utilizó la misma mesa

Peso del Manipulador: 10.8 kg (23.8 lb)

Alcance máximo: El radio máximo de alcance del Scorbot es de 610 mm



8. DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Sistema Embebido

Alternativa 1 – (Arduino MEGA)

Método de Control + Software

Alternativa 1 – ScorBase

Sistema Embebido

Alternativa 1 – (Arduino MEGA)

Protocolo de comunicación

Alternativa 2 – MQTT

Lenguaje de programación

Alternativa 1 – Python

Mecanismo Base Deslizante

Alternativa 1 – Mecanismo cadena y Catarina



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DISEÑO MECÁNICO



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Bosquejo de diseño

-Rieles son parte del la celda de manufactura anterior

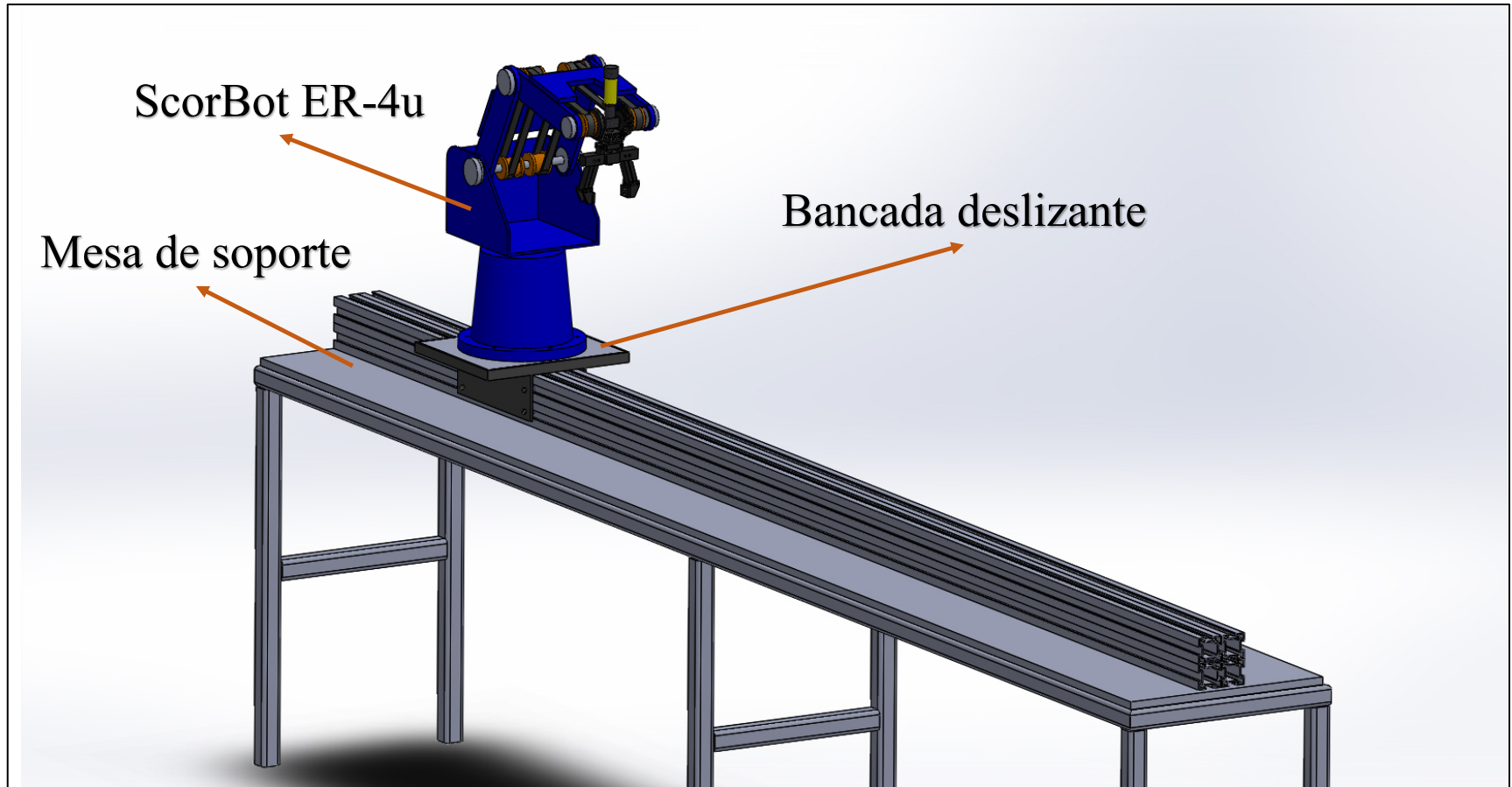


Figura 10



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Bancada ScorBot ER-4u

Distribución de fuerzas

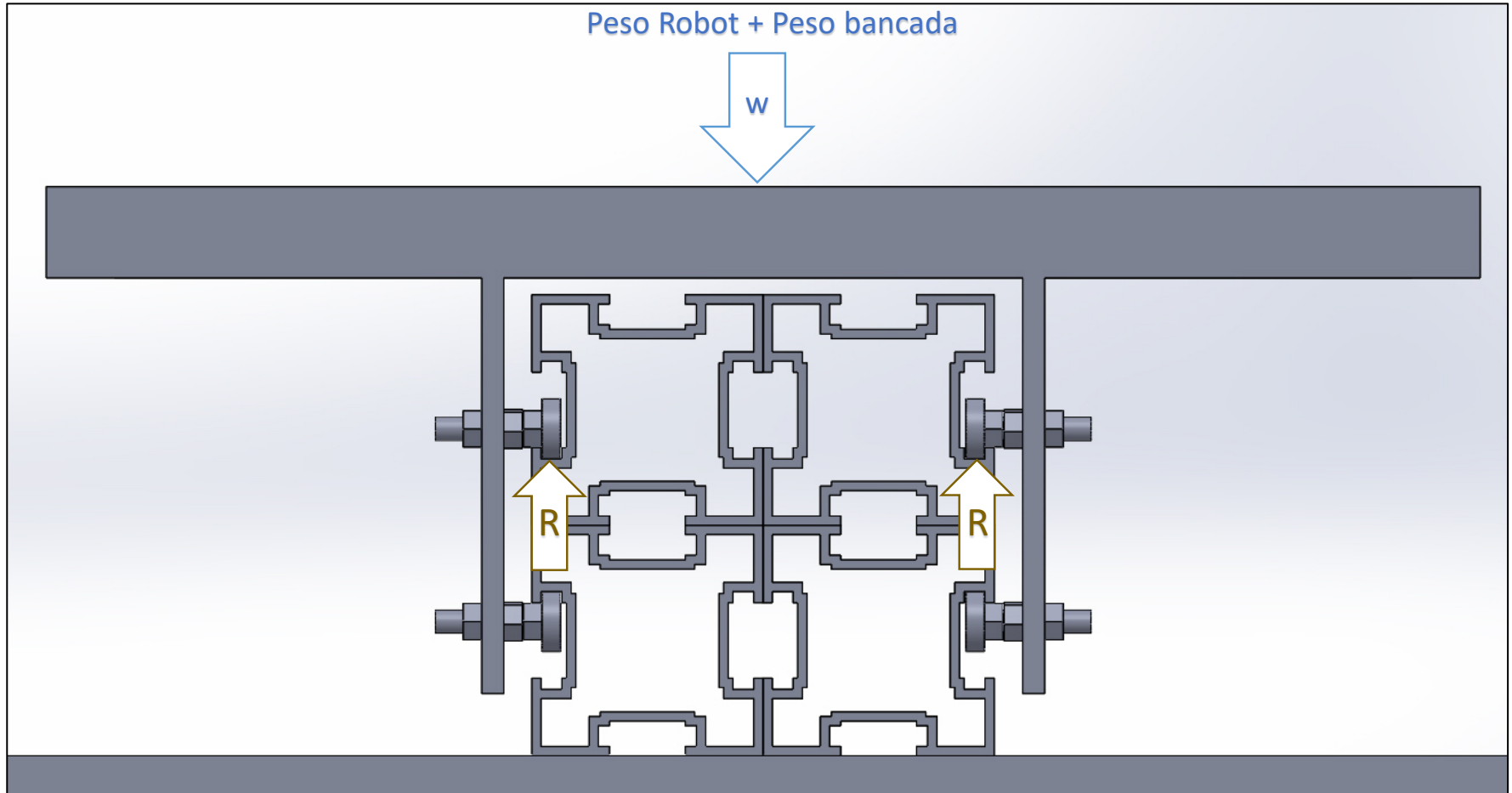


Figura 11



Bancada del Scorbot

El diseño de la bancada del ScorBot se realizó en tres partes

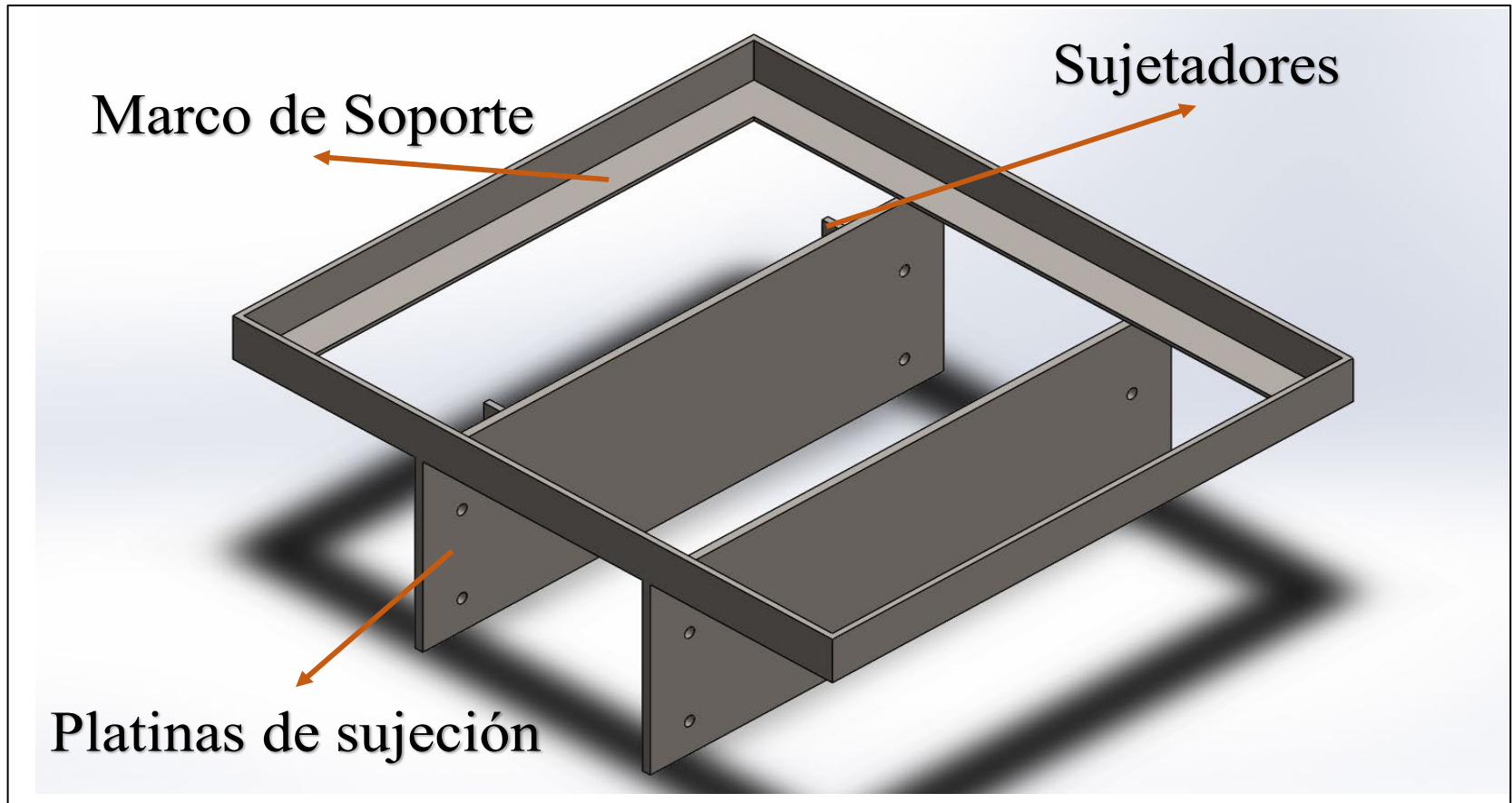
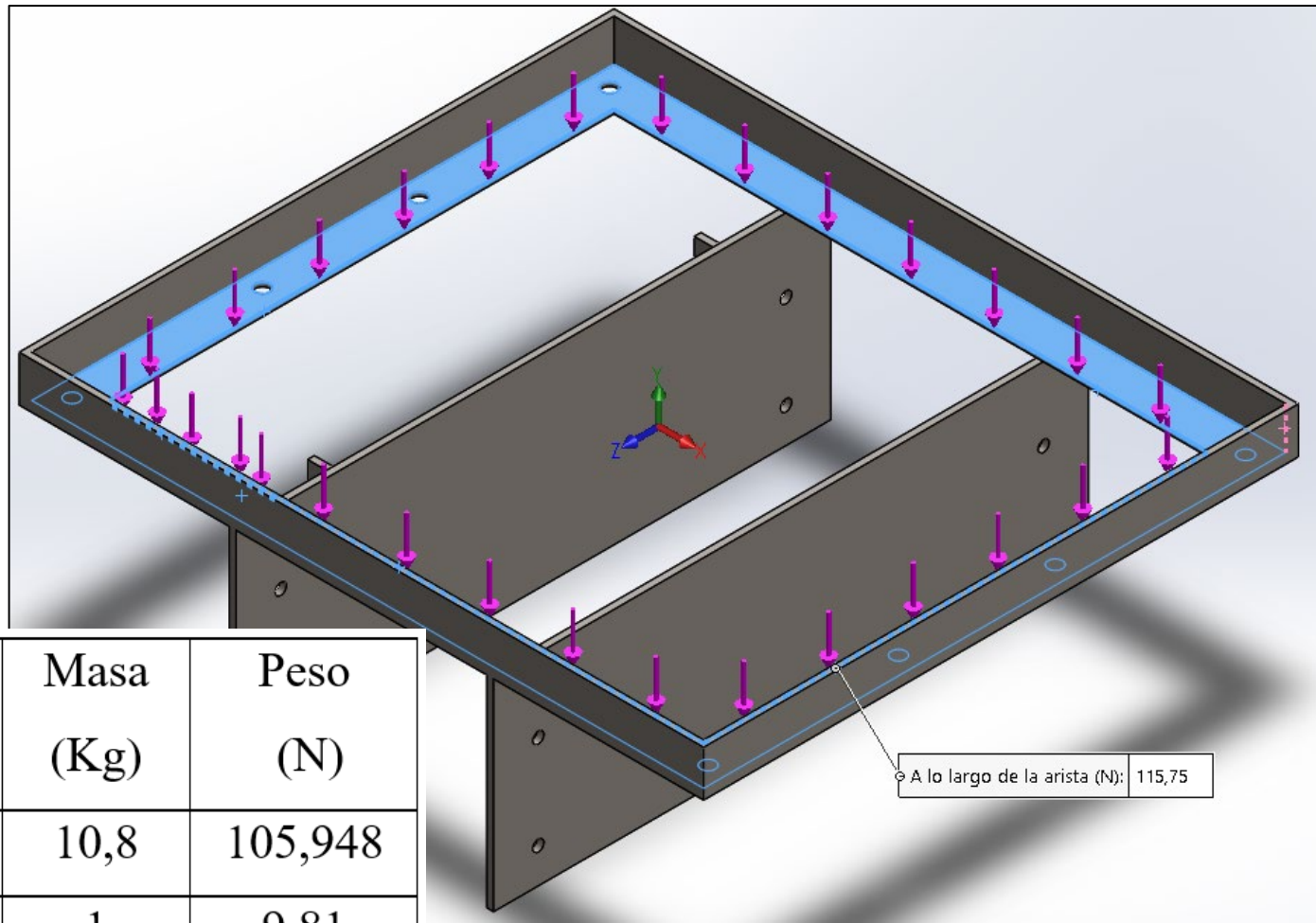


Figura 12



DISTRIBUCIÓN DE FUERZAS



Elemento	Masa (Kg)	Peso (N)
SCORBOT ER-4u	10,8	105,948
Carga	1	9.81
Total	11.8	115.75

Figura 13



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Marco de Soporte

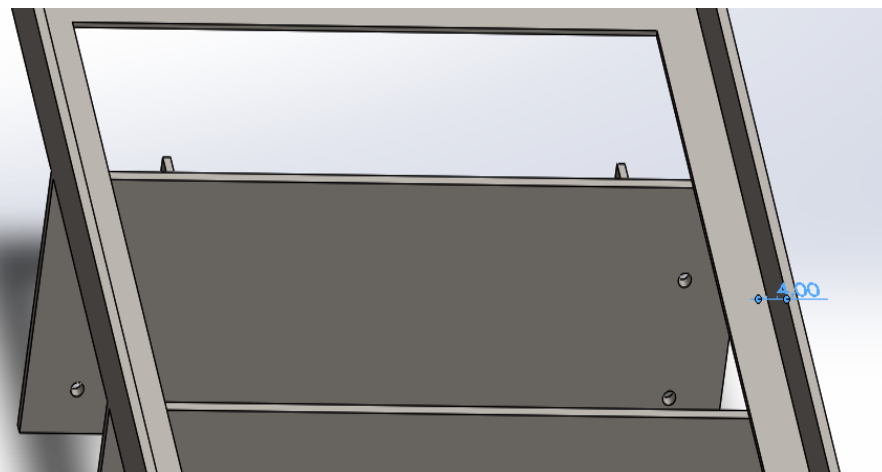
Espesor del Perfil en L para el marco de soporte

Se utilizó un acero ASTM A36, la resistencia a la fluencia (S_y) es de 250 MPa , considerando un factor de diseño de 3 a 2,5 recomendado por Moot, la resistencia de diseño corresponde $250/3 \text{ MPa} = 83.3 \text{ MPa}$ los resultados del estudio se miran en el gráfico.

Figura 14

El espesor del perfil óptimo para esta aplicación es un perfil en L $20 \times 20 \times 3 \text{ mm}$ ASTM A36.

$$\frac{250}{92.32} = 2.7$$



		Actual	Inicial	Óptimo (1)	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5	Escenario 6	Escenario 7
Espesor		5mm	1mm	3 mm	1mm	1.5mm	2mm	2.5mm	3mm	3.5mm	4mm
Tensión ²	Cerca de 83.3 N/mm^2 (MPa)	42.63 N/mm^2	242.6 N/mm^2	92.32 N/mm^2	242.6 N/mm^2	211.3 N/mm^2	182.1 N/mm^2	121.23 N/mm^2	92.32 N/mm^2	62.22 N/mm^2	31.23 N/mm^2



Platinas de sujeción

Acero ASTM A36, la resistencia a la fluencia (S_y) es de 250 MPa , Moot recomienda utilizar un factor de diseño de 2,5 a 3 para el diseño de soportes, la resistencia para evaluar el estudio de diseño corresponde $250/3 \text{ MPa}=83.3 \text{ MPa}$, los resultados se muestran.

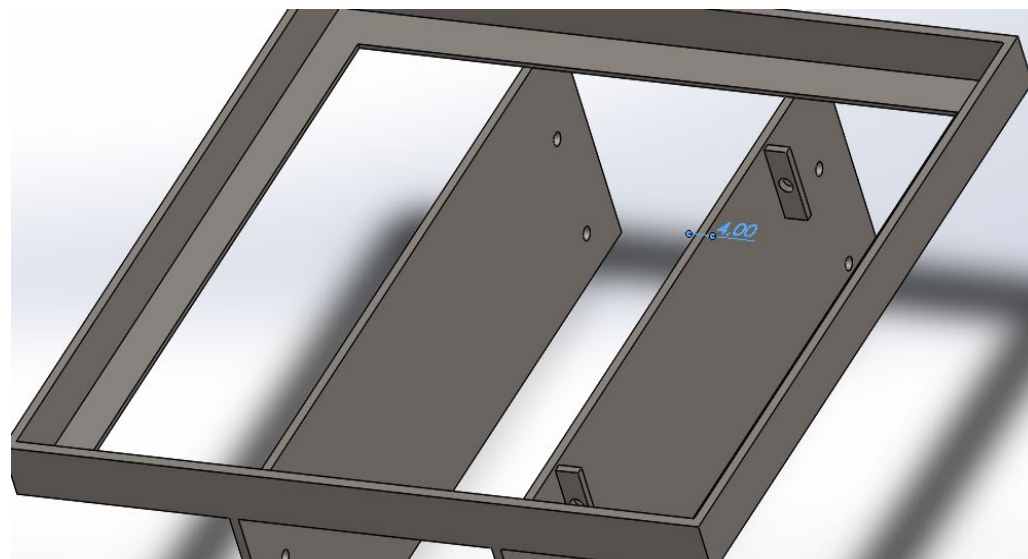


Figura 15

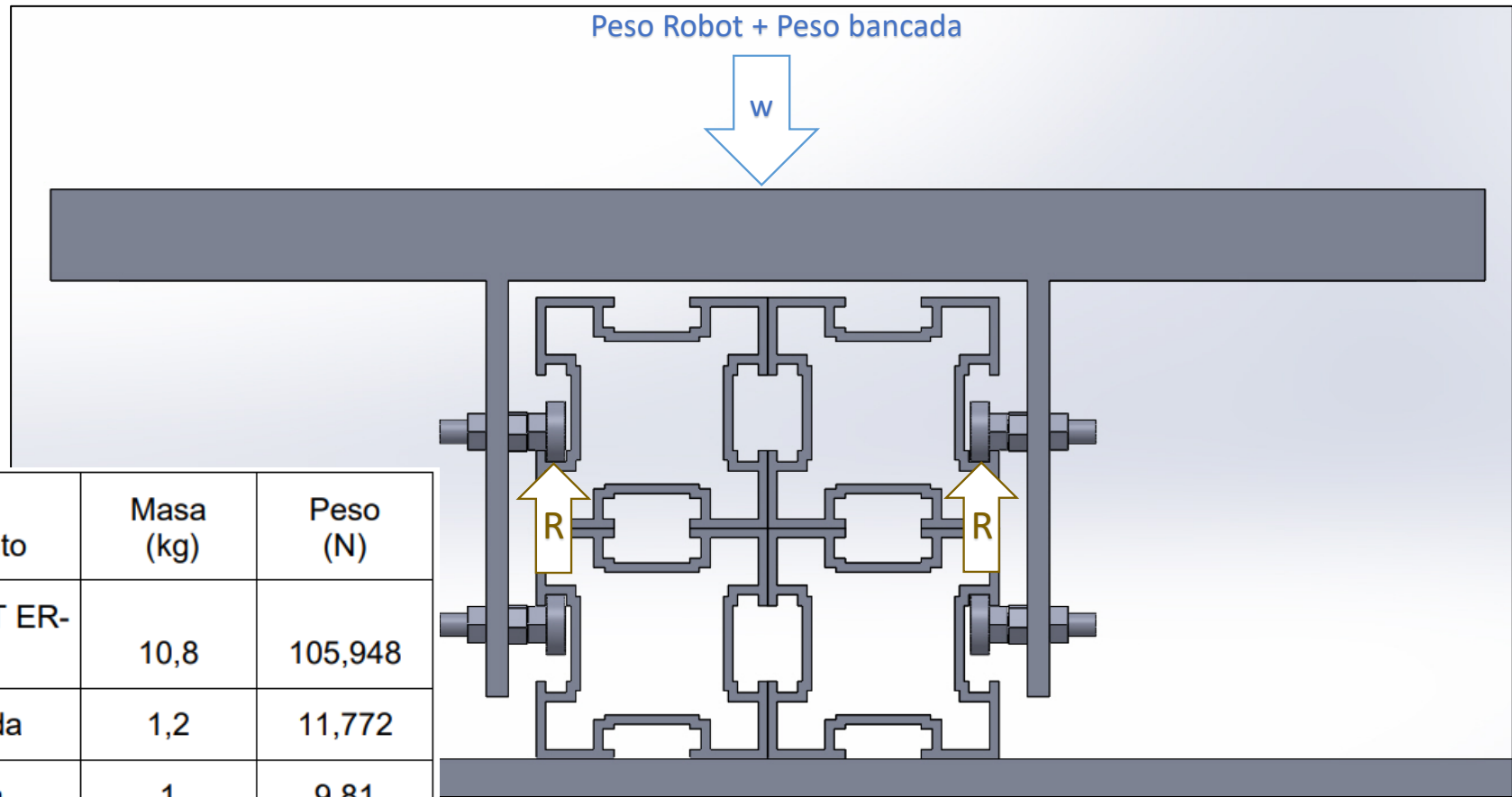
El espesor de la plancha de acero ASTM A36 para el diseño será de 2mm.

$$\frac{250 \text{ MPa}}{91.23 \text{ MPa}} = 2.74$$

		Actual	Inicial	Óptimo (1)	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5
Espesor		3mm	1mm	2 mm	1mm	1.5mm	2mm	2.5mm	3mm
Tensión2	Cerca de 83.3 N/mm² (MPa)	52.22 N/mm²	141.26 N/mm²	91.23 N/mm²	141.26 N/mm²	112.26 N/mm²	91.23 N/mm²	71.263 N/mm²	52.22 N/mm²



Eje del Rodamiento



Elemento	Masa (kg)	Peso (N)
SCORBOT ER-4u	10,8	105,948
Bancada	1,2	11,772
Carga	1	9,81
Total	13	127,53

Figura 16



Eje del rodamiento

-Viga en voladizo

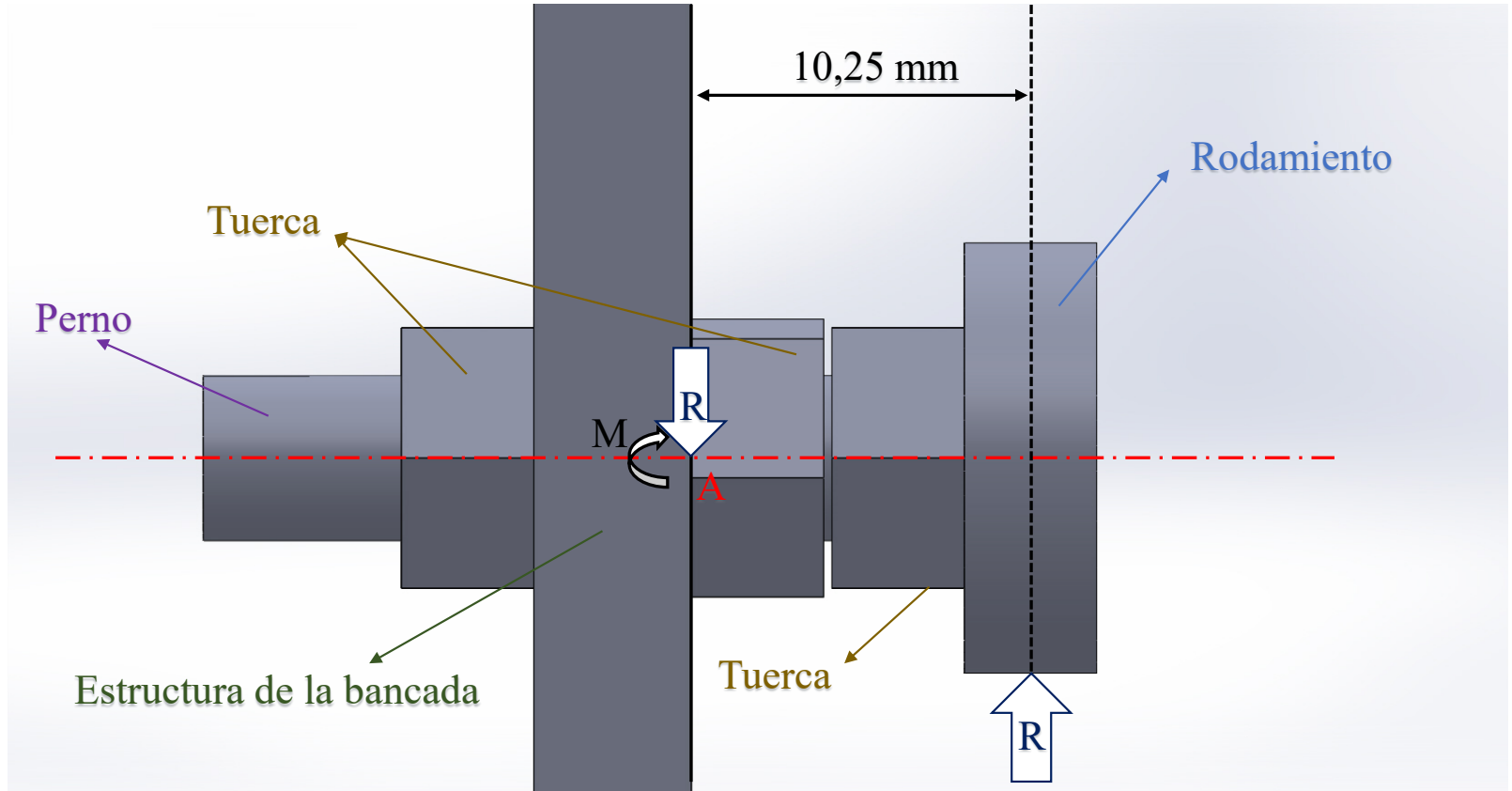


Figura 17

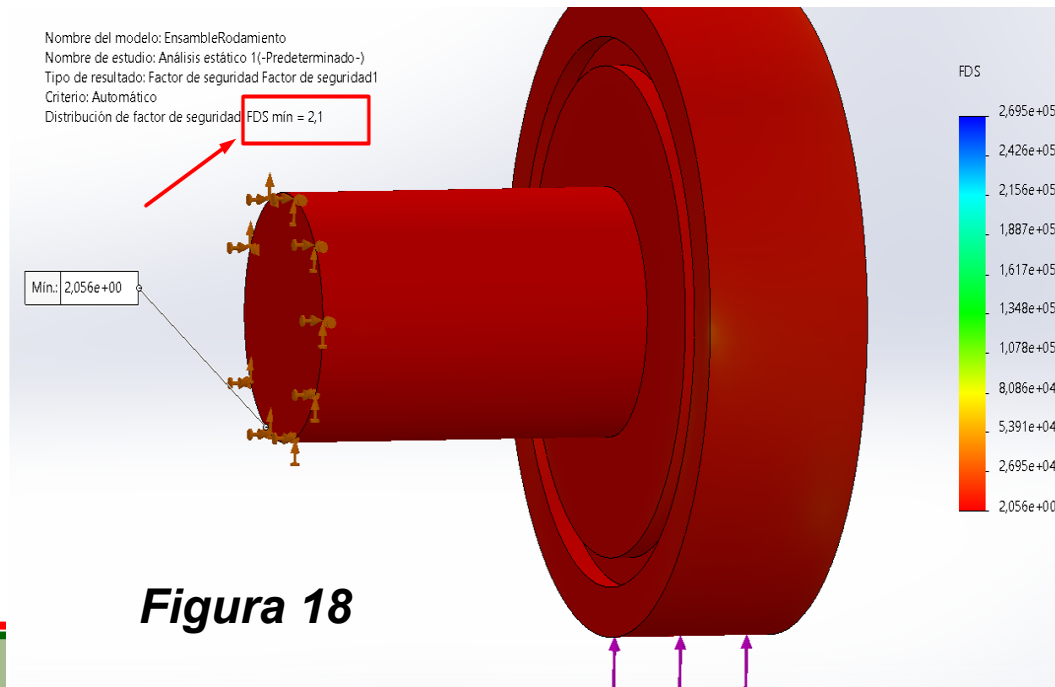


Eje del rodamiento

$$d = \left[\left(\frac{32 n}{\pi S_y} \right) \cdot \left(M^2 + \frac{3}{4} T^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right]^{1/3}$$

**Factor de diseño 2 según Moot
Método de Shigley**

$$d = \left[\left(\frac{32 (2)}{\pi (390 [MPa])} \right) \cdot \left((328.57 [N \cdot mm])^2 + 0 \right)^{\frac{1}{2}} \right]^{1/3} = 4.579 \text{ mm}$$



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Selección de rodamiento

Después de realizar los cálculos utilizando el método de Shigley (Factor de carga y tipo de rodamiento), se obtuvo un diámetro interno $d = 5mm$ diámetro externo $D = 13mm$ y ancho $B = 4mm$ para un rodamiento rígido de bolas, en el mercado la nomenclatura corresponde a un 605-2RS (o 605ZZ)

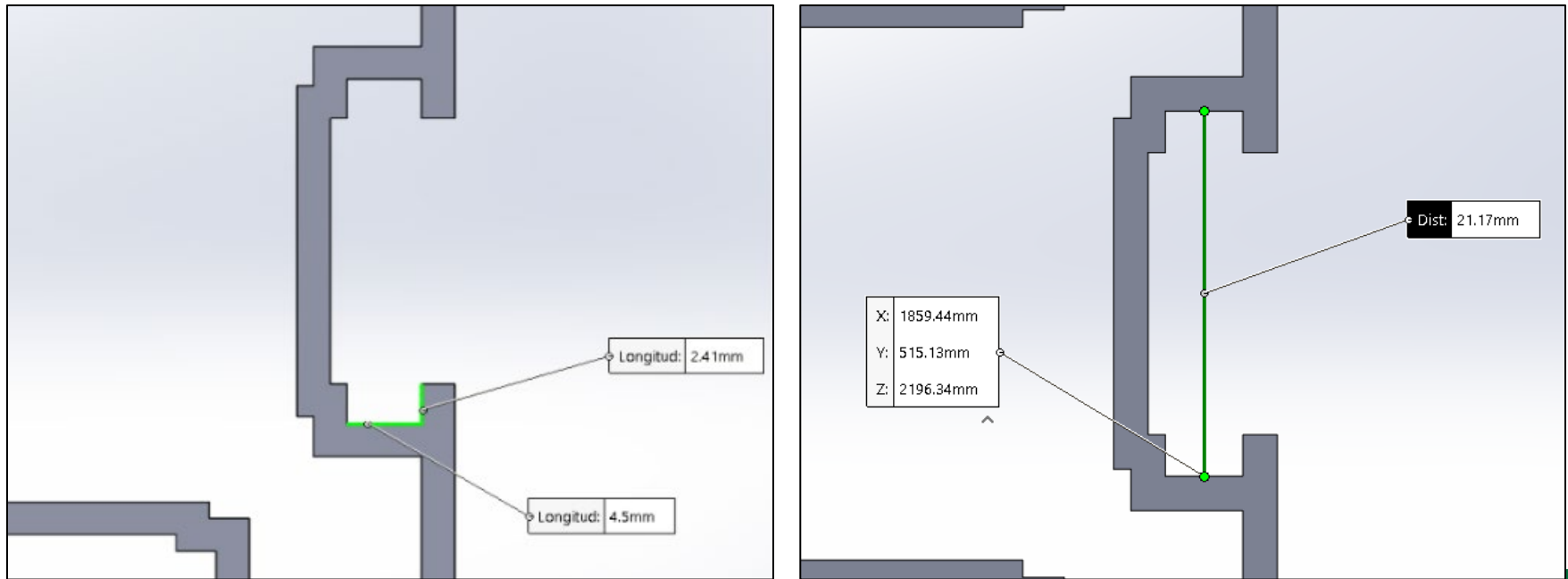


Figura 19



Selección de motor

Los servomotores que utiliza la base deslizante original del SCORBOT ER-4u son de la marca “Pitman a una velocidad de 80 rpm y su torque de (18 [Kg.cm]) y se remplazó por Nema 23 24V 5A” el cual tiene una velocidad angular de 70 rpm y un mayor torque de (18.35 [Kg.cm]), el driver del motor adecuado es TB6600

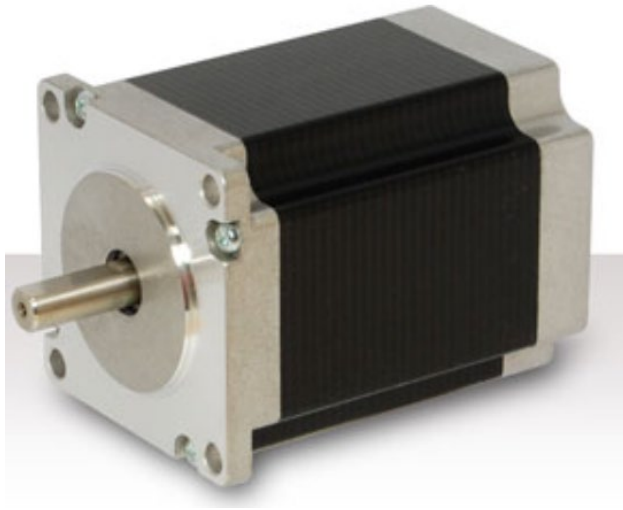


Figura 20

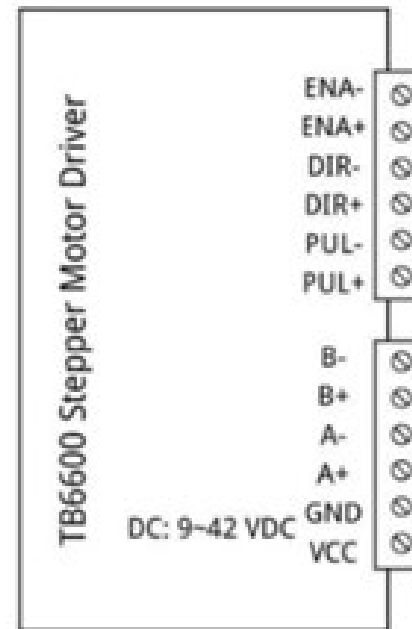


Figura 21



Diseño de la transmisión

La base deslizante de fabrica se mueve a una velocidad máxima de 0.25 m/s, el objetivo del diseño es lograr a esa velocidad con la velocidad angular con el motor 70 rpm encontrando el diámetro necesario.

$$v_{lineal} = \omega * r$$

donde

$\omega \rightarrow$ *velocidad angular del motor*

$r \rightarrow$ *radio primitivo de la Catarina*

$$r = \frac{v_{lineal}}{\omega} = \frac{0.25 \text{ m/s}}{70 \text{ rev/min}} = 31.412 \text{ mm}$$

$$\text{diámetro} = 31.412 * 2 = 62.824 \text{ mm}$$



Diseño de la transmisión

$$n = \frac{1}{\arcsin\left(\frac{P}{D_p}\right)} * 180^\circ = \frac{1}{\arcsin\left(\frac{12.7mm}{62.824mm}\right)} * 180^\circ = 15.63 \approx 16$$



Figura 23. Piñon Freewheel 16 dientes.



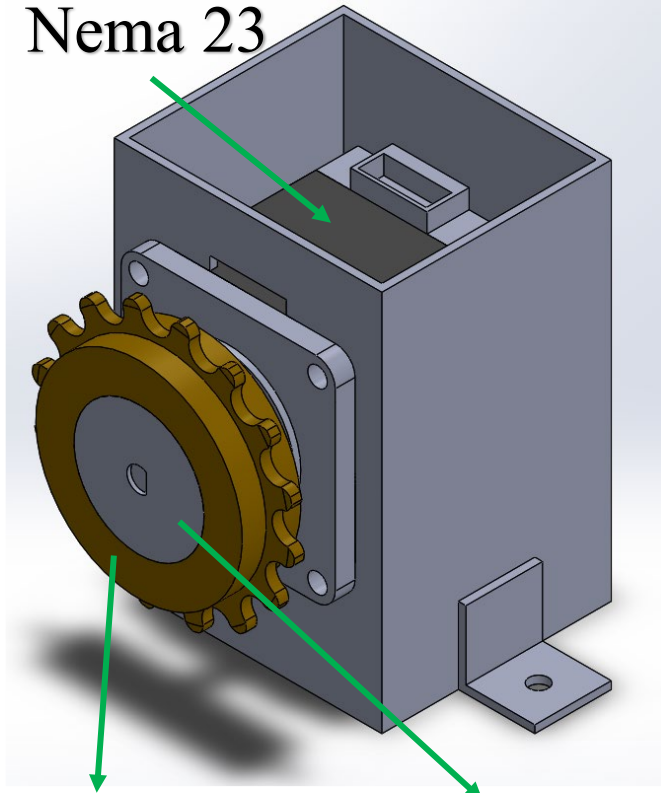
Diseño de la transmisión

Piñón Motriz

Figura 24

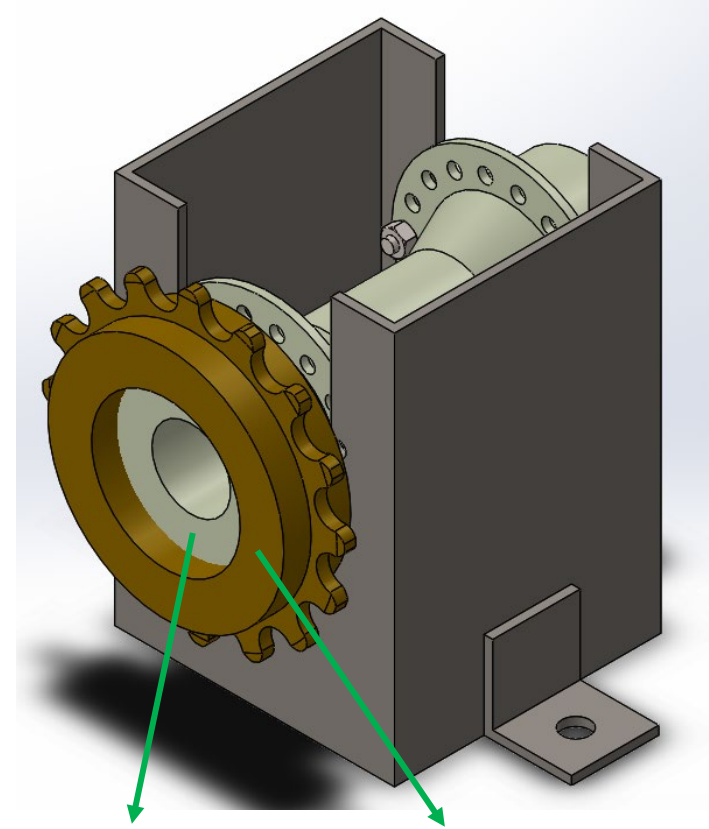
Piñón Tensor

Nema 23



Piñón
Freewheel

Acople



Manzana

Piñón
Freewheel



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Estructura de soporte

Peso de Soporte

Elemento	Masa (Kg)	Peso (N)
SCORBOT ER-4u	10,8	105,948
Carga	1	9.81
Bancada	1.2	11.772
Perfiles	25.99	255
Soporte piñones	2	19.68
Total	40.99	402.119

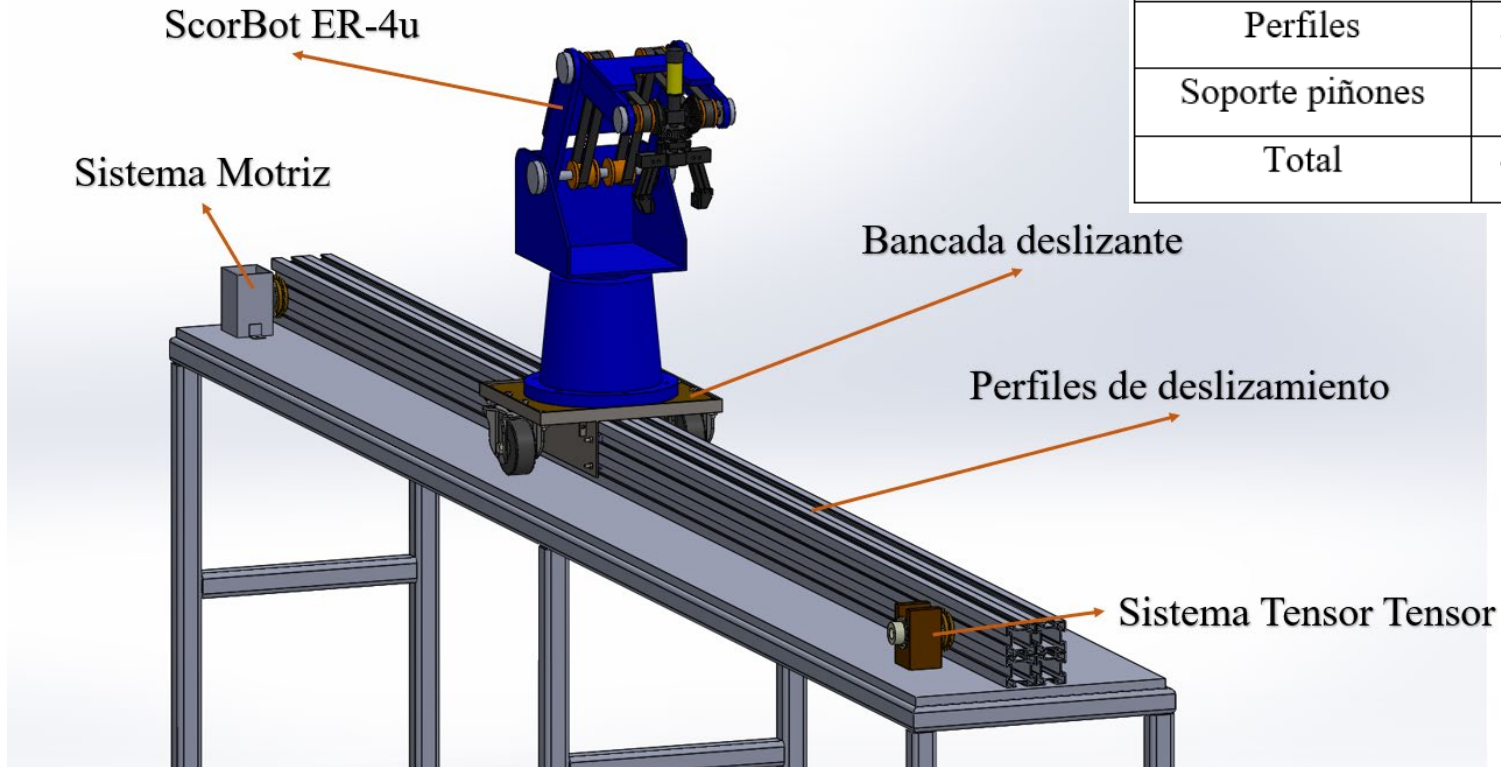


Figura 25



Estructura de soporte

Factor de seguridad anterior 2, Factor de seguridad para el nuevo diseño 2.2

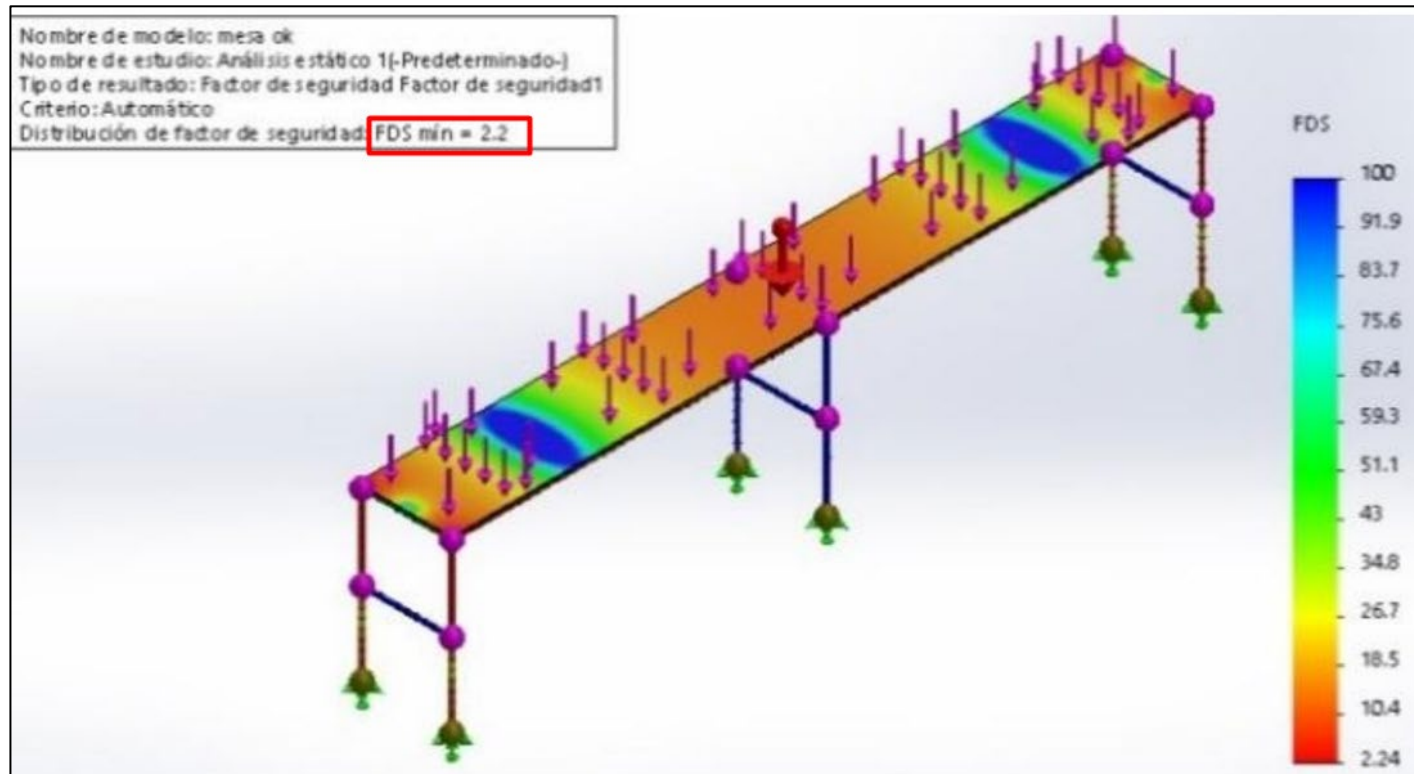


Figura 26



Sistema de control

Sistema de manipulación como Subscriptor.

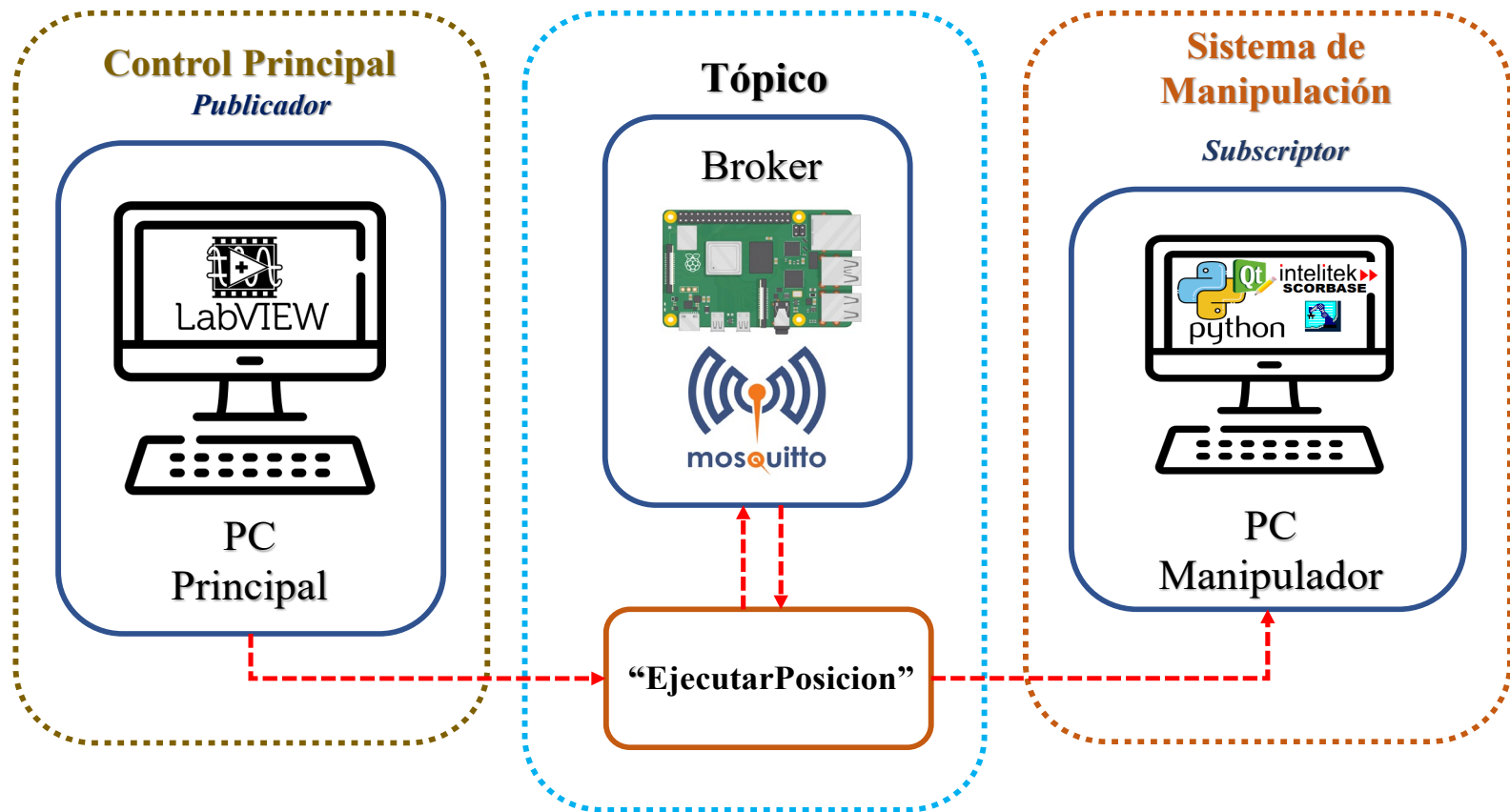


Figura 30



comunicación serial RS232

E/S (Entrada/Salida)

USB HID (Human Interface Device)

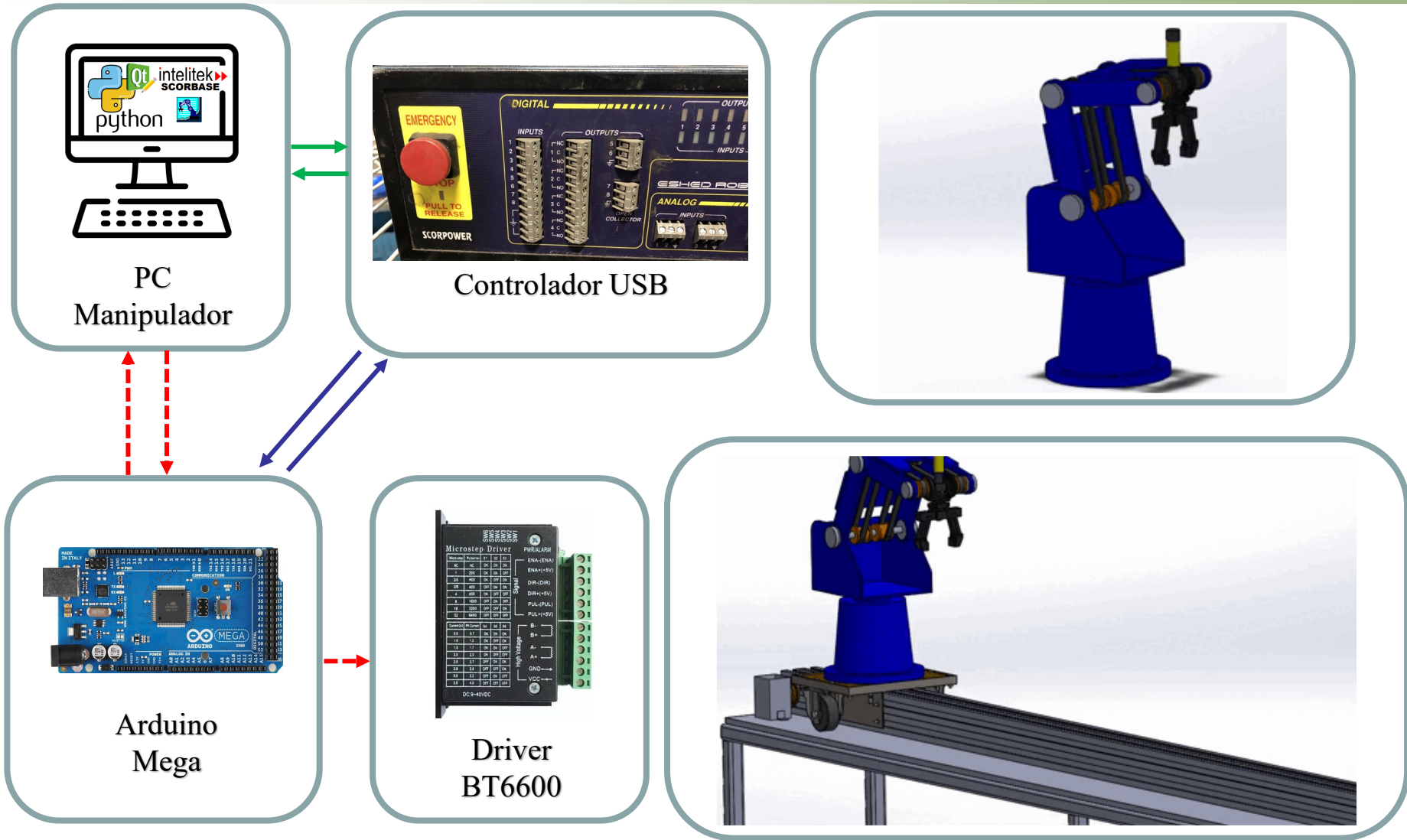


Figura 28



Sistema de control

Sistema de manipulación como Publicador.

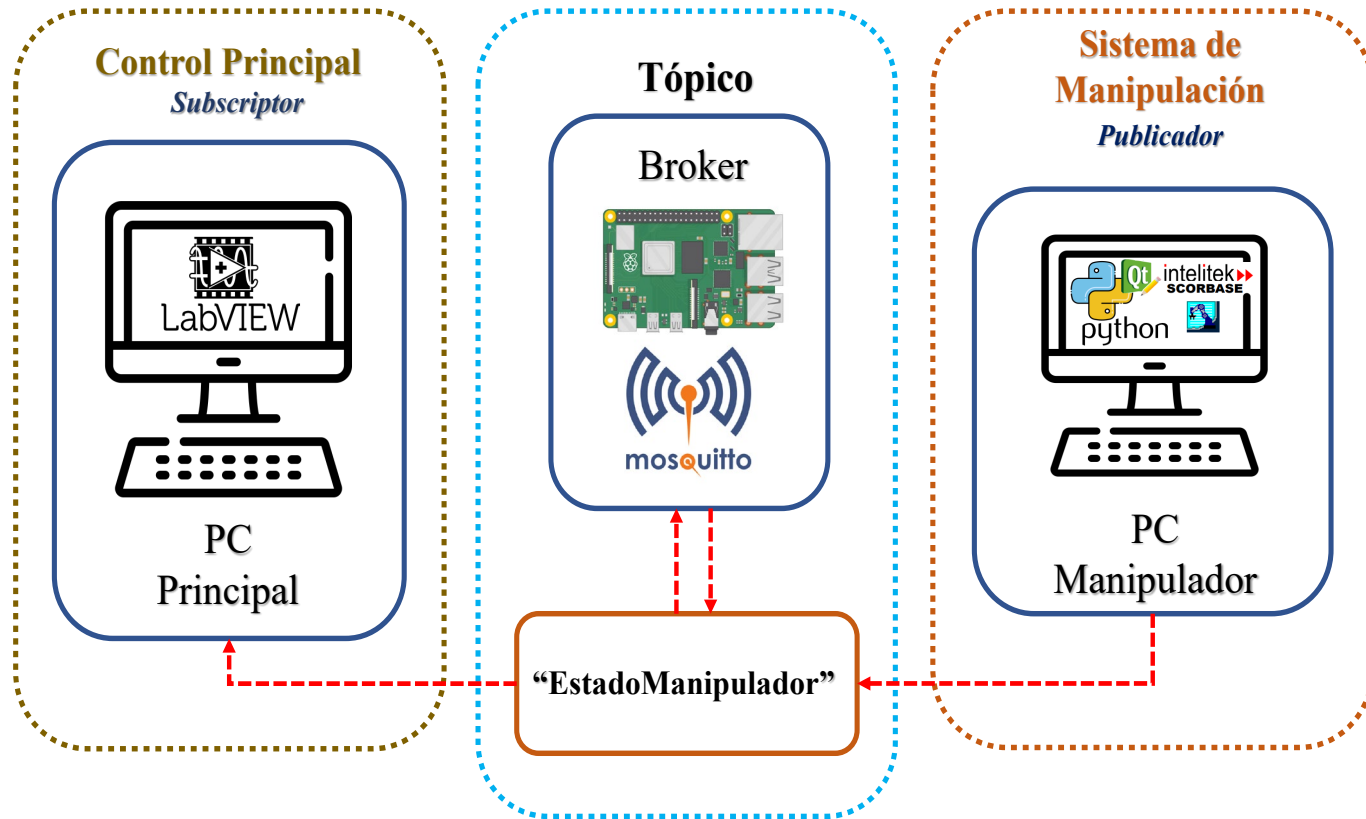


Figura 29



Diseño electrónico

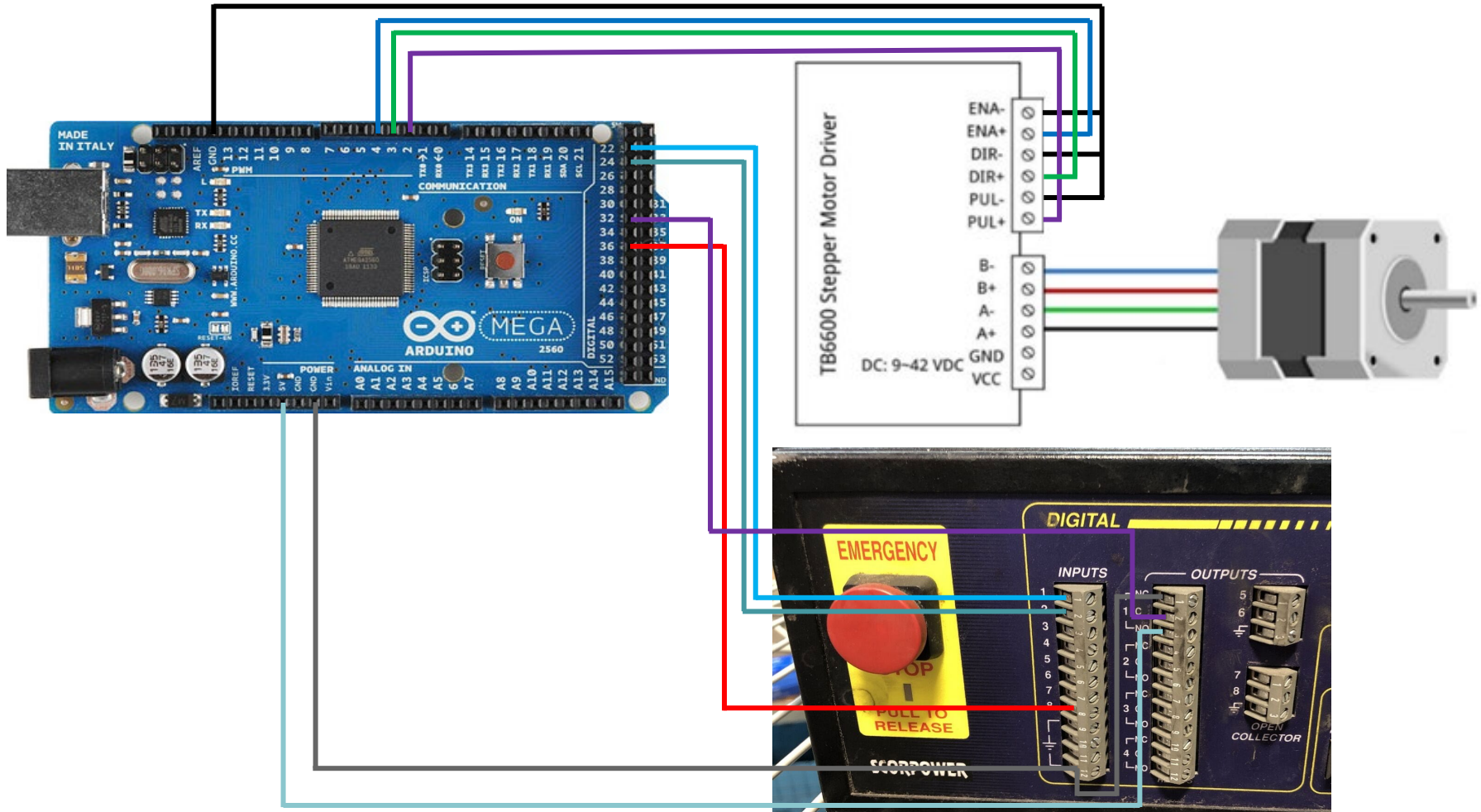


Figura 31



9. IMPLEMENTACIÓN



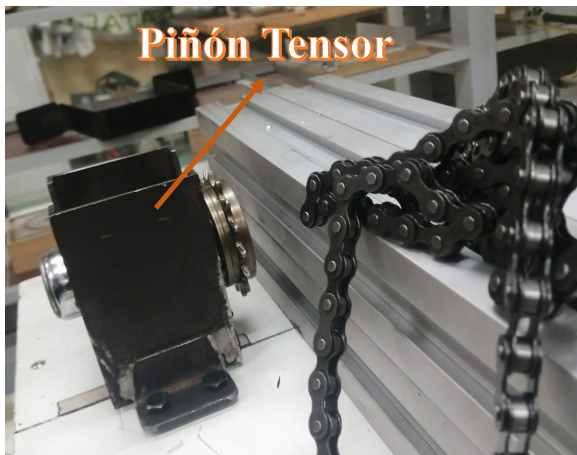
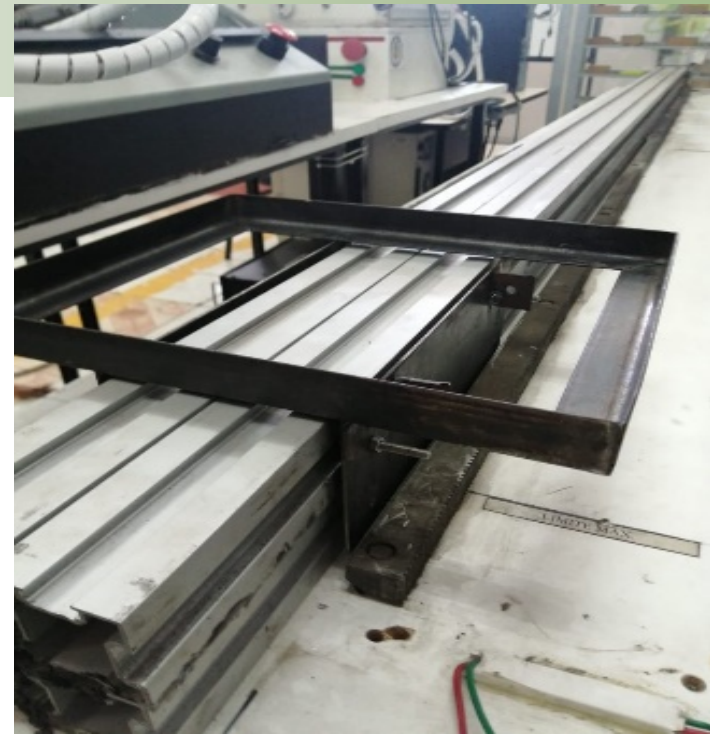


Figura 32



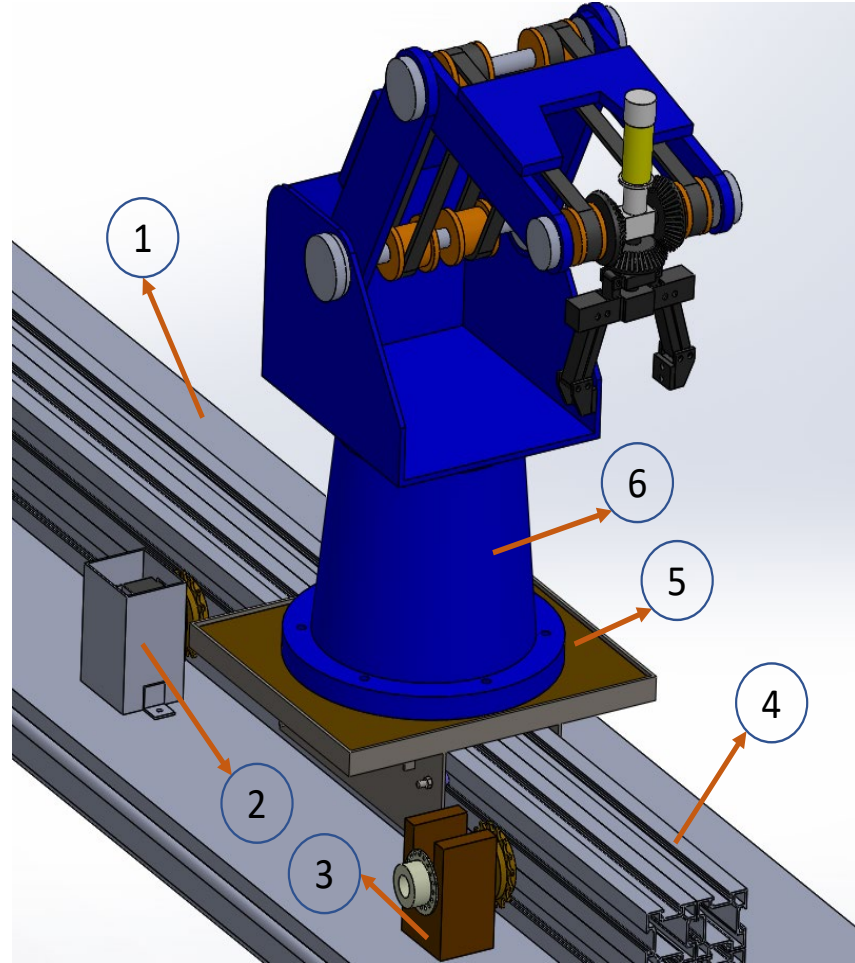
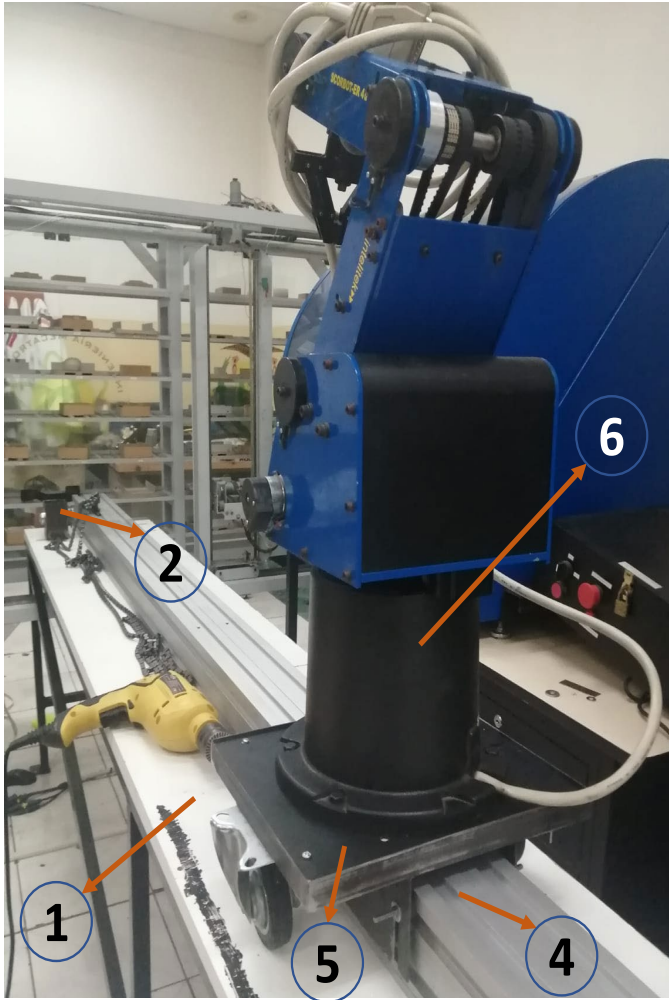


Figura 33



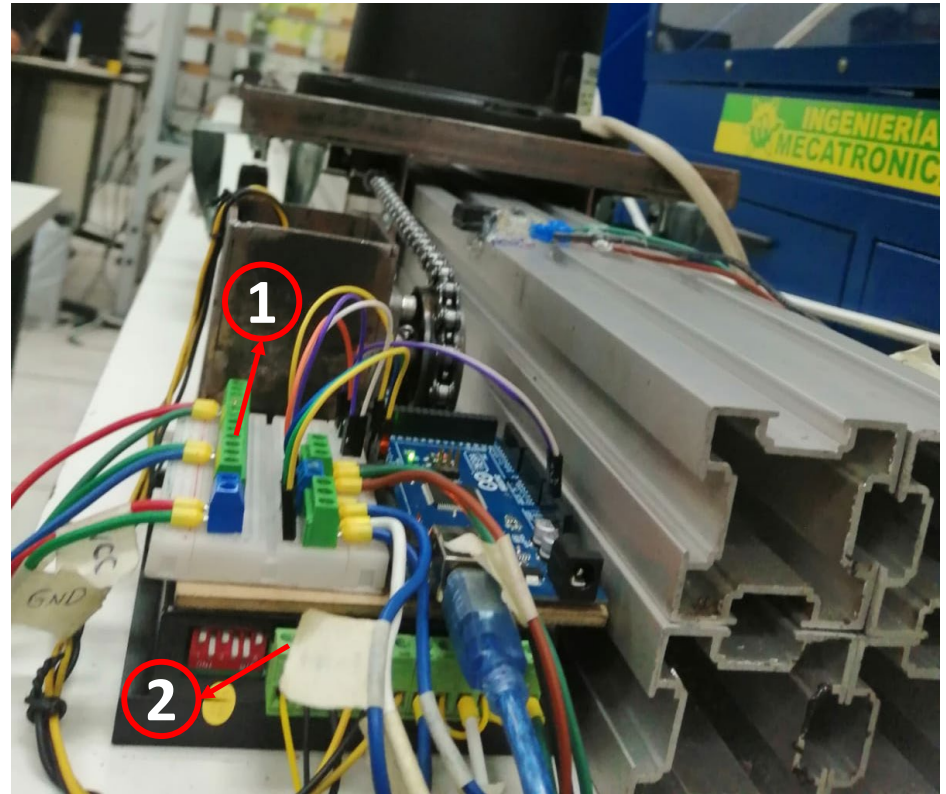
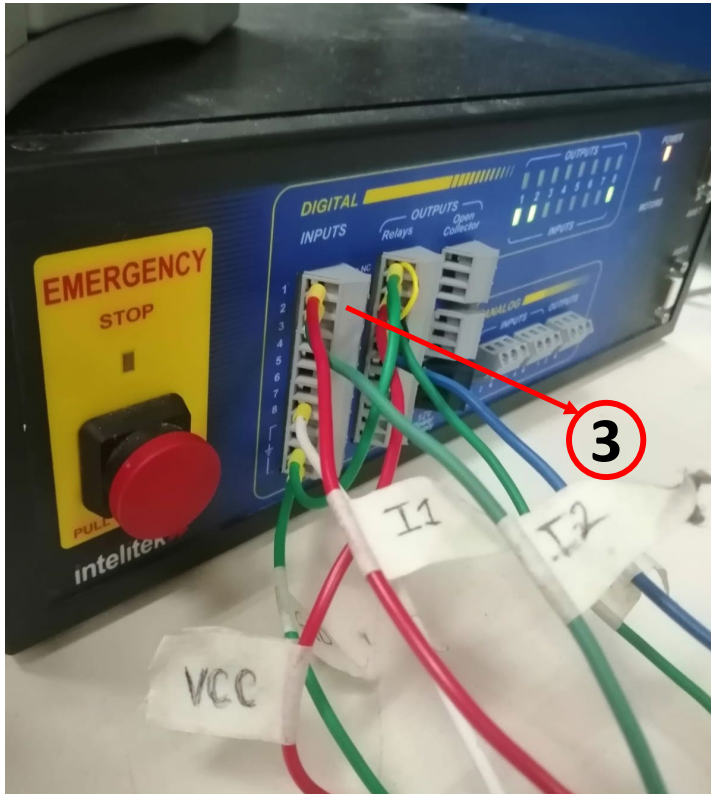


Figura 34





Figura 35



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA





Figura 36





Figura 37



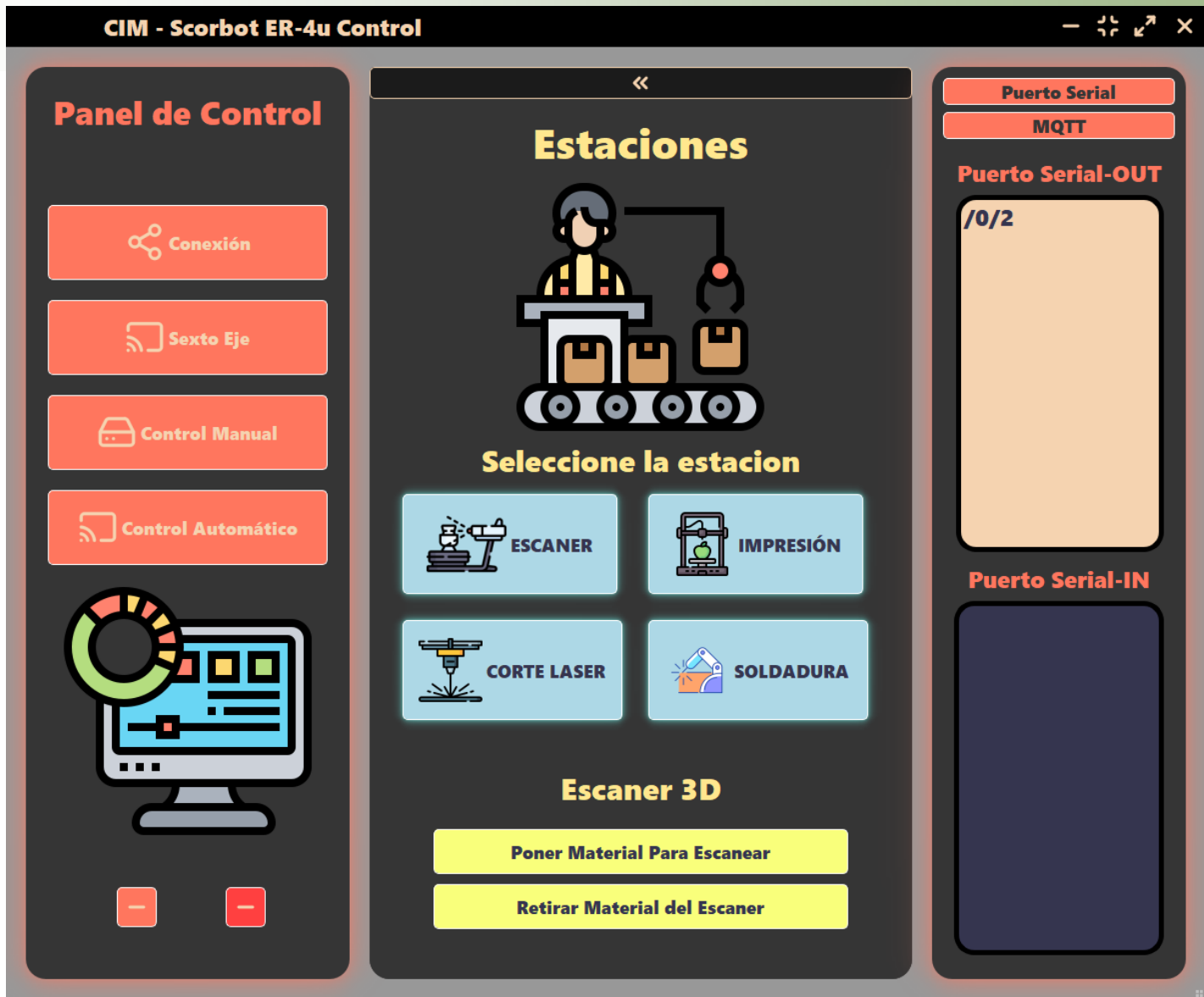


Figura 38



10.PRUEBAS Y RESULTADOS



Resultados como estación independiente de manipulación

La normativa ISO 9283:2003 (Normativa Criterios de análisis de prestaciones y métodos de ensayo relacionados con robots industriales) "Robots and robotic devices "

-Establecer puntos de evaluación

Sexto eje (Eje desplazable)		
Puntos Destino	Distancia (mm)	Estación de manufactura
P1	70	Escáner 3D
P2	800	Impresión 3D
P3	1500	Soldadura
P5	2000	Corte Laser
P4	2400	ACRS



Tabla 10



Resultados como estación independiente de manipulación

La normativa ISO 9283:2003 "Robots and robotic devices "

La normativa explica que se deberá recolectar la medición de la posición deseada y la posición obtenida de forma experimental 30 veces entre diferentes puntos.

Para ello la prueba de posicionamiento se realizó seis veces, para logra evaluar 30 veces el posicionamiento ya que existen 5 puntos.

-Ejecutar la secuencia P1-P2-P3-P4-P5-P6 y regreso para repetibilidad

Posición del sexto eje en las estaciones			
Punto	Posición	Precisión	Repetibilidad
P1	70	0,535	0,125
P2	800	0,25	0,175
P3	1500	0,5	0,4
P4	2000	0,6	0,25
P5	2400	0,55	0,2
	Promedio	0,487	0,23

Tabla 11



Resultados como estación independiente de manipulación

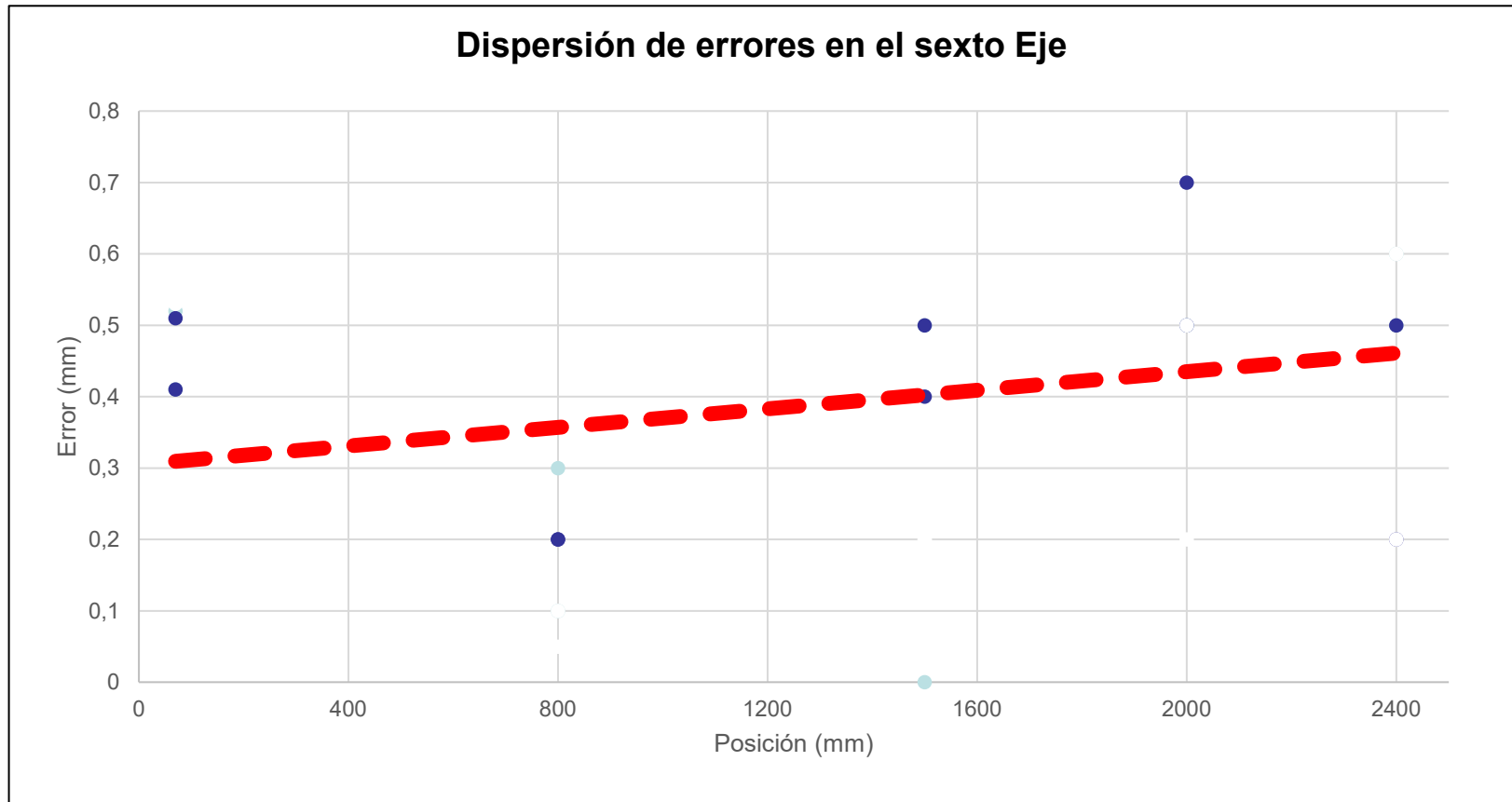


Figura 39



Resultados como estación independiente de manipulación

Para evaluar la **confiabilidad en posicionamiento** del robot industrial se utilizó la normativa (ISO 9283:2003)

Resultados de confiabilidad	
Ensayo	Posicionamiento
1	BIEN
2	BIEN
3	BIEN
4	BIEN
5	BIEN
6	BIEN
7	REGULAR
8	REGULAR
9	REGULAR
10	MAL

Resultados con auto calibración	
Ensayo	Posicionamiento
1	BIEN
2	BIEN
3	BIEN
4	BIEN
5	BIEN
6	BIEN
7	BIEN
8	BIEN
9	BIEN
10	BIEN

Tabla 12

Tabla 13



11.VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS



Validación de la Hipótesis individual

Evaluación de parámetros de diseño

Repetibilidad

la normativa ISO 10218-1 (Requisitos de seguridad para robots industriales) y ISO 9283:2014 recomienda que para tareas de paletizado el manipulador debe cumplir una repetibilidad máxima de $\pm 0.5 \text{ mm}$.

Para validar la repetibilidad obtenida de $\pm 0.41 \text{ mm}$ del sistema de manipulación se comparó con el valor recomendado por la normativa de ± 0.5 .

$$0.41 < 0.5$$



Validación de la Hipótesis individual

Evaluación de parámetros de diseño

Precisión

Según la normativa ISO 10218-1 (Requisitos de seguridad para robots industriales) y ISO 9283:2003 para ejecutar tareas de paletizado un robot industrial deberá tener una precisión de posicionamiento inferior a ± 0.5 mm.

$$\pm 0,487 < \pm 0.5$$

Para validar la precisión del sistema de manipulación diseñado de $\pm 0,487$ mm obtenida, se comparó con la precisión recomendada por la norma de ± 0.5 mm



Validación de la Hipótesis individual

Conclusión

Los factores de diseño repetibilidad y precisión evaluados de acuerdo a la norma ISO 10218-1 determinaron que el diseño se encuentra dentro de los parámetros normalizados para la ejecución de tareas de paletizado, es por ello que se puede rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa (H_0) individual.

El Diseño e implementación de un Sistema de Manipulación Robotizado con 5 grados de libertad y base deslizante sí se pudo indexar a un CIM como sistema de manipulación independiente.



12. Análisis Financiero de costos y mano de obra



El costo total del diseño de todo el sistema de manipulación

Costo de implementación	\$255,55
Costo de mano de obra	\$1520
Total	\$1775,55

Tabla 15

El ScorBot adquirido tuvo un precio de \$3500 USD sumando la implementación de la inversión del desarrollo del sexto eje tiene un costo de **\$5275.55 USD**

Actualmente el ScorBot ER-4u tiene un precio de **\$11770 USD** incluido su base deslizante por un proveedor directo de Intelitek que se encuentra en California-Estados Unidos (Learning Labs, 2020).

El desarrollo del prototipo logró una reducción de costo del %55,2 que corresponde a un ahorro de **\$6494.45 USD.**



13.CONCLUSIONES



Conclusiones

- Se diseñó un “sexto eje” para un SCORBOT ER-4u de cinco grados de libertad con una repetibilidad de $\pm 0,487mm$ y una carrera de 2400mm para satisfacer el objetivo planteado en las tareas de manipulación individuales y con el CIM de manufactura aditiva y sustractiva.
- Se calculó utilizando la normativa (ISO 9283, 2021) la confiabilidad de paletizado en el CIM logrando 7 de 6 piezas posicionadas correctamente, se implementó una rutina de auto calibración para la ejecución de tareas de manipulación dentro de un CIM que mejoró a un 10/10 piezas posicionadas.



- Se implementó un sistema mecatrónico para controlar a un ScorBot ER-4u de 5 grados de libertad y base deslizante indexado al CIM como sistema de manipulación independiente.
- La implementación del sexto eje aportó con un ahorro de \$6494.45 USD en comparación con los proveedores del Scrobot ER-4u.

