

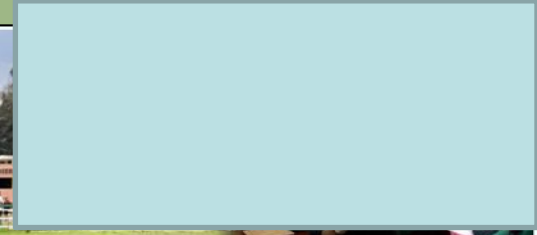


ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE SISTEMA AUTOMATIZADO DE ALMACENAMIENTO/ RECUPERACIÓN (AS/RS), PARA SISTEMAS FLEXIBLES DE MANUFACTURA EN EL LABORATORIO CNC DE LA ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA, UTILIZANDO PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES.

Autores: Capilla Falcón Carlos Alberto
Pulloquina Zapata José Luis

Latacunga, Septiembre 2014



CAPÍTULO I

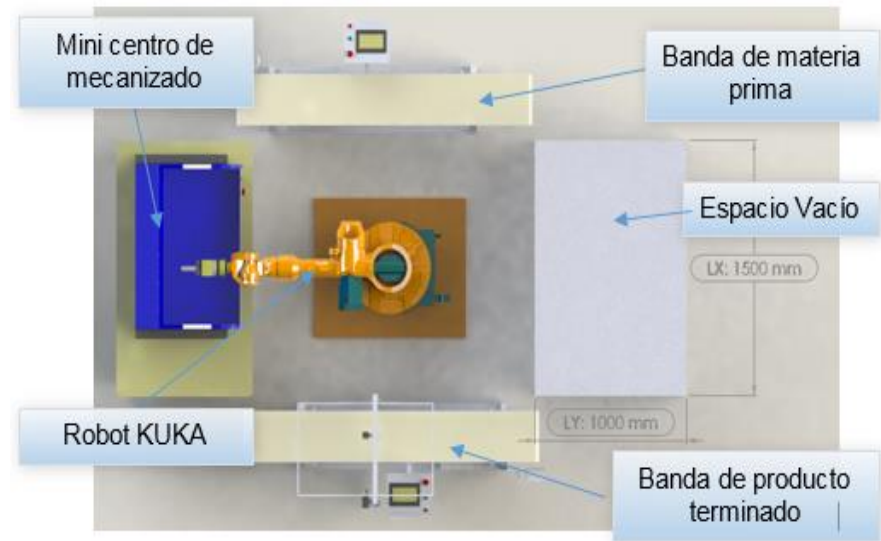
FUNDAMENTOS TEÓRICOS



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Para complementar la formación técnica de los docentes y estudiantes de la ESPE Extensión Latacunga referente a sistemas flexibles de manufactura (FMS), Veronica Gallo y Fernando Saá desarrollaron como tesis de grado una celda de manufactura con brazo robótico centralizado, que funciona de manera eficiente, pero la tarea de alimentación de materia prima y almacenamiento de productos terminados carece de un equipo especializado.

Por lo ultimo surge la siguiente pregunta ¿La implementación del prototipo de sistema automatizado almacenamiento/recuperación (AS/RS) mediante procesamiento digital de imágenes, complementará los conocimientos teóricos de los docentes y alumnos de la ESPE Extensión Latacunga en sistemas flexibles de manufactura?



JUSTIFICACIÓN

De acuerdo a la IFR (International Federation of Robotics) en Centro América y América Latina para el 2012 se han incorporado más de 8000 robots a las industrias de todo tipo, generando la necesidad de desarrollar aplicaciones de manufactura flexible, para lo que se requieren profesionales capaces de desarrollar dichos sistemas. El presente proyecto permitirá a los estudiantes y docentes de la ESPE Extensión Latacunga simular procesos de manufactura flexible a pequeña escala, y así fortalecer los conocimientos teóricos acerca de esta disciplina tecnológica.

Por otra parte, el proyecto es importante ya que presenta una forma innovadora de almacenar y manejar piezas referentes a los procesos de manufactura desarrollados en el laboratorio CNC.



SISTEMAS AUTOMATIZADOS DE ALMACENAMIENTO

Reducen o eliminan (de acuerdo al grado de automatización) la intervención humana en la manipulación de productos.

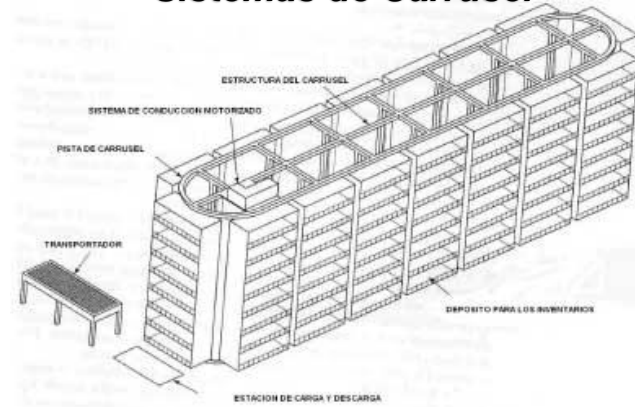
Estos sistemas automatizados de almacenamiento se dividen en:

- **Sistemas AS/RS**
- **Sistemas de carrusel**

Sistemas AS/RS

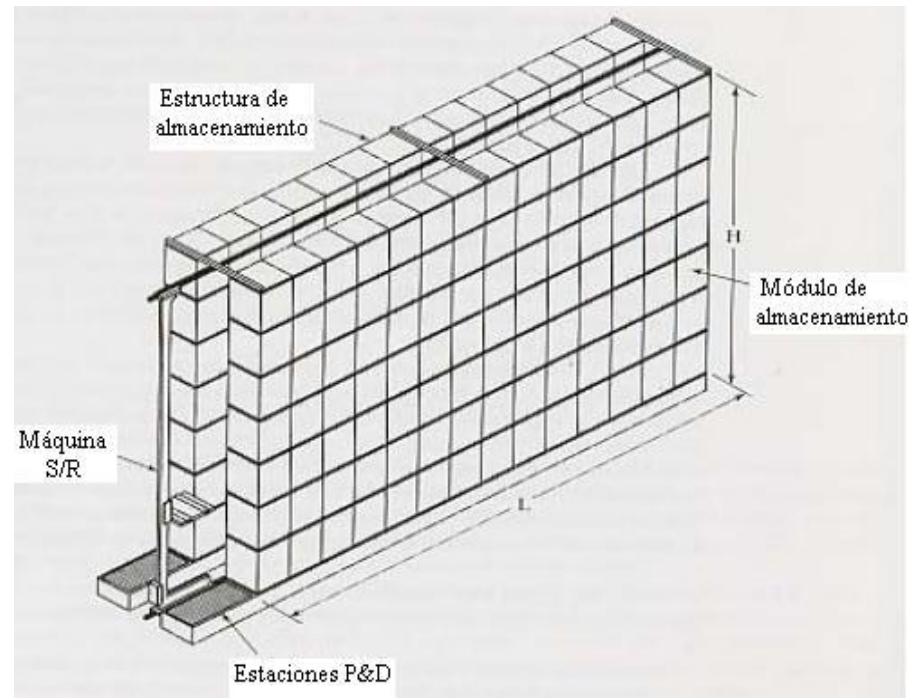


Sistemas de Carrusel



Sistemas Automatizados de Almacenaje / Recuperación (AS / RS).

Un AS/RS (Automated Storage/Retrieval System), consiste en un conjunto de estanterías y pasillos, un mecanismo de almacenamiento y recuperación que se mueve entre estanterías, y un punto donde se deposita o se recoge el material llamado Pick and Deposit (P&D).



Componentes de un AS/RS: Estructura de almacenamiento

Estructura de estante con la fuerza y rigidez necesarias para soportar las cargas contenidas en el AS/RS. La estructura debe tener:

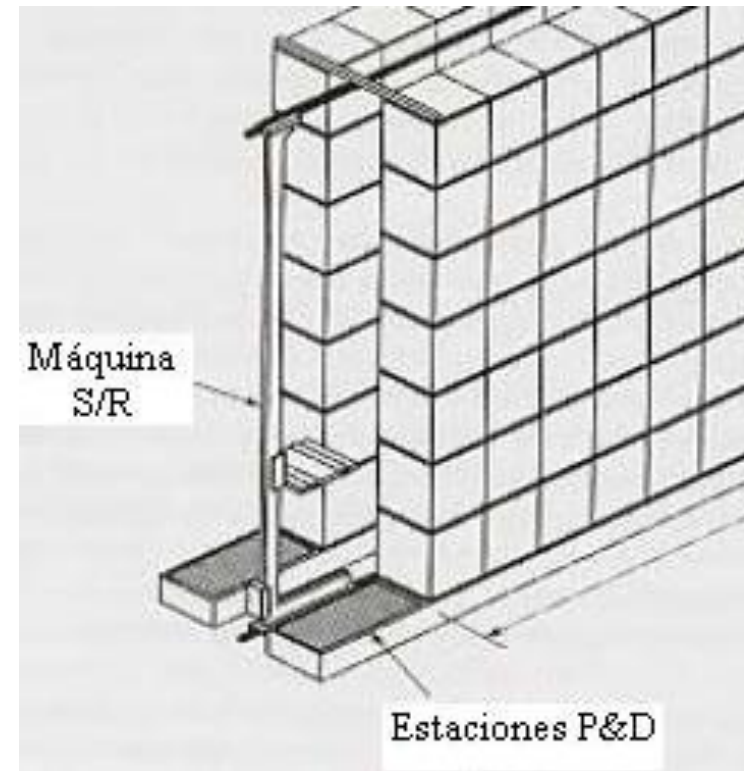
- Compartimentos individuales para aceptar los módulos de almacenaje con material.
- Soporte para hardware de pasillo (carriles guía, paradas finales, etc).



Componentes de un AS/RS: Máquina S/R

Permite recoger cargas en la estación de entrada para colocarlas en los módulos de almacenamiento y recuperar cargas para entregarlas en la estación de salida.

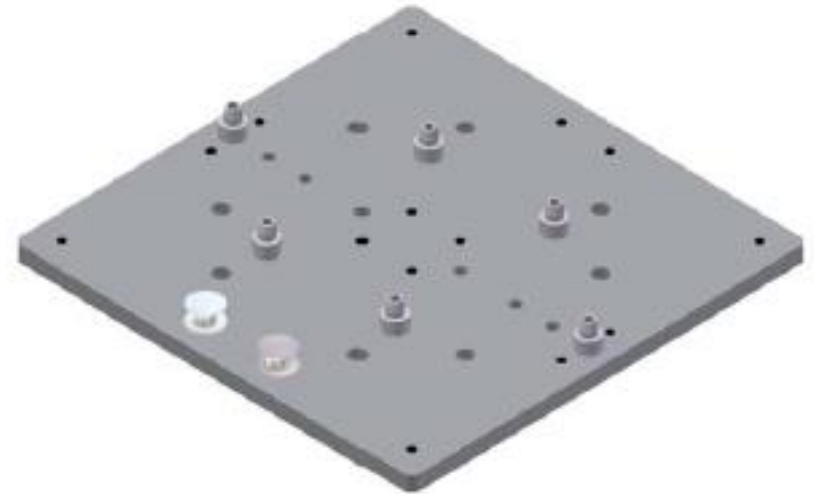
La máquina S/R, mediante movimientos horizontales y verticales, debe ser capaz de alinear su carro con los compartimento de almacenaje.



Componentes de un AS/RS: Módulo de almacenaje

Conocido también como unidad de carga, son los compartimentos (plataformas, cestas, cajones especiales, etc) que contienen el material almacenado.

Generalmente, de tamaño estándar para que puedan ser manejados por la máquina S/R y para encajar en los compartimentos individuales de la estructura de almacenamiento.



Componentes de un AS/RS: Estaciones P&D

Lugares (generalmente al final de los pasillos del sistema) donde las cargas se transfieren al interior y al exterior del AS/RS.

Debe diseñarse para compagine con la máquina de S/R y con el sistema de manejo externo.

El manejo de cargas en la estación P&D se lo realiza mediante la carga/descarga manual, carretillas elevadoras, transportadores y AGVS.



Componentes de un AS/RS: **Sistema de control**

Se encarga de dirigir la máquina S/R a un compartimento de almacenaje particular, mediante combinaciones basadas en códigos alfanuméricos, conteo de posiciones o identificación numérica de compartimento cifradas en binario. Pueden ser basados en un ordenador y/o PLC's.

El control por ordenador permite:

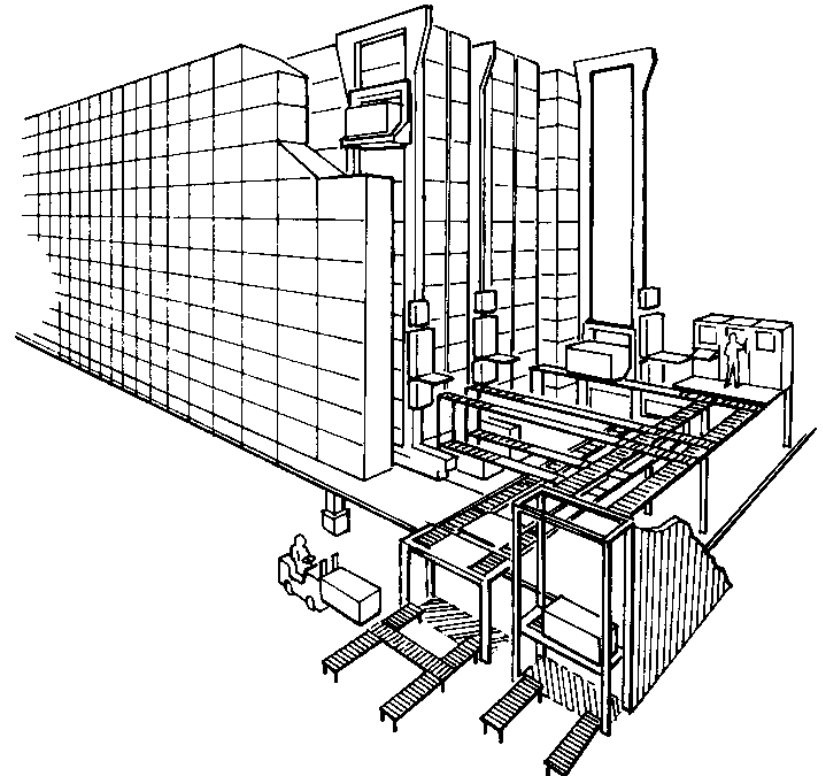
- Realizar operaciones de almacenaje en tiempo real.
- Llevar registros de inventario.
- Monitorear el funcionamiento del sistema.
- Comunicación sencilla con otros sistemas.



Principales tipos de sistemas AS/RS

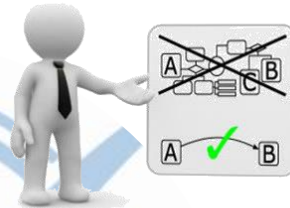
- **AS/RS DE UNIDAD DE CARGA (UNIT LOAD AS/RS):** Gran sistema automatizado controlado por computadora, diseñado para trasladar materiales sobre plataformas mediante máquinas de S/R.
- **DEEP-LANE AS/RS:** Adecuado para almacenar grandes cantidades de stock con un número pequeño de productos diferentes. Las cargas se almacenan una detrás de la otra por lo que se requieren dos máquinas de S/R.
- **AS/RS DE MINICARGA (MINILOAD AS/RS):** Maneja pequeñas cargas contenidas en arcas o cajones dentro del sistema de almacenaje.

AS/RS DE UNIDAD DE CARGA



Ventajas y Desventajas de los Sistemas AS / RS.

- Menor recurso humano.
- Mejor control del material.



- Mayor capacidad de almacenamiento.



- Mejor servicio al consumidor.



- Incremento del rendimiento.



- Inversión inicial alta.



- Altos gastos de mantenimiento.

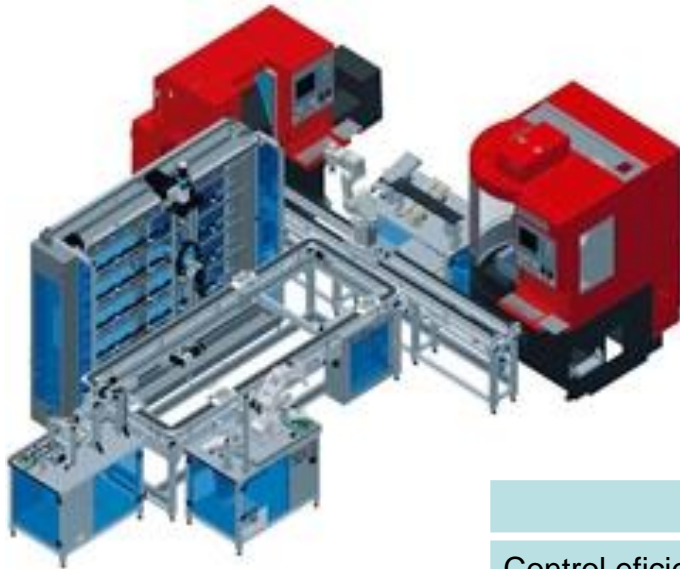


- Dificultad de modificar el sistema.



ALTERNATIVAS DE DISEÑO

iCIM 3000 de FESTO



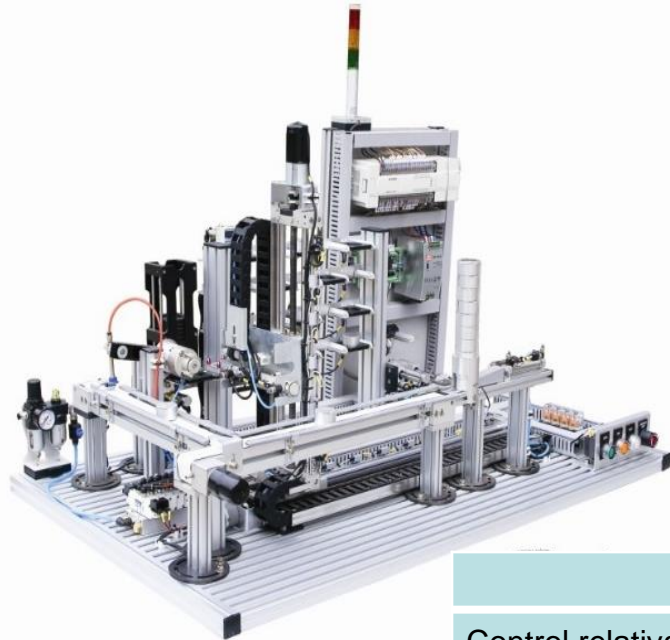
- **Dimensiones:** L=2380 mm, W=1300 mm, H=1800mm
- **Capacidad de almacenamiento:** 40 unidades
- **Máquina S/R:** Robot cartesiano con eje rotacional con servomotor
- **Velocidad:** No especificada
- **Controlador:** S7-300

Ventajas	Desventajas
Control eficiente	Controlador no modificable.
Amplio capacidad de almacenamiento.	Necesidad de sistema de transporte de pallets.
	Infraestructura ocupada relativamente grande.



ALTERNATIVAS DE DISEÑO

DLFA- AS/RS(A)



- **Dimensiones:** L=1200 mm, W=750 mm, H=1800mm
- **Capacidad de almacenamiento:** 20 unidades
- **Máquina S/R:** Robot lineal con Motoreductor DC
- **Velocidad:** No especificada
- **Controlador:** Basado en PLC

Ventajas	Desventajas
Control relativamente eficiente.	Reducida capacidad de almacenamiento.
Controlador adaptable a las necesidades del usuario.	Necesidad de sistema de transporte de pallets.
Mínimo espacio físico ocupado.	



ALTERNATIVAS DE DISEÑO

ASRS-36U



- **Dimensiones:** L=1330 mm, W=630 mm, H=1600mm
- **Capacidad de almacenamiento:** 36 unidades
- **Máquina S/R:** Robot cartesiano con eje rotacional con servomotores.
- **Velocidad:** 300 mm/s
- **Controlador:** Controlador de servos mediante PWM

Ventajas	Desventajas
Control eficiente y rápido.	Controlador no modificable.
Capacidad de almacenamiento amplia.	
Controlador adaptable a las necesidades del usuario.	



CAPÍTULO II

DISEÑO, SELECCIÓN Y CONSTRUCCIÓN



1822
ECUADOR

ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

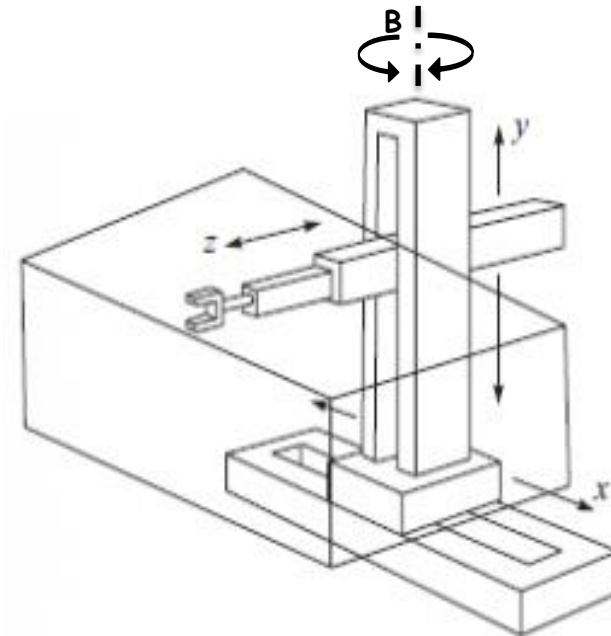
PARÁMETROS DE DISEÑO MECÁNICO

Parámetros	
Tipo:	AS/RS Unit Load
Tamaño estimado:	(1538x1519x638) mm ³
Tamaño estantería:	(160x716.2x188) mm ³
Máquina S/R:	Robot Cartesiano
Transmisión Mecánica	Omega Lineal
Velocidad máxima ejes X, Y y Z	200 mm/s
Velocidad máxima del eje B	15 RPM
Grados de libertad:	4
Tipo de carga:	Materiales blandos
Medidas máximas de la carga:	(100x100x100) mm ³
Estructura mecánica:	Rígida y liviana.



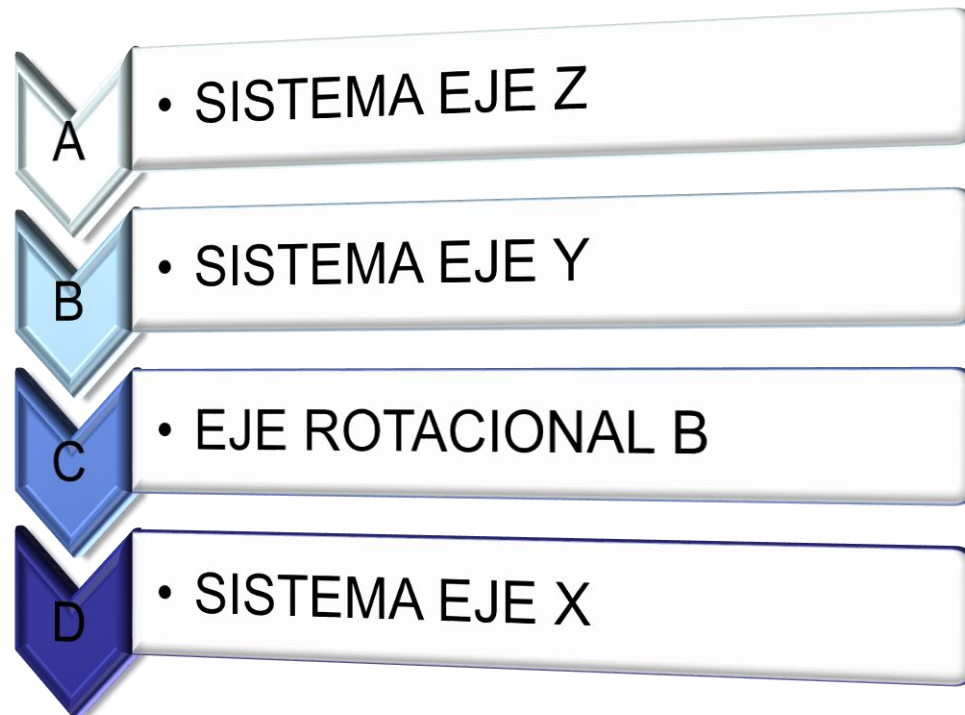
Estructura y Sistema de Movimiento

ASRS-36u de Intelitek



DISEÑO MECÁNICO DEL SISTEMA AS/RS

El diseño se realiza de manera secuencial mediante el siguiente proceso:



SISTEMA EJE Z

Diseño de las horquillas de transporte

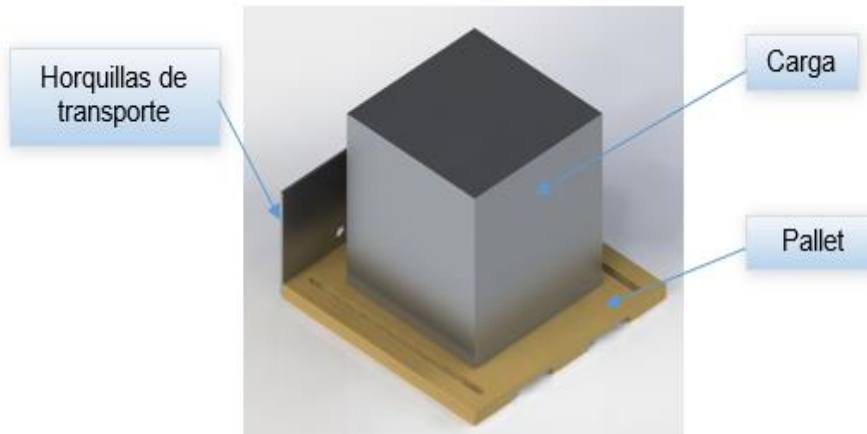


Diagrama de cuerpo libre

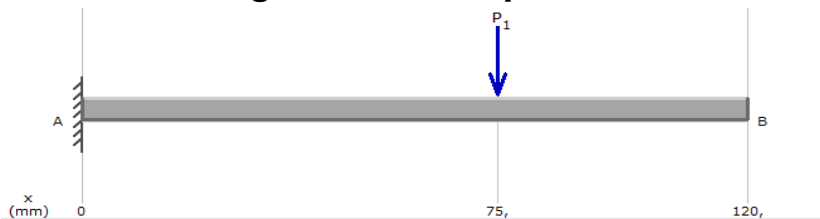
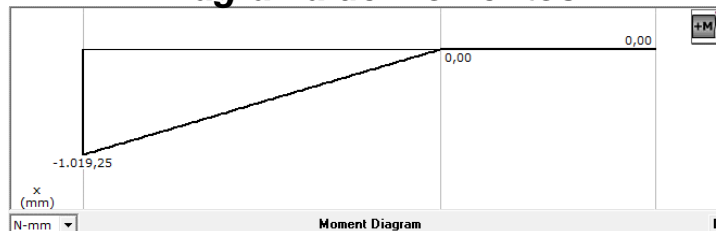


Diagrama de momentos



Fuerza (P1): 27,18 N

Material: Aluminio 6061-T4

Limite de fluencia (Sy): 145 MPa

Factor de seguridad (N): 1.5

Base: 30 mm

$$\sigma_D = \frac{S_y}{N} = 96,66 \text{ MPa}$$

Momento máximo M_{max} : 1019,25 N-mm

$$h = \sqrt{\frac{6 * M_{max}}{b * \sigma_D}} = 1,45 \text{ mm}$$

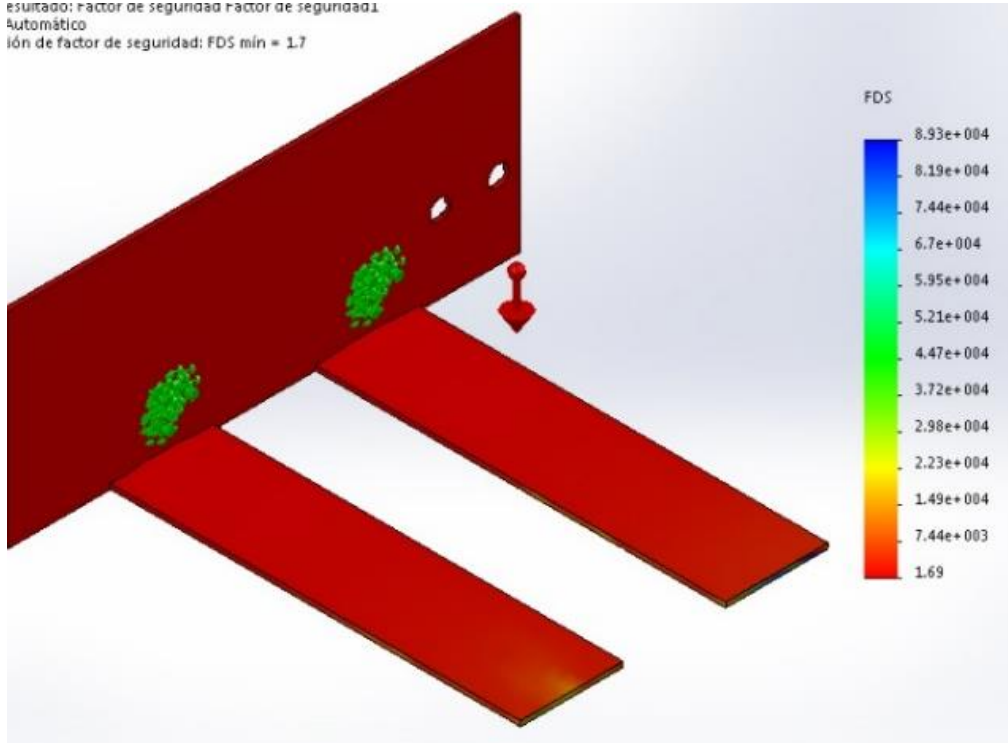
Espesor seleccionado: 1,5 mm



SISTEMA EJE Z

Análisis de Esfuerzos en las horquillas de transporte

esultado: factor de seguridad factor de seguridad
Automático
ión de factor de seguridad: FDS mín = 1.7



Espesor seleccionado: 1,5 mm

$$S_x = \frac{bh^2}{6} = 11,25 \text{ mm}^3$$

$$\sigma = \frac{M_{max}}{S_x} = 90,6 \text{ MPa}$$

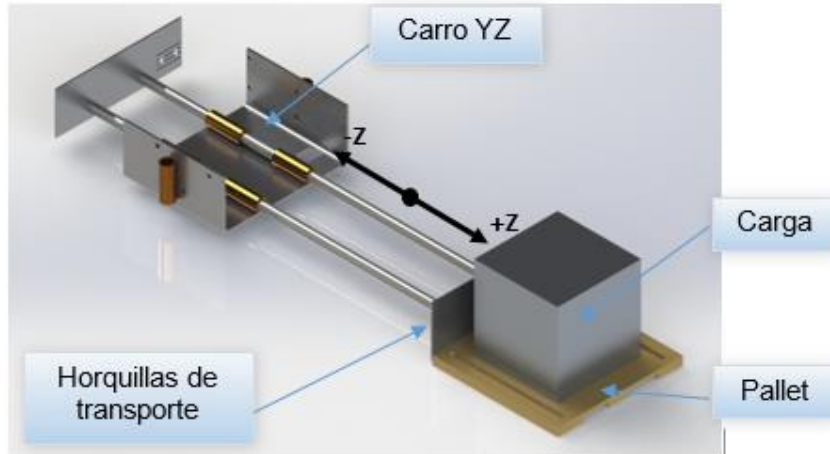
$$\sigma < \sigma_D$$

$$90,6 \text{ MPa} < 96,6 \text{ MPa}$$



SISTEMA EJE Z

Diseño de las guías cilíndricas



Carga: 28,03 N

Momento: 2117,95 N-mm

Material: Acero AISI 1018

Limite de fluencia (S_y): 370 MPa

Factor de seguridad (N): 2

$$\sigma_D = \frac{S_y}{N} = 185 \text{ MPa}$$

Momento máximo M_{max} : 6242,67 N-mm

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 * M_{max}}{\pi * \sigma_D}} = 7 \text{ mm}$$

Diámetro seleccionado: 7mm

Diagrama de cuerpo libre

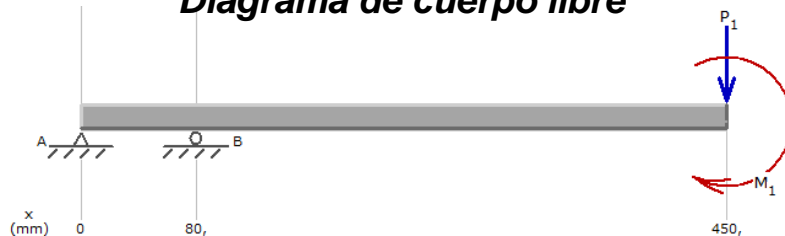
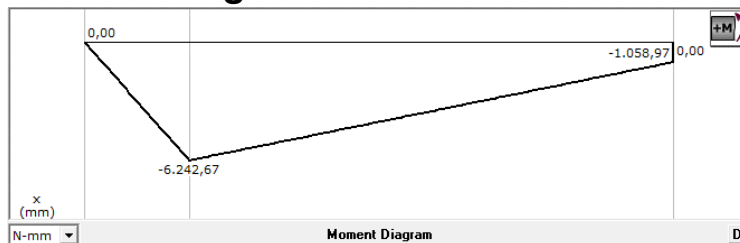
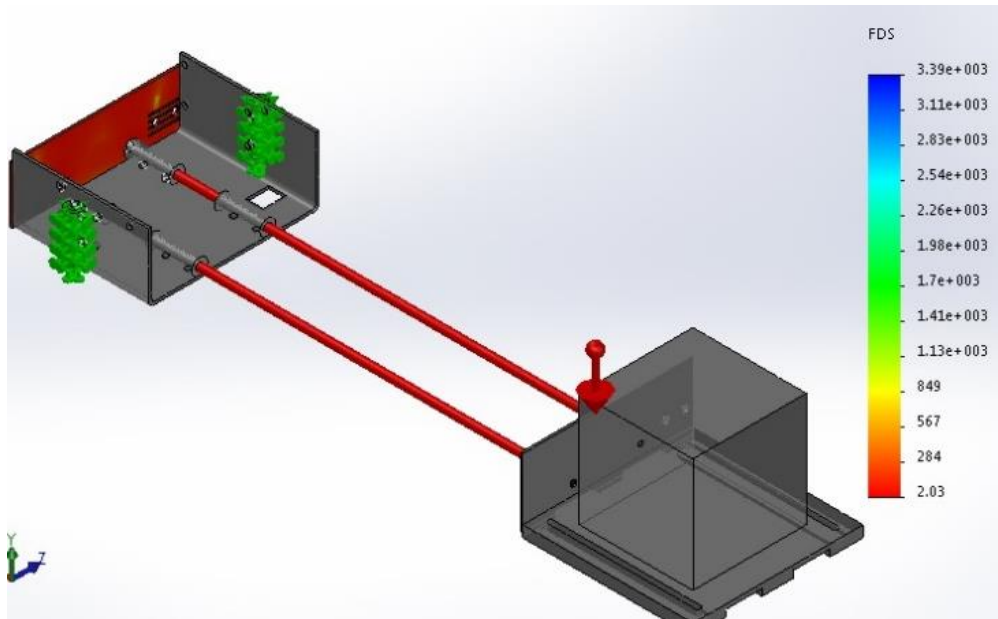


Diagrama de momentos



SISTEMA EJE Z

Análisis de Esfuerzos en las guías cilíndricas



Diámetro seleccionado: 7mm

$$S_x = \frac{\pi * d^3}{32} = 33,67 \text{ mm}^3$$

$$\sigma = \frac{M_{max}}{S_x} = 185,38 \text{ MPa}$$

$$\sigma < \sigma_D$$

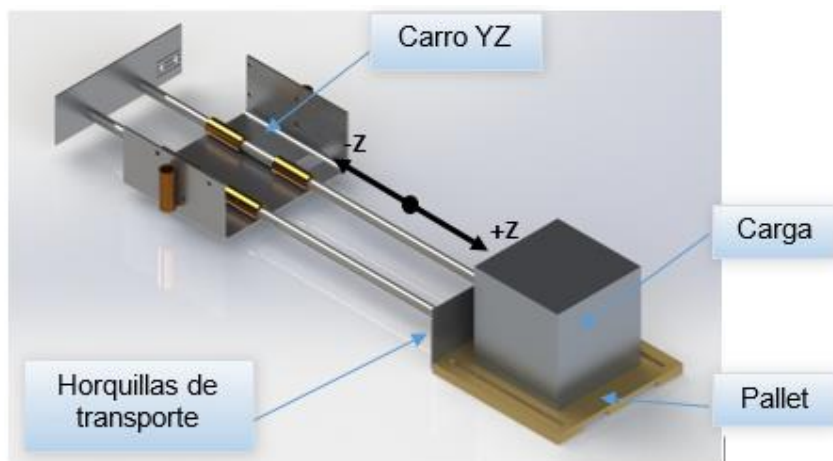
$$185,38 \text{ MPa} < 185 \text{ MPa}$$

Diámetro nuevo: 8 mm



SISTEMA EJE Z

Diseño de los bocines



Diámetro de la guía: 8 mm

Momento maximo: 6242,67 N-mm

Material: Bronce fosfórico SAE 40

Limite de fluencia (Sy): 93 MPa

Factor de seguridad (N): 2

$$\sigma_D = \frac{S_y}{N} = 46,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{S_x} \quad S_x = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{32D}$$

$$\pi * D^4 - \frac{32 * M_{\max} * D}{\sigma_D} - \pi * d^4 = 0$$

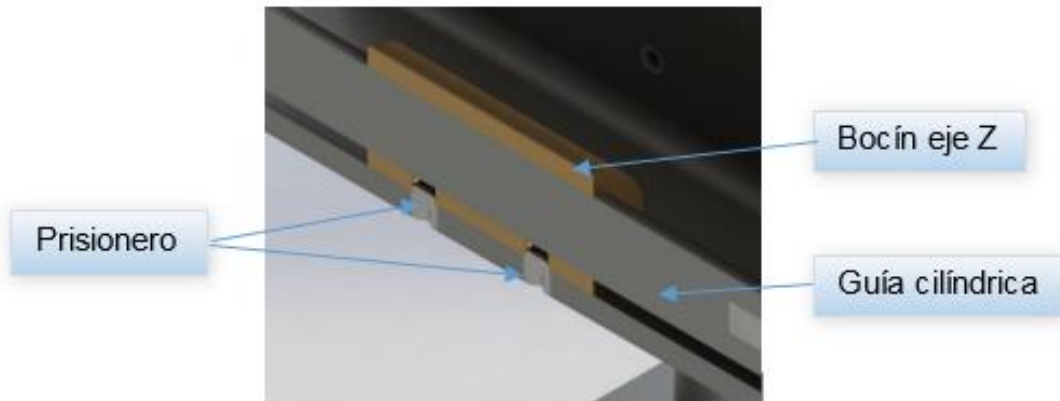
$$D = 11.95 \text{ mm}$$

Diámetro seleccionado: 12 mm



SISTEMA EJE Z

Análisis de Esfuerzos en los bocines



Diámetro seleccionado: 12 mm

$$S_x = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{32D} = 136,13 \text{ mm}^3$$

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{S_x} = 45,85 \text{ MPa}$$

$$\sigma < \sigma_D$$

$$45,85 \text{ MPa} < 46,5 \text{ MPa}$$



SISTEMA EJE Y

Diseño de la base en U

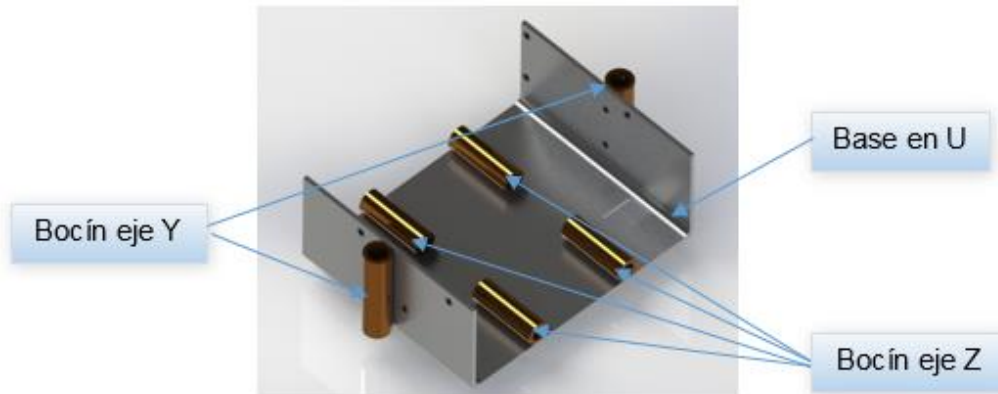


Diagrama de cuerpo libre

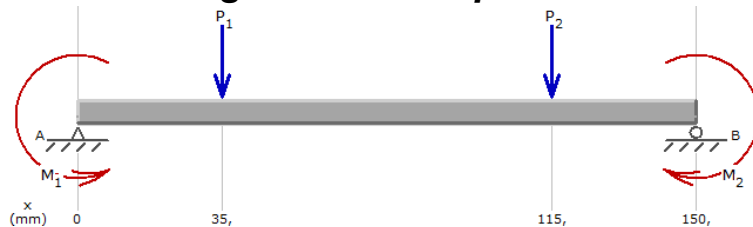
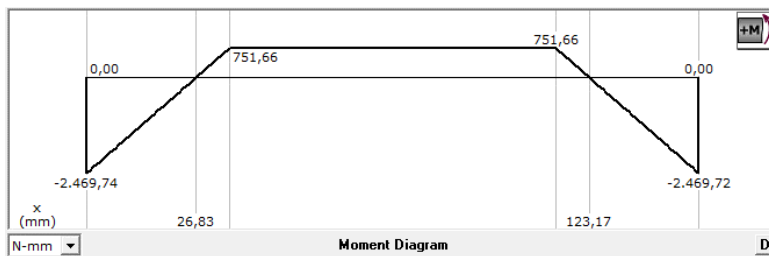


Diagrama de momentos



Fuerzas (P_1, P_2): 46,02 N

Torque (T): 6242,67 N-mm

Material: Aluminio 6061-T4

Limite de fluencia (S_y): 145 MPa

Factor de seguridad (N): 1,5

Base (b): 150 mm

$$\sigma_D = \frac{S_y}{N} = 96,66 \text{ MPa}$$

$$\sigma = \frac{M_{max}}{S_x} + \frac{T}{Q} \quad Q = \frac{b * h^2}{[3 + 1,8(h/b)]}$$

$$\sigma_D^2 * b^4 * h^4 - 9,823 * T * h^2 - 32,586 * b * T^2 * h - (36 * M^2 + 27 * T^2) * b^2 = 0$$

Momento máximo M_{max} : 6242,67 N-mm

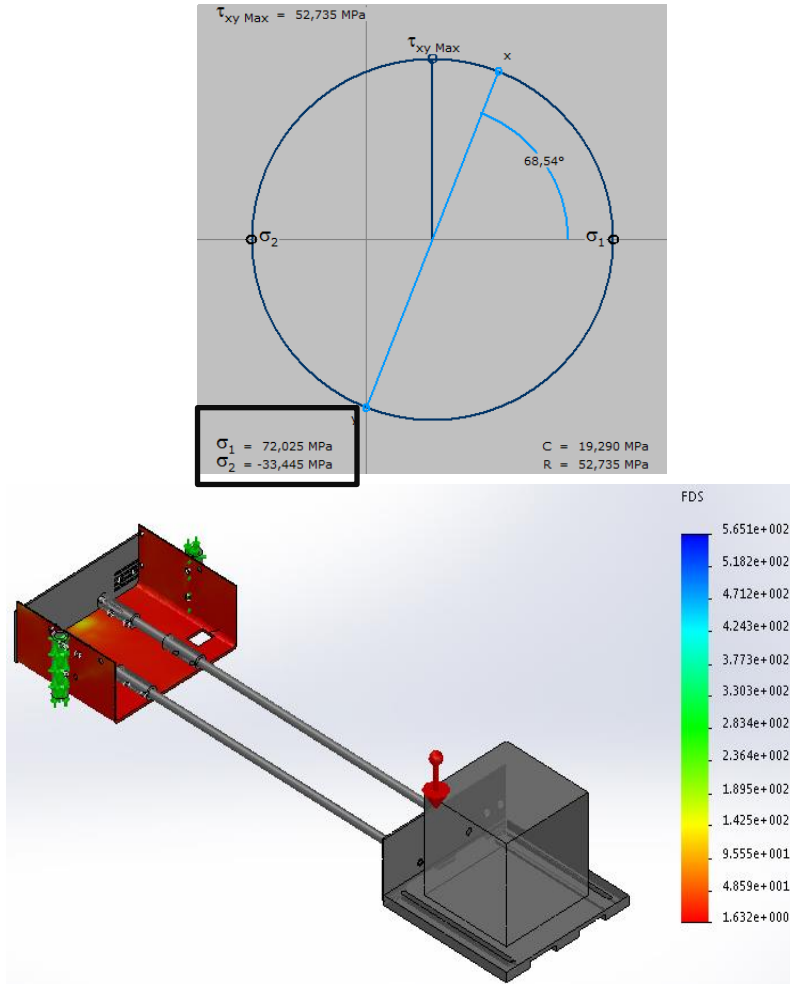
$$h = 1,57 \text{ mm}$$

Espesor seleccionado: 1,6 mm



SISTEMA EJE Y

Análisis de Esfuerzos de la base en U



Espeesor seleccionado: 1,6 mm

$$S_x = \frac{bh^2}{6} = 64 \text{ mm}^3$$

$$Q = \frac{b * h^2}{[3 + 1,8(h/b)]} = 127,18 \text{ mm}^3$$

$$\sigma = \frac{M_{max}}{S_x} = 38,58 \text{ Mpa}$$

$$\tau = \frac{T}{Q} = 49,08 \text{ Mpa}$$

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 * \sigma_2} = 93,35 \text{ MPa}$$

$$\sigma' < \sigma_D$$

$$93,35 \text{ MPa} < 96,66 \text{ MPa}$$



SISTEMA EJE Y

Diseño de las guías cilíndricas

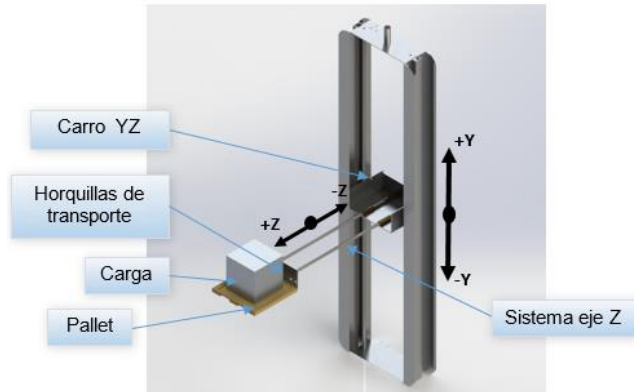


Diagrama de cuerpo libre

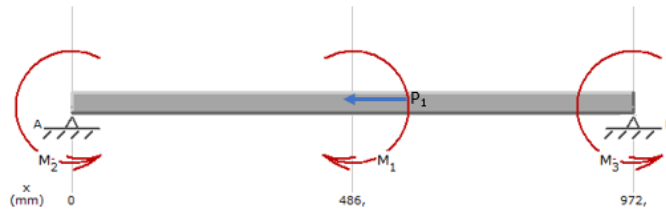
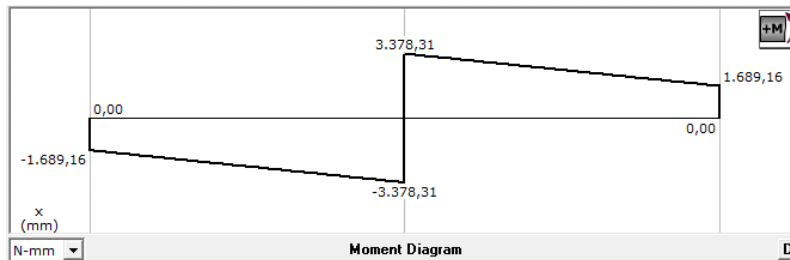


Diagrama de momentos



Fuerza: 36 N

Momento: 13513,25 N-mm

Material: Acero AISI 1018

Limite de fluencia (S_y): 370 MPa

Factor de seguridad (N): 2

$$\sigma_D = \frac{S_y}{N} = 185 \text{ MPa}$$

$$S_x = \frac{\pi * d^3}{32} \quad A = \frac{\pi * d^2}{4}$$

$$\sigma = \frac{M_{max}}{S_x} + \frac{F}{A}$$

$$\pi * d^3 * \sigma_D - 4 * d * F - 32 * M = 0$$

Momento máximo M_{max} : 6756,62 N-mm

$$d = 7,19 \text{ mm}$$

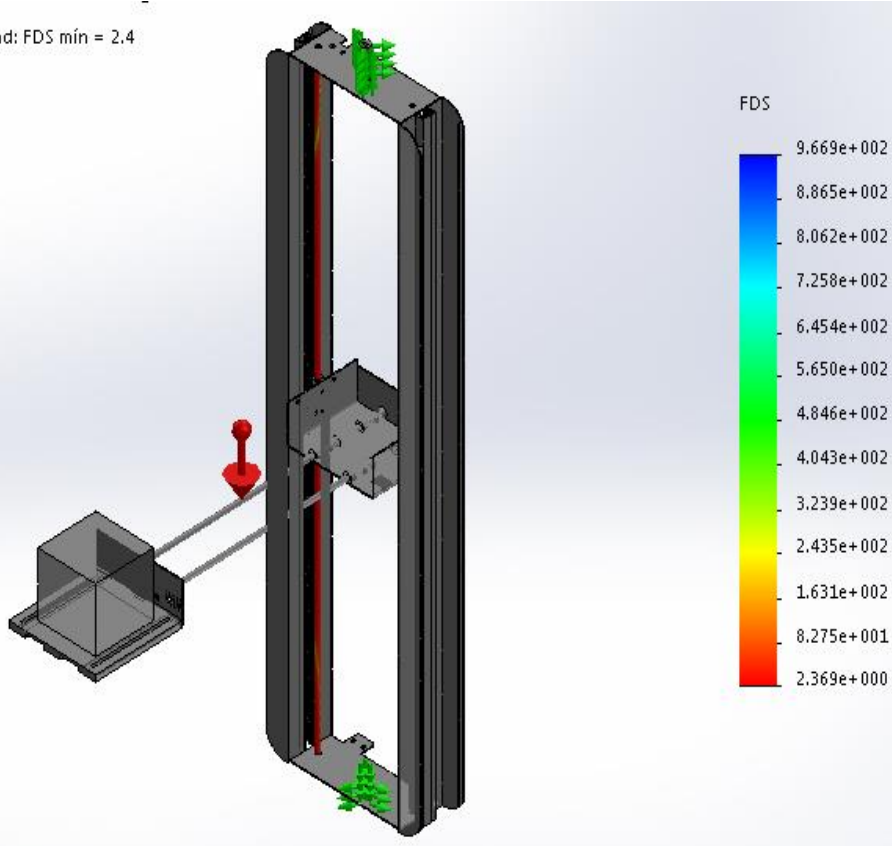
Diámetro seleccionado: 7,5 mm



SISTEMA EJE Y

Análisis de Esfuerzos en las guías cilíndricas

ad: FDS mín = 2,4



Diámetro seleccionado: 7,5 mm

$$S_x = \frac{\pi * d^3}{32} = 41,41 \text{ mm}^3$$

$$A = \frac{\pi * d^2}{4} = 44,17 \text{ mm}^2$$

$$\sigma = \frac{M_{max}}{S_x} + \frac{F}{A} = 163,54 \text{ MPa}$$

$$\sigma' < \sigma_D$$

$$163,54 \text{ MPa} < 185 \text{ MPa}$$



SISTEMA EJE B

SELECCIÓN DE RODAMIENTOS

Fuerza de empuje (F_{ae}): 74,85 N

Velocidad (n_D): 15 RPM

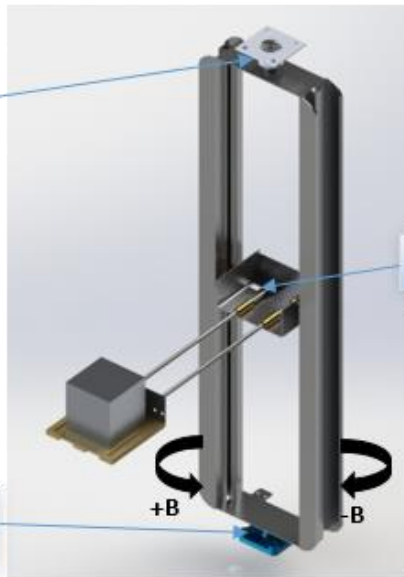
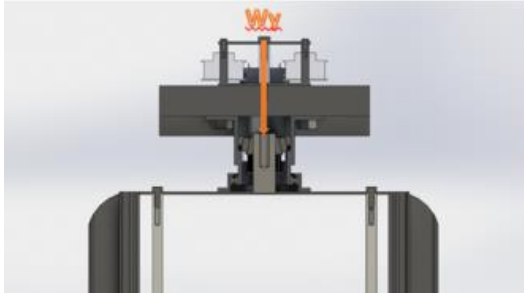
Vida útil (L_R): 20 kh

Meta de confiabilidad (R_D): 95 %

Factor de aplicación (f_A): 1

Factor de temperatura (f_T): 1,2

Factor de viscosidad (f_V): 0,9



Rodamiento superior

Sistema eje Y

Rodamiento inferior

$$P_A = 0,4F_{rA} + K_A F_{aA} = 74,85 \text{ N}$$

$$X_D = \frac{L_D}{90(10^6)} = 0,2$$

$$L_D = 60 * L_R * n_D = 0,2 * 90(10^6) \text{ rev}$$

$$C_{10} = f_A P \left[\frac{X_D}{4,48 f_T f_V (1 - R_D)^{\frac{2}{3}}} \right]^{3/10} = 52.3958$$

Rodamiento seleccionado: FBJ 30203 D=17mm

$$R = 1 - \left[\frac{X_D}{4,48 f_T f_V \left(\frac{C'_{10}}{[f_A * F_D]} \right)^{\frac{10}{3}}} \right]^{3/2} = 0.9999$$

$$C'_{10} > C_{10}$$

$$18600 > 52,3958$$



SISTEMA EJE X

Diseño del carro X

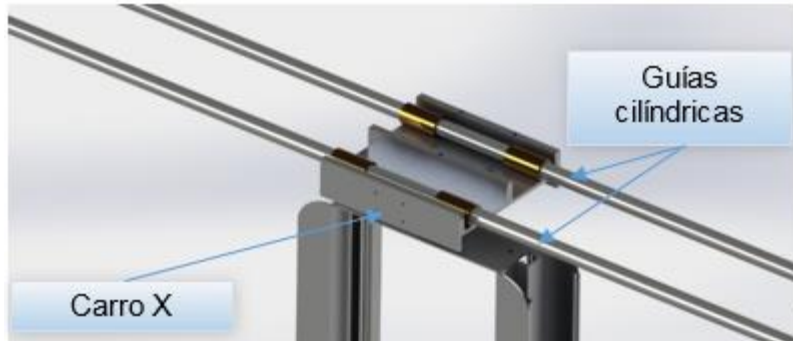


Diagrama de cuerpo libre

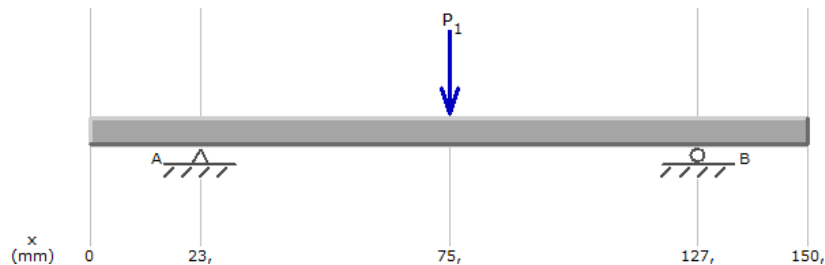
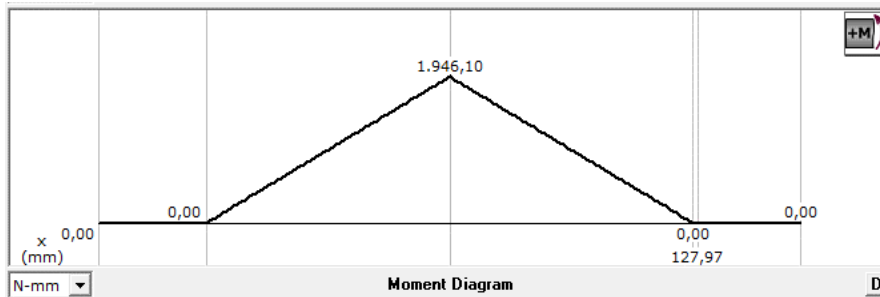


Diagrama de momentos



Fuerza: 74,85 N

Material: Aluminio 6061-T4

Limite de fluencia (S_y): 145 MPa

Factor de seguridad (N): 2

$$\sigma_D = \frac{S_y}{N} = 72,5 \text{ MPa}$$

$$h = \sqrt{\frac{6 * M_{\max}}{b * \sigma_D}}$$

Momento máximo M_{\max} : 1946,10 N-mm

$$h = 1,03 \text{ mm}$$

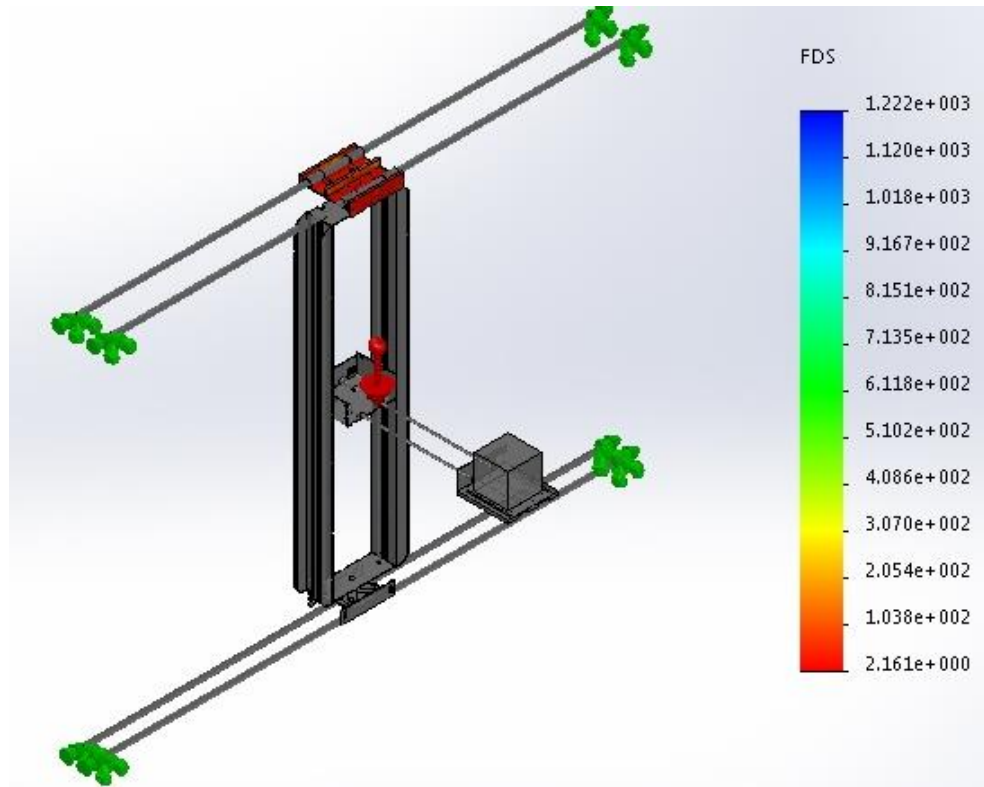
Espesor seleccionado: 1 mm



SISTEMA EJE X

Análisis de Esfuerzos del carro X

Espesor seleccionado: 1 mm



$$S_x = \frac{bh^2}{6} = 25 \text{ mm}^2$$

$$\sigma = \frac{M_{max}}{S_x} = 77,84 \text{ MPa}$$

$$\sigma' < \sigma_D$$

$$77,84 \text{ MPa} < 72,5 \text{ MPa}$$

Espesor de reemplazo: 3 mm



SISTEMA EJE X

Diseño de las guías cilíndricas

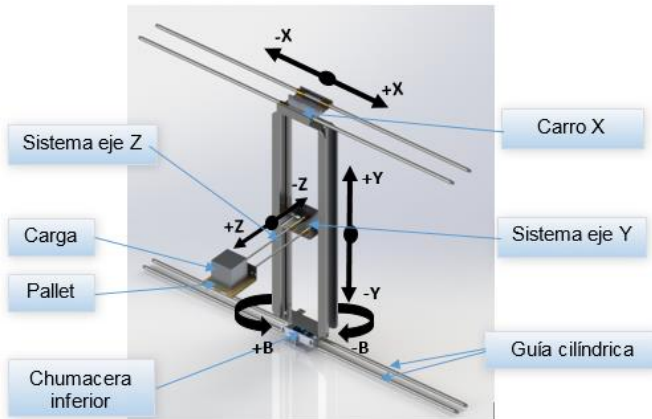


Diagrama de cuerpo libre

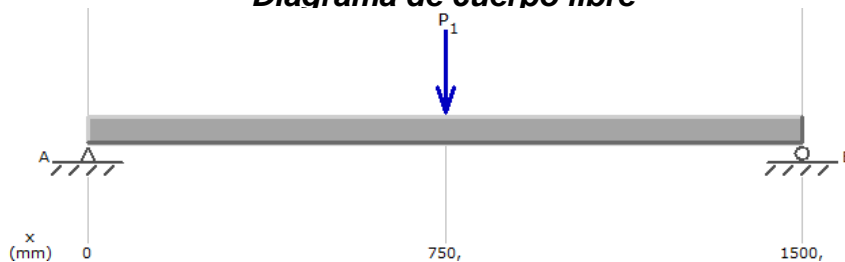
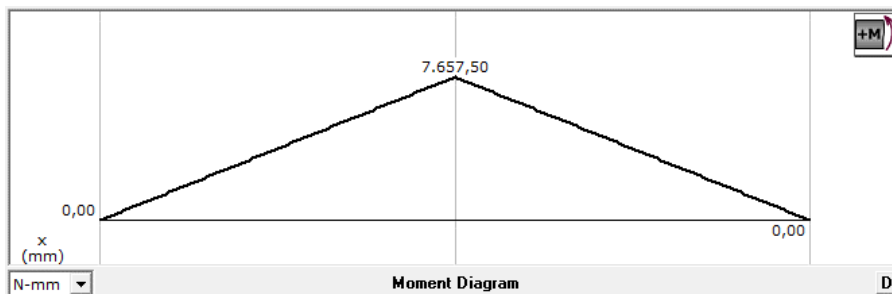


Diagrama de momentos



Fuerza: 81,71 N

Torque: 13528,29 N-mm

Material: Acero AISI 1018

Limite de fluencia (Sy): 370 Mpa

Longitud: 1500 mm

Módulo de elasticidad (E): 207 Gpa

Deflexión máxima: 0,6 mm

$$I = \frac{\pi * d^4}{64} \quad y_{\max} = -\frac{P * L^3}{192 * E * I}$$

$$d = \sqrt[4]{\frac{64 * P * L^3}{192 * \pi * E * y_{\max}}}$$

$$d = 15,57 \text{ mm}$$

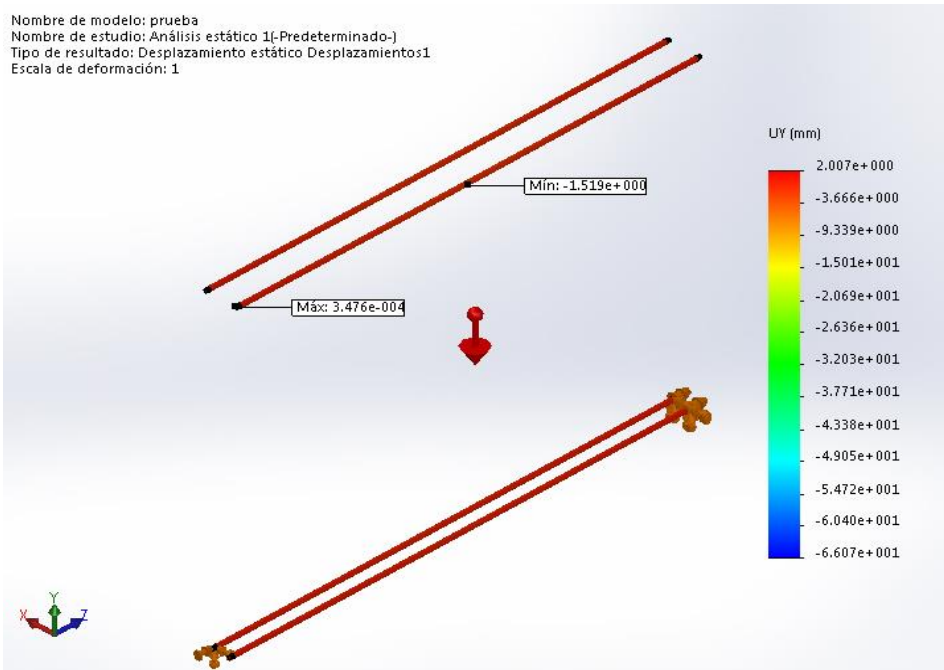
Diámetro seleccionado: 16,0 mm



SISTEMA EJE X

Análisis de Esfuerzos de las guías cilíndricas

Nombre de modelo: prueba
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
Escala de deformación: 1



Diámetro seleccionado: 16 mm

$$I = \frac{\pi * d^4}{64} = 2833,32 \text{ mm}^4$$

$$y_{\max} = -\frac{P * L^3}{192 * E * I} = 0,57 \text{ mm}$$

$$y_{\max} < y_D$$

$$0,57 \text{ mm} < 0,6 \text{ mm}$$

Diámetro de reemplazo: 16 mm



SELECCIÓN DE LA TRANSMISIÓN MECÁNICA

Transmisiones rígidas

Ventajas	Desventajas
Bajo costo.	Propensa a sufrir deslizamientos.
Facilidad de construcción.	Grandes esfuerzos de contacto.
Bajo nivel de ruido.	Grandes fuerzas en soportes y ejes.
	Resbalamiento por sobrecarga.

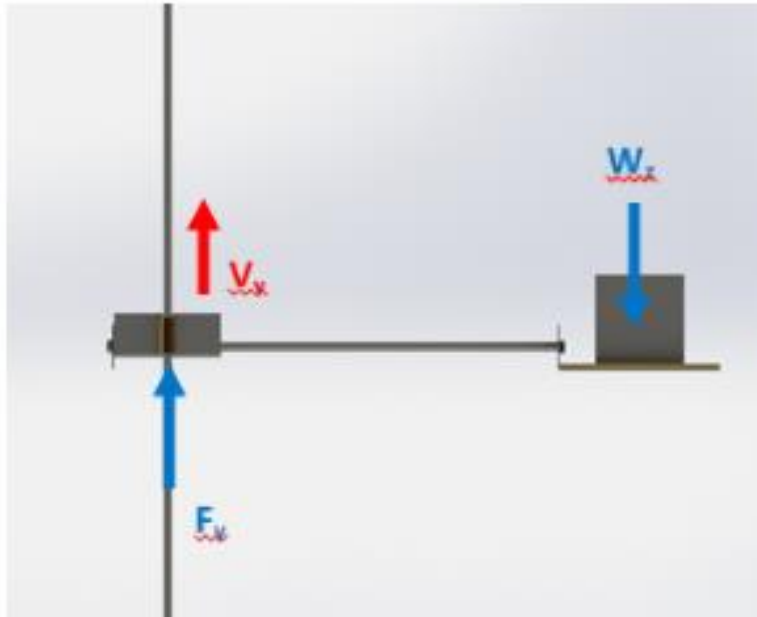
Transmisiones flexibles

Ventajas	Desventajas
Amortiguan impactos.	Requiere tensado inicial.
Transmiten potencia a distancias grandes	Propenso alargamiento de correas.
Nivel de ruido bajo.	Requieren dispositivos tensores, en ocasiones.
Versatilidad de posición y movimiento	Susceptible a condiciones ambientales desfavorables.

De acuerdo a las ventajas de la transmisión flexible, es la opción que mejor se adapta a los requerimientos del prototipo. Para evitar el deslizamiento en la transmisión se empleará la banda sincrónica en configuración Lineal Omega.



SELECCIÓN DE MOTORES PARA LOS EJES X, Y y B



Velocidad: 200mm/s

Fuerza: 36 N

Eficiencia (ϵ): 95%

Factor de servicio (F.S.): 1,25

$$P_y = F * V = 7,2 W$$

$$P = \frac{P_y}{\epsilon} = 7,57W$$

$$P_D = F.S.* P = 9,47 W$$

Motor	Velocidad sin carga (RPM)	Par continuo (oz-in)	Potencia de salida (W)
Cytron IG32E-14K	430	15,57	7
Renegade Motor, High Power	180	90,26	12
131:1 Metal Gearmotor	80	250	14,78



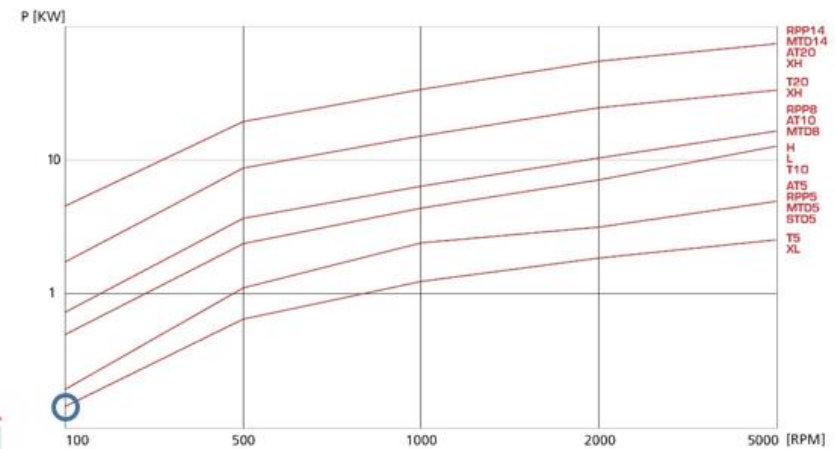
SELECCIÓN DE LA TRANSMISIÓN LINEAL OMEGA

Selección del perfil de correa dentada y diámetro de la polea

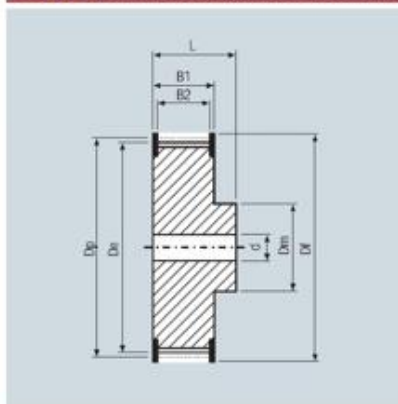
Motor	Velocidad sin carga (RPM)	Par continuo (oz-in)	Potencia de salida (W)
131:1 Metal Gearmotor	80	250	14,78

Primero, el perfil de correa dentada se determina en base a la potencia del motor, en este caso perfil de correa T5.

Luego, en función del perfil se determina el diámetro de paso (dp) estándar de la polea conductora en este caso 23,87 mm con 15 dientes (Z).



PULLEYS (for more details please see our pulleys catalogue)



N° Teeth	Dp	De	N° Teeth	Dp	De
10	15,92	15,09	25	39,79	38,96
12	19,10	18,27	28	44,56	43,73
14	22,28	21,45	30	47,75	46,92
15	23,87	23,04	32	50,93	50,10
16	25,46	24,64	36	57,30	56,47
18	28,65	27,82	40	63,66	62,93
19	30,24	29,41	42	66,85	66,02
20	31,83	31,00	44	70,03	69,20
22	35,01	34,19	48	76,39	75,57
24	38,20	37,37	60	95,49	94,67



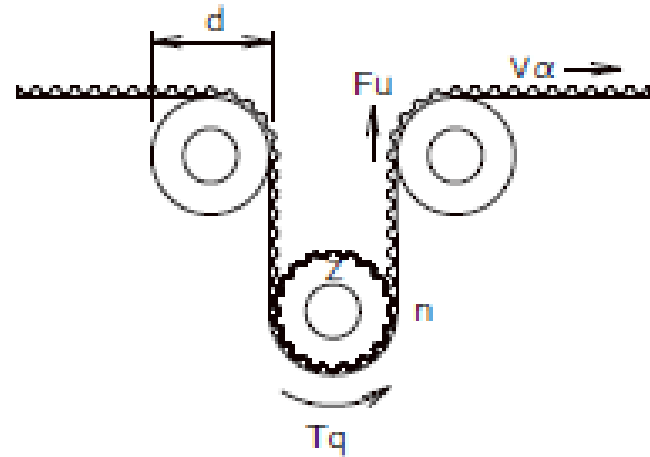
SELECCIÓN DE LA TRANSMISIÓN LINEAL OMEGA

Cálculo de la fuerza periférica

Es la fuerza generada por la polea conductora debido al torque del motor en función del diámetro de paso de la polea.

$$F_u = \frac{2000 * T_q}{d_p}$$

$$F_u = 147,90 \text{ N}$$



SELECCIÓN DE LA TRANSMISIÓN LINEAL OMEGA

Determinación del ancho de la correa

Una vez obtenida la fuerza periférica, el ancho de correa (b) se determina mediante:

$$b = \frac{F_u * C_s * 10}{F_{spec} * Z_m}$$

Para Z_m tenemos un ángulo de contacto de 180° :

$$Z_m = Z * \frac{\text{Arco en contacto}}{360^\circ} = 7,5$$

Finalmente:

$$b = \frac{147,90 * 1,0 * 10}{22 * 7,5}$$

$$b = 8,96 \text{ mm}$$

TOOTH RESISTANCE

RPM (1/min)	0	20	40	60	80
$F_{p\text{ spec}}$ (N/cm)	24	23	23	22	22

The choice of the **Safety factor's**, depends on the operating conditions. The following table shows the value to be used:

Steady Load		1
Shock Load	Low	1.4
	Average	1.7
	High	2



SELECCIÓN DE LA TRANSMISIÓN LINEAL OMEGA

Cálculo de la pre-tensión

Debe ajustarse para que el sistema de transmisión lineal omega en condiciones de servicio mantenga esta tensión casi constante, para el cálculo de la pre-tensión se emplea:

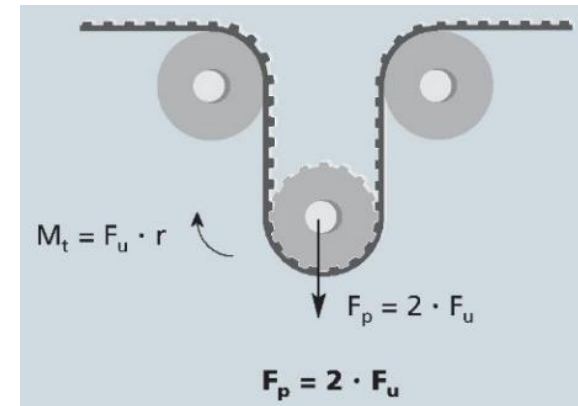
$$F_p = 2 * F_u$$

$$F_p = 295,80 \text{ N}$$

Ahora, se para comprobar la máxima tensión permisible de la correa seleccionada tenemos:

$$\text{Máxima tensión permisible} > \frac{F_p}{2} + (F_u * K_s)$$

$$355 \text{ N} > 295,80 \text{ N}$$



TRACTION RESISTANCE

	Belt width (mm)	6	10
Steel	Max Traction Load (N)	175	355
	Breaking Strength (N)	710	1425
	Elongation at MTL (mm/m)	4	4
Kevlar	Max Traction Load (N)	395	795
	Breaking Strength (N)	1595	3190



SELECCIÓN DE LA TRANSMISIÓN LINEAL OMEGA

- Las características de las bandas seleccionadas serán:

Eje	Longitud (metros)	Correa
x	1,50 m.	10 T5 - 1500 - FT - ML
y	1,50 m.	10 T5 - 1500 - FT - ML
z	0,50 m.	10 T5 - 500 - FT - ML



DISEÑO ELÉCTRICO/ELECTRÓNICO

Comprende:



SISTEMA DE CONTROL DEL AS/RS

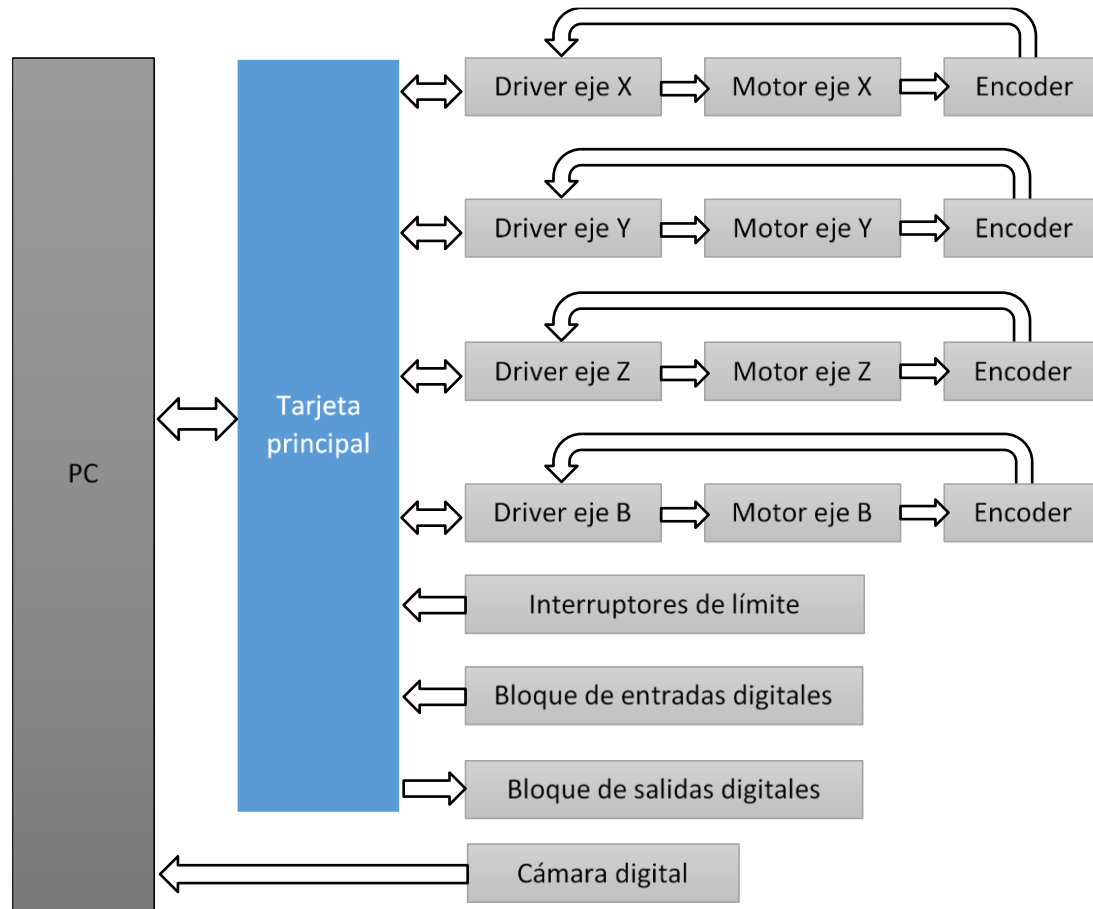
El sistema de control debe ser capaz de cumplir con los siguientes requerimientos:

- Control de posición y velocidad de los movimientos de cada eje de la máquina S/R.
- Registro de materia prima y producto contenidos en la estructura de almacenamiento
- Registro de las posiciones verticales y horizontales de los módulos de almacenamiento.
- Reconocimiento y categorización de perfiles mediante procesamiento digital de imagen.
- Señales de entrada para la solicitud de materia prima, indicador de producto terminado bueno y defectuoso.
- Señales de salida para indicar materia prima lista para ser movilizada.
- Limitación de recorrido de cada uno de los ejes de la máquina S/R.
- Paro de emergencia.

Para solventar las necesidades anteriores, el sistema de control se realizará en base a un ordenador, con lo cual mediante una aplicación HMI se comunicará mediante protocolo RS-232 con la tarjeta principal que será la encargada de realizar cambios en la posición de los motores, control de entradas/salidas digitales y finales de carrea. Por otra parte el control de posición se realizará por medio de drivers de motores DC retroalimentados mediante encoders

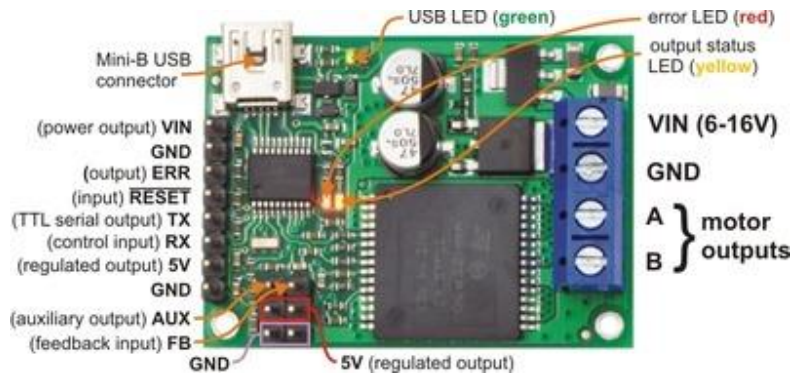


SISTEMA DE CONTROL DEL AS/RS



TARJETAS DE CONTROL

JRK 12V12 USB MOTOR CONTROLLER WITH FEEDBACK



- **Numero de canales:** 1
- **Voltaje de operación:** 6V-16V
- **Corriente máxima:** 12A
- **Corriente pico:** 30 A
- **Retroalimentación:** Análoga o mediante encoder en niveles TTL.
- **Comunicación:** Mediante USB
- **Protecciones:** No especificada

ROBOCLAW 2X15A



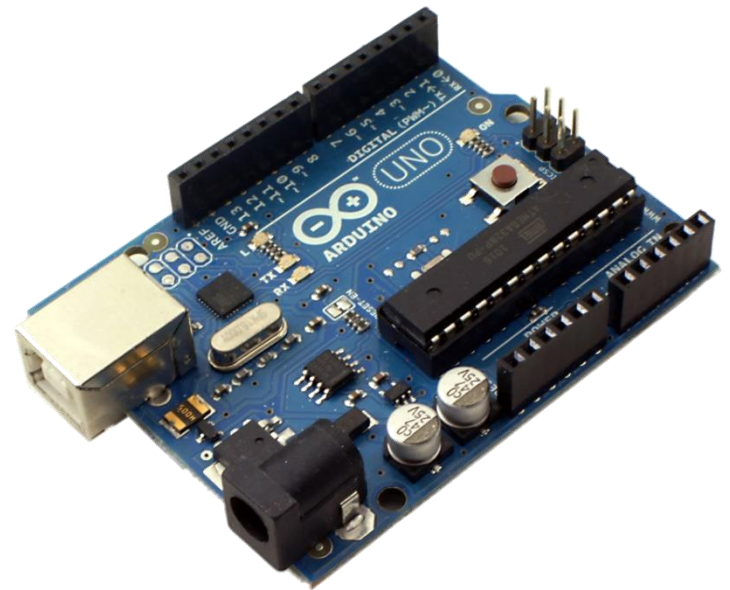
- **Numero de canales:** 2
- **Voltaje de operación:** 6V-34V
- **Corriente máxima:** 15A
- **Corriente pico:** 30 A
- **Retroalimentación:** Encoder en cuadratura en niveles TTL.
- **Comunicación:** Mediante USB, RS-232, Entrada análoga, Radio Control
- **Protecciones:** Contra sobre corriente y Frenado Dinámico



TARJETA PRINCIPAL

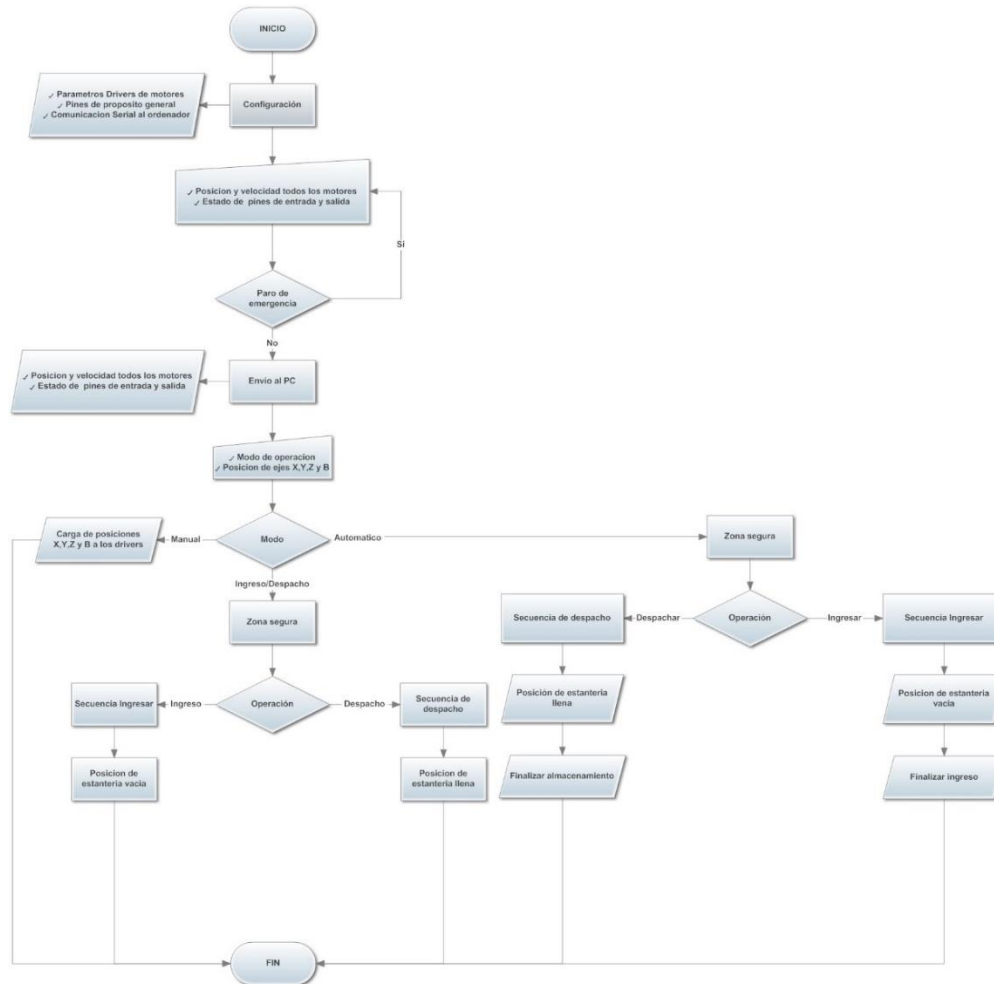
Dimensiones	
Tamaño	2,95" x 2.1"
Peso	28g
Datos Generales	
Procesador:	ATmega328 @ 16 MHz
Memoria RAM:	2048 bytes
Memoria de programación:	31.5 Kbytes
Canales de motor:	0
Líneas de usuario de E/S:	20 ¹
Máxima corriente en las señales de E/S:	40 mA
Voltaje mínimo de operación:	7 V
Voltaje máximo de operación:	12 V
Protección contra voltaje inverso:	N
Requerimiento de programador externo:	N ²

ARDUINO UNO R3



TARJETA PRINCIPAL

ARDUINO UNO R3



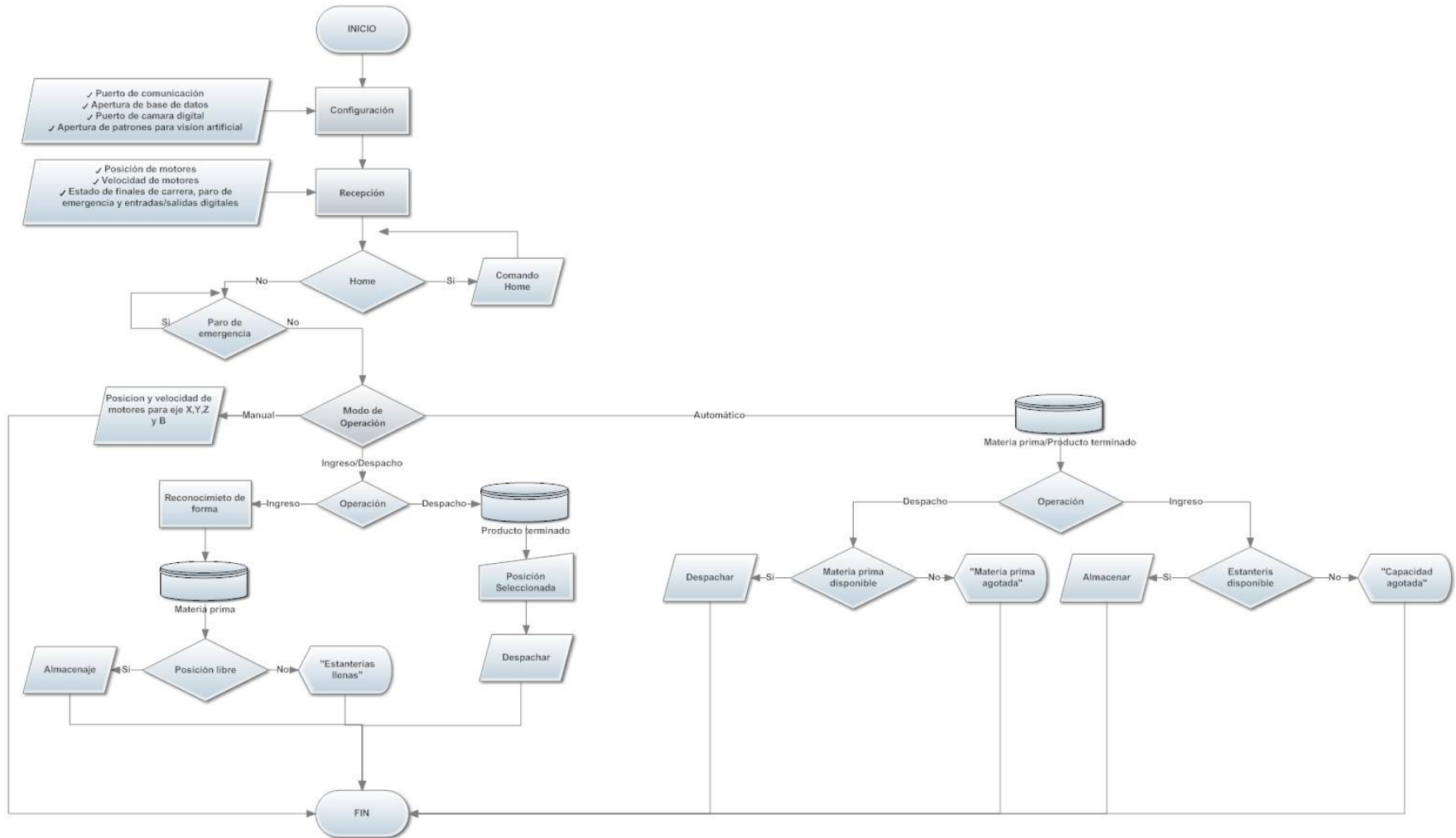
Aplicación HMI

La aplicación HMI debe ser amigable y entendible para el usuario, la aplicación debe tener 3 modos de trabajo:

- **Modo Manual:** La máquina SR es controlada por el usuario, es decir, manipula las posiciones de los ejes X, Y, Z y B dentro del espacio de trabajo.
- **Modo Automático:** Responde a las solicitudes de materia prima y almacena los productos terminados procedentes de un sistema FMS, supervisa que estanterías están vacías y cuales llenas; si las estanterías están llenas muestra un mensaje para indicar que su capacidad de almacenaje está al máximo. Este modo cuenta con una matriz de posiciones, una sección contiene productos terminados que pasaron el control de calidad y otra sección contiene los que no pasaron, además se muestra la materia prima disponible por el sistema.
- **Modo de ingreso/salida:** El usuario puede ingresar materia prima en la estación de despacho para que el sistema analice y categorice su forma y lo almacene en la sección de la estructura donde le corresponda; o el usuario puede hacer el ingreso sin reconocimiento y modificar directamente la base de datos.



Aplicación HMI



CAPÍTULO III

PRUEBAS E IMPLEMENTACIÓN



IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO

TABLERO ELÉCTRICO EXTERIOR



N°	Elemento
1	Luz piloto verde
2	Luz piloto roja
3	Selector principal
4	Paro de emergencia

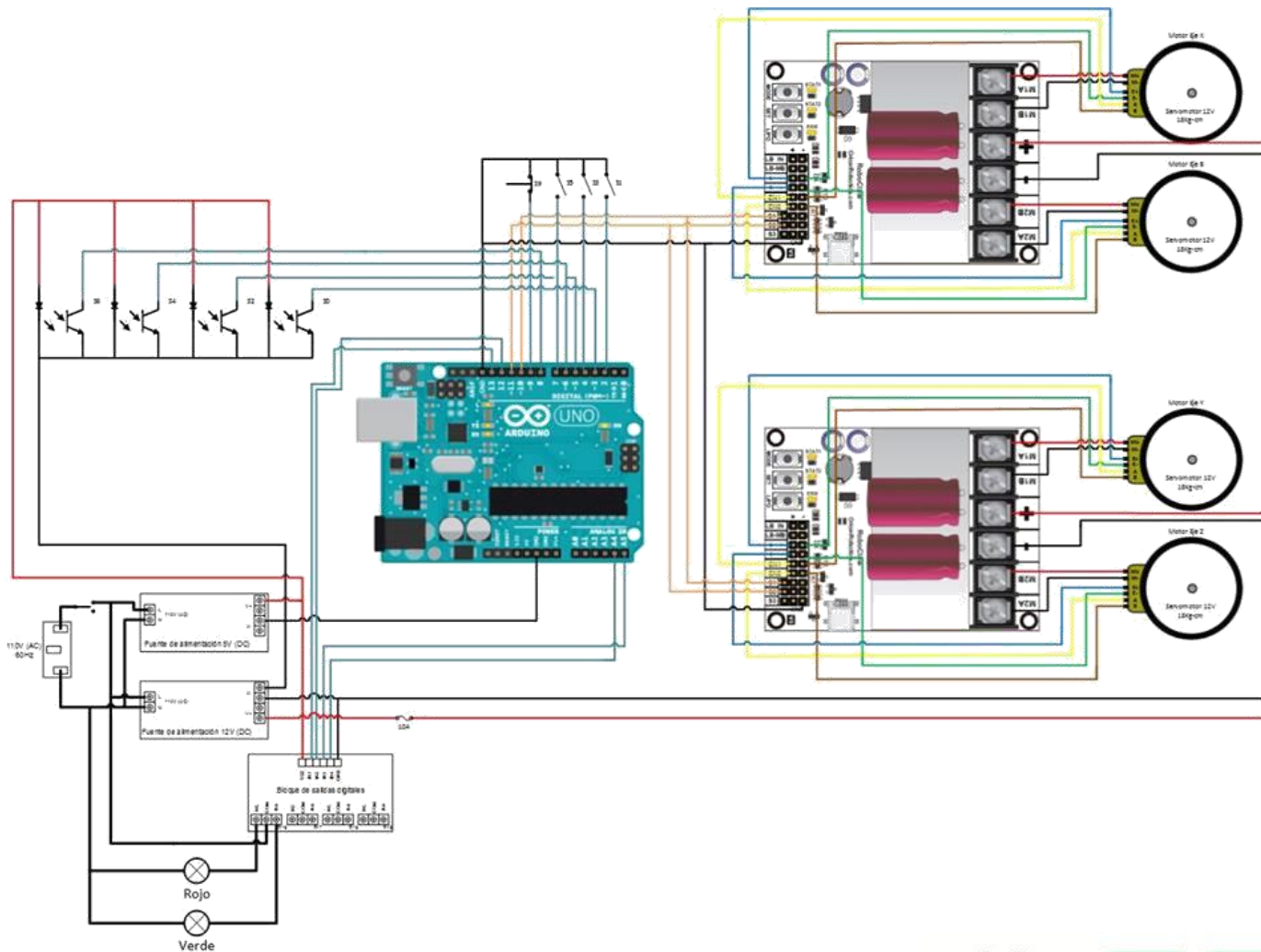
IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO

TABLERO ELÉCTRICO INTERIOR

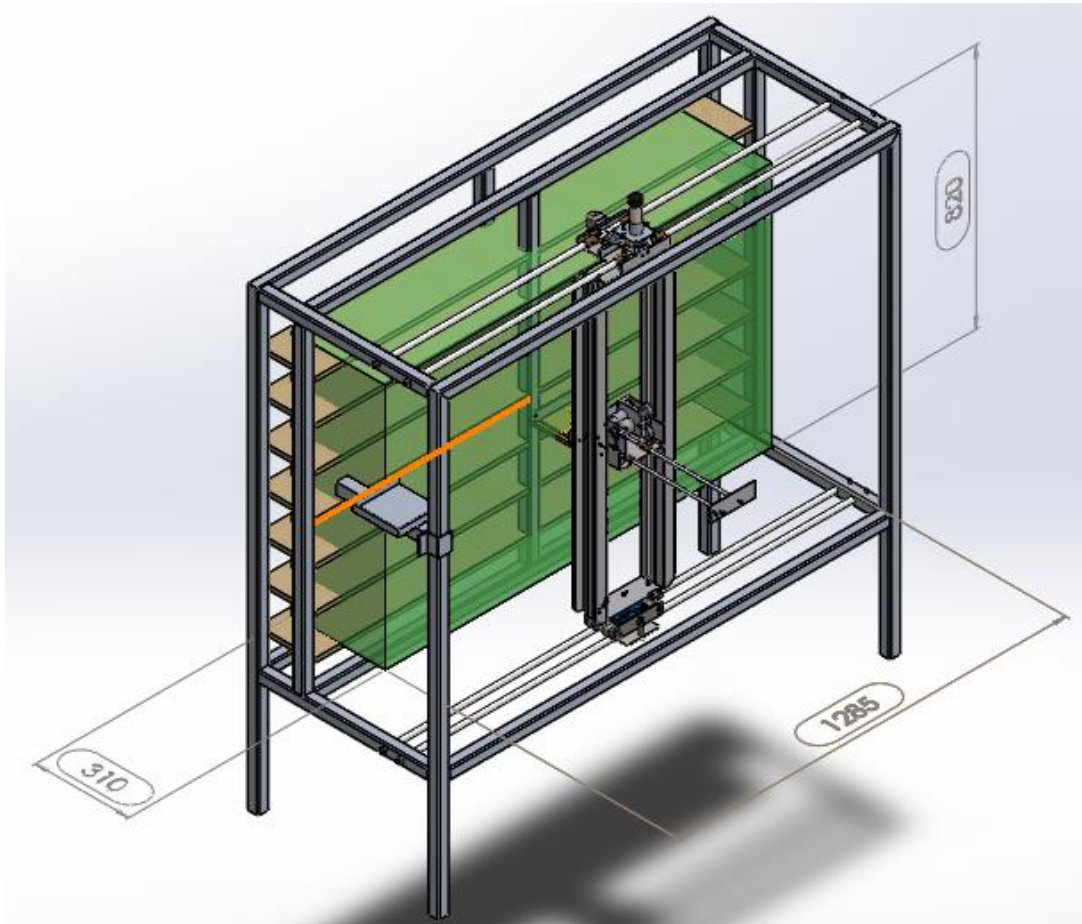


N°	Elemento
5	Controladores
6	Tarjeta principal
7	Módulo de salidas
8	Fuente 12V
9	Fuente 5V
10	Portafusibles

DIAGRAMA ELÉCTRICO



PRUEBAS DE LA MÁQUINA S/R



CONDICIONES DE ENSAYO

Carga: 26,48 N
Velocidad: 200 mm/s

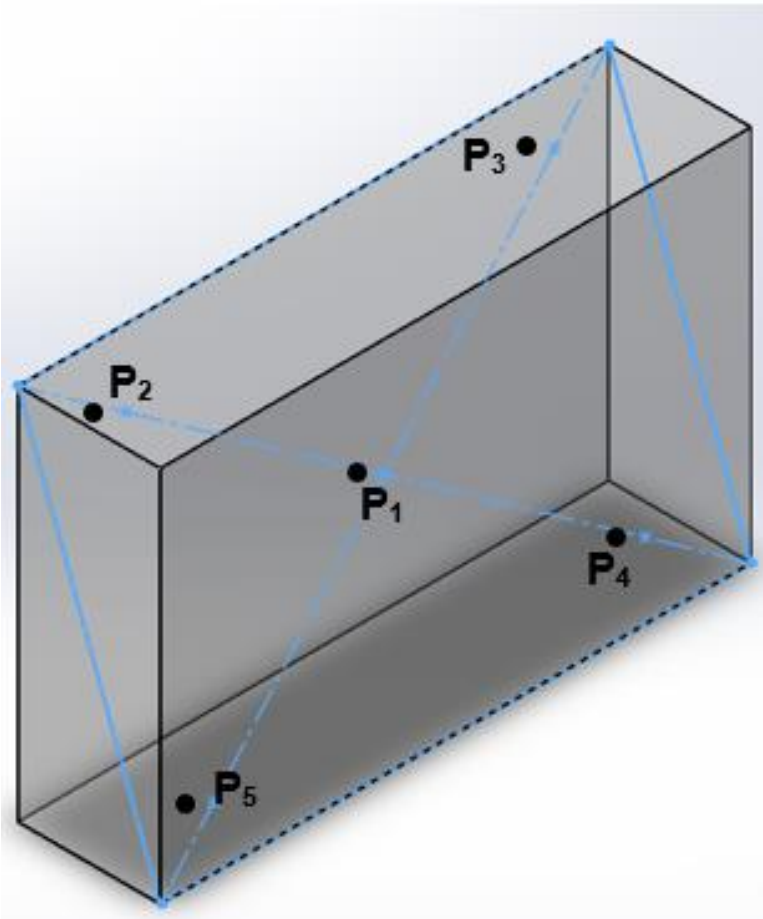
DIMENSIÓN DEL CUBO

X: 1285 mm
Y: 820 mm
Z: 310 mm



PRUEBAS DE LA MÁQUINA S/R

POSICIONES A COMPROBAR

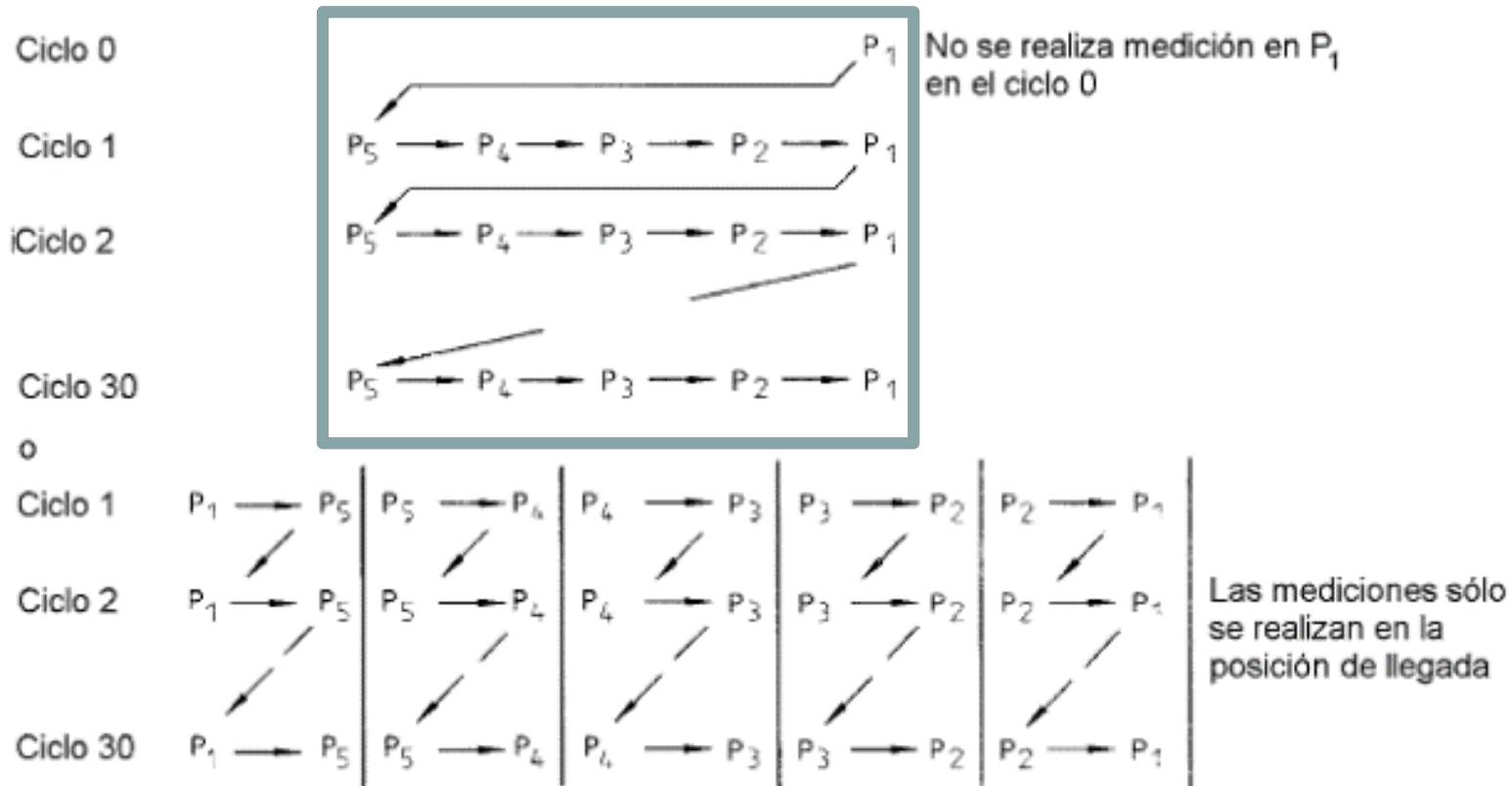


Punto	Coordenadas			
	X(mm)	Y(mm)	Z(mm)	B(°)
P ₁	642,5	410	83	90
P ₂	155,5	720,7	272,4	180
P ₃	1156,5	738	279	0
P ₄	1129,4	99,2	37,5	0
P ₅	128,5	82	31	180



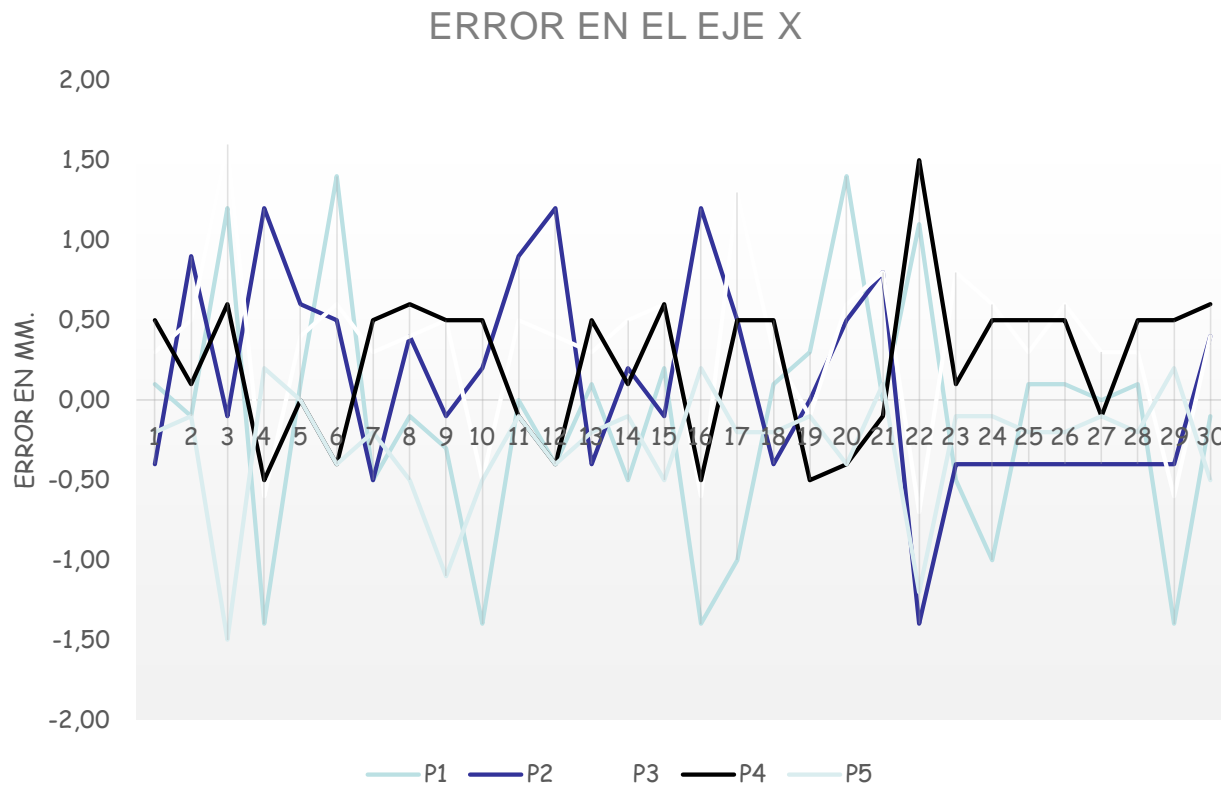
PRUEBAS DE LA MÁQUINA S/R

CICLO DE ENSAYO



ANÁLISIS DE RESULTADOS

ERROR EN POSICIONAMIENTO DEL EJE X



Error

Límite Superior: +1,5 mm

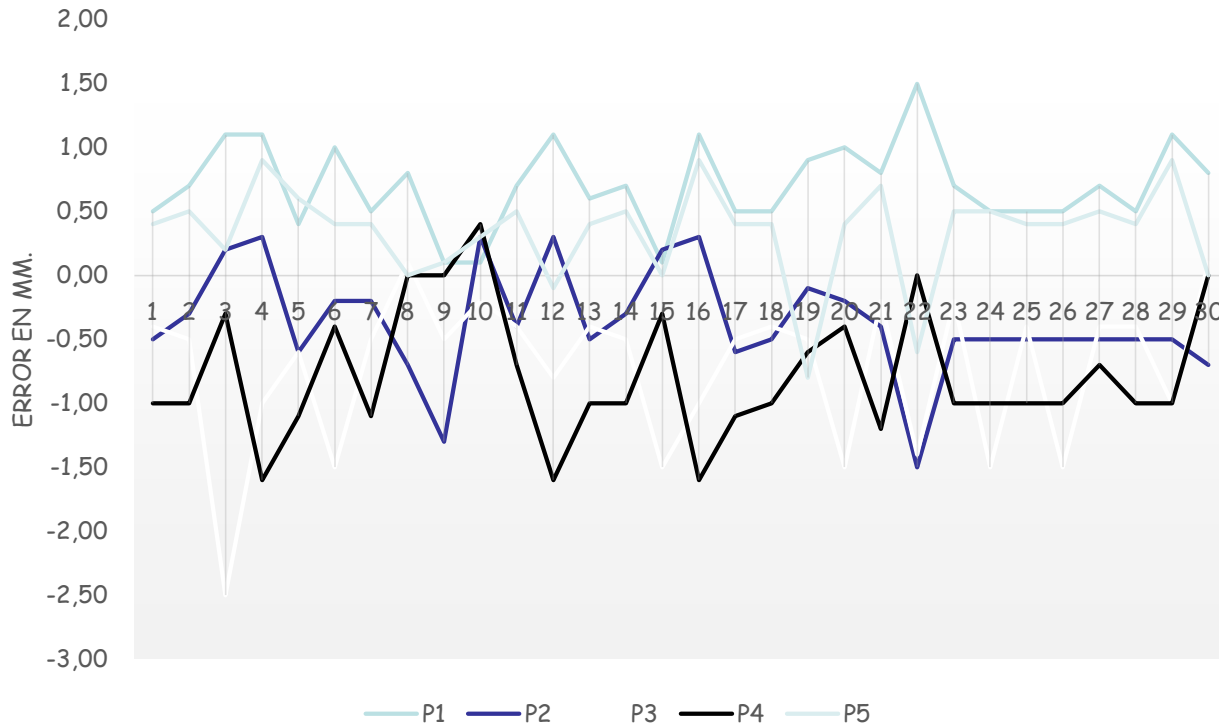
Límite Inferior: -1,4 mm



ANÁLISIS DE RESULTADOS

ERROR EN POSICIONAMIENTO DEL EJE Y

ERROR EN EL EJE Y



Error

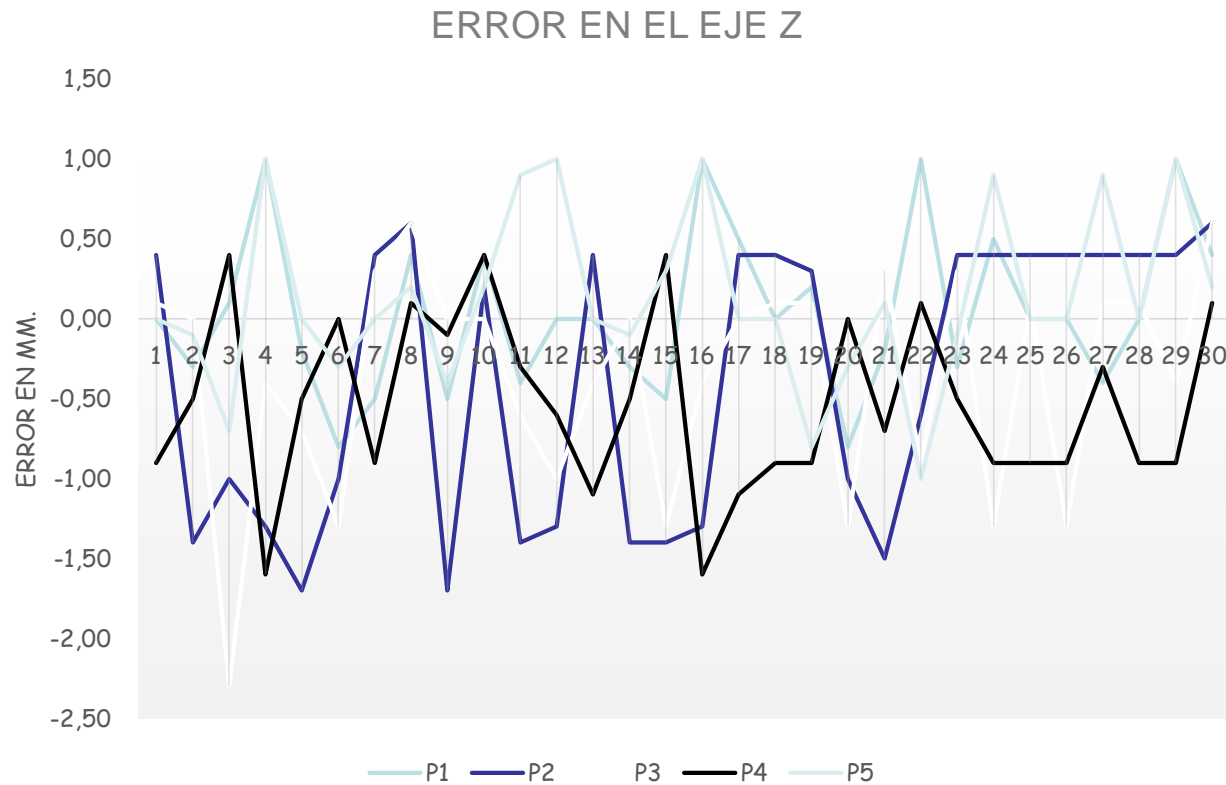
Límite Superior: +1,1 mm

Límite Inferior: -1,6 mm



ANÁLISIS DE RESULTADOS

ERROR EN POSICIONAMIENTO DEL EJE Z



Error

Límite Superior: +1,0 mm

Límite Inferior: -1,6 mm



ANÁLISIS DE RESULTADOS

EXACTITUD Y REPETIBILIDAD DE POSICIONAMIENTO

Posicionamiento (mm)					
Posición	Precisión				Repetibilidad
	APx	APy	APz	APp	
P1	-0,1267	0,7033	0,0433	0,7160	2,4558
P2	0,1100	-0,3633	-0,3833	0,5395	2,0054
P3	0,3367	-0,7333	-0,3633	0,8849	2,4121
P4	0,2400	-0,7767	-0,5333	0,9722	1,9889
P5	-0,2867	0,3367	0,1300	0,4609	1,9899
Promedio				0,7147	2,1704



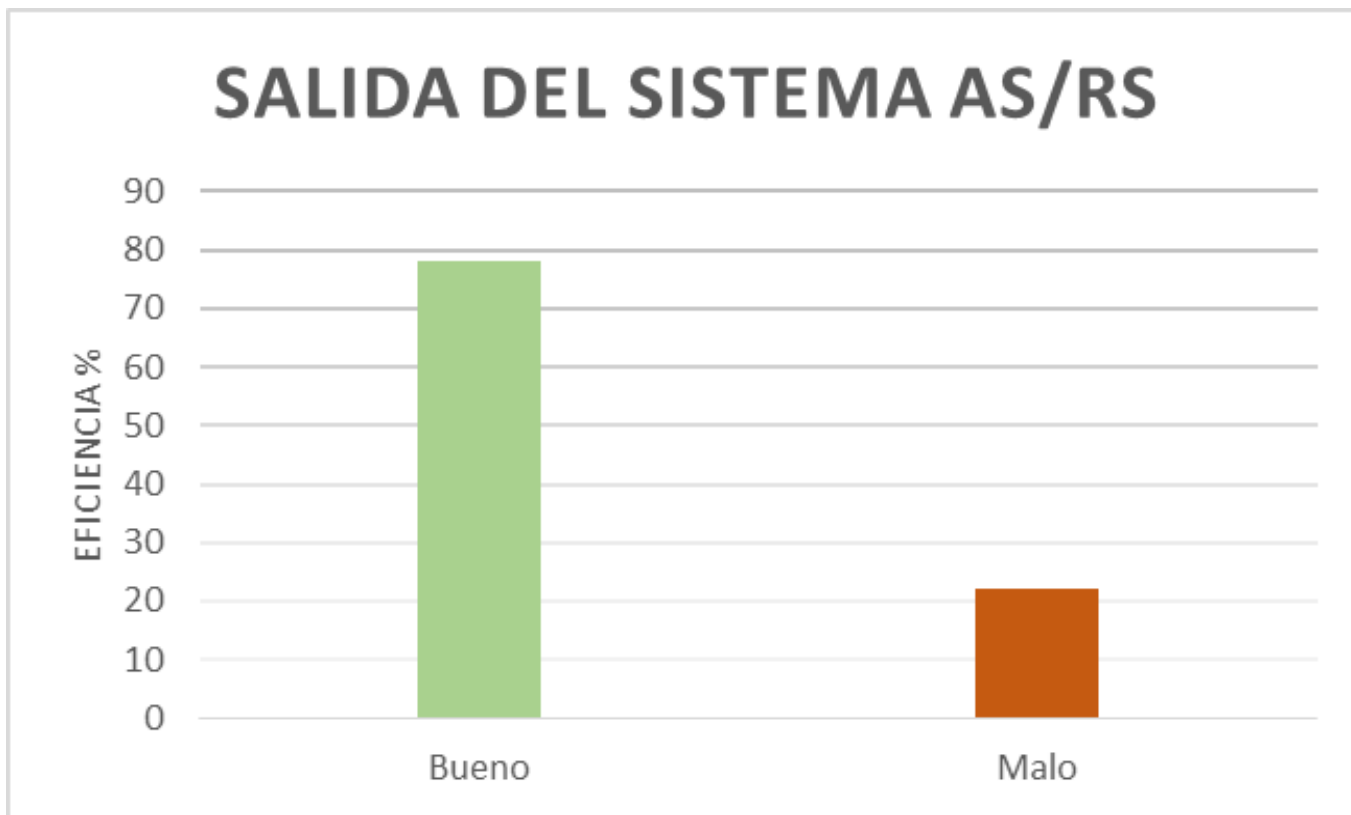
ANÁLISIS DE RESULTADOS

EXACTITUD Y REPETIBILIDAD EN ORIENTACIÓN

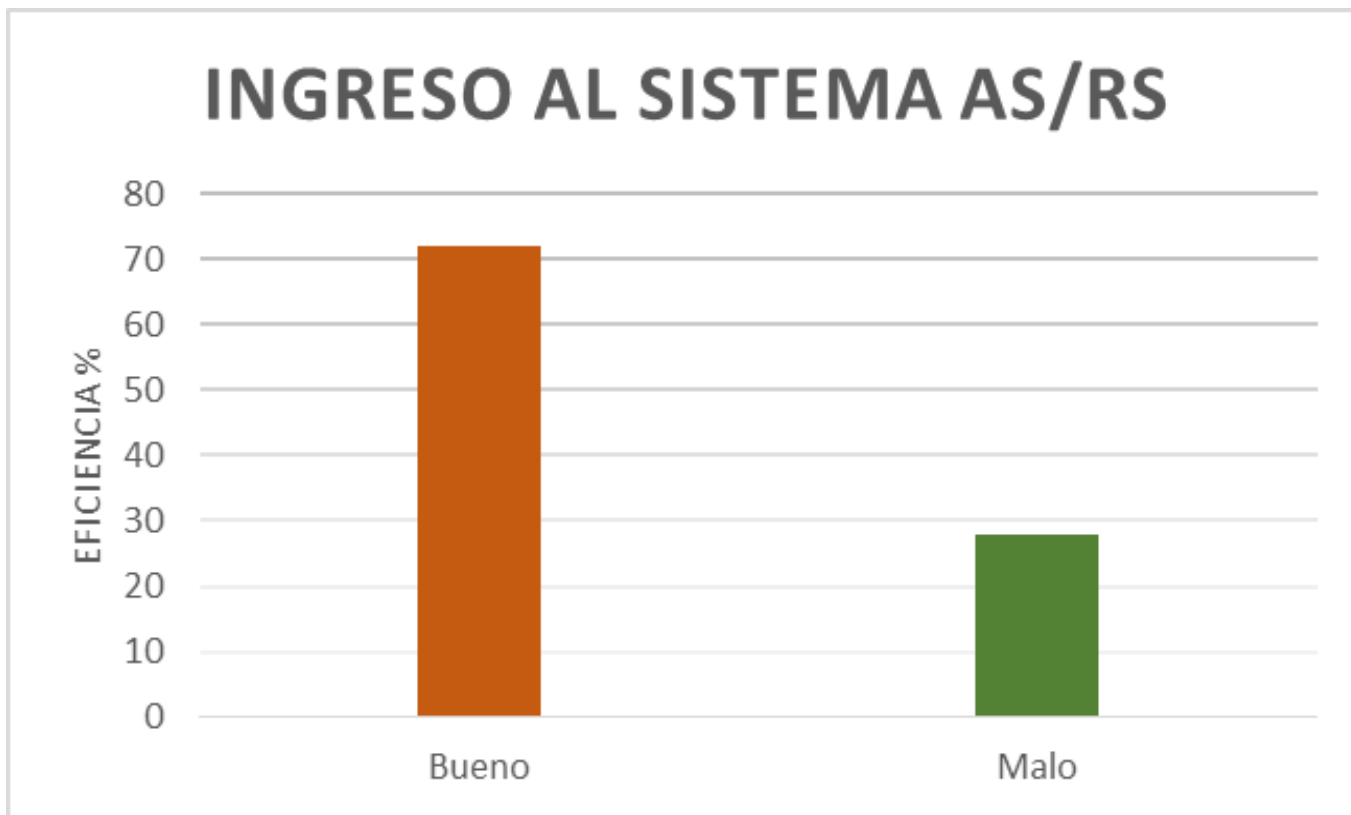
Orientación (°)		
Posición	Precisión	Repetibilidad
	Apb	RPb
P1	0,0833	1,2258
P2	-0,0133	1,6983
P3	-0,3133	1,4131
P4	-0,1033	0,6277
P5	0,2033	0,8502



EFICIENCIA DEL SISTEMA AS/RS



EFICIENCIA DEL SISTEMA AS/RS



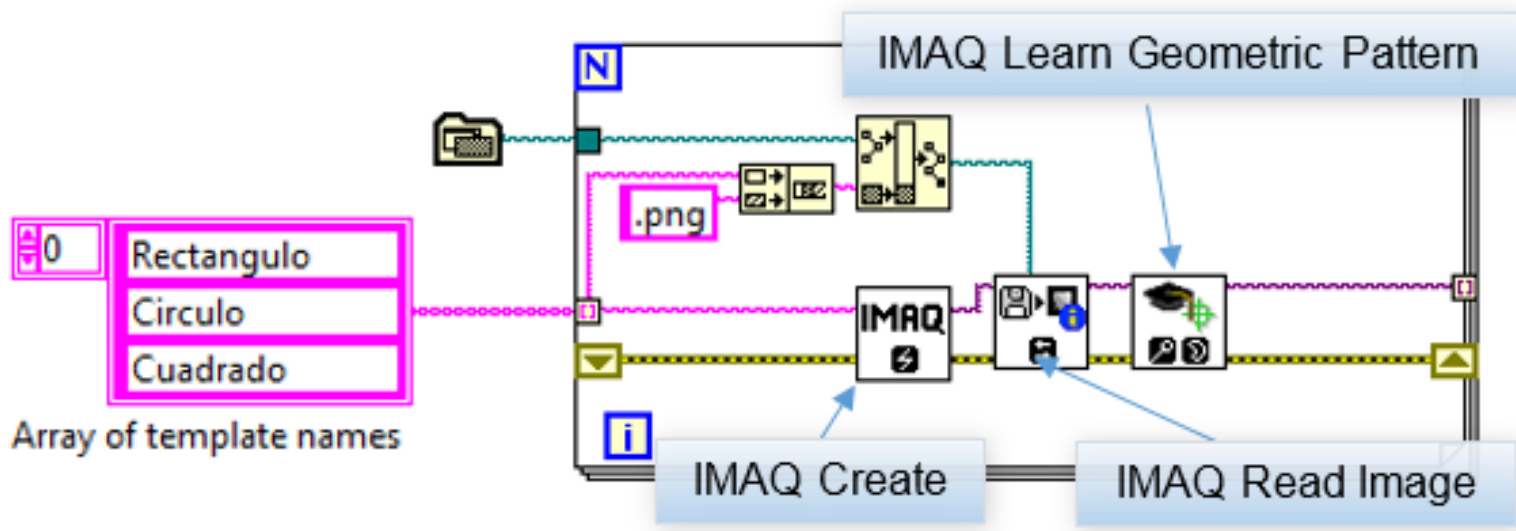
IMPLEMENTACIÓN DEL ALGORITMO DE CONTROL PARA EL RECONOCIMIENTO DE MATERIA PRIMA

El algoritmo de control implementado en el sistema AS/RS, se basa en reconocimiento de patrones, conseguido a través de la herramienta IMAQ de LabVIEW, misma que permite reconocer patrones correctamente ante diversos factores (ej. rotación, escalamiento, oclusión, número de ejemplares, etc.), satisfaciendo los requerimientos para el reconocimiento de perfiles de materia prima en el prototipo.



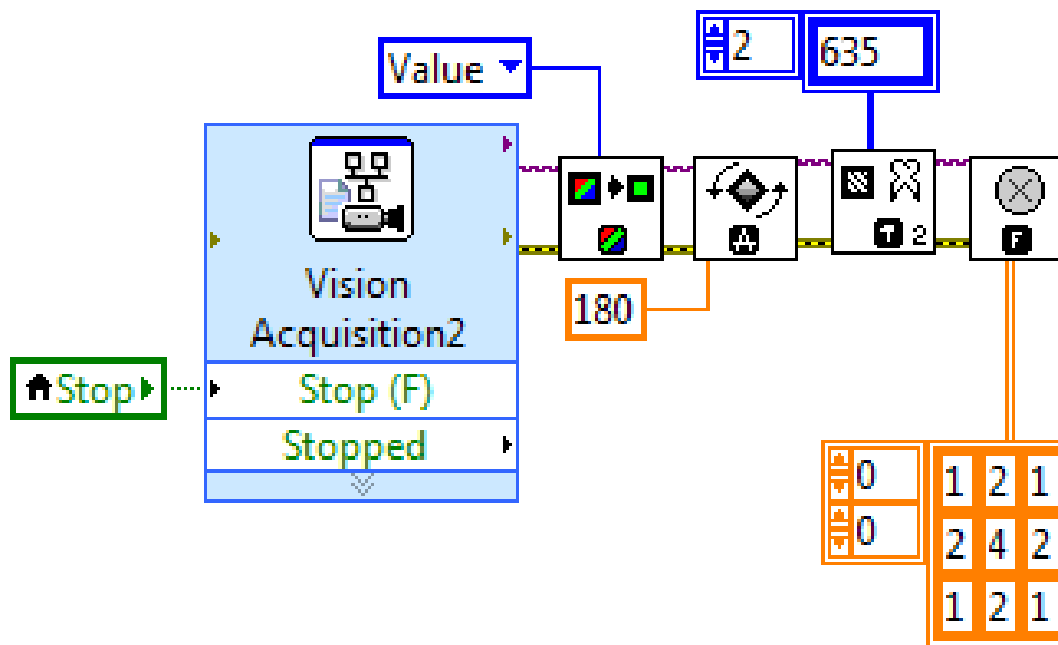
RECONOCIMIENTO DE MATERIA PRIMA

Carga de Patrones



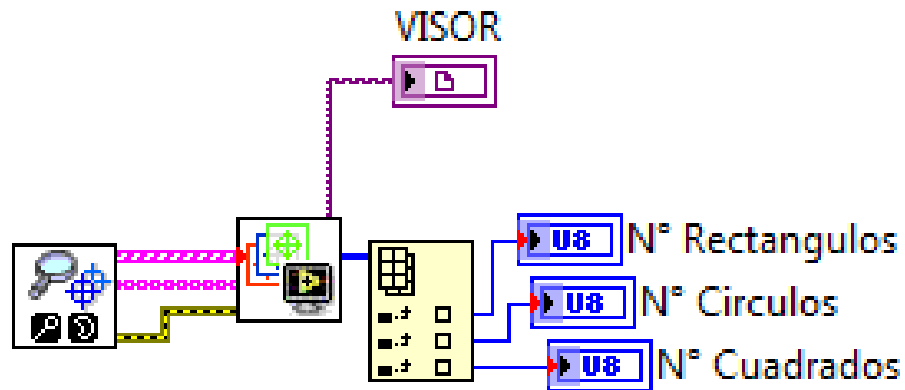
RECONOCIMIENTO DE MATERIA PRIMA

Adquisición y Acondicionamiento de Imagen

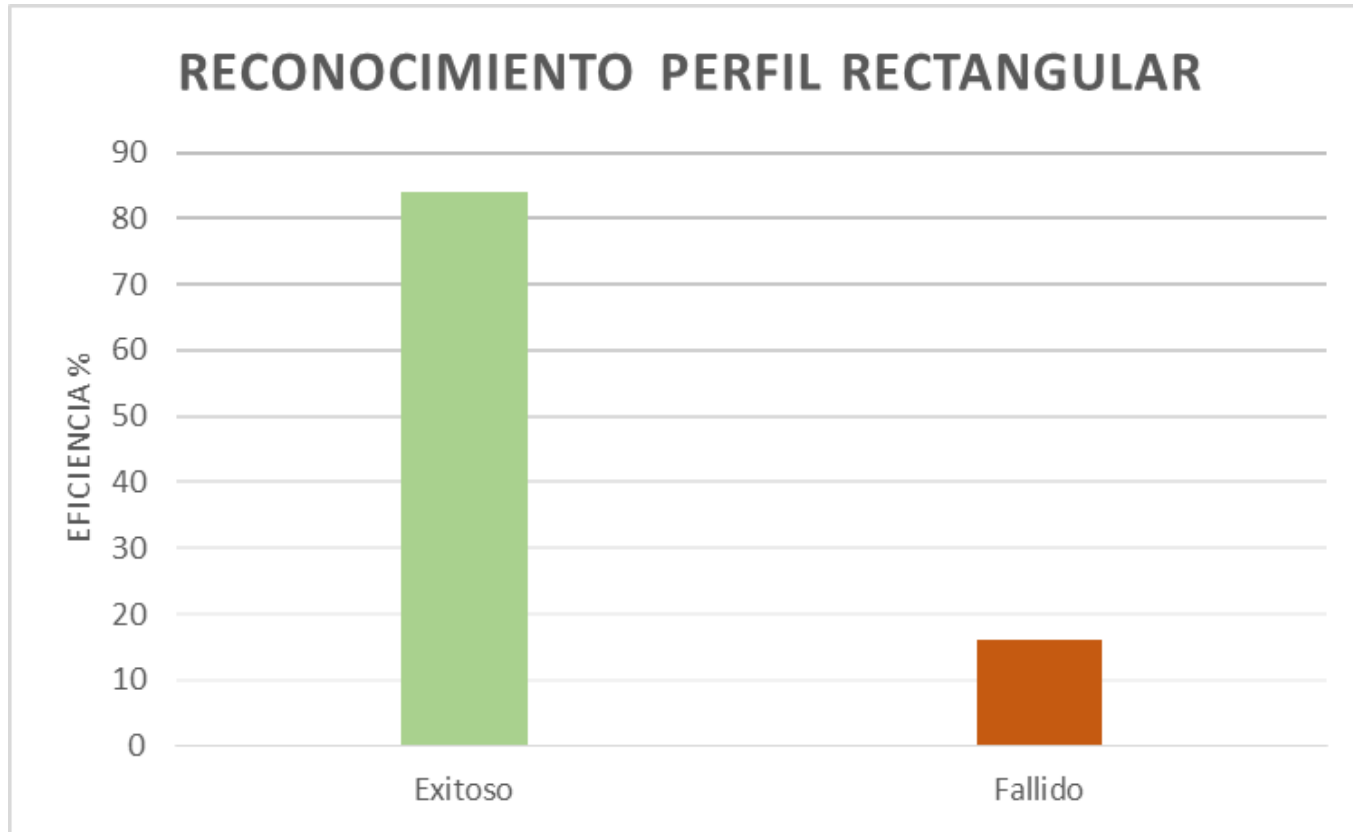


RECONOCIMIENTO DE MATERIA PRIMA

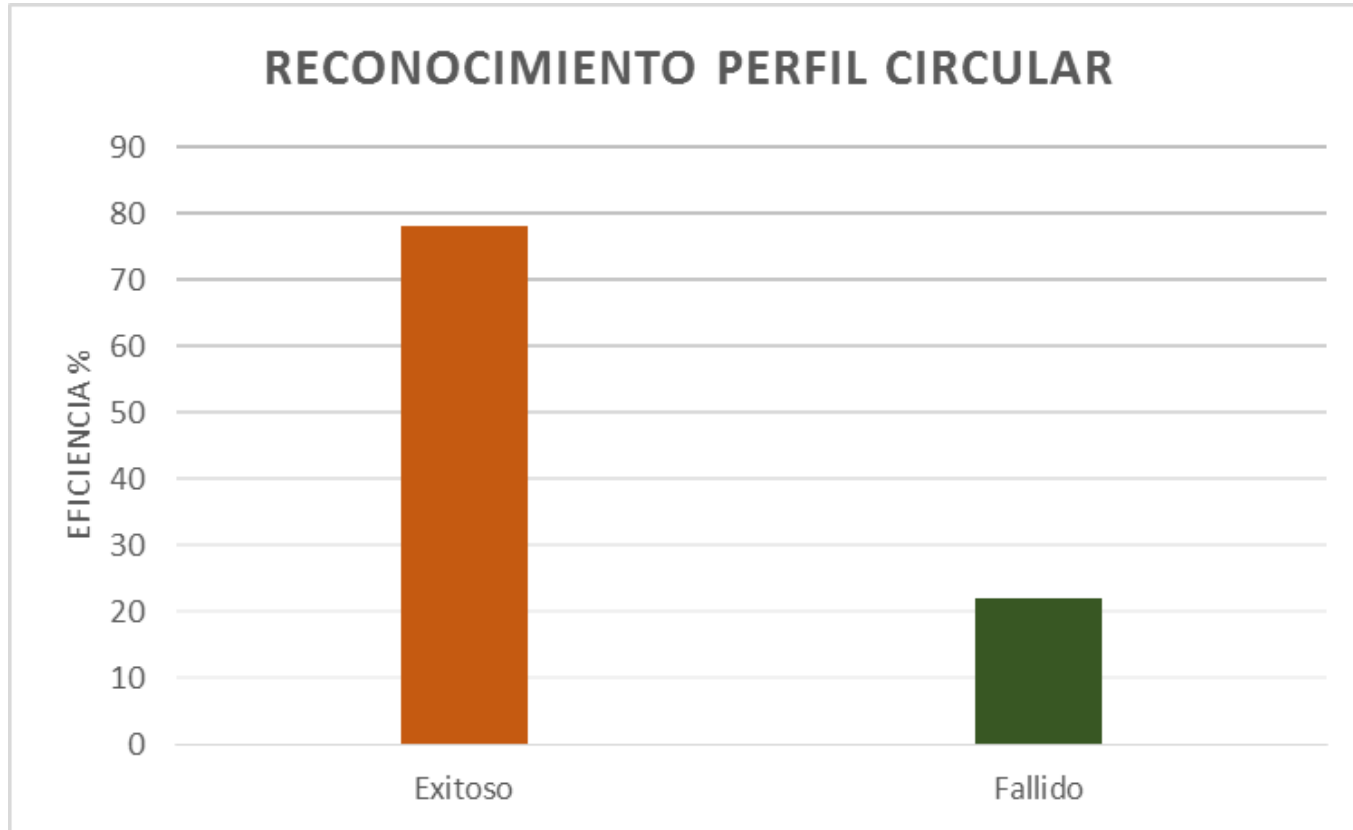
Búsqueda de patrones



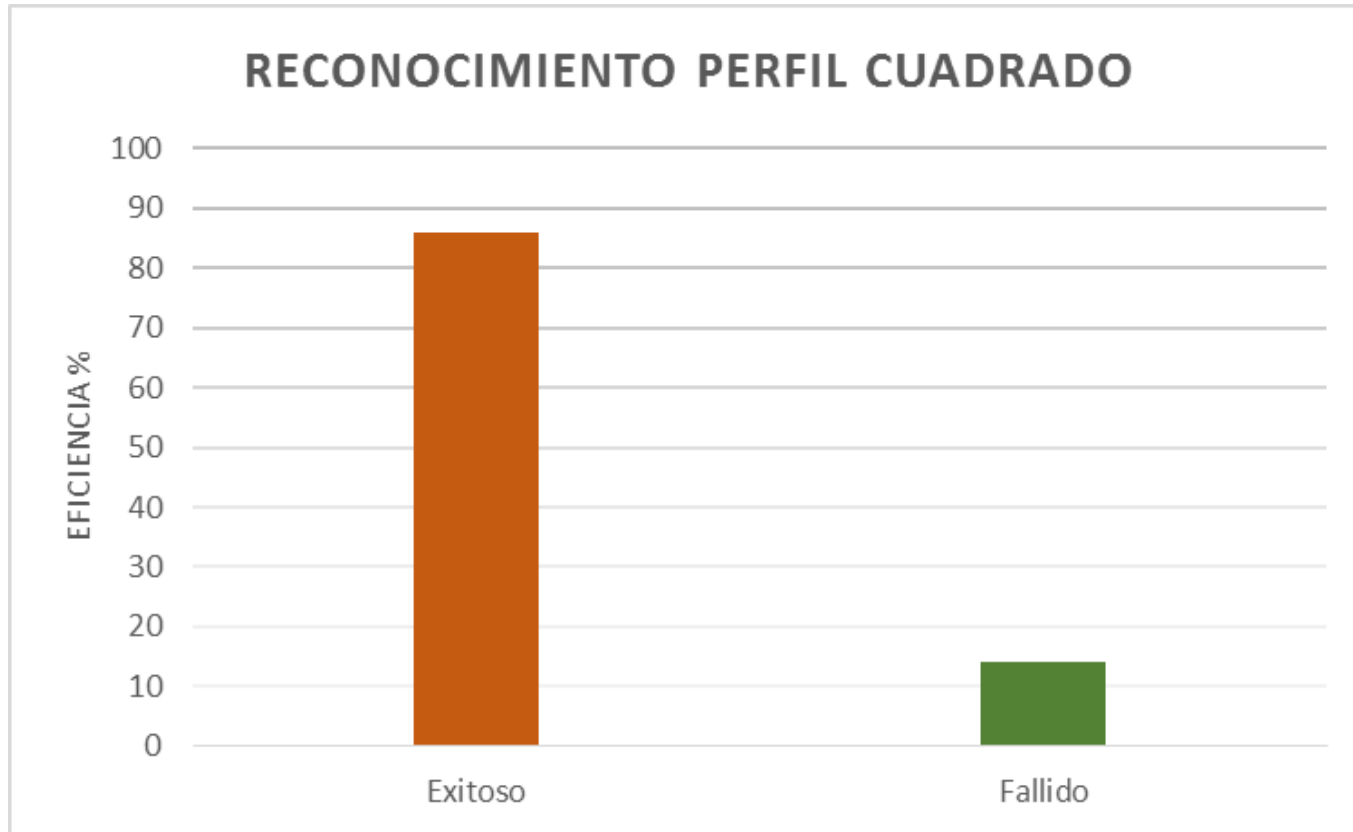
PRUEBAS DEL RECONOCIMIENTO



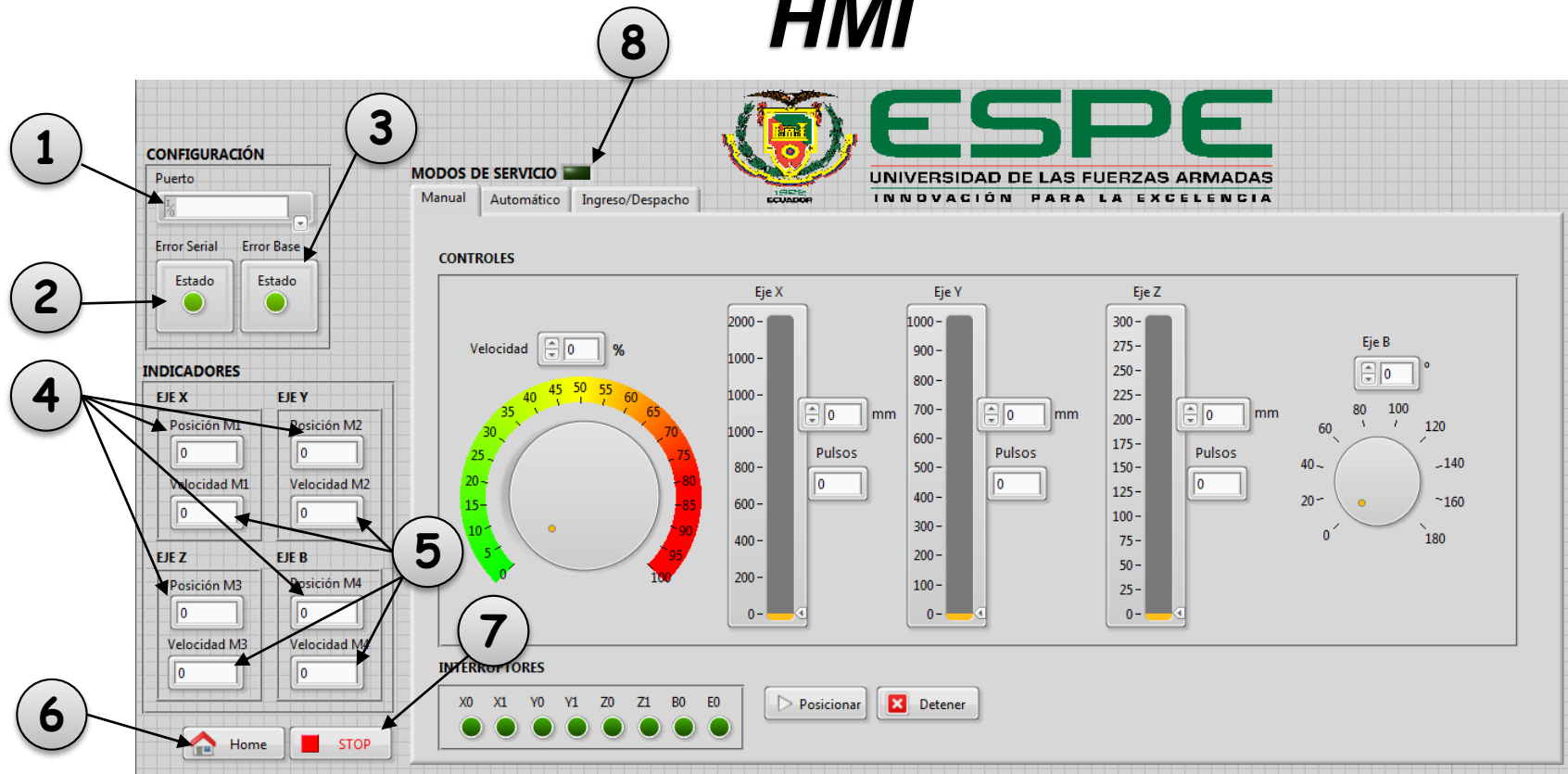
PRUEBAS DEL RECONOCIMIENTO



PRUEBAS DEL RECONOCIMIENTO



IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIÓN HMI

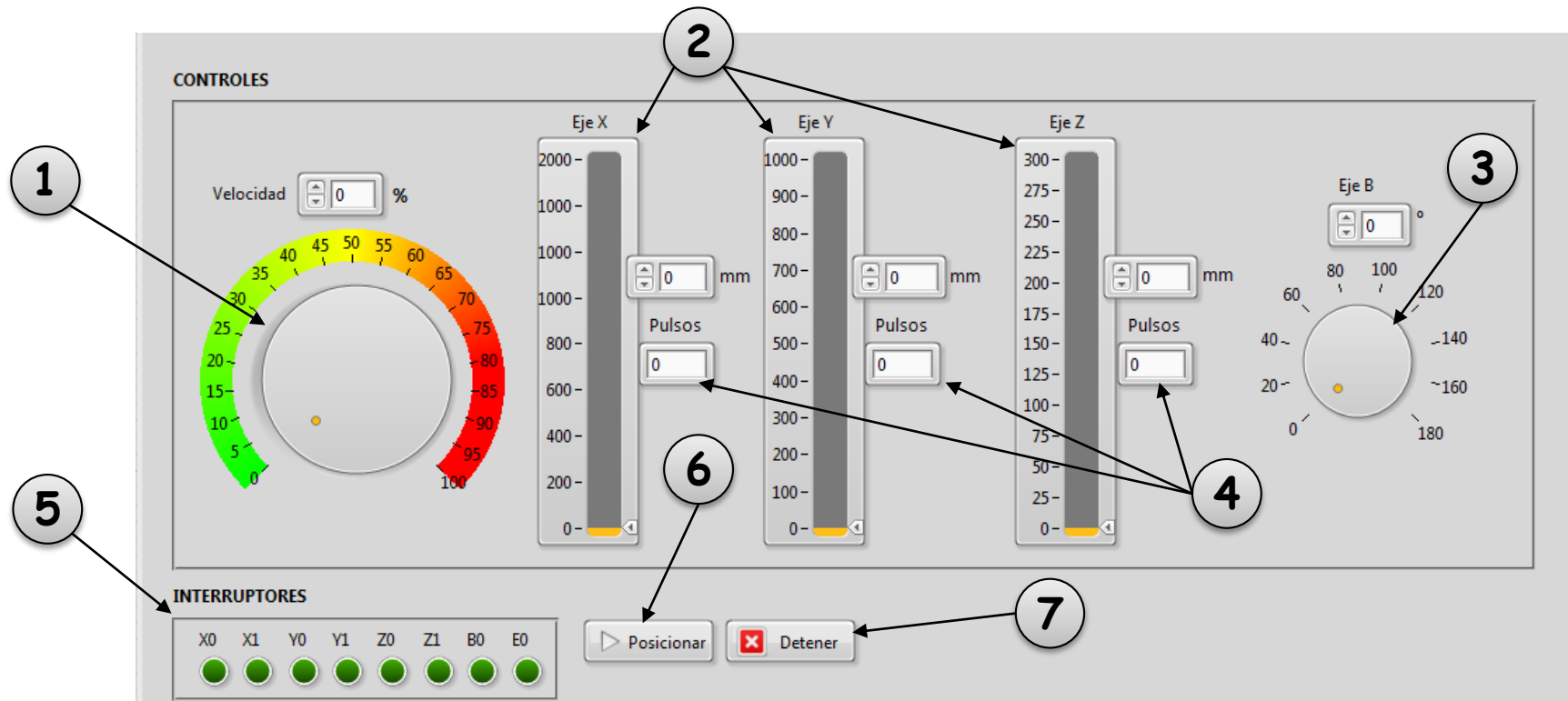


(1) Puerto Serial (2) Estado Serial (3) Estado Base (4) Indicador de Posición (5) Indicador de Velocidad (6) Botón Home (7) Botón de Paro (8) Modo de Servicio



IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIÓN

Modo Manual HMI



(1) Regulador de velocidad (2) Control de posición (3) Selector de Ángulo (4) Indicador de Pulsos (5) Interruptores (6) Botón Posicionar (7) Botón Detener



IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIÓN

Modo Automático

HMI

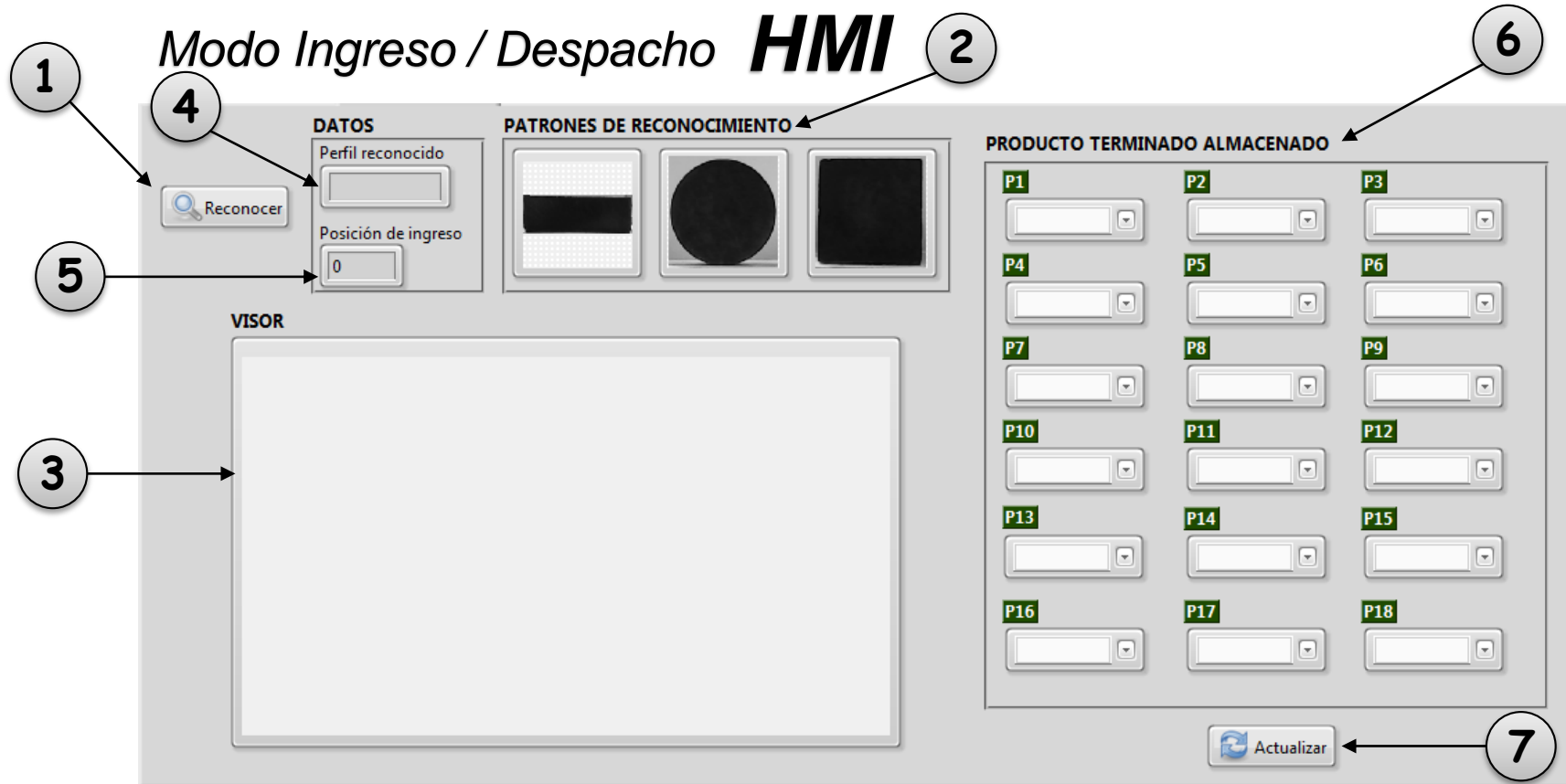
The screenshot shows an HMI interface for 'Modo Automático'. It is divided into three main sections: 'PARAMETROS', 'MATERIA PRIMA', and 'PRODUCTO TERMINADO'.
1. 'PARAMETROS' section includes:
- 'Perfil' dropdown menu (1)
- 'Material' dropdown menu (2)
- 'PIEZAS A MECANIZAR' numeric input field (3)
- 'PIEZAS RESTANTES' numeric input field (4)
- 'Iniciar' button (7)
- 'Detener' button (8)
- 'Actualizar' button (9)
- 'ALMACEN LLENO' indicator light (10)
2. 'MATERIA PRIMA' section is a 6x3 grid of dropdown menus labeled M1 through M18. Callout 5 points to the M5 dropdown.
3. 'PRODUCTO TERMINADO' section is divided into 'BUENAS' (9 dropdowns P1-P9) and 'MALAS' (9 dropdowns P10-P18). Callout 6 points to the P3 dropdown.

- (1) Perfil de despacho (2) Material de despacho
(3) Piezas a mecanizar (4) Piezas restantes (5) Estado de materia prima
(6) Estado de producto terminado (7) Botón iniciar (8) Botón detener
(9) Botón actualizar (10) Almacén lleno



IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIÓN

Modo Ingreso / Despacho **HMI**



(1) Botón reconocer (2) Patrones de reconocimiento (3) Visor

(4) Perfil reconocido (5) Posición reconocido (6) Estado de producto terminado

(7) Botón Actualizar



ANÁLISIS TÉCNICO - ECONÓMICO

Item	Descripción	Cant.	P. Unit. \$	P.Total \$
1	Ejes de transmisión de ¾ “	4	20,00	80,00
2	Ejes de transmisión de ½”	4	18,00	72,00
3	Lámina de aluminio 6061 T6, espesor 5mm.	1	60,00	60,00
4	Lámina de aluminio 6061 T6, espesor 8mm.	1	80,00	80,00
5	Ejes de bronce fosfórico SAE 40 de 1”.	1	60,00	60,00
6	Ejes de bronce fosfórico SAE 40 de ¾”.	1	40,00	40,00
7	Eje de duralon de 2”.	1	100,00	100,00
8	Tubo cuadrado de aluminio de 1 ½”.	4	25,00	100,00
9	Perfiles de aluminio de ½” x 1”.	4	20,00	80,00
10	Perfil de aluminio de ½” x ½”.	4	25,00	100,00
11	Poleas sincrónicas T5.	4	50,00	200,00
12	Banda sincrónica T5.	1	140,00	140,00
13	Pernos y otros.	1	100,00	100,00



ANÁLISIS TÉCNICO - ECONÓMICO

Item	Descripción	Cant.	P. Unit. \$	P.Total \$
14	Placa Electrónica Arduino Uno R3.	1	40,00	40,00
15	Tarjeta de Relés 5 Vdc.	1	30,00	40,00
16	Controladores para motores DC con retroalimentación RoboCLAW de 15 A.	2	200,00	400,00
17	Motores DC con enconder de 8400 ppr.	3	80,00	240,00
18	Motor DC con enconder de 700 ppr.	1	100,00	100,00
19	Fuente electrónica de 12V a 30 A.	1	80,00	80,00
20	Fuente electrónica de 5V a 5 A.	1	50,00	50,00
21	Cámara digital.	1	20,00	20,00
22	Sensores Ópticos.	4	15,00	60,00
23	Resistencias.	10	0,10	1,00
24	Capacitores Electrolíticos 2200uF a 25V.	2	0,50	1,00



ANÁLISIS TÉCNICO - ECONÓMICO

Item	Descripción	Cant.	P. Unit. \$	P.Total \$
25	Luces piloto.	2	3,00	6,00
26	Selectores.	2	10,00	20,00
27	Rollo cable flexible AWG 24	10	20,00	200,00
28	Porta fusibles para riel DIN.	1	10,00	10,00
29	Paquete terminales Crimp.	1	40,00	40,00
30	Paquete terminales espiga AWG 20.	1	20,00	20,00
31	Riel DIN.	1	10,00	10,00
32	Borneras para riel DIN.	40	1,00	40,00
33	Canaleta ranurada.	1	15,00	15,00
34	Canaleta.	1	10,00	10,00
35	Tablero Eléctrico.	1	40,00	40,00
36	Otros.	1	200,00	200,00
SUMATORIA				2855,00

SISTEMAS AS/RS
COMERCIALES ESTÁN A
UN COSTO DE \$50000

COSTO BENEFICIO
\$ 39.545,00



MANO DE OBRA \$ 7600,00



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS

¿La implementación del prototipo de sistema automatizado almacenamiento/recuperación (AS/RS) mediante procesamiento digital de imágenes, complementará el equipo tecnológico del sistema flexible de manufactura del laboratorio CNC de la ESPE Extensión Latacunga?

En base a los datos de eficiencia obtenidos en el análisis de resultados, se comprueba que el sistema automatizado de almacenamiento y recuperación, complementó satisfactoriamente el funcionamiento conjunto de las estaciones de trabajo del sistema flexible de manufactura, alcanzado un nivel de eficiencia aceptable.



CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



CONCLUSIONES

- *Se diseñó y construyó de manera exitosa un prototipo de sistema automatizado de almacenamiento/recuperación (AS/RS), cuya máquina S/R es un robot cartesiano de 4 ejes para el manejo de materia prima y producto terminado, la misma es controlada por un microcontrolador Atmega328 desde una aplicación HMI en Labview, dicho prototipo esta implementado en el laboratorio CNC de la ESPE Extensión Latacunga para intervenir en sistemas flexibles de manufactura.*
- *Los parámetros de diseño establecidos, permitieron desarrollar el prototipo de manera idónea, cumpliendo los requerimientos y expectativas, alcanzando de esta manera un sistema de automatizado de almacenamiento y recuperación con alta eficiencia.*
- *El diseño mecánico y electrónico, se realizó de manera secuencial, debido a los requerimientos que fueron previamente establecidos, sin embargo se realizaron ciertos ajustes durante el desarrollo en los parámetros para alcanzar un funcionamiento en toda su capacidad del sistema.*
- *Los materiales para la construcción del prototipo fueron seleccionados exitosamente en base a parámetros mecánicos, como resistencia a la fluencia, resistencia a la corrosión, durabilidad, peso y buena apariencia, establecidos durante el diseño.*



CONCLUSIONES

- *La construcción del sistema mecánico y electrónico, se desarrolló basado en el diseño previamente establecido, comprobando de manera exitosa los parámetros y el desarrolló durante la etapa de diseño.*
- *La aplicación HMI para el control del prototipo de AS/RS, permitió entablar una interfaz amigable con el usuario, misma que dispone de diferentes modos de operación, los cuales ayudan a entender y a mejorar la capacidad de manejo en estos sistemas.*
- *Las pruebas de funcionamiento del prototipo se realizaron de manera adecuada mediante la aplicación de normas ISO 9283, dedicada al análisis de robos de varios tipos. Por otro, lado las pruebas sobre el software se realizó con una muestra de la capacidad mensual de producción de la celda de manufactura centralizada en brazo robótico implementada en el Laboratorio de robótica.*
- *El prototipo de sistema AS/RS fue implementado exitosamente en el laboratorio CNC de la Universidad de las Fuerzas Armadas Extensión Latacunga, permitiendo a los docentes y alumnos realizar aplicaciones de manufactura flexible a pequeña escala y consecuentemente mejorar el compendio de esta disciplina tecnológica.*



RECOMENDACIONES

- *En la etapa de diseño se sugiere realizar un diseño con cargas dinámicas con el objetivo de obtener un prototipo más robusto y con baja presencia de vibraciones.*
- *Para el presente proyecto se recomienda cambiar la unidad efectora final por un griper, para obtener mayor precisión en relación a la manipulación de objetos por medio de las horquillas de transporte implementadas.*
- *Luego de analizado las desventajas que presentan las unidades de almacenamiento, se aconseja utilizar clavijas para mejorar la sujeción de las piezas a las mismas, permitiendo mantener el posicionamiento durante su circulación por la celda de manufactura flexible.*
- *Debido al deslizamiento visto sobre las bandas transportadoras planas, se aconseja reemplazar dichas bandas por transportadores de tablillas, y así aseguran un transporte eficaz reduciendo errores en el almacenamiento de producto terminado.*
- *Después del deslizamiento visto sobre las bandas transportadoras planas, se recomienda reemplazar dichas bandas por transportadores de tablillas, y así aseguran un transporte eficaz reduciendo errores en el almacenamiento de producto terminado.*



***GRACIAS POR SU
ATENCIÓN***



ESPE
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA