

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE MECATRÓNICA
TRABAJO DE UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR, PREVIO A LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE CLASIFICACIÓN Y TRANSPORTE DE
PIEZAS QUE PERMITA ORGANIZARLAS MEDIANTE UNA CELDA AUTOMATIZADA
EMPLEANDO SISTEMAS CIBERFÍSICOS PARA INTEGRAR CONOCIMIENTOS TÉCNICOS
E INDUSTRIALES EN EL LABORATORIO DE MECATRÓNICA DE LA UNIVERSIDAD DE
LAS FUERZAS ARMADAS ESPE SEDE LATACUNGA.**

**AUTOR: GUAMÁN GUERRERO, EDISON MARCELO
TUTOR: ING. GORDÓN GARCÉS, ANDRÉS MARCELO MSC**

LATACUNGA, MARZO 2024



Introducción

Fundamentos Teóricos

Selección de Componentes

Diseño del Concepto

Implementación

Pruebas y Resultados

Conclusiones y Recomendaciones



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el laboratorio de Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga existen diversos equipos, implementos y herramientas que permiten a los estudiantes de la carrera capacitarse y estar al tanto de conocimiento técnico y teórico que es indispensable para cumplir con la malla curricular, pero es necesario hacer énfasis en la falta de equipo que permita emular situaciones similares a las que se pueden presentar en el campo profesional o en la industria. Es decir, existe una limitante en el aprendizaje de los estudiantes a la hora de hacer frente a problemas que se pueden generar dentro de una línea de producción.



Con la finalidad de lograr representar varios procesos industriales, la implementación de una pequeña celda automatizada junto con la integración IoT y controladores robustos permitirá integrar conocimientos de control industrial, robótica industrial, automatización industrial, sistemas ciberfísicos y varias asignaturas más que resultan ser profesionalizantes en la formación académica de estudiantes de ingeniería.



Diseñar e implementar de un módulo de clasificación y transporte de piezas que permita organizarlas mediante una celda automatizada empleando sistemas ciberfísicos para integrar conocimientos técnicos e industriales en el Laboratorio de Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga.



OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Adquirir información complementaria que permita desarrollar adecuadamente el proyecto, incluyendo acotaciones que pueden haberse presentado en trabajos previos.
- Investigar documentos bibliográficos que hagan énfasis en el desarrollo relacionado del proyecto, que funcione como guía para la gestión bibliográfica del documento.
- Plantear el diseño mecánico que facilite la función de transporte y clasificación del módulo en base a cálculos y comprobación matemática.
- Identificar variables que lleguen a ser relevantes durante el diseño mecánico del módulo.
- Gestionar elementos a implementar, tanto desde el punto estructural, eléctrico y mecánico con la finalidad de evitar problemas durante la etapa de pruebas.
- Implementar normas de seguridad que permitan vincular el módulo con un sistema real en base a parámetros industriales, integrando protecciones y aspectos íntegros de funcionamiento.
- Programar el control y funcionamiento de los diferentes elementos que integran el módulo, tanto desde el robot como sensores y actuadores que interactúan en el entorno.
- Realizar las diferentes pruebas que permitan comprobar el correcto funcionamiento mecánico, eléctrico y ciberfísico del sistema.



¿El diseño e implementación de un módulo de clasificación y transporte de piezas que permita organizarlas mediante una celda automatizada empleando sistemas ciberfísicos permitirá integrar conocimientos técnicos e industriales en el Laboratorio de Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga?

Variable Independiente

Módulo de clasificación y transporte de piezas.

Variable dependiente

Integrar conocimientos técnicos e industriales en el Laboratorio de Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga.



Tabla 3

Etapas de diseño de una célula robotizada

	Celda Robotizada / Célula Robótica
Etapas de Diseño de una célula robotizada	1. Selección del Robot.
	2. Elección de la garra o elemento final de trabajo.
	3. Diseño de la fundación o cimientos para la base del robot.
	4. Instalación de los elementos de protección y seguridad de la célula robotizada.
	5. Elaboración de los sistemas de control y comunicación.
	6. Programación del robot.

Nota. Estas etapas son a grandes rasgos ya que pueden desglosarse en subetapas debido a su alto nivel de complejidad. Tomado de (Navarro, 2021).

Criterios de Selección de un Robot

- Aplicación
- Grados de Libertad
- Precisión
- Carga Útil
- Rangos de Operación
- Nivel de Protección

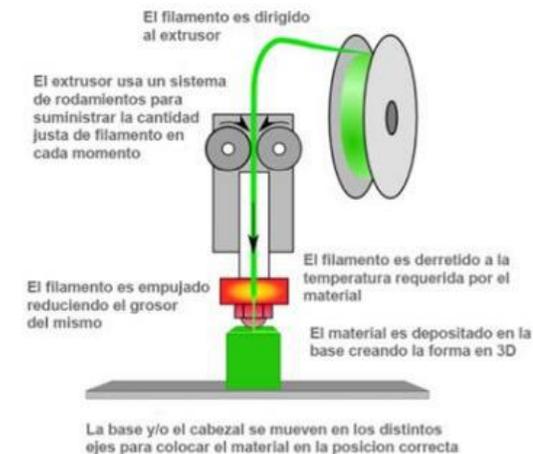
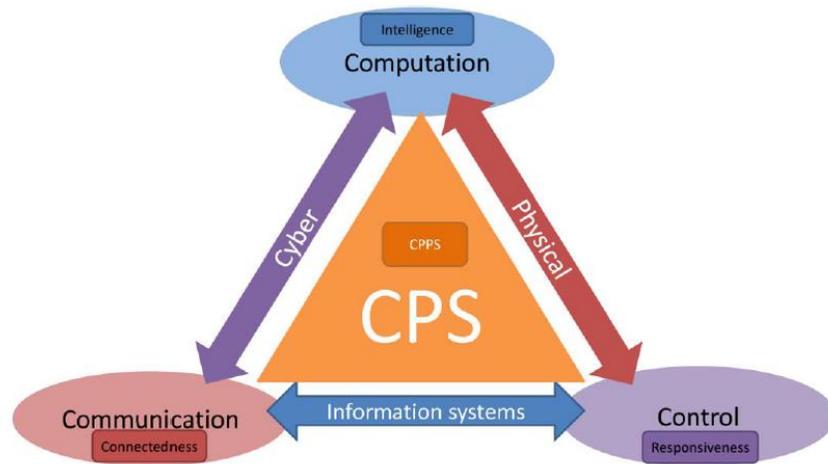


Figura 11

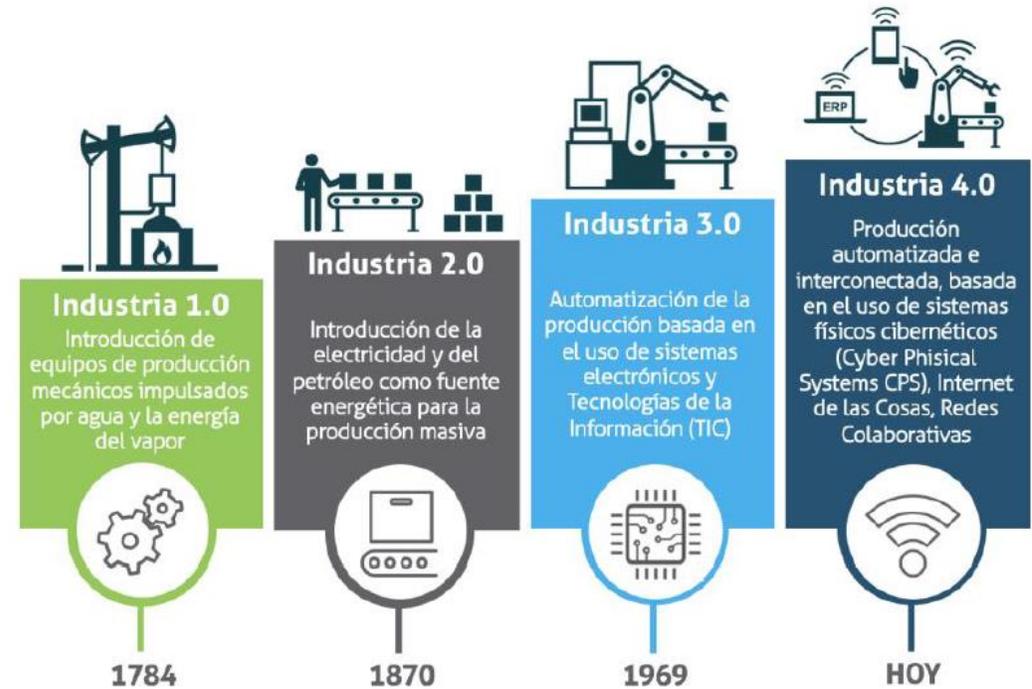
Integración de Sistemas Ciberfísicos



Nota. Sistemas Ciberfísicos, claves en el desarrollo de la industria 4.0. Tomado de (Izaro, 2023).

Figura 12

Revoluciones Industriales



Nota. Las revoluciones industriales han permitido alcanzar la eficacia que hoy en día conocemos dentro de las empresas y progreso social. Tomado de (Dueñas, 2019).

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN – MATRIZ QFD

Tabla 7

Necesidades de los Usuarios e Importancia

Número	Necesidad	Importancia
1	Trabajo constante de sensores	4
2	Trabajo acertado del robot manipulador	4
3	Interfaz de programación amigable	2
4	Recolección de datos en tiempo real	3
5	Clasificación de elementos por tamaño	4
6	Funcionamiento correcto de la banda	5
7	Representación adecuada de normas de seguridad	4
8	Asequible y económico	5
9	Sistemas de funcionamiento libre	5
10	Mantenimiento sencillo	1

Nota. La presente tabla muestra las necesidades del desarrollo del módulo didáctico y sus respectivas importancias, siendo la menor 1 y la mayor 5.

Tabla 8

Especificaciones Técnicas o Métricas

Número	Métrica	Importancia
1	Velocidad de respuesta y lectura del sensor	5
2	Especificación de puntos de trabajo	4
3	Interfaz hombre máquina sencilla	3
4	Sistemas ciberfísicos y de monitoreo	4
5	Comunicación entre sensores y robot	5
6	Desplazamiento por secciones de la banda	4
7	Normativa y estándares en el campo industrial	4
8	Materiales disponibles en el mercado local	2
9	Sistemas basados en código abierto	4
10	Arquitectura sencilla y reemplazable	3

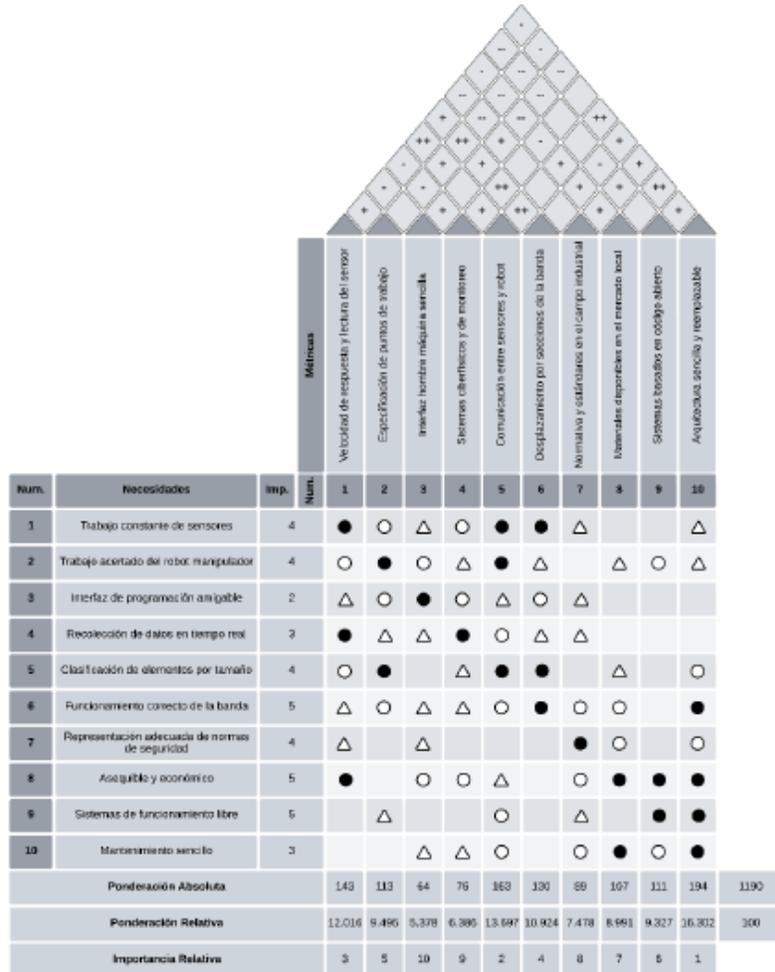
Nota. Las especificaciones técnicas o métricas para solventar las diferentes necesidades, su nivel de importancia varia siendo 1 el menos importante y 5 el más importante.



DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN – MATRIZ QFD

Figura 13

Matriz QFD del Módulo de Celda Robótica para Clasificación



Nota. Los resultados de la matriz, se identifica mayores y menores valores.

Tabla 9

Escala de Pesos - Metodología Japonesa

Símbolo	Descripción	Valor
●	Muy correlacionados	9
○	Correlacionados	3
▲	Poco correlacionados	1
	Sin correlación	0

Nota. Tomado de QFD: Conceptos, Aplicaciones y Nuevos Desarrollos. Tomado de (Yacuzzi & Martín, 2003).

Tabla 10

Escala de correlaciones de métricas

Símbolo	Relación	Valor
++	Fuerte	5
+	Moderada	4
	Débil	3
-	Muy débil	2
--	Ninguna	1

Nota. Tomado de QFD: Conceptos, Aplicaciones y Nuevos Desarrollos. Tomado de (Yacuzzi & Martín, 2003).

Tabla 11

Matriz QFD – Valores Resultados

Hito	Métricas	Puntaje Absoluto
1	Arquitectura sencilla y reemplazable	194
2	Comunicación entre sensores y robot	163
3	Velocidad de respuesta y lectura del sensor	143
4	Desplazamiento por secciones de la banda	130
5	Especificación de puntos de trabajo	113
6	Sistemas basados en código abierto	111
7	Materiales disponibles en el mercado local	107
8	Normativa y estándares en el campo industrial	89
9	Sistemas ciberfísicos y de monitoreo	76
10	Interfaz hombre máquina sencilla	64

Nota. Las métricas de la matriz QFD, en base a los niveles de pesos y correlación, se puede identificar cuáles son la de mayor y menor importancia.



DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN – MATRIZ QFD

Núm.	Etapas	Descripción	Hitos
1	Robot manipulador	Ensamble sencillo y funcional para enseñanza.	1, 7
		Acondicionamiento de componentes eléctricos.	3
		Posicionamiento del robot.	6
2	Celda de trabajo	Diseño e implementación de banda transportadora.	4
		Lay Out del sistema.	5
		Implementación de medidas de protección para trabajo industrial.	8
3	Control y Programación	Trabajo coordinado entre robot y banda transportadora.	9, 2
		Interfaz gráfica.	10



Etapa 1



Etapa 2



Etapa 3



Figura 16

Robot SCARA (X-SCARA)



Figura 17

Robot Antropomórfico (AR4)



Figura 18

Robot Antropomórfico (Hiwonder MaxArm)



Figura 19

Robot Antropomórfico (20sffactory)



Tabla 14

Criterios de selección – Robot

CRITERIOS	Precio	Facilidad de Uso	Didáctico	Manufacturar	Total	Peso Ponderado
Precio		10	1	0.2	11.2	0.422
Facilidad de usar	0.1		1	0.2	1.3	0.049
Didáctico	1	1		1	3	0.113
Manufacturar	5	5	1		11	0.415
Total					26.5	1.00

Nota. Se ha obtenido los pesos ponderados necesarios para la selección del robot.

Tabla 15

Evaluación de Criterios – Precio

PRECIO	X-SCARA	AR4	MaxArm	20sffactory	Total	Peso Relativo
X-SCARA		5	1	0.2	6.2	0.179
AR4	0.2		0.1	0.1	0.4	0.011
MaxArm	1	10		1	12	0.346
20sffactory	5	10	1		16	0.462
Total					34.6	1.00

Nota. En el rango de valores para la calificación se ha tomado el número 10 como mucho más económico mientras que 0.1 como mucho menos económico.

Tabla 19

Consolidación de calificaciones por criterios - Robot

CALIFICACIONES	Precio	Facilidad de usar	Didáctico	Manufacturar
X-SCARA	0.179	0.202	0.33	0.405
AR4	0.011	0.013	0.008	0.007
MaxArm	0.346	0.392	0.33	0.283
20sffactory	0.462	0.392	0.33	0.303

Nota. Tabla con todos los pesos relativos obtenidos previamente en anteriores tablas.

Tabla 20

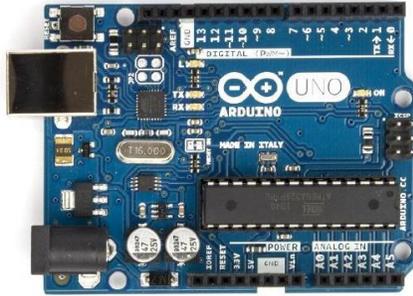
Matriz de Priorización – Selección de Robot

SELECCIÓN	Precio	Facilidad de usar	Didáctico	Manufacturar	Total
X-SCARA	0.075	0.009	0.037	0.168	0.289
AR4	0.004	0.0006	0.0009	0.0029	0.0084
MaxArm	0.146	0.019	0.037	0.117	0.319
20sffactory	0.194	0.019	0.037	0.125	0.375



Figura 20

Tarjeta Arduino Uno ATmega328



Nota. Arduino Uno ATmega328 con manufactura italiana. Tomado de (Guerrero, 2014).

Figura 21

Tarjeta ESP32

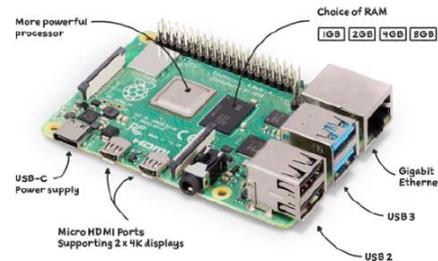


Nota. La tarjeta ESP32 cuenta con 36 pines, normalmente usada para tecnologías IoT.

Tomado de (Novatronic, 2023).

Figura 22

Raspberry Pi 4



Nota. Tarjeta Raspberry Pi 4. Tomado de (Raspberry Pi Ltd, 2023).

Tabla 21

Criterios de selección – Controlador del Robot

CRITERIOS	Facilidad de programación	Didáctico	Control Motores CNC	Total	Peso Ponderado
Facilidad de programación		1	0.2	1.2	0.0693
Didáctico	1		0.1	1.1	0.0635
Control de motores CNC	5	10		15	0.867
Total				17.3	1.00

Nota. Se ha obtenido los pesos ponderados necesarios para la selección del controlador.

Tabla 26

Matriz de Priorización – Selección del Controlador de Robot

CALIFICACIONES	Facilidad de programación	Didáctico	Control de motores CNC	Total
Arduino Uno	0.0451	0.0414	0.55	0.6365
ESP32	0.009	0.013	0.014	0.036
Raspberry Pi 4	0.015	0.0082	0.299	0.322

Tabla 25

Consolidación de calificaciones por criterios – Controlador del Robot

CALIFICACIONES	Facilidad de programación	Didáctico	Control de motores CNC
Arduino Uno	0.652	0.652	0.635
ESP32	0.13	0.217	0.0173
Raspberry Pi 4	0.217	0.13	0.346

Nota. Tabla con todos los pesos relativos obtenidos previamente en anteriores tablas.



Figura 23

Servomotor MG995



Nota. Servomotor normalmente empleado para domótica y apartados electrónicos. Tomado de (Novatronic, 2023).

Figura 24

Motor a pasos Nema 17HS4401



Nota. Motor usado normalmente para aplicaciones CNC con un costo no tan elevado. Tomado de (Cytron Technologies, 2023).

Figura 25

Motor a pasos Nema 23HE30



Nota. Motor a pasos Nema 23, las dimensiones son superiores a las del motor nema 17 y su aplicación es en el campo CNC. Tomado de (Stepper Online, 2023).

Tabla 27

Criterios de selección – Actuadores del Robot

CRITERIOS	Torque	Voltaje de alimentación	Precio	Total	Peso Ponderado
Torque		5	1	6	0.483
Voltaje de alimentación	0.2		0.2	0.4	0.0322
Precio	1	5		6	0.483
Total				12.4	1.00

Nota. Se ha obtenido los pesos ponderados necesarios para la selección de los actuadores.

Tabla 31

Consolidación de calificaciones por criterios – Actuadores del Robot

CALIFICACIONES	Torque	Voltaje de alimentación	Precio
MG995	0.009	0.0322	0.731
Nema 17	0.495	0.483	0.2536
Nema 23	0.495	0.483	0.0146

Nota. Tabla con todos los pesos relativos obtenidos previamente en anteriores tablas.

Tabla 32

Matriz de Priorización – Selección de Actuadores del Robot

CALIFICACIONES	Torque	Voltaje de alimentación	Precio	Total
MG995	0.0043	0.00103	0.353	0.358
Nema 17	0.239	0.0155	0.1224	0.376
Nema 23	0.239	0.0155	0.00705	0.261



Figura 26

Filamento PLA+ - Ácido Poliláctico



Nota. Filamento con 9 kJ/m² de resistencia al impacto, 20% de elongación a la ruptura y con resistencia a la tracción de 63MPa, resistencia a la flexión de 74MPa y con módulo de flexión de 1913MPa, requiere temperaturas de 210 a 230°C y la cama de 45 a 60°C.

Tomado de (eSUN, 2023).

Figura 27

Filamento ABS – Acrilonitrilo Butadieno Estireno



Nota. Filamento con 29 kJ/m² de resistencia al impacto, 22% de elongación a la ruptura y con resistencia a la tracción de 43MPa, resistencia a la flexión de 66MPa y con módulo de flexión de 1177MPa, requiere temperaturas de 230 a 270°C y la cama de 95 a 110°C.

Tomado de (eSUN, 2023).

Figura 28

Filamento ePA – Nylon (Poliamida 6)



Nota. Filamento con 18.4 kJ/m² de resistencia al impacto, 175.32% de elongación a la ruptura y con resistencia a la tracción de 52.45MPa, resistencia a la flexión de 58MPa y con módulo de flexión de 1370MPa, requiere temperaturas de 250 a 290°C y la cama de 70 a 90°C. Tomado de (eSUN, 2023).

Tabla 33

Criterios de selección – Material de Manufactura del Robot

CRITERIOS	Imprimibilidad	Resistencia a la flexión	Disponibilidad en el mercado	Total	Peso Ponderado
Imprimibilidad		5	0.2	5.2	0.419
Resistencia a la flexión	0.2		1	1.2	0.0967
Disponibilidad en el mercado	5	1		6	0.483
Total				12.4	1.00

Tabla 37

Consolidación de calificaciones por criterios – Manufactura del Robot

CALIFICACIONES	Imprimibilidad	Resistencia a la flexión	Disponibilidad
PLA+	0.8064	0.7317	0.7317
ABS	0.0967	0.2536	0.2536
ePA	0.0967	0.0146	0.0146

Tabla 38

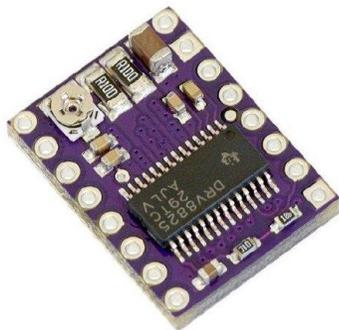
Matriz de Priorización – Selección de Material de manufactura del Robot

CALIFICACIONES	Imprimibilidad	Resistencia a la flexión	Disponibilidad	Total
PLA+	0.3378	0.0707	0.3534	0.7619
ABS	0.0405	0.0245	0.1224	0.1874
ePA	0.0405	0.00414	0.00705	0.05169



Figura 29

Driver – DRV8825



Nota. Driver para motor a pasos con capacidad de hasta 2.2 amperios. Tomado de (Grupo Electrostore, 2019).

Figura 30

Driver – A4988



Nota. Driver con capacidad máxima de 2 amperios para motores paso a paso. Tomado de (AV Electronics, 2023).

Figura 31

Driver – TB6600



Nota. Driver con capacidad de hasta 4 amperios. Tomado de (Novatronic, 2023).

Tabla 39

Criterios de selección – Drivers para control de motores

CRITERIOS	Capacidad de amperaje	Alimentación de voltaje	Precio	Total	Peso Ponderado
Capacidad de amperaje		5	1	6	0.6521
Alimentación de voltaje	0.2		1	1.2	0.1304
Precio	1	1		2	0.2173
Total				9.2	1.00

Tabla 43

Consolidación de calificaciones por criterios – Drivers para control de motores

CALIFICACIONES	Capacidad Amperaje	Alimentación Voltaje	Precio
DRV8825	0.3333	0.3333	0.0495
A4988	0.3333	0.3333	0.9009
TB6600	0.3333	0.3333	0.0495

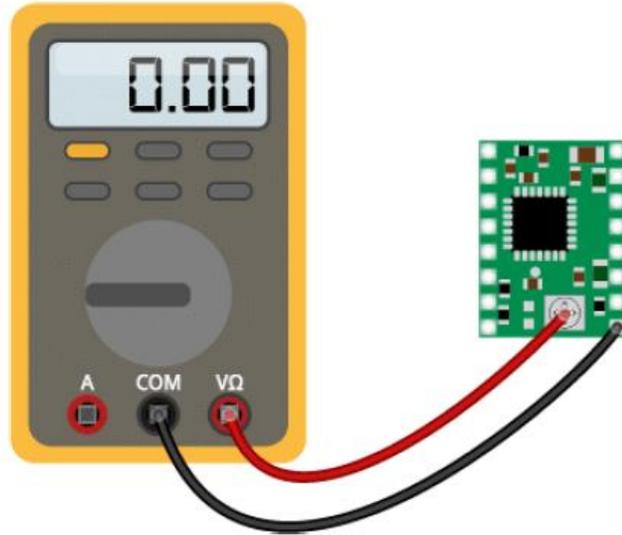
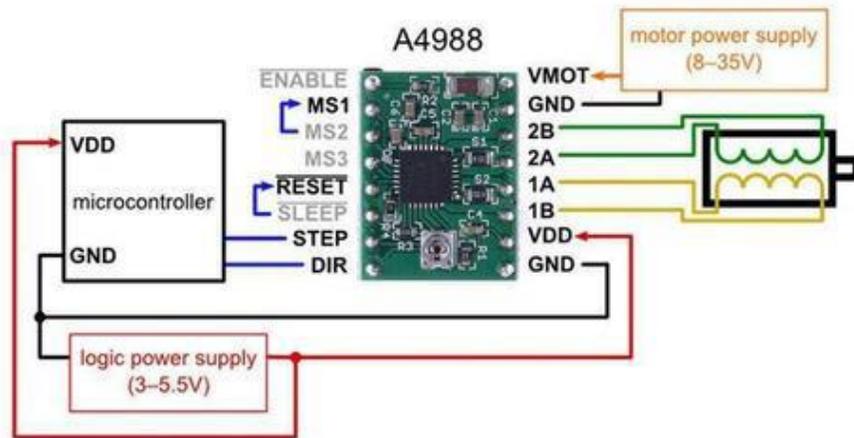
Tabla 44

Matriz de Priorización – Selección de Drivers para control de motores

CALIFICACIONES	Capacidad Amperaje	Alimentación Voltaje	Precio	Total
DRV8825	0.2173	0.04346	0.0107	0.2714
A4988	0.2173	0.04346	0.1957	0.45646
TB6600	0.2173	0.04346	0.0107	0.2714



ACONDICIONAMIENTO COMPONENTES – ETAPA 1



$$L_c = \frac{V_{ref}}{(8Rcs)}$$

Donde:

L_c = Límite de Corriente

V_{ref} = Voltaje de referencia

Rcs = Resistencia de censado en el driver de 0.1Ω

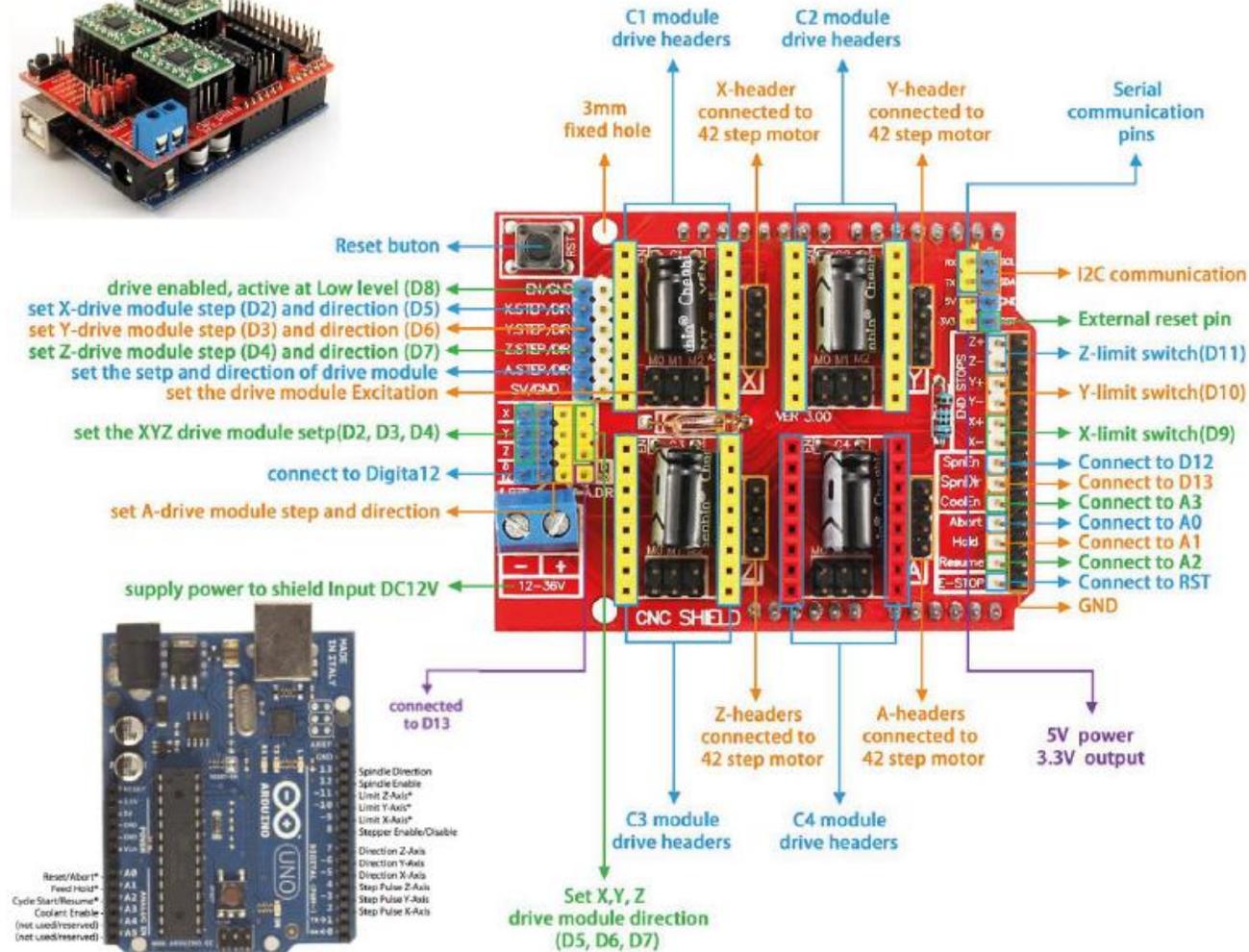
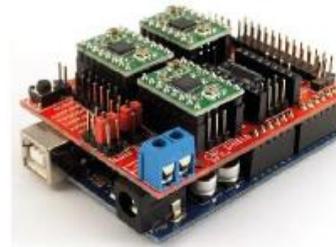
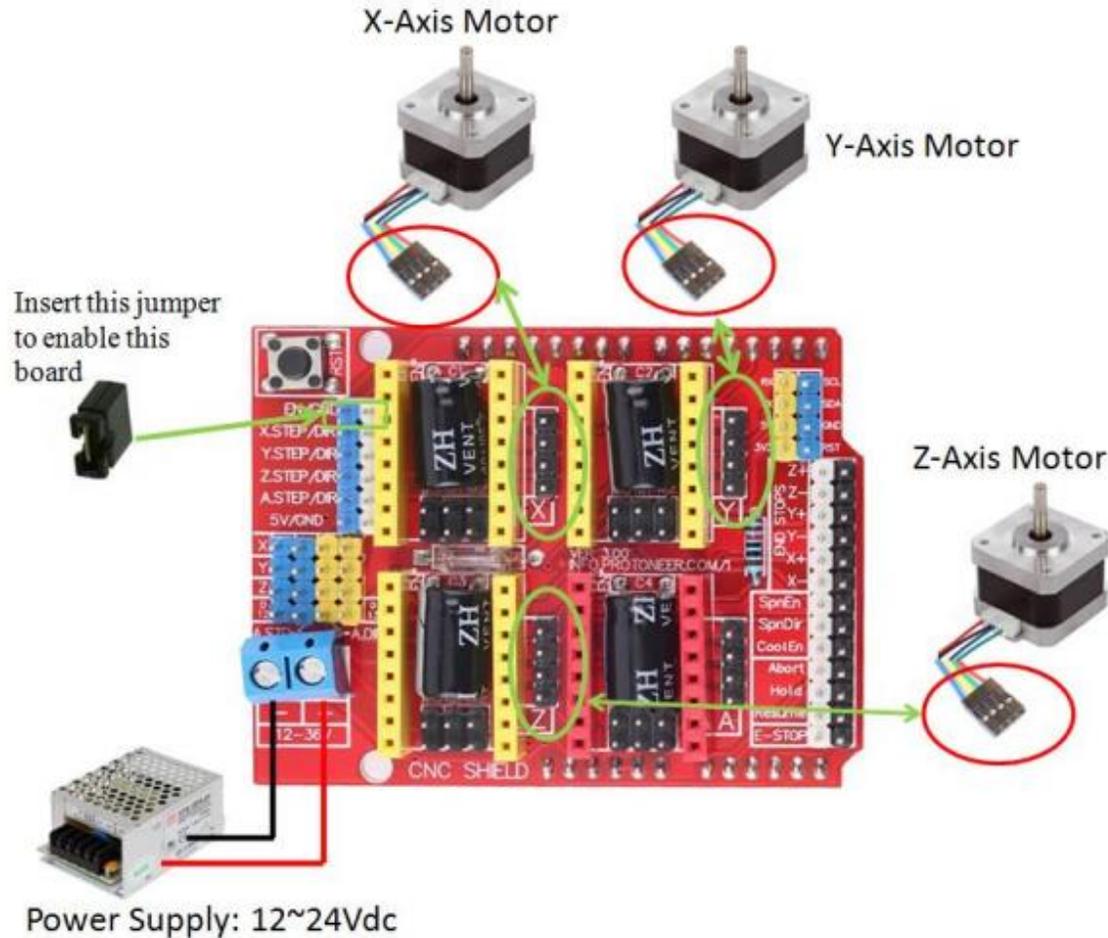
$$V_{ref} = (L_c)(8Rcs)$$

$$V_{ref} = (1.4A)(8)(0.1\Omega)$$

$$V_{ref} = 1.12v$$



ACONDICIONAMIENTO COMPONENTES – ETAPA 1

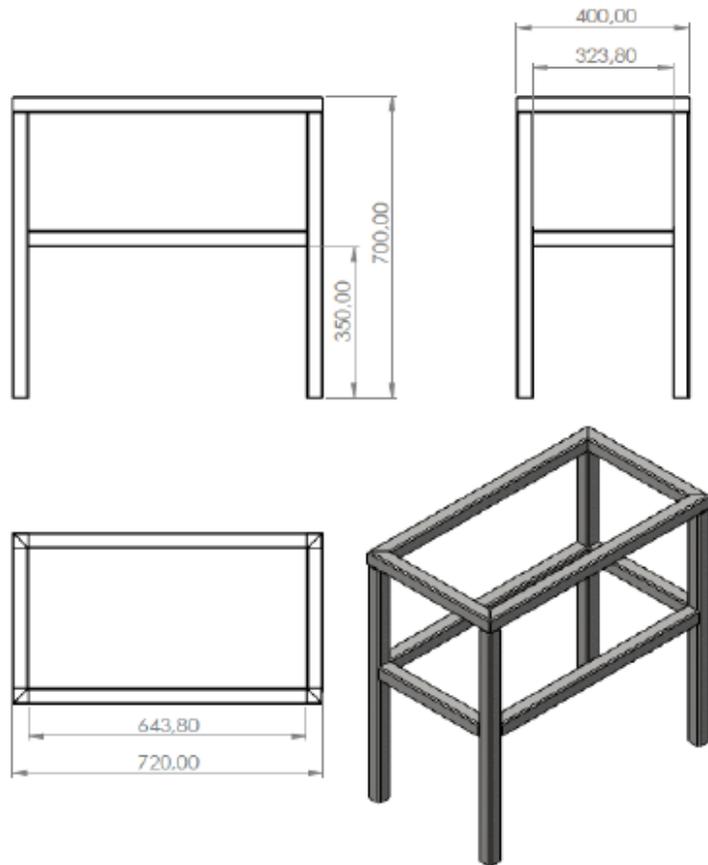


* -Indicates input pins. Held high with internal pull-up resistors.

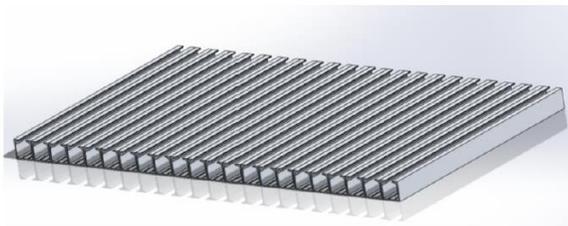


Módulo y Base

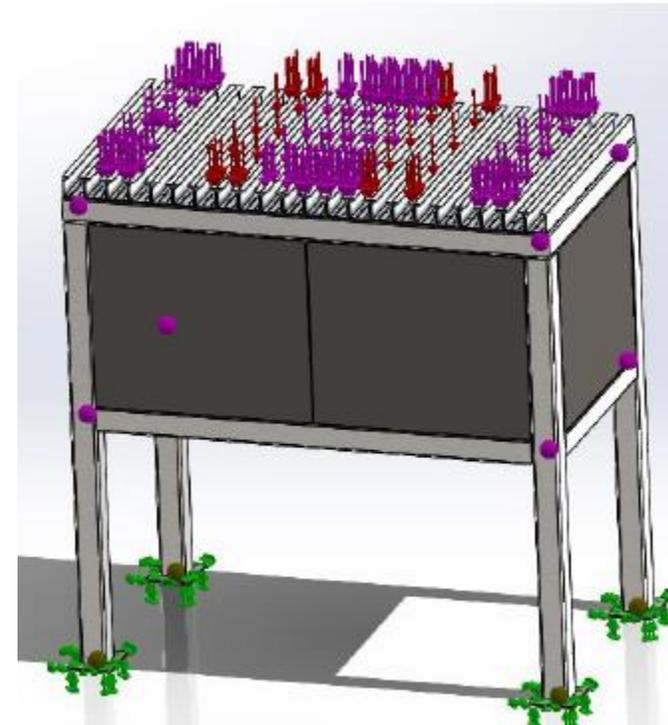
DISEÑO MÓDULO MESA – ETAPA 2



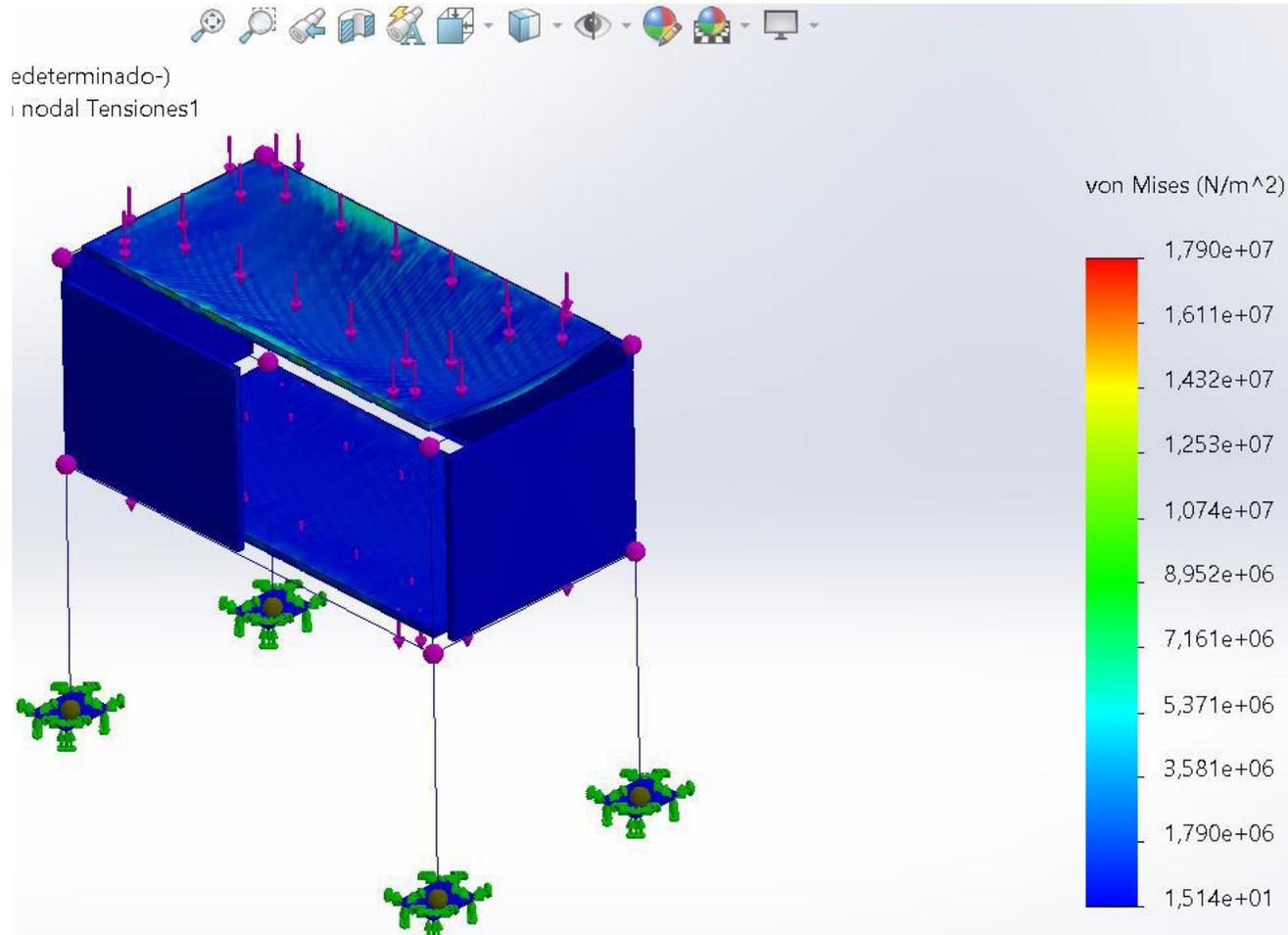
Área de trabajo – Base Perfiles de Aluminio 6061



Componentes	Pesos (gramos)
Robot Manipulador	1500 g
Banda Transportadora 1	1200 g
Banda Transportadora 2	1200 g
Cableado	1500 g
Controladores	800 g
Otros	300 g



Análisis de Von Mises



$$S_y = 248.168 MPa$$

$$\sigma_{VM} = 17.9 MPa$$

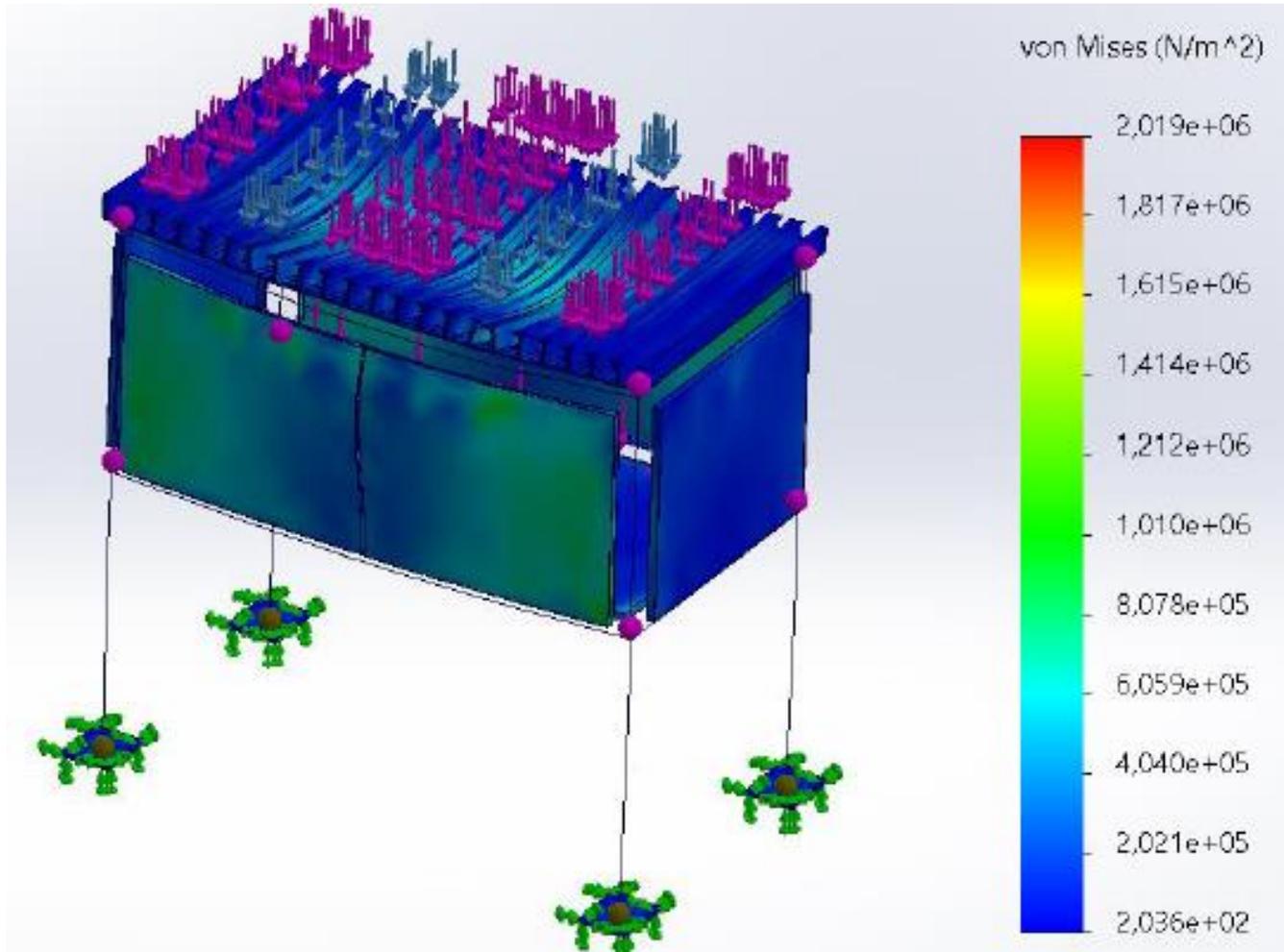
$$n_s = \frac{S_y}{\sigma_{VM}}$$

$$n_s = \frac{248.168}{17.9}$$

$$n_s = 13.864$$



Análisis de Von Mises



$$S_y = 55.1485 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{VM} = 2.019 \text{ MPa}$$

$$n_s = \frac{S_y}{\sigma_{VM}}$$

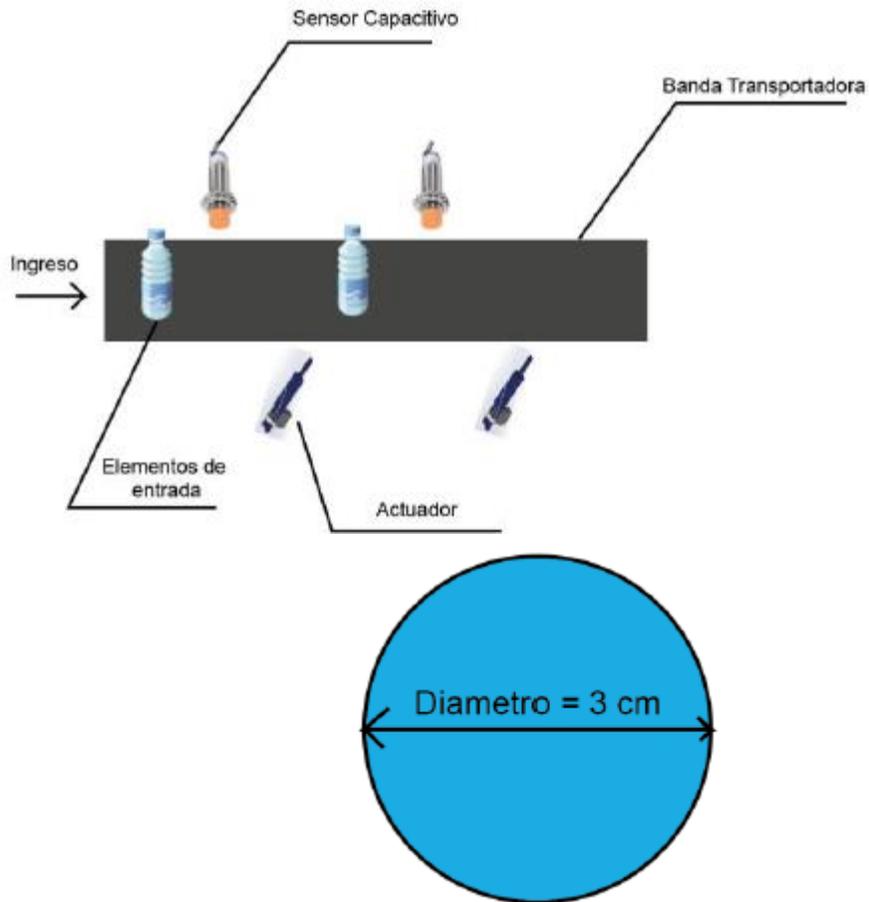
$$n_s = \frac{55.1485}{2.019}$$

$$n_s = 27.31$$



DISEÑO BANDA TRANSPORTADORA – ETAPA 2

Diseño de Banda Transportadora



Medidas – Elementos de Entrada

Diámetro de Pieza	$D_p = 3 \text{ cm}$
Distancia de separación	$ds = 1.5 \text{ cm}$
Etapas en banda	$eb = 4$
Zona de seguridad	$zn = 2 \text{ cm}$
	$deb = 2ds + D_p + zn$
	$deb = 2(1.5) + 3 + 2$
	$deb = 8 \text{ cm}$
	$L = deb \cdot (eb)$
	$L = 8 \text{ cm} \cdot 4$
	$L = 32 \text{ cm}$
Distancia entre etapas	
Longitud de banda	



DISEÑO BANDA TRANSPORTADORA – ETAPA 2

Medidas – Elementos de Entrada

Error por lado

$$error = 2.5 \text{ cm}$$

Error total

$$error_{total} = 2(error)$$

$$error_{total} = 2(2.5 \text{ cm})$$

$$error_{total} = 5 \text{ cm}$$

Longitud final de banda

$$L_{final} = L + error_{total}$$

$$L_{final} = 32 \text{ cm} + 5 \text{ cm}$$

$$L_{final} = 37 \text{ cm}$$

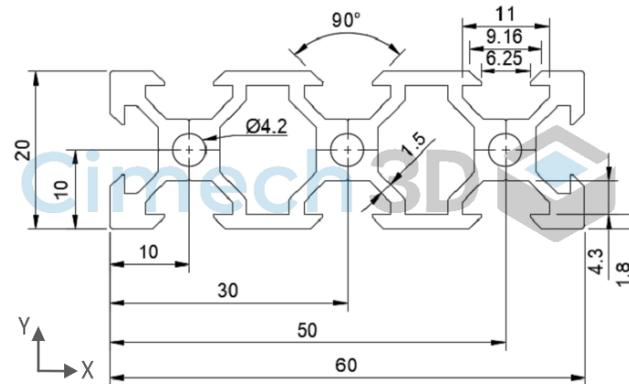
Ancho en banda

$$A = Dp + 2ds$$

$$A = 3 \text{ cm} + 2(1.5 \text{ cm})$$

$$A = 6 \text{ cm}$$

Perfil para banda transportadora



Perfil CNC Aluminio V 2060

Tipo de Perfil	V-Slot
Serie	2060
Material	Aluminio
Grado	6063-T5
Acabado	Anodizado
Color	Negro
Ancho (W)	60 mm
Alto (H)	20 mm
Momento de Inercia I_x	$17.622 \times 10^{-9} \text{ m}^4$
Momento de Inercia I_y	$149.336 \times 10^{-9} \text{ m}^4$
Esfuerzo de fluencia	145 MPa
Módulo de elasticidad	69.9 GPa
Peso por metro	1.32 kg/m

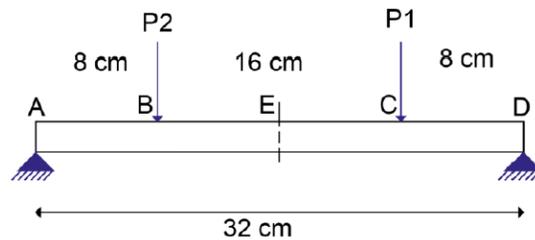


DISEÑO BANDA TRANSPORTADORA – ETAPA 2

Análisis – Viga simplemente apoyada

Figura 55

Análisis Viga - Banda transportadora



Nota. Viga simplemente apoyada con dos pesos.

Peso 1

$$P_1 = m \cdot g$$
$$P_1 = 0.2 \text{ kg} \cdot 9.82 \text{ m/s}^2$$
$$P_1 = 1.964 \text{ N}$$

Peso 2

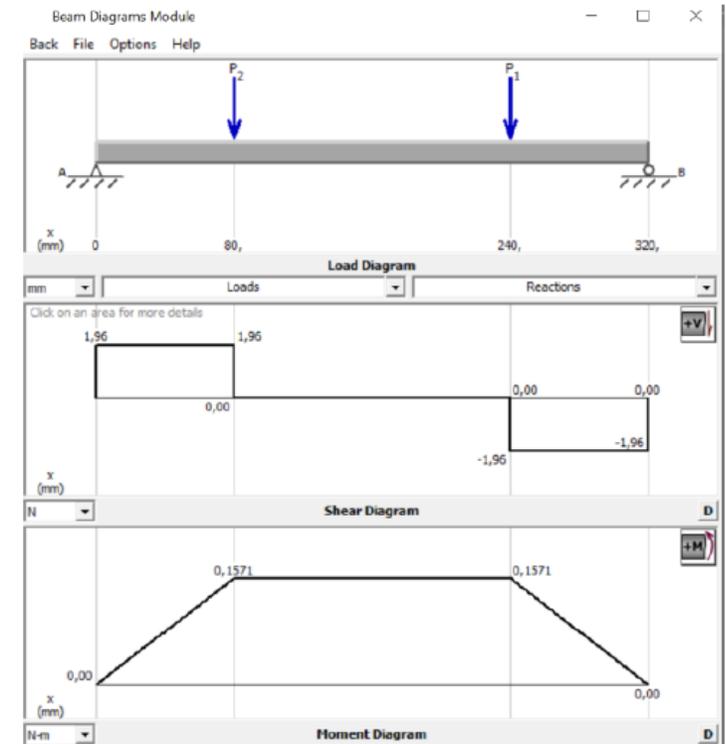
$$P_1 = P_2$$
$$P_2 = 1.964 \text{ N}$$

Momento de Inercia

$$I = 17.622 \cdot 10^{-9} \text{ m}^4$$

Figura 56

Diagrama de Cargas, Fuerzas Cortantes y Momentos Flexionantes



Nota. Diagramas obtenidos al insertar los datos en el programa MDSolids.



DISEÑO BANDA TRANSPORTADORA – ETAPA 2

Esfuerzo máximo

$$\sigma_{max} = \frac{M \cdot c}{I}$$

$$\sigma_{max} = \frac{(0.1571Nm)(10mm) \cdot 10^3mm}{17.622 \times 10^{-9}m^4} \cdot \frac{1m}{1m} \cdot \frac{1m^4}{1000^4mm^4}$$

$$\sigma_{max} = 0.08914 N / mm^2$$

$$\sigma_{max} = 0.08914MPa$$

Limite a la fluencia

$$S_y = 145MPa$$

$$n_s = \frac{S_y}{\sigma_d}$$

$$n_s = 2$$

$$\sigma_d = \frac{S_y}{n_s}$$

$$\sigma_d = \frac{145MPa}{2}$$

$$\sigma_d = 72.5MPa$$

$$\sigma_d = \sigma_{permissible}$$

$$\sigma_d \geq \sigma_{max}$$

$$72.5MPa \geq 0.08914MPa$$

**El sistema es
completamente seguro**

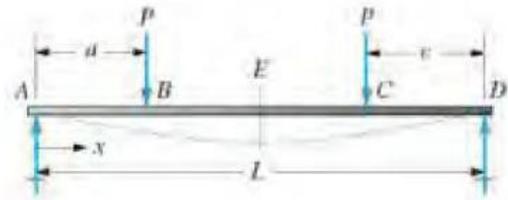


DISEÑO BANDA TRANSPORTADORA – ETAPA 2

Flexión en la Viga (Perfil)

Figura 57

Fórmulas para determinar la deflexión de vigas simplemente apoyadas



$$y_E = y_{\text{máx}} = \frac{-Pa}{24EI} (3L^2 - 4a^2) \text{ en el centro}$$

$$y_B = y_C = \frac{-Pa^2}{6EI} (3L - 4a) \text{ en las cargas}$$

Entre A y B:

$$y = \frac{-Px}{6EI} (3aL - 3a^2 - x^2)$$

Entre B y C:

$$y = \frac{-Pa}{6EI} (3Lx - 3x^2 - a^2)$$

$$y_B = y_C$$

$$y_{B,C} = \frac{-Pa^2}{6EI} (3L - 4a)$$

$$y_{B,C} = \frac{-(1.964N)(8cm)^2}{6(69.9GPa)(17.622 \cdot 10^{-9}m^4)} (3(32cm) - 4(8cm))$$

$$y_{B,C} = \frac{-(1.964N)(80mm)^2}{6(69900MPa)(17.622 \cdot 10^{-9}m^4)} (3(320mm) - 4(80mm))$$

$$y_{B,C} = \frac{-(1.964N)(6400mm^2)}{6\left(69900 \frac{N}{mm^2}\right)(17622mm^4)} (640mm)$$

$$y_{B,C} = -1.08847337 \cdot 10^{-3}mm$$

$$y_{B,C} = -0.00108847337mm$$

Nota. Este es el caso (c) expuesto en la tabla A-23 de Resistencia de Materiales de Robert

L. Mott. Tomado de (Mott, 2009).



DISEÑO BANDA TRANSPORTADORA – ETAPA 2

$$y_E = y_{max}$$

$$y_E = \frac{-Pa}{24EI} (3L^2 - 4a^2)$$

$$y_E = \frac{-(1.964N)(8cm)}{24(69.9GPa)(17.622 \cdot 10^{-9} m^4)} (3(32cm)^2 - 4(8cm)^2)$$

$$y_E = \frac{-(1.964N)(80mm)}{24(69900MPa)(17.622 \cdot 10^{-9} m^4)} (3(102400mm^2) - 4(6400mm^2))$$

$$y_E = \frac{-(1.964N)(80mm)}{24 \left(69900 \frac{N}{mm^2} \right) (17622mm^4)} (281600mm^2)$$

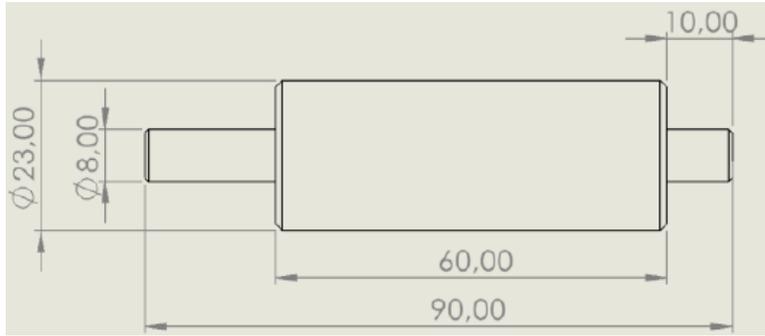
$$y_E = -1.496650884 \cdot 10^{-3} mm$$

$$y_E = -0.001496650884mm$$



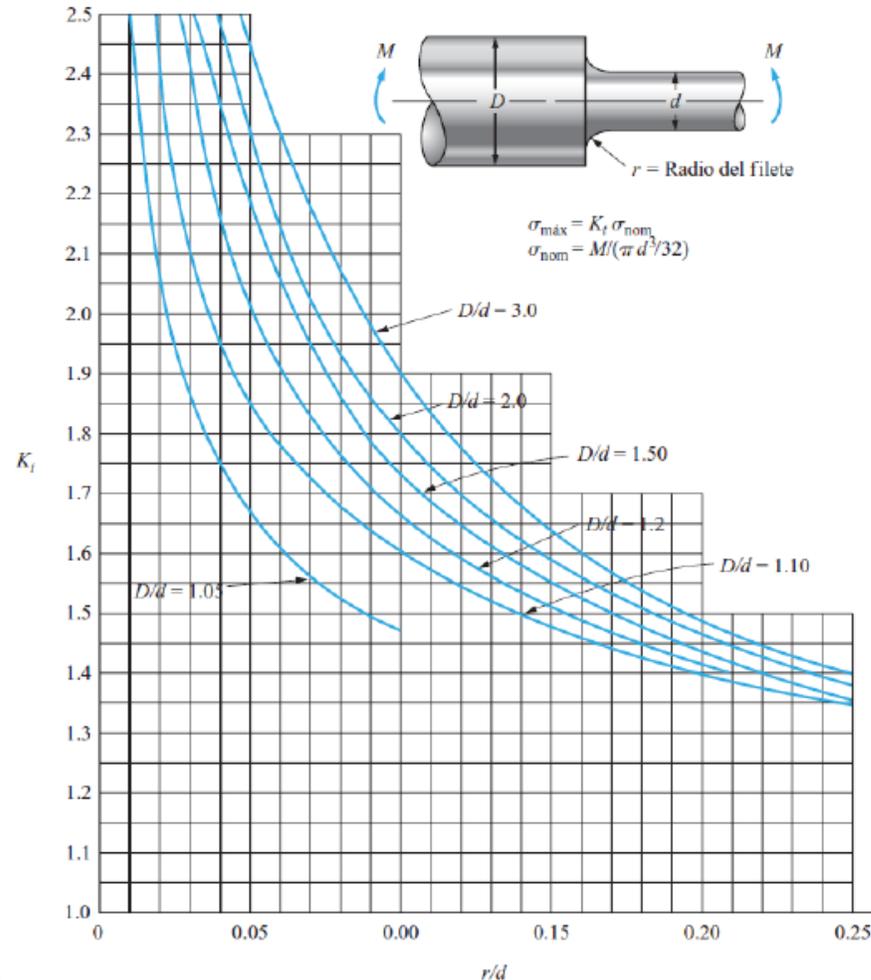
DISEÑO BANDA TRANSPORTADORA – ETAPA 2

Eje motriz – Banda transportadora



$$\frac{D}{d} = \frac{23}{8} = 2.875$$

$$\frac{r}{d} = \frac{0.4}{8} = 0.05$$



D/d	K _t
2	2.3
2.875	K _t
3	2.45

$$\frac{K_t - 2.3}{2.875 - 2} = \frac{2.45 - 2.3}{3 - 2}$$

$$K_t - 2.3 = (0.875)(0.15)$$

$$K_t = 2.3 + 0.13125$$

$$K_t = 2.43125$$



DISEÑO BANDA TRANSPORTADORA – ETAPA 2

$$\sigma_{nom} = \frac{M}{\pi d^3 / 32}$$

$$\sigma_{nom} = \frac{0.1571Nm}{\pi(8mm)^3 / 32}$$

$$\sigma_{nom} = \frac{0.1571Nm}{\pi(0.008m)^3 / 32}$$

$$\sigma_{nom} = 3125405.195Pa$$

$$\sigma_{nom} = 3.1254MPa$$

$$\sigma_{max} = K_t \sigma_{nom}$$

$$\sigma_{max} = (2.43125)(3.1254MPa)$$

$$\sigma_{max} = 7.59862875MPa$$

$$\sigma_{max} = \frac{S_y}{n_s}$$

$$S_y = \sigma_{max} n_s$$

$$S_y = (7.59862875MPa)(2)$$

$$S_y = 15.1972575MPa$$

Acero 1.2210 (115CrV3), el cual dispone de un $S_y = 370MPa$



DISEÑO BANDA TRANSPORTADORA – ETAPA 2

Velocidad – Desplazamiento de la Banda

$$v = N \cdot L$$

Productividad

$$N = 4 \text{ piezas / min}$$

Longitud de la banda

$$L = 32 \text{ cm}$$

$$v = \left(\frac{4 \text{ piezas}}{\text{min}} \right) (32 \text{ cm})$$

$$v = 128 \frac{\text{cm}}{\text{min}} \cdot \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}}$$

$$v = 0.021333 \text{ m / seg}$$

Velocidad angular

$$\omega = \frac{v}{r}$$

$$r = 0.004 \text{ m}$$

$$\omega = \frac{0.021333 \text{ m / seg}}{0.004 \text{ m}}$$

$$\omega = 5.333 \frac{\text{rad}}{\text{seg}} \cdot \frac{1 \text{ rev}}{2\pi \text{ rad}} \cdot \frac{60 \text{ seg}}{1 \text{ min}}$$

$$\omega = 50.92 \text{ RPM}$$



DISEÑO BANDA TRANSPORTADORA – ETAPA 2

Fuerza para mover la banda sin carga

$$F_{NC} = \mu \cdot q_p \cdot \{L + l_o\}$$

Masa de Ejes y Banda

Eje motriz = 101g

Eje retorno = 35g

banda = 33g

$$Q_p = \text{Eje motriz} + \text{Eje retorno} + \text{Banda}$$

$$Q_p = 101g + 35g + 33g$$

$$Q_p = 169g$$

$$Q_p = 0.169kg$$

$$l_o = 60 - 0.2L$$

$$l_o = 60 - 0.2(0.32m)$$

$$l_o = 59.936m$$

Masa por longitud de trabajo

$$q_p = \frac{Q_p}{L}$$

$$q_p = \frac{0.169kg}{0.32m}$$

$$q_p = 0.5281 \text{ kg} / m$$

Tipo de rodamiento	Coefficiente $\mu \times 10^{-3}$
Rodamientos rígidos de bolas	1.0 ~ 1.5
Rodamientos de bolas a contacto angular	1.2 ~ 1.8
Rodamientos oscilantes de bolas	0.8 ~ 1.2
Rodamientos de rodillos cilíndricos	1.0 ~ 1.5
Rodamientos de agujas	2.0 ~ 3.0
Rodamientos de rodillos cónicos	1.7 ~ 2.5
Rodamientos de rodillos esféricos	2.0 ~ 2.5
Rodamientos axiales de bolas	1.0 ~ 1.5
Rodamientos axiales de rodillos	2.0 ~ 3.0

$$F_{NC} = \mu_T \cdot q_p \cdot (L + l_o)$$

$$F_{NC} = (\mu_1 + \mu_2)(0.5281 \text{ kg} / m)(0.32m + 59.936m)$$

$$F_{NC} = (0.0015 + 0.0015) \left(0.5281 \frac{\text{kg}}{m} \right) (60.256m)$$

$$F_{NC} = 0.0954635 \text{ kg} \cdot f$$



DISEÑO BANDA TRANSPORTADORA – ETAPA 2

Fuerza para mover la banda con carga

Masa de ejes, banda y elementos

$$Q_P = \text{Eje motriz} + \text{Eje retorno} + \text{Banda} + \text{Elementos}$$

$$Q_P = 101g + 35g + 33g + 200g$$

$$Q_P = 369g$$

$$Q_P = 0.369kg$$

Masa que transporta la banda por hora

$$Q_T = Q_P \cdot N$$

$$Q_T = (0.369kg) \left(4 \frac{\text{piezas}}{\text{min}} \right) \left(\frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hora}} \right)$$

$$Q_T = 88.56 \text{ kg} / h$$

$$F_C = \mu_T \cdot \frac{Q_T}{3,6v} \cdot (L + l_0)$$

$$F_C = \mu_T \cdot \frac{Q_T}{3,6v} \cdot (L + l_0)$$

$$F_C = (0.003) \left(\frac{88.56 \text{ kg} / h}{3.6 \left(0.021333 \frac{m}{s} \right) \left(\frac{3600s}{1h} \right)} \right) (0.32m + 59.936m)$$

$$F_C = 0.057903 \text{ kg} \cdot f$$



DISEÑO BANDA TRANSPORTADORA – ETAPA 2

Fuerza Total

$$F_T = F_{NC} + F_C$$

$$F_T = 0.0954635 \text{kg} \cdot f + 0.057903 \text{kg} \cdot f$$

$$F_T = 0.153366 \text{kg} \cdot f$$

$$F_T = 1.504 \text{N}$$

Potencia Absorbida por transportador

$$P_A = F_T \cdot v$$

$$P_A = 1.504 \text{N} (0.021333 \text{m} / \text{s})$$

$$P_A = 0.03208 \frac{\text{Nm}}{\text{s}}$$

Potencia Motriz Necesaria

rendimiento del 80% (para motor eléctrico)

$$\eta = \frac{P_{\text{salida}}}{P_{\text{entrada}}}$$

$$\eta = \frac{P_A}{P_M}$$

$$P_M = \frac{P_A}{\eta}$$

$$P_M = \frac{0,03208 \text{Nm} / \text{s}}{0.8}$$

$$P_M = 0.0401 \text{Nm} / \text{s}$$

$$P_M = 0.0401 \text{W}$$

$$P_M = 0.000053753 \text{HP}$$



DISEÑO BANDA TRANSPORTADORA – ETAPA 2

Torque Necesario

$$T(Nm) = \frac{P(Watt)}{2\pi N(rps)}$$

$$T(Nm) = \frac{746P(HP)}{2\pi \frac{N}{60}(rpm)}$$

$$T(Nm) = \frac{(746)(60)P(HP)}{2\pi N(rpm)}$$

$$T = \frac{(746)(60)(0.000053753HP)}{2\pi(50.92rpm)}$$

$$T = 0.00752011Nm$$

$$T = 0.07668kg \cdot cm$$

Selección del Motor

Parámetros de Selección de Motor

Torque	$T = 0.07668kg \cdot cm$
Potencia	$P_M = 0.0401W$
Velocidad angular	$\omega = 50.92RPM$

Motor GA25-370



Motor GA25-370

Torque	$T = 1.4kg \cdot cm$
Potencia	$P_M = 2.4W$
Velocidad angular	$\omega = 130RPM$



DISEÑO BANDA TRANSPORTADORA – ETAPA 2

Selección del Motor - Poleas

Engrane de motor

$$Z_M = 20$$

Engrane conducido

$$Z_C = 60$$

$$\frac{Z_C}{Z_M} = i$$

$$\frac{60}{20} = \frac{3}{1} = 3:1$$

Velocidad de giro

Torque

Parámetros de Selección de Motor

$$\text{Torque} \quad T = 0.07668 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$\text{Potencia} \quad P_M = 0.0401 \text{ W}$$

$$\text{Velocidad angular} \quad \omega = 50.92 \text{ RPM}$$

$$\omega_C = \omega_M \cdot \frac{Z_M}{Z_C} = \frac{\omega_M}{i}$$

$$\omega_C = \frac{130 \text{ RPM}}{3}$$

$$\omega_C = 43.3333 \text{ RPM}$$

$$T_C = T_M \cdot \frac{Z_C}{Z_M} = T_M \cdot i$$

$$T_C = (1.4 \text{ kg} \cdot \text{cm})(3)$$

$$T_C = 4.2 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$



DISEÑO LAY OUT CELDA – ETAPA 2

Lay Out

Límites del Robot

$$High_{shank} = 120mm$$

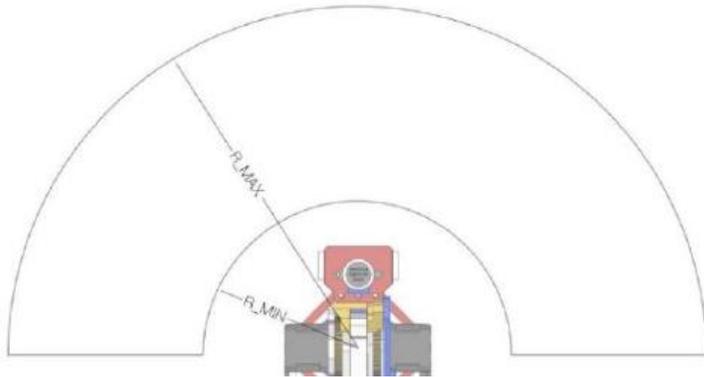
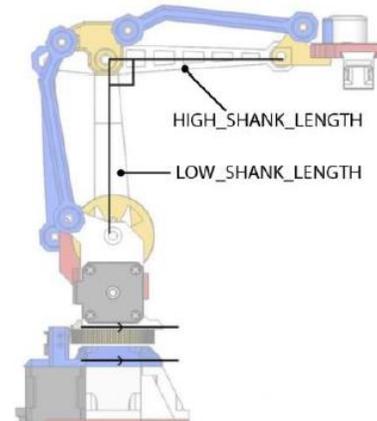
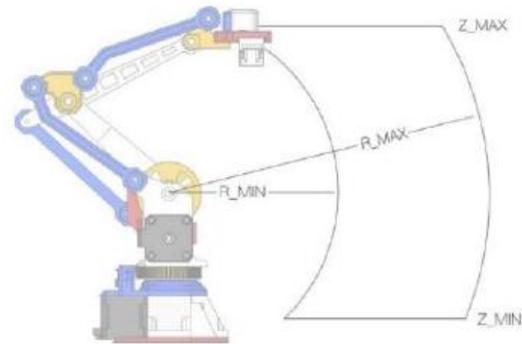
$$Low_{shank} = 120mm$$

$$Shank_{angulo\ mínimo\ cos} = 0.791436948$$

$$Shank_{angulo\ máximo\ cos} = -0.774944489$$

$$Z_{min} = -120mm$$

$$Z_{max} = Low_{shank} + 30mm$$



$$R_{min} = \sqrt{(Low_{shank})^2 + (High_{shank})^2 - 2(Low_{shank})(High_{shank})(Shank_{angulo\ mínimo})}$$

$$R_{max} = \sqrt{(Low_{shank})^2 + (High_{shank})^2 - 2(Low_{shank})(High_{shank})(Shank_{angulo\ máximo})}$$

$$Z_{min} = -120mm \quad R_{min} = 77.5023mm$$

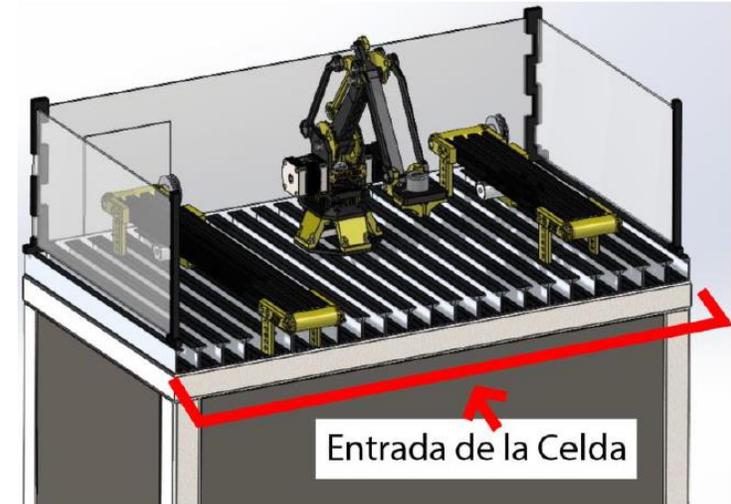
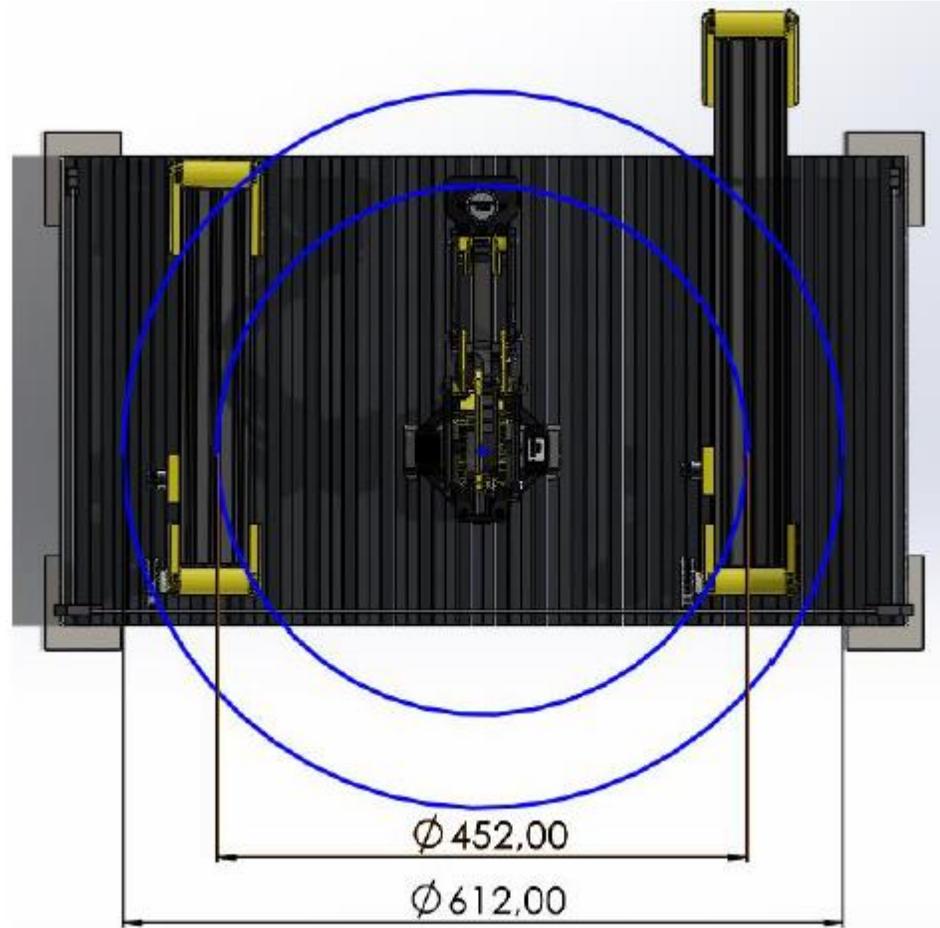
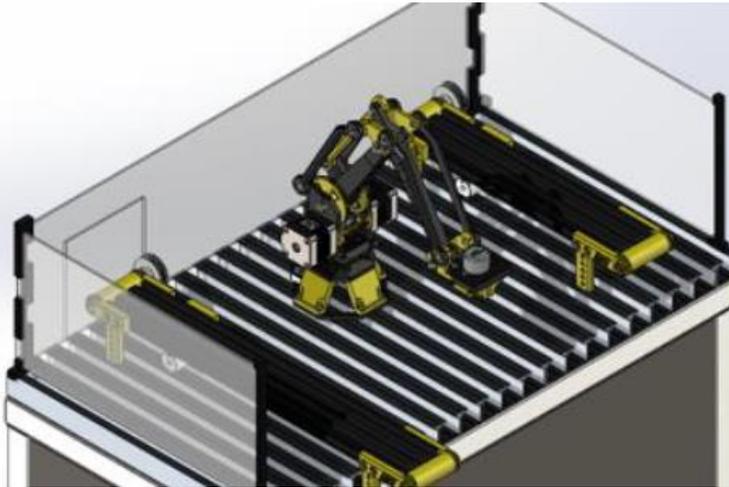
$$Z_{max} = 150mm \quad R_{max} = 226.0937mm$$

ISO 10218-2



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Espacio de Trabajo en Celda



DISEÑO SEGURIDAD EN CELDA – ETAPA 2

Medidas de Protección en Celda



Señal	Descripción
	Riesgo Eléctrico
	Robots y automatismos
	Riesgo de atrapamiento de manos
	Atención, peligro en general
	Máquinas con rodamientos
	Entrada prohibida a personas no autorizadas
	Prohibido fumar
	Prohibido ingerir alimentos
	Prohibido depositar materiales
	Protección de manos obligatoria

ISO 10218-2

ISO 60204-1 e ISO 13850



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DISEÑO PROGRAMACIÓN – ETAPA 3

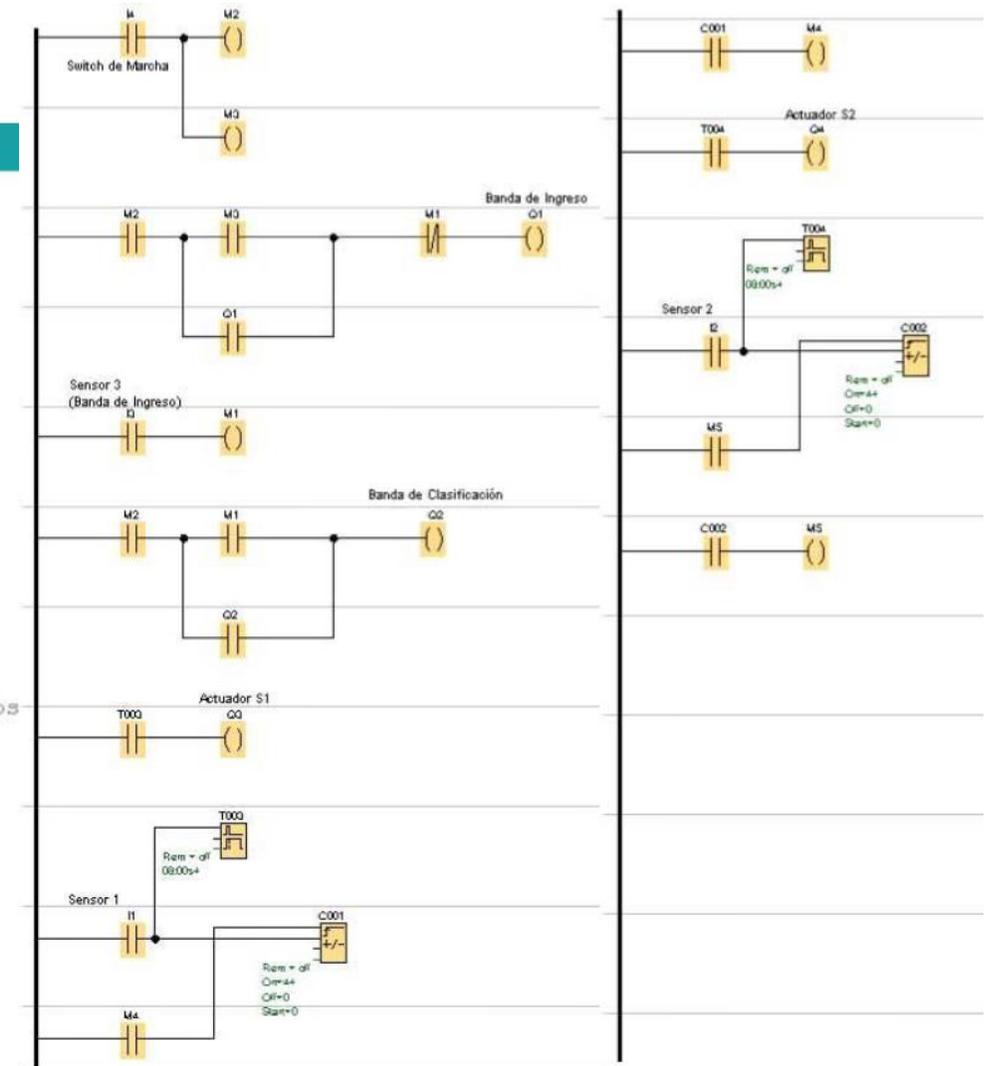
Control y Programación



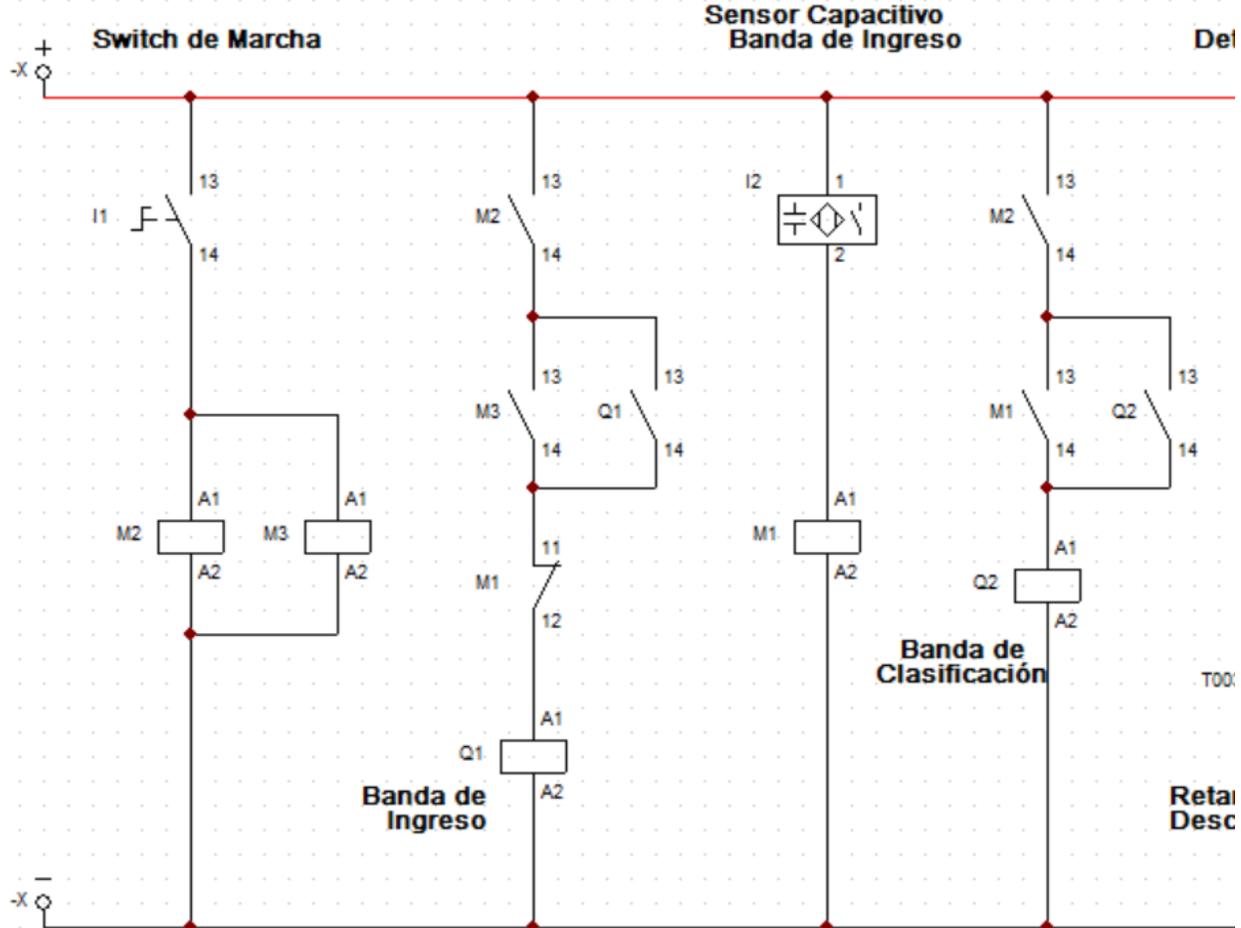
```
PLC_progra_servos §  
#include <Servo.h>  
Servo MotorS1;  
int posicion=0;  
  
void setup() {  
  // put your setup code here, to run once:  
  Serial.begin(9600);  
  MotorS1.attach(5);  
}  
void loop() {  
  // put your main code here, to run repeatedly:  
  MotorS1.write(150);  
  delay(5000);  
  //Mueve el motor desde 150 grados hasta 30 grados  
  for (posicion=150; posicion>=30; posicion--) {  
    MotorS1.write(posicion);  
    delay(5); //Mover un grado cada 5 milisegundos  
  }  
  delay(5000);  
}
```

● Usar la siguiente dirección IP:

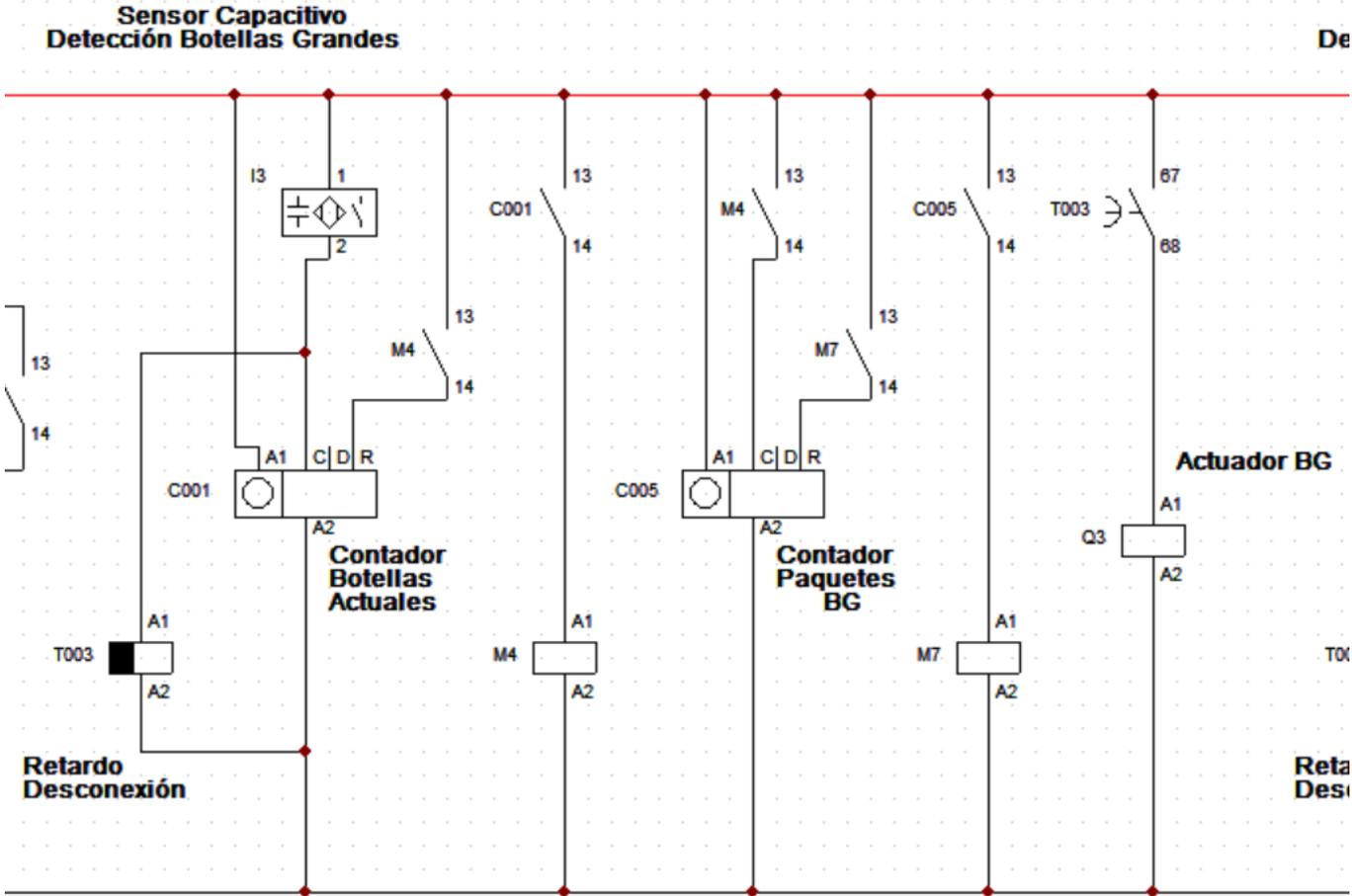
Dirección IP:	192 . 168 . 000 . 001
Máscara de subred:	255 . 255 . 255 . 0
Puerta de enlace predeterminada:	192 . 168 . 000 . 001



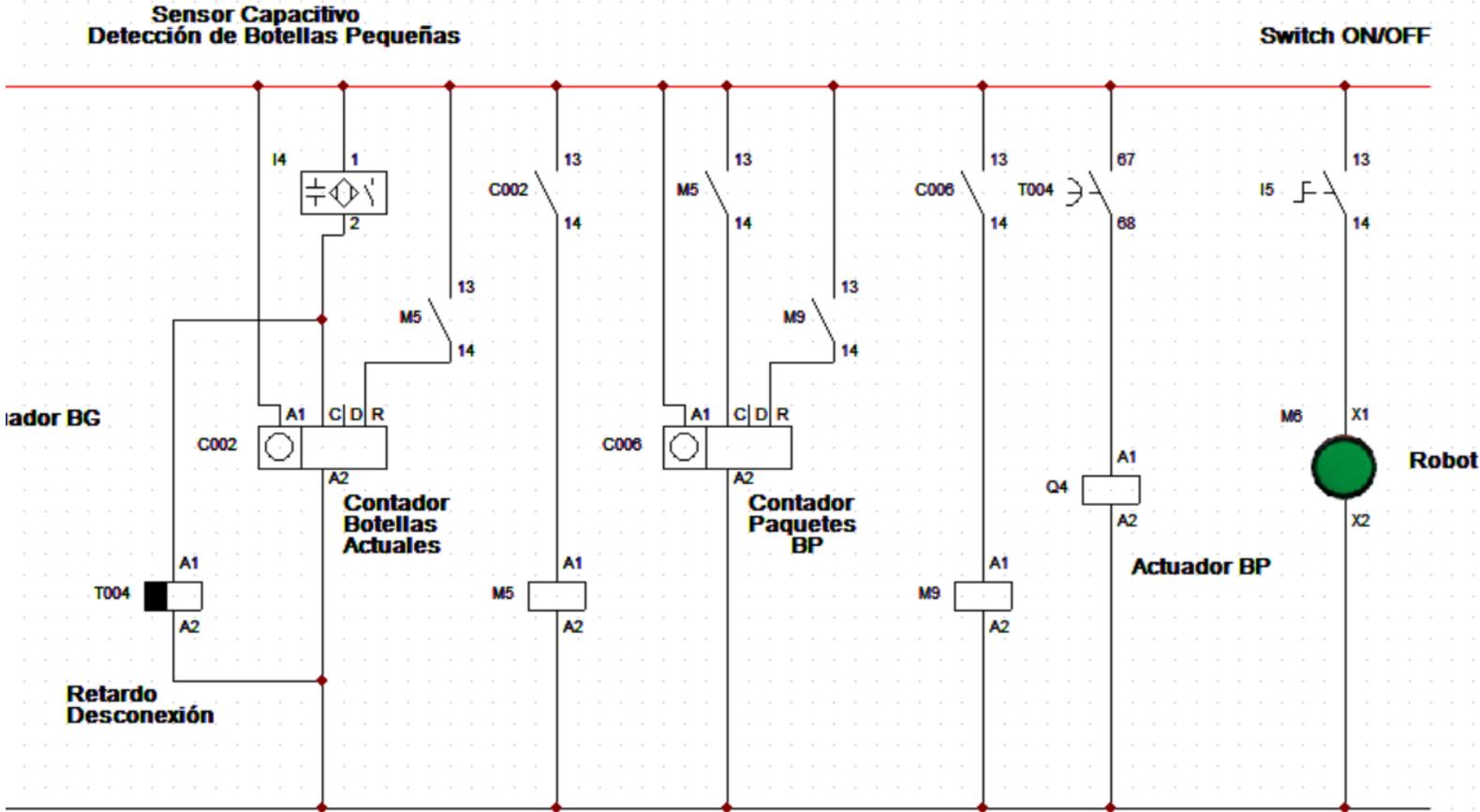
Control y Programación



Control y Programación



Control y Programación



Interfaz Humano Maquina - HMI

ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

MECATRÓNICA
ESPE - LATAJUNGA

Interfaz de control de los módulos

Módulo Pesaje

Robot Scara

Habilitado (radio button)
Deshabilitado (radio button)

Almacenaje

Tanque 1: Lleno (radio button), Vacío (radio button)
Tanque 2: Lleno (radio button), Vacío (radio button)
Tanque 3: Lleno (radio button), Vacío (radio button)

Balanza

Sensando (radio button)
Deshabilitado (radio button)

Emergency Stop (radio button) **EMERGENCY STOP** (radio button) Emergency Stop (radio button)

Módulo Marmita

Nivel de solvente requerido (ml) 0

Temperatura requerida °C 0

Tiempo de agitación (seg) 0

Temperatura actual de la solución 0

Indicadores

Llenado Marmita (radio button) Nivel Solvente Alto (radio button)
Vaciado Marmita (radio button) Generador de vapor (radio button)

Agitador

Pre calentamiento (radio button) Proceso agitación (radio button)

Modo solitario (radio button) ON (radio button) OFF (radio button)

Funcionamiento en solitario

Llenado Marmita (radio button) Vaciado Marmita (radio button) Señal fin del proceso (radio button)

Módulo Dosificación

Selección del nivel tanque de almacenamiento

6 Litros (radio button)
10 Litros (radio button)

Volumen dispensado por botella 0

Cantidad de botellas 0

Indicadores

Boya de Seguridad (radio button) Paro de emergencia (radio button)
Electro válvula (radio button) Botella en posición (radio button)
Bomba Dosificadora (radio button) Botella Tapada (radio button)

Módulo Clasificación

Robot

Habilitado (radio button)
Deshabilitado (radio button)

Marcha

OFF (radio button) ON (radio button)

Banda Clasificación

ON (radio button) OFF (radio button)

Banda Ingreso

ON (radio button) OFF (radio button)

Botellas Grandes (radio button) Ingreso Botellas (radio button)
Botellas Pequeñas (radio button)

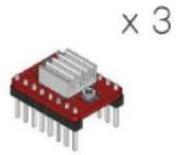
Clasificación

Botellas Pequeñas: 0-40 Paquetes BP (radio button) 2

Botellas Grandes: 0-40 Paquetes BP (radio button) 5

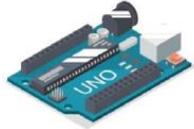


Implementación Robot



x 3

A4988



Arduino UNO



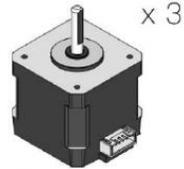
Shield CNC



Micro-Servo
MG-90S



12V 5010 Fan



x 3

Nema17 Stepper Motor



x 3

2GT Pulley
20 Teeth



x 10

F624ZZ

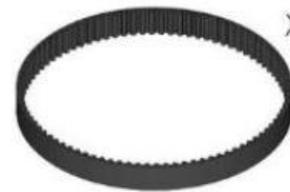


x 13

F686ZZ

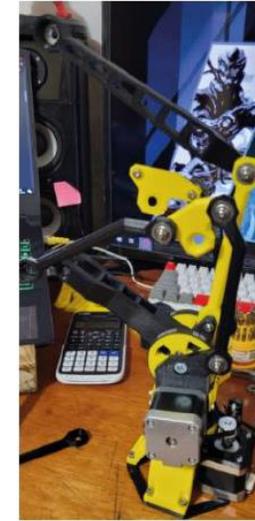
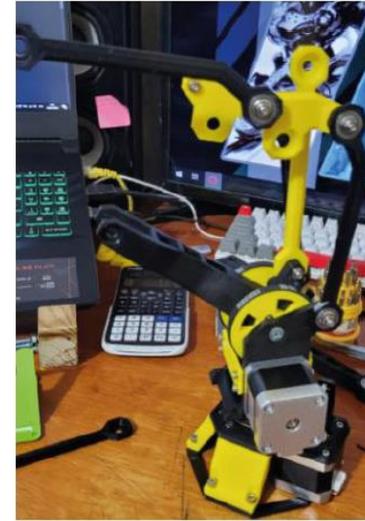


51105



x 3

2GT-6mm
Closed Belt 200mm



IMPLEMENTACIÓN

```
Sprinter_Prof Configuration.h FatStructs.h Sd2Card.cpp Sd2Card.h
#ifndef CONFIGURATION_H
#define CONFIGURATION_H

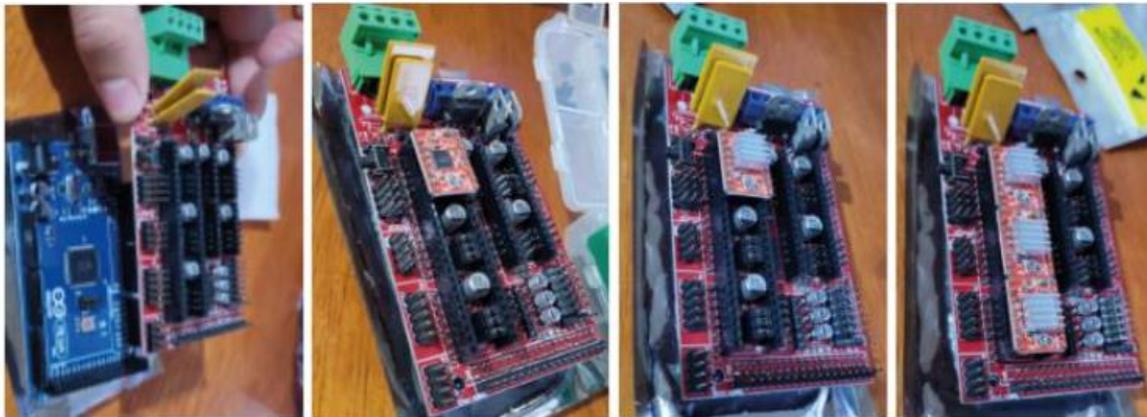
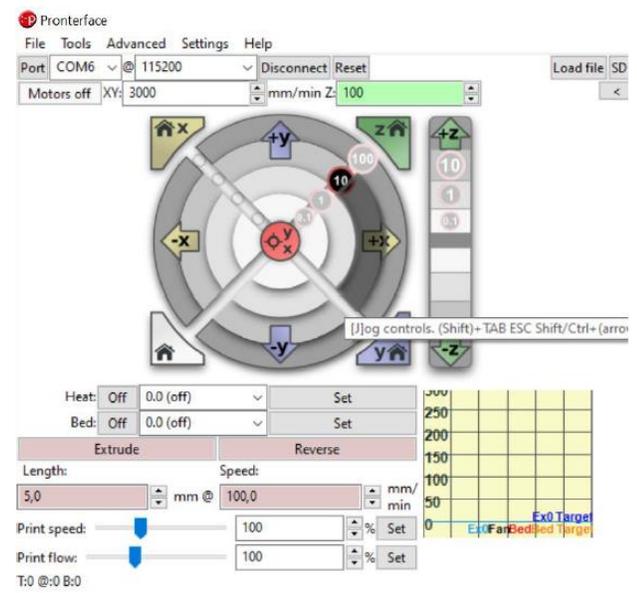
// BASIC SETTINGS: select your board type, thermistor

//// The following define selects which electronics bo
// MEGA/RAMPS up to 1.2 = 3,
// RAMPS 1.3/1.4 = 33
// Gen6 = 5,
// Gen6 deluxe - 51
// Sanguinololu up to 1.1 = 6
// Sanguinololu 1.2 and above = 62
// Gen 7 @ 16MHZ only= 7
// Gen 7 @ 20MHZ only= 71
// Teensylu (at90usb) = 8
// Printrboard Rev. B (ATMEGA90USB1286) = 9
// Gen 3 Plus = 21
// gen 3 Monolithic Electronics = 22
// Gen3 PLUS for TechZone Gen3 Remix Motherboard = 23
#define MOTHERBOARD 33
```

```
Sprinter_Prof Configuration.h FatStructs.h Sd2Card.cpp Sd2Card.h
// Gen3 PLUS for TechZone Gen3 Remix Motherboard = 23
#define MOTHERBOARD 33

//// Thermistor settings:
// 1 is 100k thermistor
// 2 is 200k thermistor
// 3 is mendel-parts thermistor
// 4 is 10k thermistor
// 5 is ParCan supplied 104GT-2 100K
// 6 is EPCOS 100k
// 7 is 100k Honeywell thermistor 135-104LAG-J01
#define THERMISTORHEATER 1
#define THERMISTORBED 1

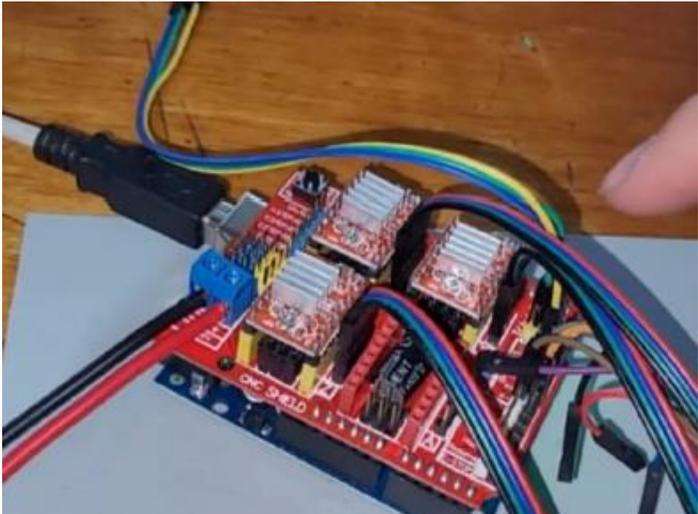
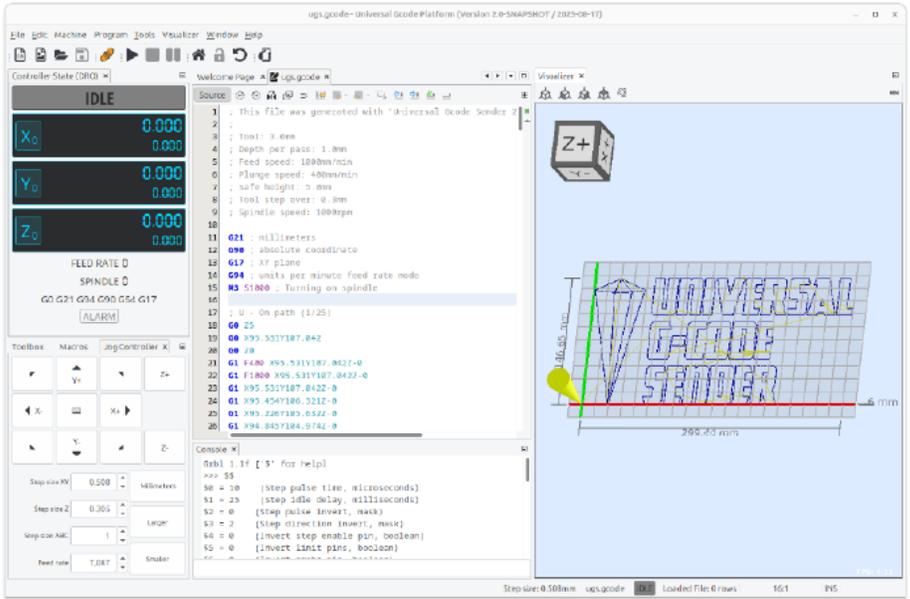
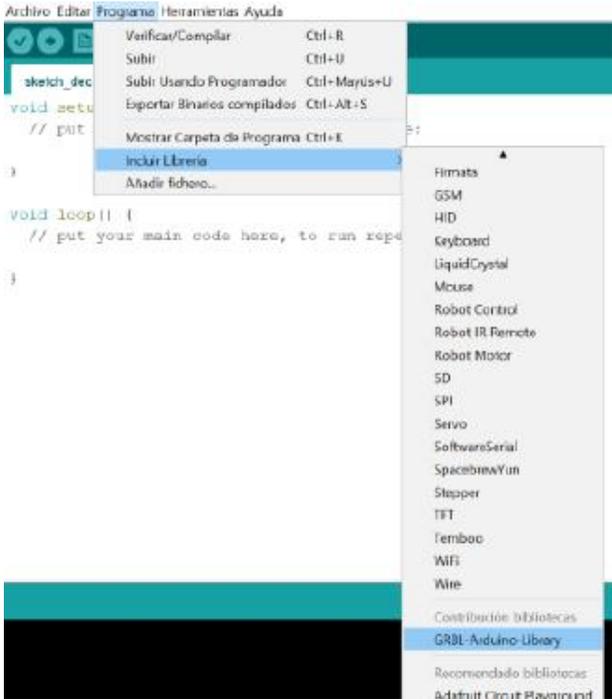
//// Calibration variables ←
// X, Y, Z, E steps per unit - Metric Prusa Mendel with
#define _AXIS_STEP_PER_UNIT {400, 400, 393.84, 94.76}
//#define _AXIS_STEP_PER_UNIT {80, 80, 3200/1.25, 700}
// Metric Prusa Mendel with Makergear geared stepper e
//#define _AXIS_STEP_PER_UNIT {80, 80, 3200/1.25, 1380}
// MakerGear Hybrid Prusa Mendel:
// 2 axis value is for 8 stepper (if you have 1 8 step
```



```
//// Calibration variables
// X, Y, Z, E steps per unit - Metric Prusa Mendel with Wade extruder:
#define _AXIS_STEP_PER_UNIT {40, 50, 36.3636, 20}
//#define _AXIS_STEP_PER_UNIT {80, 80, 3200/1.25, 700}
// Metric Prusa Mendel with Makergear geared stepper extruder:
```



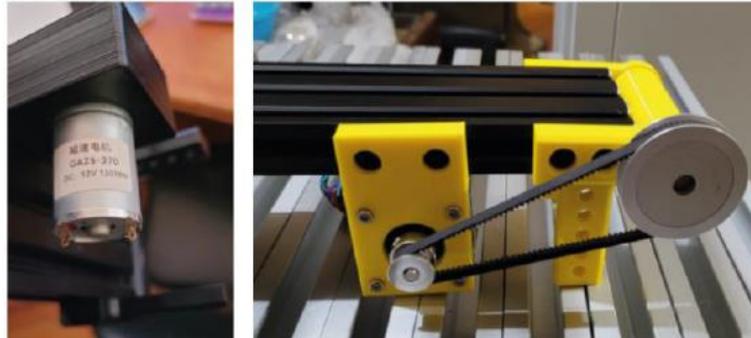
IMPLEMENTACIÓN



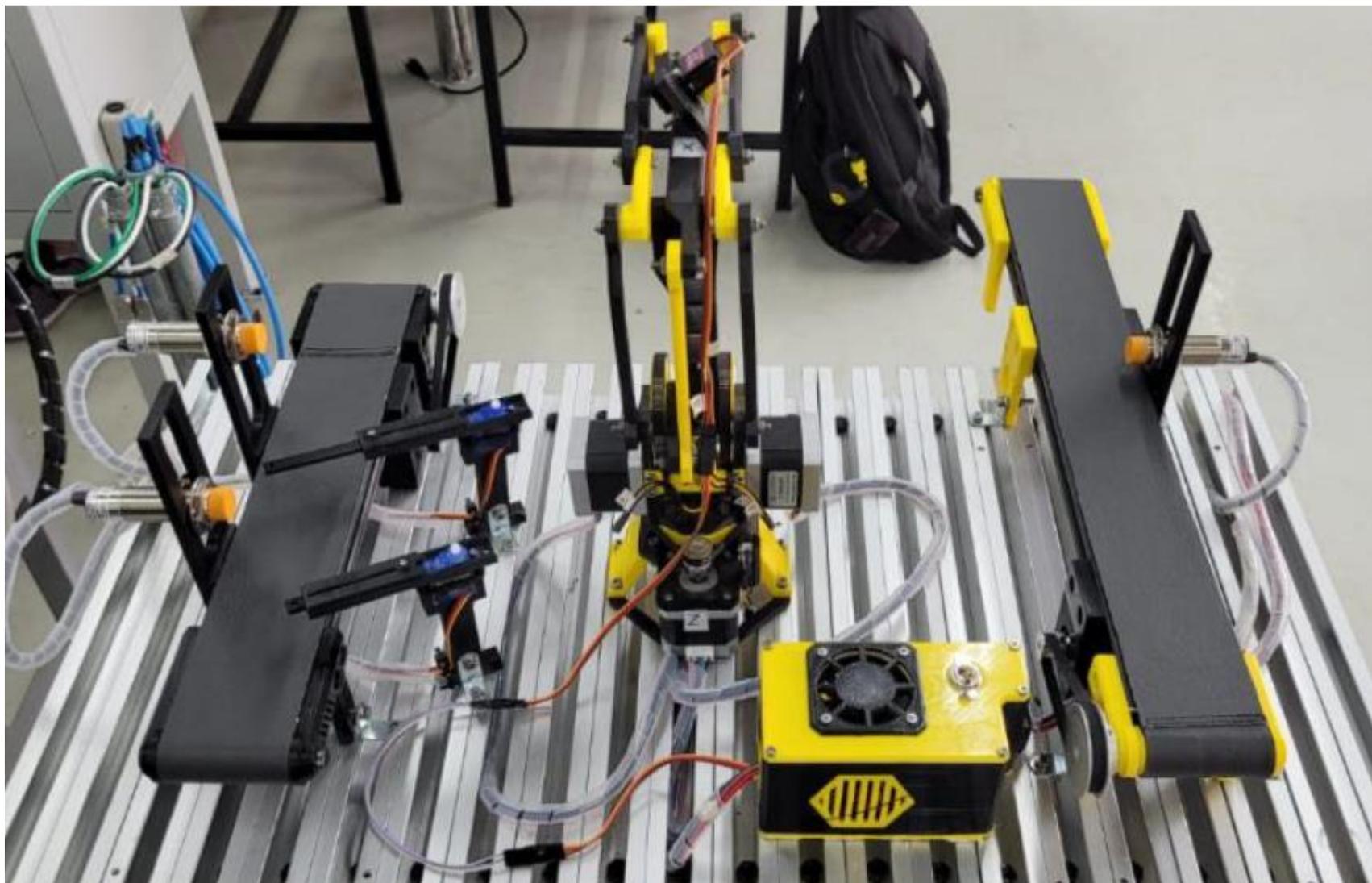
\$12	= 0.002	(Arc tolerance, millimeters)
\$13	= 0	(Report in inches, boolean)
\$20	= 0	(Soft limits enable, boolean)
\$21	= 0	(Hard limits enable, boolean)
\$22	= 0	(Homing cycle enable, boolean)
\$23	= 0	(Homing direction invert, mask)
\$24	= 25.000	(Homing locate feed rate, mm/min)
\$25	= 500.000	(Homing search seek rate, mm/min)
\$26	= 250	(Homing switch debounce delay, milliseconds)
\$27	= 1.000	(Homing switch pull-off distance, millimeters)
\$30	= 1000	(Maximum spindle speed, RPM)
\$31	= 0	(Minimum spindle speed, RPM)
\$32	= 0	(Laser-mode enable, boolean)
\$100	= 40.000	(X-axis travel resolution, step/mm)
\$101	= 50.000	(Y-axis travel resolution, step/mm)
\$102	= 36.364	(Z-axis travel resolution, step/mm)
\$110	= 500.000	(X-axis maximum rate, mm/min)
\$111	= 500.000	(Y-axis maximum rate, mm/min)
\$112	= 500.000	(Z-axis maximum rate, mm/min)
\$120	= 50.000	(X-axis acceleration, mm/sec^2)
\$121	= 50.000	(Y-axis acceleration, mm/sec^2)
\$122	= 50.000	(Z-axis acceleration, mm/sec^2)
\$130	= 200.000	(X-axis maximum travel, millimeters)
\$131	= 200.000	(Y-axis maximum travel, millimeters)
\$132	= 200.000	(Z-axis maximum travel, millimeters)

Implementación Banda Transportadora

Materiales	Gráfica
Perfil CNC de Aluminio V Slot 2060	
Tuercas deslizantes M5 en T	
Tornillos M5 de 10mm CNC	
Rodamientos 688z	
Rodamientos F686zz	
Eje Acero plata o Acero 1.2210 M8	
Hexagonal M5 de 50mm	
Polea 2GT 20 dientes M5	
Polea 2GT 60 dientes M8	
Motor GA25-370 12V 130RPM	
Correa Cerrada 2GT 6mm de 200mm	



PRUEBAS Y RESULTADOS



Pruebas

$$f_e = \frac{T_i \times T_j}{N}$$

f_e = frecuencia esperada

N = Total de pruebas realizadas

T_j = Pruebas funcionales o no funcionales

T_i = Pruebas realizadas

	Elemento	Pruebas	Funciona	No Funciona
1	Banda de Ingreso	15	15	0
2	Banda de Clasificación	15	15	0
3	Sensores	15	12	3
4	Actuadores Lineales	15	10	5
5	Robot Transportador	15	11	4
	Total	75	63	12

$$f_{e(\text{funcional})} = \frac{T_i \times T_j}{N}$$

$$f_{e(\text{no funcional})} = \frac{T_i \times T_j}{N}$$

$$f_{e(\text{funcional})} = \frac{15 \times 63}{75}$$

$$f_{e(\text{no funcional})} = \frac{15 \times 12}{75}$$

$$f_{e(\text{funcional})} = 12.6$$

$$f_{e(\text{no funcional})} = 2.4$$



PRUEBAS Y RESULTADOS

	Pruebas	f_o	f_e	$(f_o - f_e)$	$(f_o - f_e)^2$	$\frac{(f_o - f_e)^2}{f_e}$
1	Funciona	15	12.6	2.4	5.76	0.4571
2	Funciona	15	12.6	2.4	5.76	0.4571
3	Funciona	12	12.6	-0.6	0.36	0.0285
4	Funciona	10	12.6	-2.6	6.76	0.5365
5	Funciona	11	12.6	-1.6	2.56	0.2031
TOTAL						10.5155

1	No Funciona	0	2.4	-2.4	5.76	2.4
2	No Funciona	0	2.4	-2.4	5.76	2.4
3	No Funciona	3	2.4	0.6	0.36	0.15
4	No Funciona	5	2.4	2.6	6.76	2.8166
5	No Funciona	4	2.4	1.6	2.56	1.0666

$$\chi^2 = \sum \frac{(f_o - f_e)^2}{f_e}$$

χ^2 = Chi-Cuadrado

f_e = Frecuencia esperada

f_o = Frecuencia absoluta

$$\chi^2 = 10.515$$

$$\alpha = 0.05$$

$$v = (\text{filas} - 1)(\text{columnas} - 1)$$

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

$$v = 4$$

Tabla 6 (continúa)

$\chi^2_{0.100}$	$\chi^2_{0.050}$	$\chi^2_{0.025}$	$\chi^2_{0.010}$	$\chi^2_{0.005}$	gl
2.70554	3.84146	5.02389	6.63490	7.87944	1
4.60517	5.99147	7.37776	9.21034	10.5966	2
6.25139	7.81473	9.34840	11.3449	12.8381	3
7.77944	9.48773	11.1433	13.2767	14.8602	4
9.23635	11.0705	12.8325	15.0863	16.7496	5
10.6446	12.5916	14.4494	16.8119	18.5476	6
12.0170	14.0671	16.0128	18.4753	20.2777	7
13.3616	15.5073	17.5346	20.0902	21.9550	8
14.6837	16.9190	19.0228	21.6660	23.5893	9

Si $\chi^2_{\text{calculado}} > \chi^2_{\text{teorico}} \therefore$ se descarta H_0

Si $\chi^2_{\text{calculado}} < \chi^2_{\text{teorico}} \therefore$ se descarta H_1



Hipótesis (Hi)	Hipótesis Nula (Ho)
<p>El diseño e implementación de un módulo de clasificación y transporte de piezas que permita organizarlas mediante una celda automatizada empleando sistemas ciberfísicos permitirá integrar conocimientos técnicos e industriales en el Laboratorio de Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga.</p>	<p>El diseño e implementación de un módulo de clasificación y transporte de piezas que permita organizarlas mediante una celda automatizada empleando sistemas ciberfísicos no permitirá integrar conocimientos técnicos e industriales en el Laboratorio de Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga.</p>



- La recopilación de información complementaria formo un papel fundamental del proyecto ya que esta permite acoplar directrices, normas, estado del arte y funciones que facilitan el desarrollo del trabajo tanto en el apartado mecánico, eléctrico o en su programación, ya que se ha hecho uso de documentación de código abierto y libre acceso que permite un análisis completo de variables que fueron integradas adecuadamente al proyecto.
- Debido a la necesidad de mejorar la educación universitaria en varios centros de educación superior se ha conseguido bibliografía que ha resultado beneficiosa para el desarrollo del tema propuesto, varios ejemplos son los diversos módulos que ya se encuentran desarrollados en el Laboratorio de Mecatrónica de la ESPE o incluso módulos desarrollados por empresas de automatización industrial como Festo.
- Al plantear el diseño mecánico para las funciones de transporte y clasificación en el módulo se integró un brazo robótico con las características de ser de fácil mantenimiento, lenguaje de programación e interfaz intuitiva pero este apartado no solo termina ahí ya que también se implementó bandas transportadoras de las cuales se obtuvo su valor de flexión máxima en diferentes puntos, sus condiciones para trabajo del eje motriz, la selección de su motor e incluso relaciones de engranes, sin descuidar además los actuadores lineales que cumplen la acción de clasificación.
- Al desarrollar el módulo, las variables que más relevancia surgieron fue la integración del PLC como un sistema de control del entorno, ya que es el que gestiona cada uno de los elementos de la celda como lo son bandas, sensores y actuadores, mientras que la otra variable con más dificultad fue el control del Robot ya que este no dispone de una gestión realizada por el controlador lógico, sino es independiente y se lo comanda mediante un ordenador.
- Durante el transcurso o desarrollo del proyecto, los diferentes elementos a implementar varían tanto del punto de vista eléctrico, mecánico o estructural, el más importante de cada uno sería el controlador lógico programable, motores a pasos para el movimiento del robot sin olvidar el diseño e integración de piezas impresas en 3D, sus respectivos controladores y finalmente tubos estructurados junto con perfiles para el montaje de la mesa y base donde se ensambló tanto el tablero de control como la celda.
- El módulo integra varias normas ISO de seguridad para el funcionamiento y seguridad de los usuarios como llega a ser la más importante de todas, la ISO 10218-2 que dicta o desglosa directrices y parámetros tanto para el Lay Out, seguridad y prevención de riesgos a la hora de desarrollar una celda automatizada.
- La programación que dicta el control de los diferentes sistemas que integran la celda van desde lenguaje Ladder o KOP para el PLC que gestiona todo el entorno y finalmente el robot que principalmente funciona con Código G utilizado en mecanismos CNC a través de control por Arduino y GRBL.
- Al desarrollar las pruebas, los datos de registro proporcionados por los sensores capacitivos juegan un papel fundamental ya que son los ojos de la celda y dictan el funcionamiento o acción a realizar, permitiendo comprobar la correcta programación del módulo, su idóneo funcionamiento e integración entre los diferentes elementos que conforman la celda y su adecuada comunicación.



RECOMENDACIONES

- Algo importante a destacar y tener cuidado en el apartado de recolección de información complementaria o diferentes elementos que se busca integrar, ya sea documentación, archivos con acceso gratuito o de código abierto, siempre es necesario verificar su procedencia, las normas que ha estipulado su creador y más que nada verificar si existen temas de derechos de autor que se deben respetar.
- Además, debido a que empresas de automatización industrial grandes que venden sistemas modulares de enseñanza para estudiantes universitarios ocupan esto como un negocio y no se dispone de documentación o especificaciones de desarrollo de los sistemas, en ocasiones es necesario contactar con los fabricantes si se desea obtener información acertada, por lo que es recomendable tomar bibliografía desarrollada por temas de investigación o escritos de titulación.
- Se puede sugerir que, dentro del apartado de clasificación y transporte, al ser una celda automatizada siempre es beneficioso considerar varias opciones a la hora de seleccionar cual será el eje central de funcionamiento del sistema, ya que al tener de donde escoger y realizando las tablas de selección adecuadas, se puede optar por elegir la opción que mejor se acople a la necesidad del proyecto.
- A la hora de trabajar con el PLC al tratarse del Logo 8.3 este brinda la facilidad de programación tanto en Ladder (KOP) como en diagrama de funciones (FUP), se puede trabajar en el que mejor habilidad se tenga ya que son un solo clic se puede pasar de un sistema al otro en caso de ser necesario.
- Es importante resaltar que, al momento de adquirir elementos eléctricos, mecánicos o de programación, revisar la cantidad de veces que sea necesaria para asegurar que es lo que se necesita y se integrará adecuadamente en el desarrollo del proyecto, caso contrario a posterior es necesario sustituirlo llegando a causar pérdidas económicas innecesarias.
- Se sugiere que a la hora de implementar normas ISO es necesario buscar la información de estas ya sea en manuales, webinar, proyectos de investigación o en referencias de empresas ya que si no se dispone de los recursos económicos para adquirirlas es casi imposible acceder a estos documentos y su precio no es nada accesible.
- Al emplear Arduino y su Shield CNC para control del robot mediante GRBL es recomendable usar versiones superiores a la 0.9 para evitar problemas o conflictos en su compilación y de igual forma es preferible utilizar Arduino Uno antes que Nano o Mega ya que la mayoría de los programas se han probado y optimizado para reducir al mínimo la probabilidad de error al usar Arduino UNO.
- Es esencial a la hora de trabajar con sensores identificar de que tipo son, ya sean PNP o NPN ya que algunos PLC no disponen de la capacidad de trabajar con las dos opciones, en el presente caso el Logo de Siemens si lo realiza, con sensores PNP funciona con señales normalmente abiertas, mientras que al ser NPN trabaja con señales normalmente cerradas, algo importante a considerar a la hora de realizar la programación.



Gracias



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA