

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO EN MECATRÓNICA

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN ROBOT CARTESIANO DE
ALMACENAMIENTO "STORAGE" PARA EL LABORATORIO DE
ROBÓTICA INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS
ARMADAS "ESPE"**

AUTORES: CHACHA PASTÁS RODNEY KEVIN
CISNEROS CASTRO CHRISTIAN PAÚL

DIRECTOR: ING. CORTEZ PAZMIÑO BYRON HERNÁN

24-08-2023





Antecedentes

Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

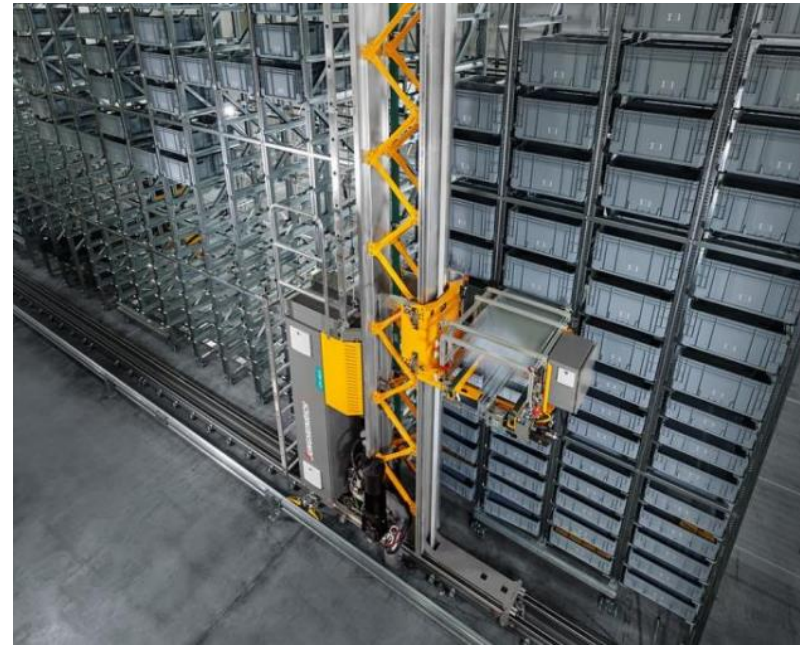
Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



Sistema convencional de almacenamiento



Transelevador



Justificación e Importancia

Antecedentes y Justificación

Soluciones de Industria 4.0 aplicada a la gestión de almacenamiento en fabricas inteligentes.

Investigación previa

Control de sistemas robóticos mediante aplicaciones en red con control remoto.

Diseño y construcción

Optimización de sistemas de almacenamiento convencional.

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Desarrollo de prototipos que apliquen tecnologías de Producción Avanzada como la Robótica y el IdC.

Recomendaciones

Trabajos futuros



Antecedentes y
Justificación

Investigación
previa

Diseño y
construcción

Pruebas y
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Objetivos

GENERAL

- Diseñar e implementar un robot cartesiano de almacenamiento Storage para el laboratorio de Robótica Industrial de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE".

ESPECÍFICOS

- Realizar el diseño mecánico del robot cartesiano STORAGE de tres grados de libertad mediante software de desarrollo CAD para conceptualizar el modelo computacional del robot.
- Implementar el robot STORAGE mediante técnicas de manufactura y conformado metálico para obtener un modelo físico funcional del sistema.
- Dimensionar y seleccionar de aparatos de control y maniobra para la protección y acondicionamiento de los actuadores del robot cartesiano.
- Desarrollar una estructura de control mediante la aplicación de programación en PLC y desarrollo de una interfaz HMI para el control y operación del robot de almacenamiento.
- Implementar un bloque de comunicación mediante el uso de la arquitectura cliente/servidor OPC para permitir el envío y recepción de datos.



Trabajos preliminares

Antecedentes y Justificación

Investigación previa

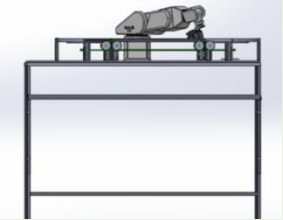
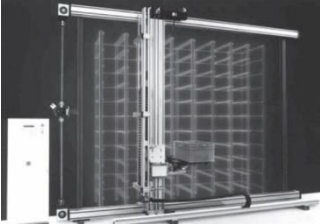

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Título	Descripción	Aporte	Ilustración
Implementación de una estación de almacenamiento con robot industrial	<p>De acuerdo con (Ruiz & Salao, 2016), el robot cuenta con un sistema de transmisión de movimiento cadena-catalina.</p> <p>Manipulador industrial de 6 GDL operado de forma manual o automática.</p> <p>Control mediante PLC con detección de objetos a través de sensores inductivos.</p>	<ul style="list-style-type: none">Control del robot mediante PLC.Detección de objetos con sensores inductivos.Modo de operación manual y automático.	
Robot cartesiano integrado a una celda de almacenamiento	<p>El artículo científico desarrollado por (Carvajal, 2009), describe un robot cartesiano con un sistema de visión artificial 3D para identificar y clasificar piezas.</p> <p>Tiene una cinta transportadora y una matriz de almacenamiento.</p> <p>La transmisión de movimiento se realiza mediante una correa dentada acoplada con un motor paso a paso.</p>	<ul style="list-style-type: none">Sistema de transmisión de movimiento empleando correas dentadas con motores a pasos.Integración de una matriz de almacenamiento de objetos.	
Sistema de almacenamiento y recuperación automática de productos	<p>Según (Cruz, 2008), el robot consta de 4 GDL con tres juntas prismáticas y una rotacional alrededor del eje Z.</p> <p>La transmisión de movimiento emplea motores a pasos, con un mecanismo de piñón-cremallera.</p> <p>Control mediante PIC y una pantalla HMI en una estación PC.</p> <p>Se designa el movimiento mediante una matriz de filas y columnas.</p>	<ul style="list-style-type: none">Juntas prismáticas para movimiento cartesiano del robot.Uso de motores a pasos para movimiento de mecanismos.Interfaz de usuario (HMI) empleada mediante la designación de posiciones en una matriz.	



Antecedentes y
Justificación

Investigación
previa

Diseño y
construcción

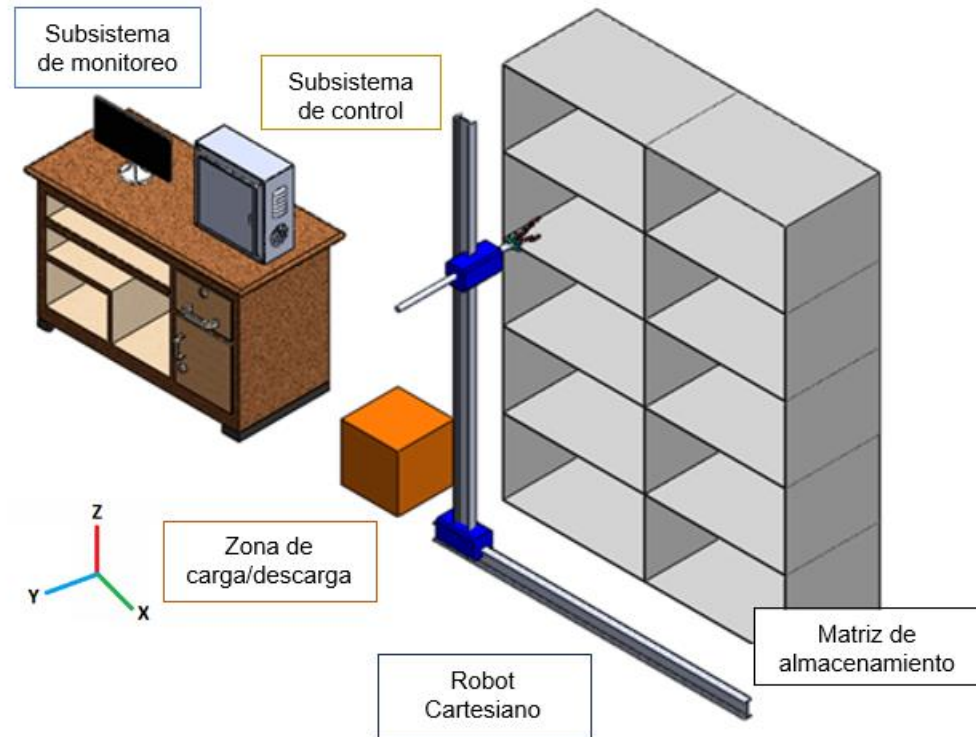
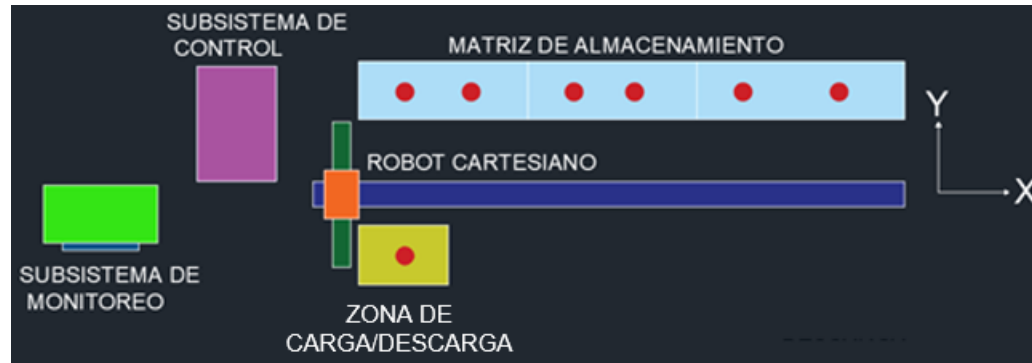
Pruebas y
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Subsistemas





Metodología

Definición de requerimientos del proyecto

Ord.	Calidad requerida	¿Cómo?
1	Diseño del sistema control sencillo	Desarrollo de interfaz de usuario.
		Control mediante HMI intuitivo.
2	Lógica de control precisa	Uso de componentes de instrumentación para control.
		Implementación de lógica de programación estructurada.
3	Métodos de conservación y reparación de componentes sencillos	Empleo de elementos de fijación comerciales para ensamblaje.
		Aplicación de procesos de manufactura económicos para partes estructurales.
4	Diseño de interfaz de usuario ergonómica de acuerdo a la guía GEDIS	HMI organizada y estructurada.
		Uso de animaciones para HMI.
5	Diseño del robot con partes acoplables con fijación resistente	Diseño mecánico modular para ensamblaje de partes.
		Empleo de uniones empernadas para fijación.
6	Uso de materiales resistentes	Diseño estructural aplicando análisis FEM.
		Selección de material considerando factores de seguridad.
7	Diseño robusto del efector final	Efector final resistente para el transporte de carga.
		Implementación de mecanismo móvil para posicionamiento preciso.
8	Selección de componentes y materiales de precio económico	Materiales de fabricación económicos.
		Uso de componentes comerciales de fácil adquisición.
9	Espacios de almacenamiento accesibles para el robot	Espacio de trabajo adaptado al movimiento del robot.
10	Diseño de partes estructurales de fácil fabricación	Uso de componentes y elementos normalizados.
		Partes con geometrías sencillas.
11	Sistema de control del robot ergonómico y a distancia para seguridad del usuario	Implementación de sistema de control con acceso remoto.
		Diseño de la celda robótica para manipulación a distancia.

Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



Despliegue de la Función de Calidad (QFD)

Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

¿QUÉ?	¿CÓMO?	Estructura del robot cartesiano					Efector Final	Fabricación					Sistema de Control				Software					
		Importancia	Empleo de elementos de fijación comerciales para ensamble	Diseño mecánico modular para ensamble de partes	Empleo de uniones empasadas para fijación	Diseño estructural aplicando análisis FEM	Espacio de trabajo adaptado al movimiento del robot	Efector final resistente para el transporte de carga	Implementación de mecanismo móvil para posicionamiento preciso	Aplicación de procesos de manufactura económicos para partes estructurales	Selección de material considerando factores de seguridad	Materiales de fabricación económicos	Uso de componentes comerciales de fácil adquisición	Uso de componentes y elementos normalizados	Partes con geometrías sencillas	Desarrollo de interfaz de usuario	Control mediante HMI intuitivo	Uso de componentes de instrumentación para control	HMI organizada y estructurada	Implementación de sistema de control con acceso remoto	Implementación de lógica de programación estructurada	Uso de animaciones para HMI
Diseño del sistema control sencillo	7														0	0	3	0	3	1	3	1
Lógica de control precisa	9						0								1	1	0	1	1	0	1	1
Métodos de conservación y reparación de componentes sencillos	5	3	3	3	1	1	1		3	1	3	0	0	0								
Diseño de interfaz de usuario ergonómica de acuerdo a la guía GEDIS	7														3	0		0	1	3	3	1
Diseño del robot con partes acoplables con fijación resistente	7	0	0	0	0	1	1	1		0	3	3	3	1								
Uso de materiales resistentes	7	3	3	0	0	1	3	1	3	0	1	1	1	1								
Diseño robusto del efector final	9	1	1	3	0		0	3		0	1	1	3	1								
Selección de componentes y materiales de precio económico	5	0	3	0	1				0	0	0	0	0	3								
Espacios de almacenamiento accesibles para el robot	4					0		3						3								
Diseño de partes estructurales de fácil fabricación	5	3	0	0	0		3	0	3	1	3	3										
Sistema de control del robot ergonómico y a distancia para seguridad del usuario	7														0	3	3	3	0	1	3	0
Importancia		168	168	258	262	55	114	149	126	272	102	142	160	95	156	156	123	156	100	116	72	86
Importancia relativa (%)		5,53	5,53	8,50	8,63	1,81	3,75	4,91	4,15	8,96	3,36	4,68	5,27	3,13	5,14	5,14	4,05	5,14	3,29	3,82	2,37	2,83
Orden		4	4	3	2	18	12	7	9	1	13	8	5	15	6	6	10	6	14	11	17	16



Planificación del Proyecto

Antecedentes y
Justificación

Investigación
previa

Diseño y
construcción

Pruebas y
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

N°	Subsistema	Función	Hitos
1	Diseño del Robot Cartesiano	Posicionamiento y movimiento del robot. Diseño de componentes estructurales y efector final.	1, 2, 3, 4, 5, 6, 11, 12, 16, 18
2	Diseño de la estructura de la matriz de almacenamiento	Espacio de trabajo y bastidor para soporte del robot cartesiano.	1, 2, 3, 5, 6, 11, 12, 16, 18, 21
3	Diseño eléctrico y electrónico del robot	Selección de actuadores, drivers, fuente de alimentación para el funcionamiento de dispositivos eléctricos del robot.	6, 11
4	Control del robot	Selección de componentes de instrumentación y desarrollo por programación de la lógica de control del robot.	13, 14, 17, 20
5	Monitoreo del robot	Desarrollo de HMI para interacción con el robot y supervisión de posicionamiento.	7, 8, 9, 17, 19



Metodología

Especificaciones técnicas

N. de Métrica	N. de Necesidad	Métrica	Magnitud	Unidad
1	2, 4, 6, 21	Altura máxima del robot	<1,50	m
2	2, 4, 6, 21	Ancho máximo del robot	<1,50	m
3	3, 4, 5, 6, 18	Tiempo de ensamblaje	<30	min
4	10, 11	Cantidad de motores	4	
5	10, 13	Alimentación	24	Vdc
6	14, 17	Dispositivo de control	PLC	---
7	1, 2, 15	Carga máxima de transporte del robot	5	kg
8	1, 2	Carga máxima de almacenamiento	80	kg
9	1, 21	Cantidad máxima de objetos a almacenar en la matriz	16	---
10	7, 8, 9, 17, 19, 20	HMI	---	---
11	5, 6, 11, 12, 16, 18	Costo máximo	<1500	Dólares

Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



Subsistema 1: Diseño del Robot Cartesiano

Diseño Conceptual

Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

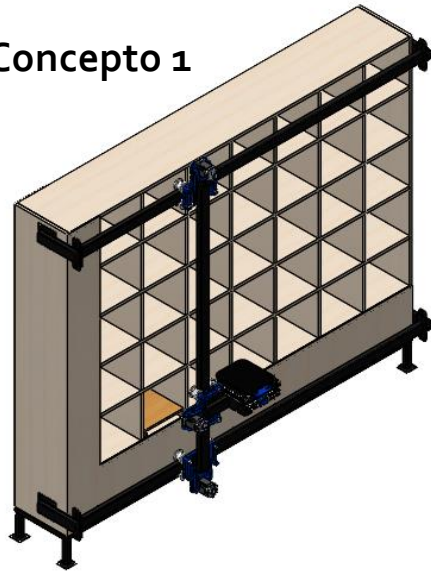
Conclusiones

Recomendaciones

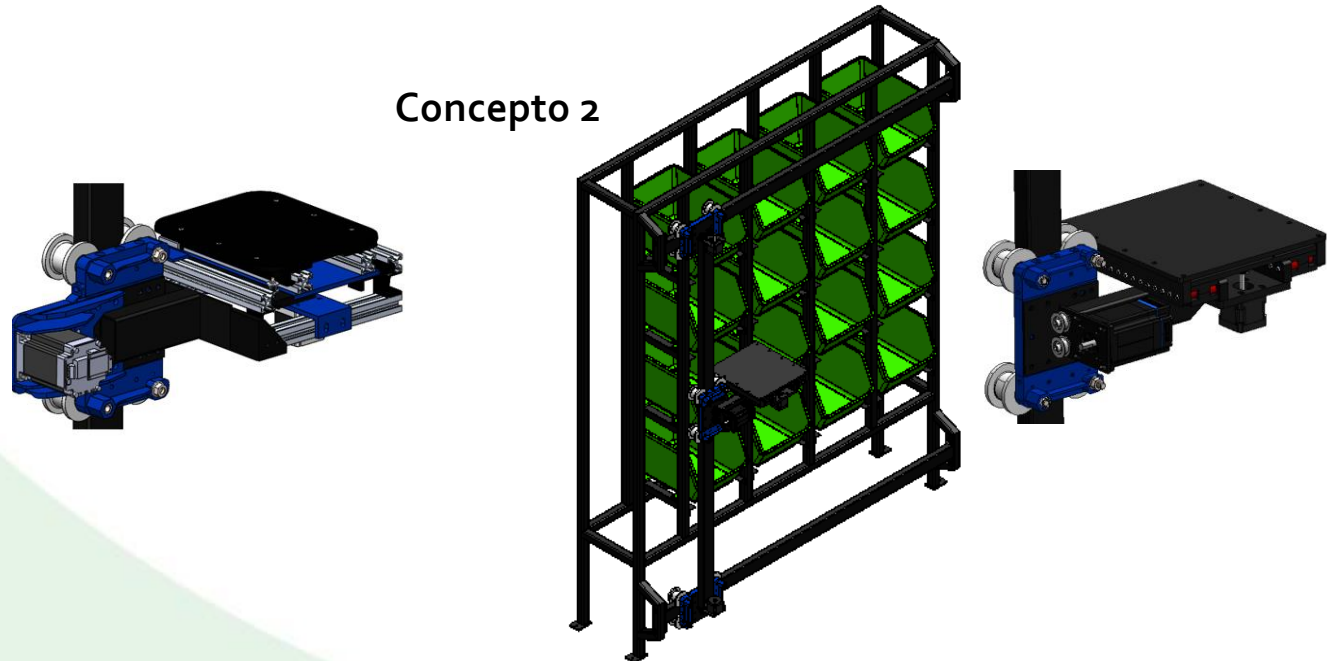
Trabajos futuros

Estructura del robot cartesiano	Sistema de transmisión de movimiento de los ejes del robot cartesiano	Tipo de efector final	Anclaje del robot de almacenamiento
<ul style="list-style-type: none">Estructura metálica de acero	<ul style="list-style-type: none">Transmisión por tornillo sin fin	<ul style="list-style-type: none">Plataforma móvil	<ul style="list-style-type: none">Juntas soldadas
<ul style="list-style-type: none">Estructura ensamblable de aluminio	<ul style="list-style-type: none">Transmisión por piñón cremalleraTransmisión por correas dentadas y poleas	<ul style="list-style-type: none">Pinza o gripper	<ul style="list-style-type: none">Juntas empernadas

Concepto 1



Concepto 2





Subsistema 1: Diseño del Robot Cartesiano

Modelo Matemático

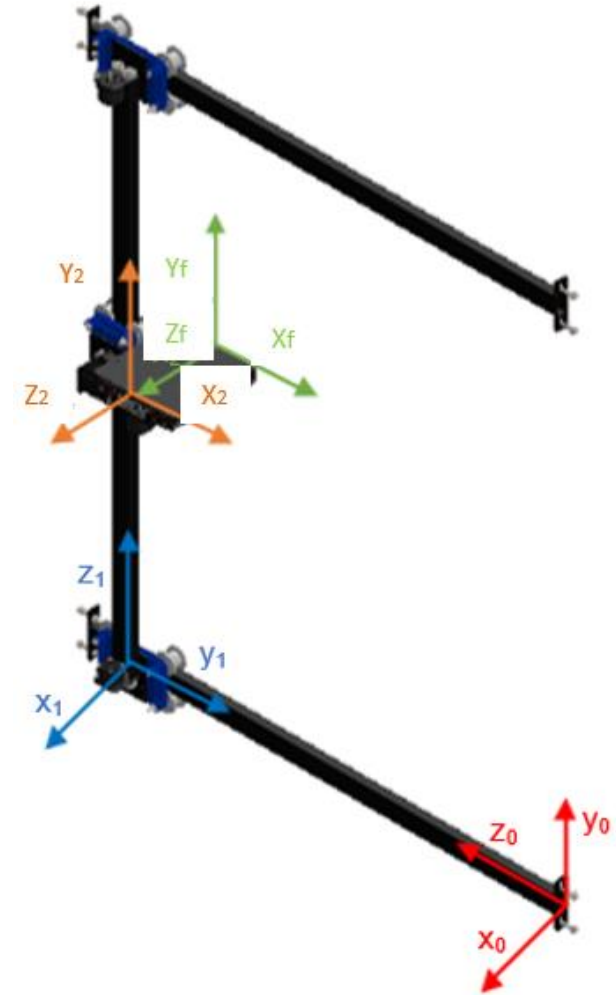
Eslabón i	θ_i	d_i	a_i	α_i
1	0°	d_1	0	-90°
2	90°	d_2	0	90°
3	0°	d_3	0	0°

Matriz de transformación Homogénea

$${}^0H_3 = {}^0H_1 \cdot {}^1H_2 \cdot {}^2H_3$$

$${}^0H_3 = {}^0H_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^0H_3 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & d_3 \\ 1 & 0 & 0 & d_2 \\ 0 & 0 & -1 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



Subsistema 1: Diseño del Robot Cartesiano

Dinámica del Robot

Descripción	Fórmula	Masa (kg)
Eslabón 1	$m_1 = 2 \cdot m_{Patín} + m_{GuíaLineal} + 2 \cdot m_{Nema17}$	$m_1 = 5,22$
Eslabón 2	$m_2 = m_{Patín} + m_{Nema23}$	$m_2 = 1,98$
Eslabón 3	$m_3 = m_{EjeZ} + m_{Nema17}$	$m_3 = 0,88$
Carga	$m_c = 5,00$	$m_c = 5,00$

Propiedades de masa de PATIN DESLIZANTE PETG PARTES
Configuración: Predeterminado
Sistema de coordenadas: --predeterminado--

El centro de masa y los momentos de inercia son los resultados en el sist
Densidad = 1270.000 kilogramos por metro cúbico

Masa = 0.375 kilogramos
Volumen = 0.000 metros cúbicos
Área de superficie = 0.093 metros cuadrados

Centro de masa: (metros)
X = -0.553
Y = 0.105
Z = 0.257

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (kilogramo
Medido desde el centro de masa.
Ix = (-0.015, 1.000, 0.002) Px = 0.000
Iy = (-1.000, -0.015, 0.025) Py = 0.001
Iz = (0.025, -0.001, 1.000) Pz = 0.002

Momentos de inercia: (kilogramos * metros cuadrados)
Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordinac
Lxx = 0.001 Lyy = 0.000 Lzz = 0.000
Lxy = 0.000 Lyz = 0.000
Lxz = 0.000 Lzy = 0.000 Lzz = 0.002

Momentos de inercia: (kilogramos * metros cuadrados)
Medido desde el sistema de coordenadas de salida.

Lagrangiano

$$L = K - P$$

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{d}} - \frac{\partial L}{\partial d} = F_d$$

$$L = \sum E_k - \sum E_p$$

$$L = \frac{1}{2} \cdot (m_1 + m_2 + m_3 + m_c) \cdot v_1^2 + \frac{1}{2} \cdot (m_2 + m_3 + m_c) \cdot v_2^2 + \frac{1}{2} \cdot (m_3 + m_c) \cdot v_3^2 - (m_2 + m_3 + m_c) \cdot g \cdot d_2$$

$$L = \frac{1}{2} [(m_1 + m_2 + m_3 + m_c) \cdot \dot{d}_1^2 + (m_2 + m_3 + m_c) \cdot \dot{d}_2^2 + (m_3 + m_c) \cdot \dot{d}_3^2] - (m_2 + m_3 + m_c) \cdot g \cdot d_2$$

Fuerza en los eslabones del robot

$$F_{d1} = \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{d}_1} = (m_1 + m_2 + m_3 + m_c) \cdot \ddot{d}_1$$

$$F_{d2} = \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{d}_2} - \frac{\partial L}{\partial d_2} = (m_2 + m_3 + m_c) \cdot \ddot{d}_2 - (m_2 + m_3 + m_c) \cdot g$$

$$F_{d3} = \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{d}_3} = (m_3 + m_c) \cdot \ddot{d}_3$$

$$\ddot{d}_1 = \ddot{d}_2 = \ddot{d}_3 = 3 \left[\frac{m}{s^2} \right]$$

$$F_{d1} = (5,47 + 1,90 + 1,33 + 5) [kg] \cdot 3 \left[\frac{m}{s^2} \right] = 39,24 [N]$$

$$F_{d2} = (1,90 + 1,33 + 5) [kg] \cdot 3 \left[\frac{m}{s^2} \right] + 9,81 \left[\frac{m}{s^2} \right] \cdot (1,90 + 1,33 + 5) = 100,69 [N]$$

$$F_{d3} = (1,33 + 5) [kg] \cdot 3 \left[\frac{m}{s^2} \right] = 17,64 [N]$$

Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



Subsistema 1: Diseño del Robot Cartesiano

Cálculo de torque para motores

$$\phi_1 = \phi_2 = \phi_3 = 0,01985 \text{ [m]}$$

$$r_n = \frac{\phi_n}{2}$$

$$\tau_1 = F_{d1} \cdot \frac{\phi_1}{2} = 0,1947 \text{ [N} \cdot \text{m]}$$

$$\tau_2 = F_{d2} \cdot \frac{\phi_2}{2} = 0,9993 \text{ [N} \cdot \text{m]}$$

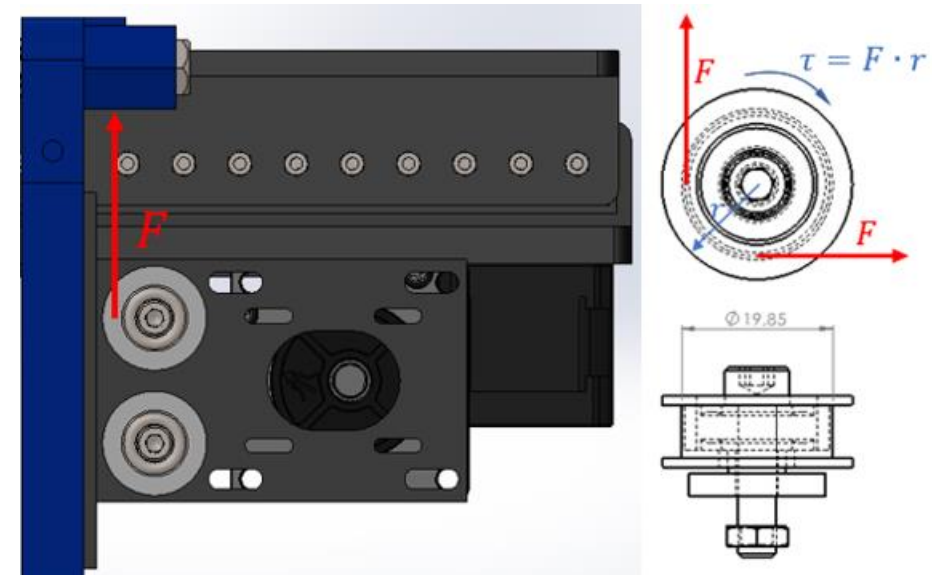
$$\tau_3 = F_{d3} \cdot \frac{\phi_3}{2} = 0,1751 \text{ [N} \cdot \text{m]}$$

Factor de seguridad n = 1,6

$$\tau_{r1} = 0,0924 \cdot 1,6 = 0,3116 \text{ [N} \cdot \text{m]}$$

$$\tau_{r2} = 1,031 \cdot 1,6 = 1,5989 \text{ [N} \cdot \text{m]}$$

$$\tau_{r3} = 0,137 \cdot 1,6 = 0,2801 \text{ [N} \cdot \text{m]}$$



Antecedentes y
Justificación

Investigación
previa

Diseño y
construcción

Pruebas y
Resultados

Conclusiones

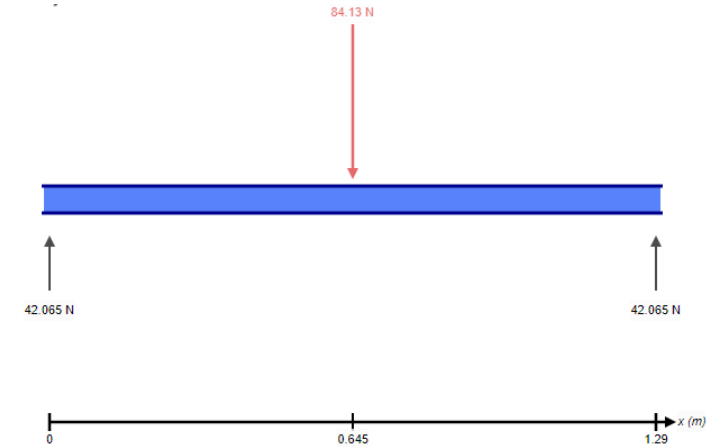
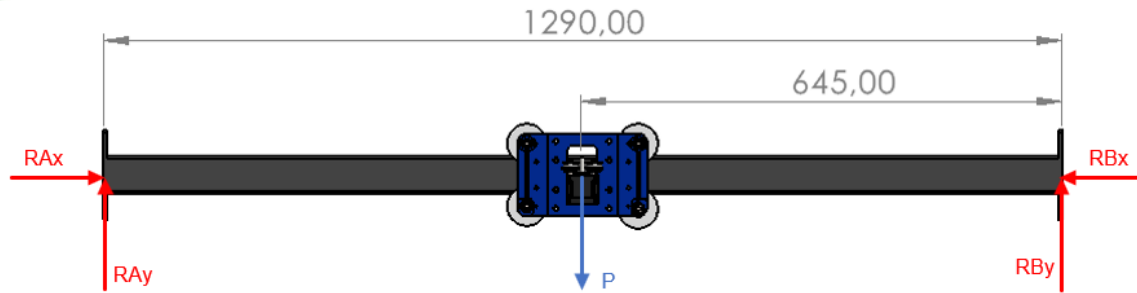
Recomendaciones

Trabajos futuros

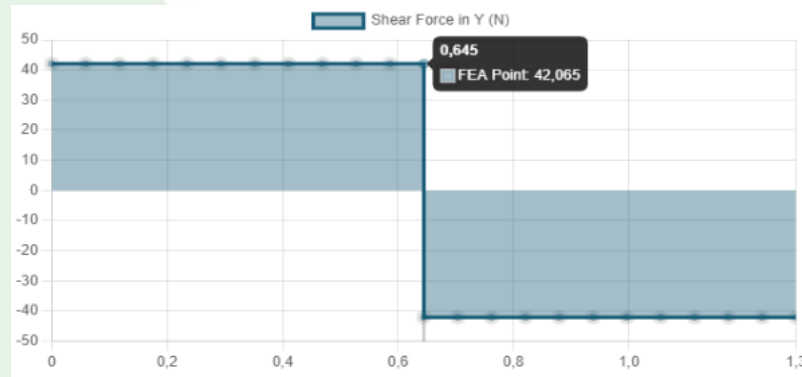


Subsistema 1: Diseño del Robot Cartesiano

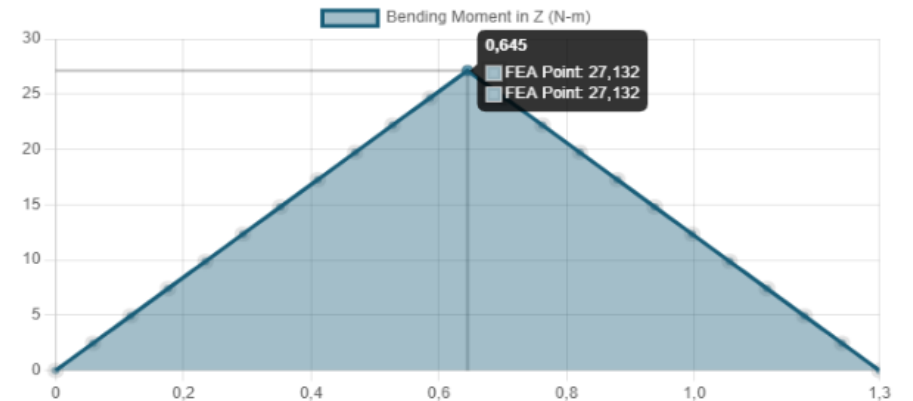
Análisis estático



Fuerza Cortante



Momento Flector



Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

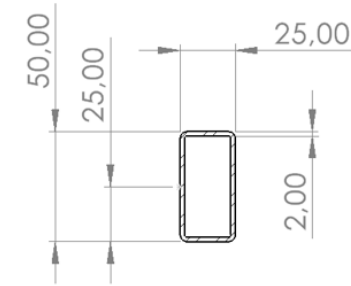
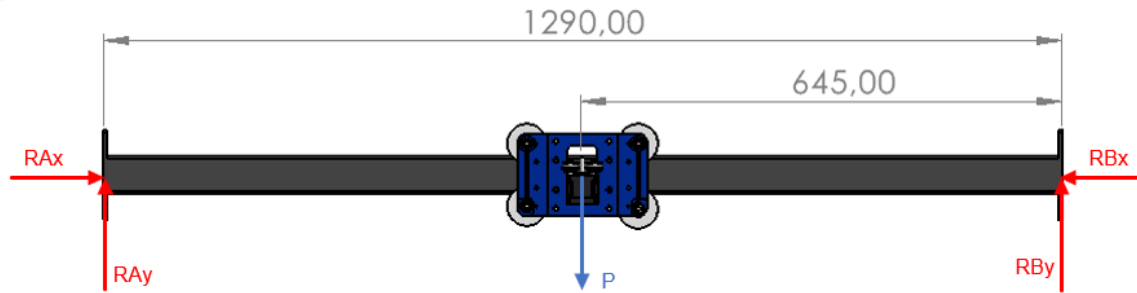
Recomendaciones

Trabajos futuros



Subsistema 1: Diseño del Robot Cartesiano

Análisis estático



Nota: Elaboración propia.

$$I = \frac{25 \cdot (50)^3}{12} - \frac{21 \cdot (46)^3}{12}$$

$$I = 9,01 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$\sigma_1, \sigma_2 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

$$\sigma_1 = \frac{7,53 \text{ MPa}}{2} + \sqrt{\left(\frac{0 - 7,53 \text{ MPa}}{2}\right)^2 + 280,20 \text{ kPa}^2}$$

$$\sigma_1 = 7,54 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = \frac{7,53 \text{ MPa}}{2} - \sqrt{\left(\frac{0 - 7,53 \text{ MPa}}{2}\right)^2 + 280,20 \text{ kPa}^2}$$

$$\sigma_2 = -10,41 \text{ kPa}$$

El Acero A36 tiene un esfuerzo de fluencia de 250 Mpa:

$$\sigma_y = \frac{M \cdot c}{I}$$

$$\tau_{xy} = \frac{V \cdot Q}{I \cdot t}$$

$$\sigma_y = \frac{27,132 \text{ Nm} \cdot 0,025 \text{ m}}{9,01 \cdot 10^{-8}}$$

$$\tau_{xy} = \frac{42,065 \text{ N} \cdot (1,20 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3)}{(9,01 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4) \cdot (2 \cdot 10^{-3} \text{ m})}$$

$$\sigma_y = 7,53 \text{ MPa}$$

$$\tau_{xy} = 280,20 \text{ kPa}$$

Factor de seguridad:

$$n_s = \frac{S_y}{\sigma'}$$

$$n_s = \frac{250 \text{ MPa}}{7,54 \text{ MPa}}$$

$$n_s = 33,16$$

Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

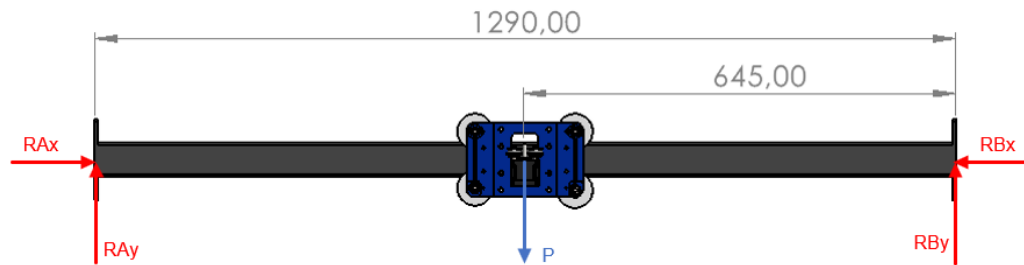
Recomendaciones

Trabajos futuros

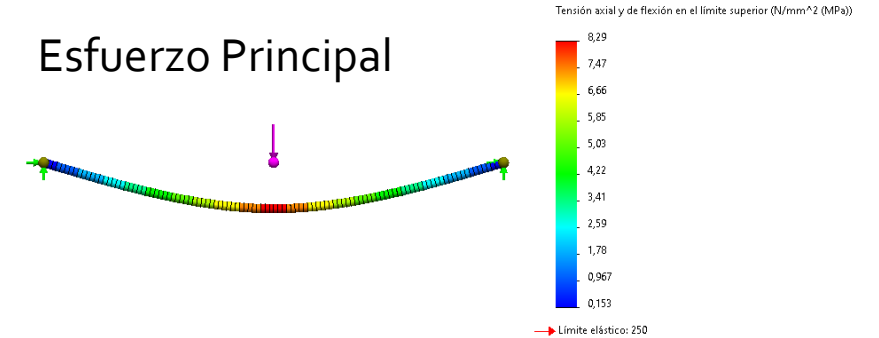


Subsistema 1: Diseño del Robot Cartesiano

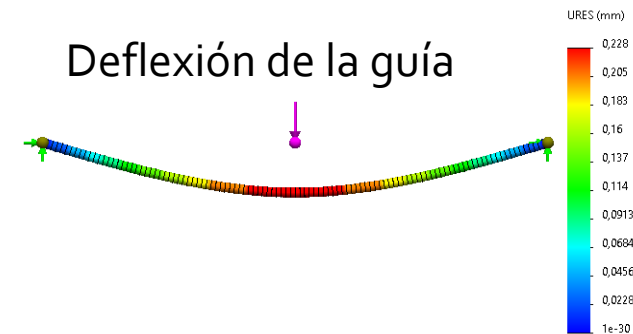
Análisis FEM



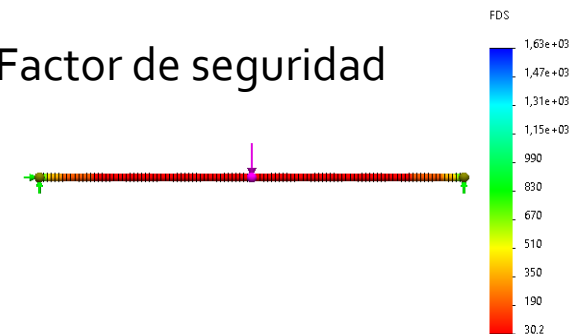
Esfuerzo Principal



Deflexión de la guía



Factor de seguridad



Denominación	Valor teórico	Valor real	Error relativo
Esfuerzo principal	7,54 MPa	8,29 MPa	9,05%
Deflexión de la guía	0,225 mm	0,228 mm	1,32%
Factor de seguridad	33,16	30,20	9,80%

Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

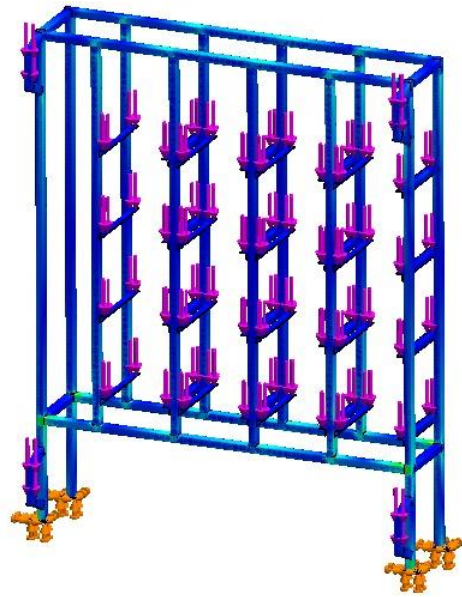
Trabajos futuros



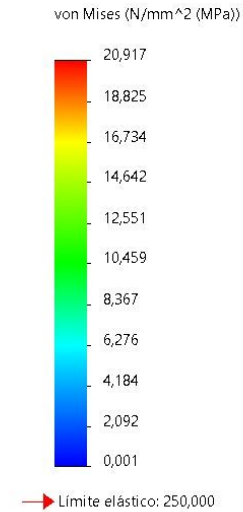
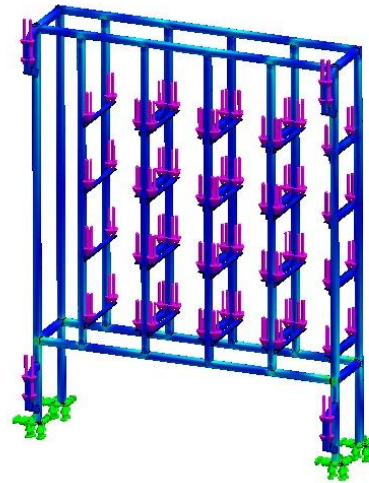
Subsistema 2: Matriz de almacenamiento

Análisis FEM de la Matriz de Almacenamiento

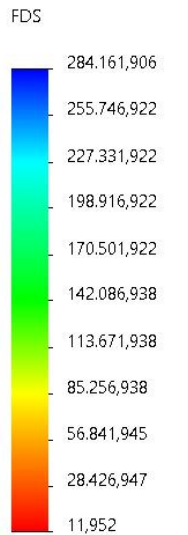
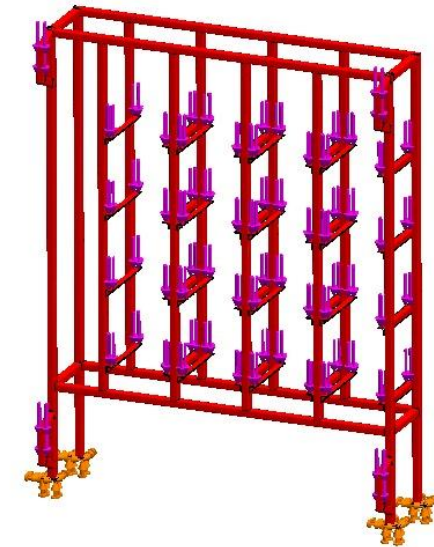
Se considera la aplicación de una carga de 5kg en cada espacio de la matriz:



Análisis FEM



Tensión de Von Mises = 209,17 MPa



n = 11,95

Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



Subsistema 3: Diseño eléctrico del robot

Selección de actuadores

Criterios de selección para eslabones 1 y 3:

Abreviación	Criterio	Motor a pasos NEMA 17 42HS40-1704	Servomotor FUTABA S3003
A	Alimentación	4,5 – 24 VDC	4,8 – 24 VDC
B	Torque máx.	0,4 Nm	0,31 Nm
C	Corriente máx.	1,7A/fase	1A
D	Peso	350g	37,2g
E	Dimensiones	42x42x40mm	41x20x40mm
F	Precio	\$15,00	\$10,00



Matriz de priorización de alternativas de Holmes:

Alternativas	A	B	C	D	E	F	SUMA	PRIORIDAD
Motor a pasos NEMA 17 42HS40- 1704	0,08	0,11	0,08	0,07	0,08	0,08	0,49	1
Servomotor FUTABA S3003	0,08	0,08	0,06	0,09	0,08	0,09	0,48	2

Antecedentes y
Justificación

Investigación
previa

Diseño y
construcción

Pruebas y
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



Subsistema 3: Diseño eléctrico del robot

Selección de PLC

Criterios de selección para eslabones 1 y 3:

Abrev.	Criterio	PLC Siemens S7-1200	PLC Mitsubishi FX1S-30MT-ESS/UL	PLC Panasonic FP0R-C16MT
A	Número de entradas	14	16	8
B	Número de Salidas	10	14	8
C	Tipo de Señales E/S	E: Digital	E: Digital	E: Digital
		S: Transistor	S: Transistor	S: Transistor
D	Comunicación	Ethernet, Profinet, UDP	RS422	RS485
E	Lenguaje de programación	LD, SCL, FBD, AWL	LD, FBD, IL, SFC, ST	LD, STL, SFC
F	Alimentación	24 VDC	24 VDC	24VDC
G	Velocidad de procesamiento	0,08-1,7 μ s	0,55-0,7 μ s	0,58-1,62 μ s
H	Costo	\$541,57	\$150,00	\$242,16



Matriz de priorización de alternativas de Holmes:

ALTERNATIVAS	A	B	C	D	E	F	G	H	SUMA	PRIORIDAD
PLC SIEMENS S7-1200	0,04	0,04	0,05	0,05	0,02	0,03	0,05	0,04	0,33	2
PLC MITSUBISHI FX1S-30MT-ESS/UL	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,04	0,07	0,37	1
PLC PANASONIC FP0R-C16MT	0,03	0,04	0,05	0,04	0,02	0,03	0,03	0,06	0,30	3

Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



Subsistema 3: Diseño eléctrico del robot

Antecedentes y
Justificación

Investigación
previa

Diseño y
construcción

Pruebas y
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Driver de control de motores a pasos TB6600 4.0 A



Ord.	Característica	Descripción
1	Alimentación potencia	9 – 42 VDC
2	Señales de control	3.3 a 24 VDC
3	Corriente de entrada	0 – 5.0 A
4	Corriente de salida	0.5 – 4.0 A
5	Potencia máxima	160 W
6	Dimensiones	96x56x33 mm

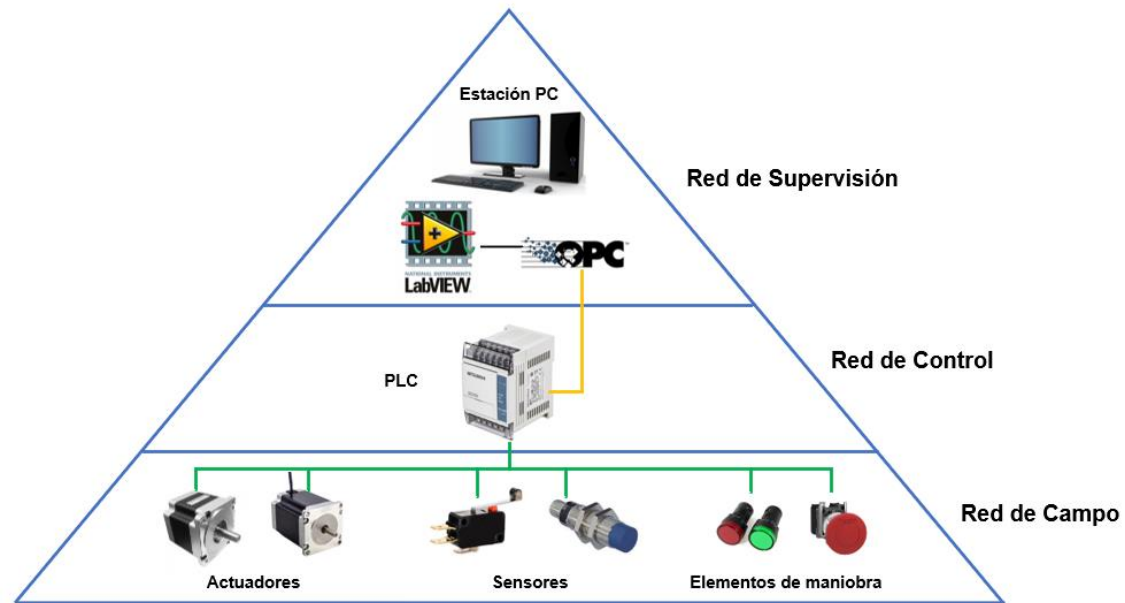
Configuración de DIP Switch para resolución del driver:

Micro Step	Pulsos/Rev	S1	S2	S3	Corriente (A)	S4	S5	S6
NC	NC	ON	ON	ON	0.5	ON	ON	ON
1	200	ON	ON	OFF	1.0	ON	OFF	ON
2/A	400	ON	OFF	ON	1.5	ON	ON	OFF
2/B	400	OFF	ON	ON	2.0	ON	OFF	OFF
4	800	ON	OFF	OFF	2.5	OFF	ON	ON
8	1600	OFF	ON	OFF	2.8	OFF	OFF	ON
16	3200	OFF	OFF	ON	3.0	OFF	ON	OFF
32	6400	OFF	OFF	OFF	3.5	OFF	OFF	OFF

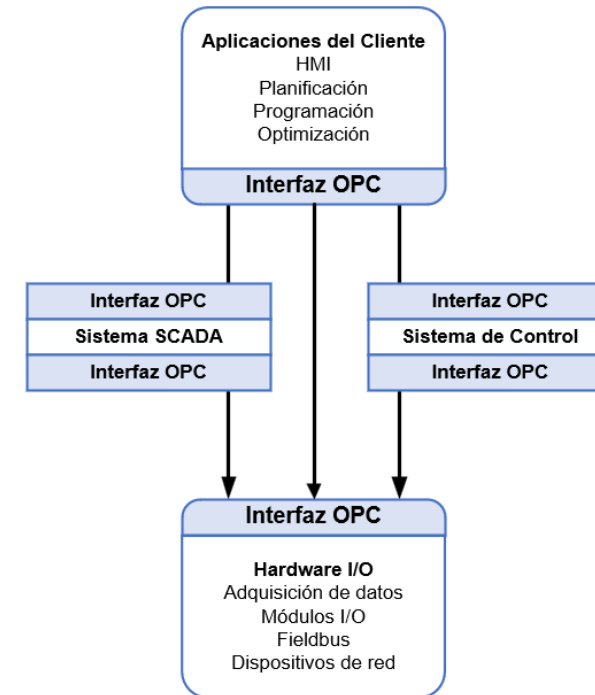


Subsistema 4: Control del robot

Pirámide de automatización



Arquitectura cliente/servidor OPC



Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



Subsistema 4: Control del robot

Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Diagrama de conexión de entradas

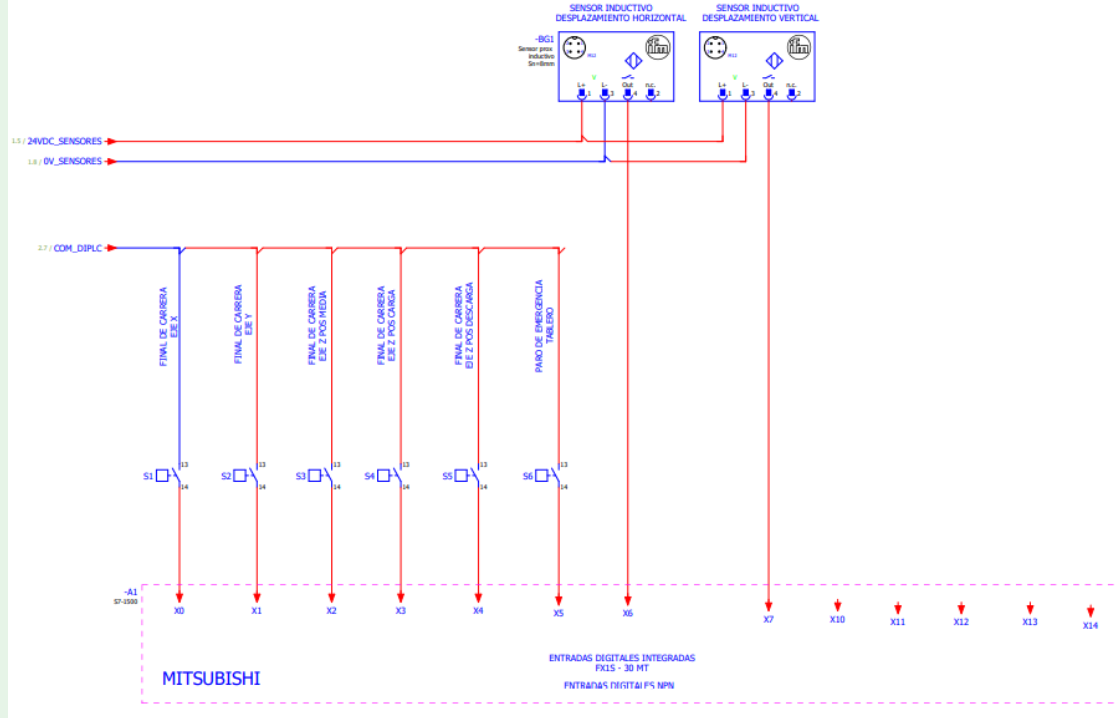
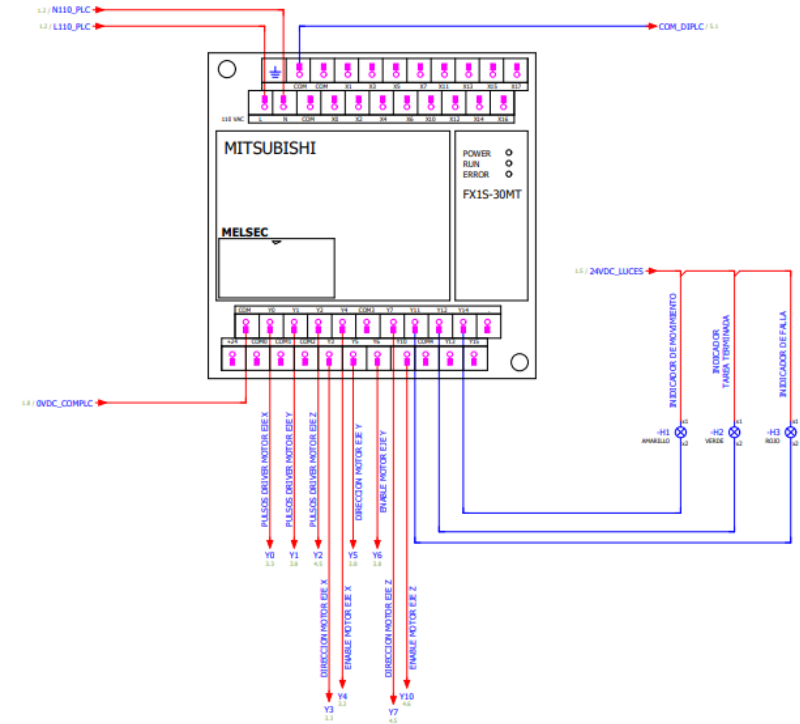


Diagrama de conexión de salidas





Subsistema 4: Control del robot

Instrucciones de posicionamiento (MELSOFT GX Works)

Instrucción de posicionamiento	Descripción	Ilustración
DRVI	<p>JOG operation</p> <p>El comando realiza el movimiento del motor en una dirección específica, en este caso no se considera una posición objetivo.</p>	
DRVA	<p>Posicionamiento a velocidad constante</p> <p>El movimiento producido por el motor se realiza a velocidad constante con una distancia especificada, por lo que se conserva el origen de referencia.</p>	
ZRN	<p>Retorno a Zero</p> <p>El movimiento se produce a una velocidad específica hasta que se activa la señal DOG, la cual disminuye la rapidez antes de que se detenga por completo el motor en el punto cero de referencia.</p>	

Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

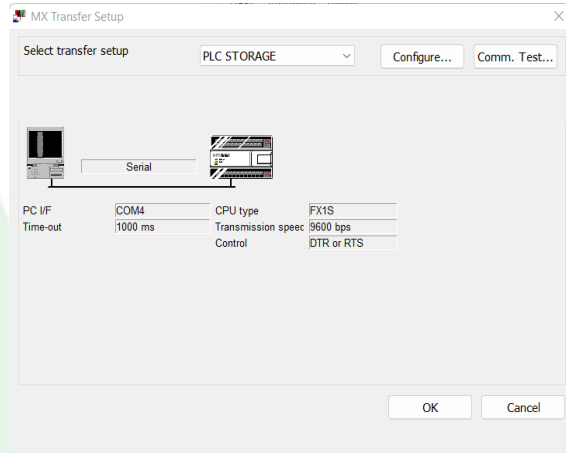
Recomendaciones

Trabajos futuros

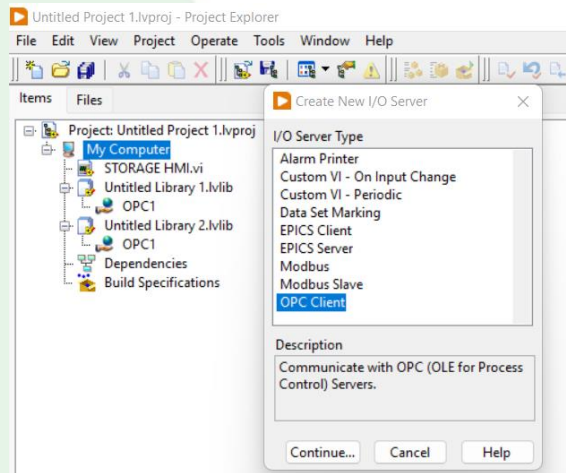


Subsistema 5: Monitoreo del robot

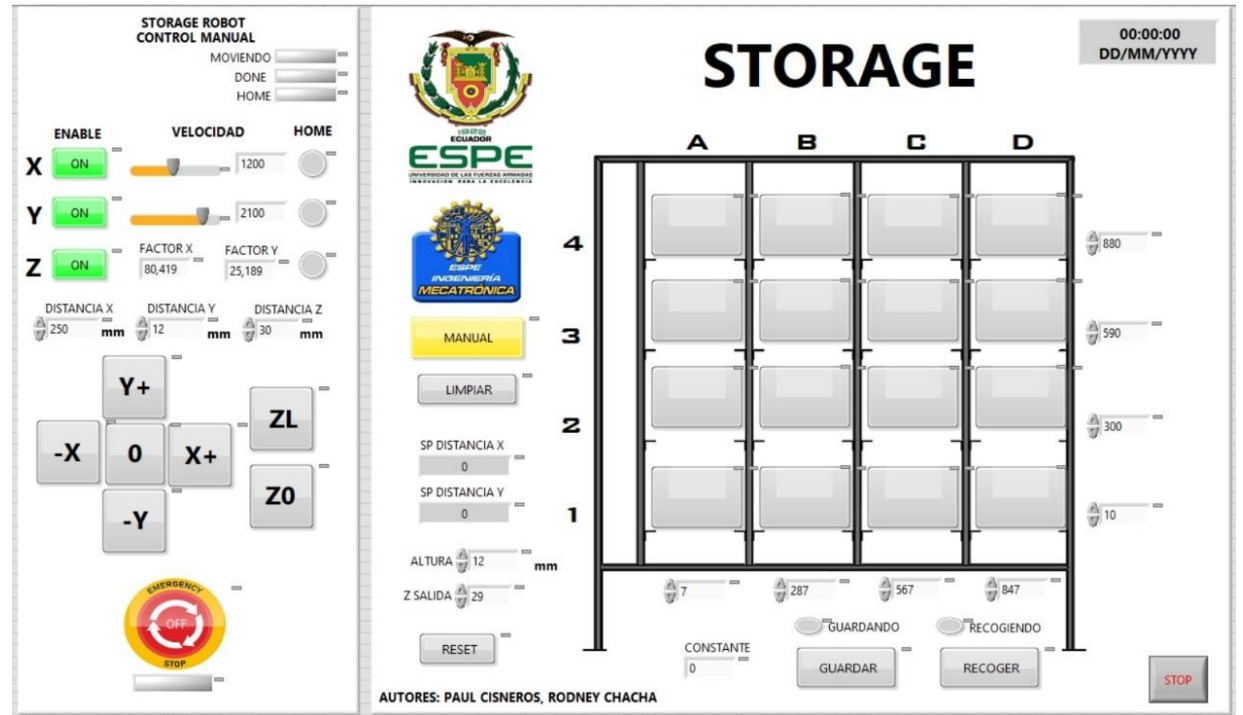
MX OPC Server



Cliente OPC en LabVIEW



Pantalla HMI de control del robot



Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



Implementación

Prototipo de robot cartesiano de almacenamiento "STORAGE"

Antecedentes y
Justificación

Investigación
previa

Diseño y
construcción

Pruebas y
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

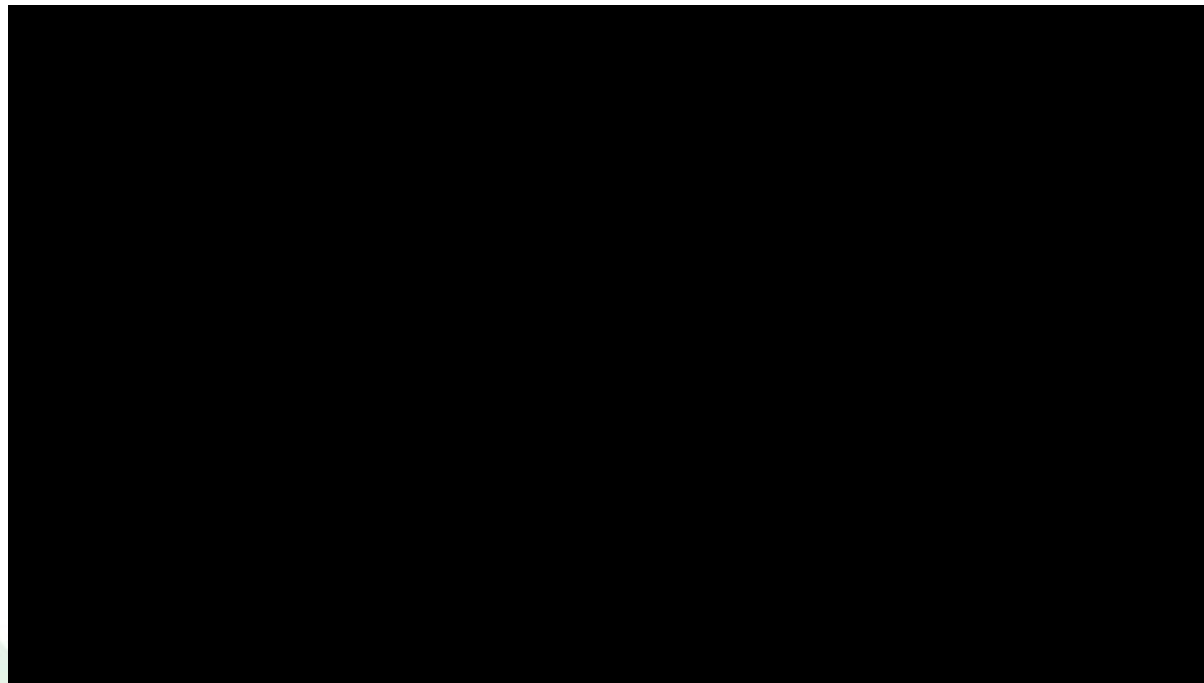
Tablero de control





Implementación

Video de funcionamiento



Antecedentes y
Justificación

Investigación
previa

Diseño y
construcción

Pruebas y
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



Antecedentes y
Justificación

Investigación
previa

Diseño y
construcción

**Pruebas y
Resultados**

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Pruebas

Diseño Factorial

Ord.	Factores	Niveles		
		Bajo	Medio	Alto
1	Pasos/rev	200	800	6400
2	Carga [kg]	1,0	2,5	5,0

OrdenEst	Orden Corrida	TipoPt	Bloques	Pulsos/rev	Carga [kg]	Alcance [cm]
1	1	1	1	200	1	20,7
9	2	1	1	6400	5	20,5
11	3	1	1	200	2,5	20,7
8	4	1	1	6400	2,5	20,4
7	5	1	1	6400	1	20,3
5	6	1	1	800	2,5	20,7
13	7	1	1	800	1	20,4
6	8	1	1	800	5	20,6
3	9	1	1	200	5	21,1
18	10	1	1	6400	5	20,4
17	11	1	1	6400	2,5	20,5
12	12	1	1	200	5	20,9
4	13	1	1	800	1	20,4
2	14	1	1	200	2,5	20,6
10	15	1	1	200	1	20,3
15	16	1	1	800	5	20,8
14	17	1	1	800	2,5	20,5
16	18	1	1	6400	1	20,1



Antecedentes y
Justificación

Investigación
previa

Diseño y
construcción

Pruebas y
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

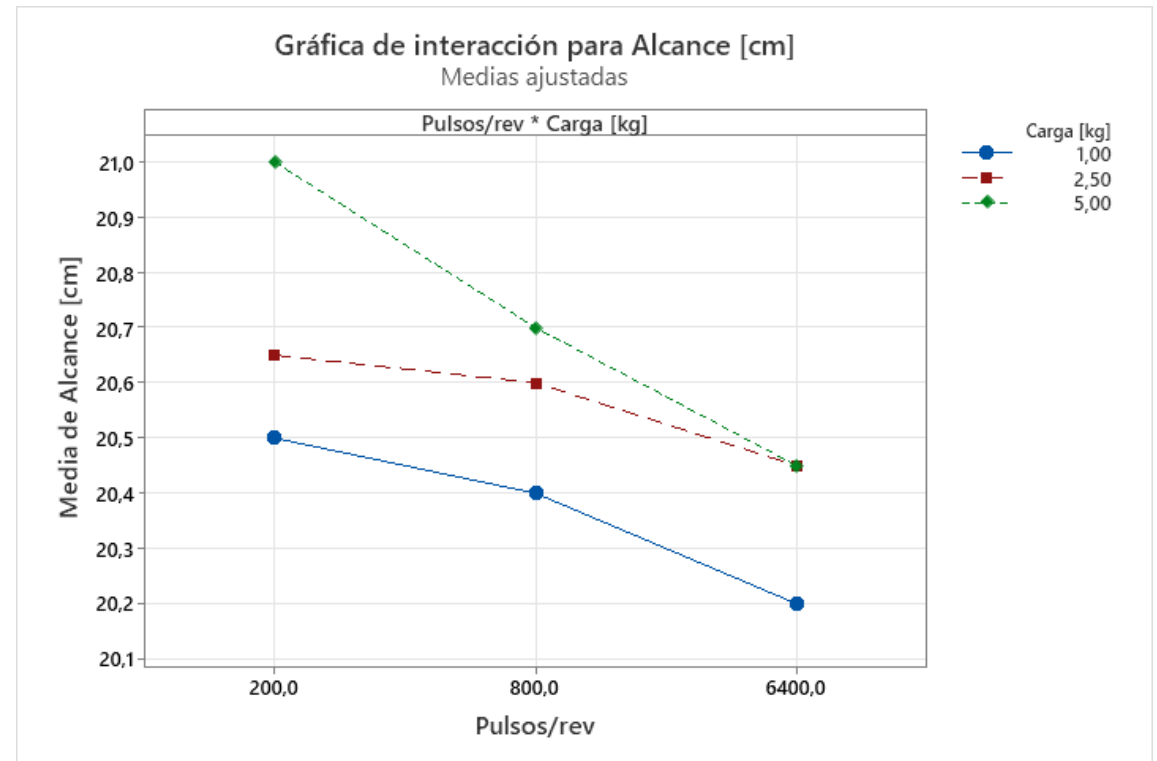
Trabajos futuros

Pruebas

Diseño Factorial

Para cumplir con el requerimiento de levantamiento de la carga de 5 [kg], representada por la curva de color verde, se requiere la fijación de un valor elevado de Pulsos/rev en los motores a pasos, ya que la reducción de velocidad angular en el actuador permite alcanzar valores mayores de Torque.

Para la ejecución de pruebas estadísticas de varianza, se opta por fijar el valor en **6400 Pulsos/rev**.





Pruebas

Análisis de varianza

Antecedentes y
Justificación

Investigación
previa

Diseño y
construcción

Pruebas y
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
50 [mm]	5	49,20	2,49	(47,28; 51,12)
100 [mm]	5	100,000	1,581	(98,080; 101,920)
150 [mm]	5	150,800	1,483	(148,880; 152,720)
200 [mm]	5	200,00	2,35	(198,08; 201,92)

Nota: Desv. Est. agrupada = 2,02485

$$\text{Precisión}_{\text{Eje X}} = \pm 2,025 \text{ [mm]}$$

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
40 {mm}	5	40,40	3,13	(38,30; 42,50)
80 [mm]	5	79,800	1,924	(77,696; 81,904)
120 [mm]	5	120,200	0,837	(118,096; 122,304)
160 [mm]	5	160,00	2,35	(157,90; 162,10)

Nota: Desv. Est. agrupada = 2,21923

$$\text{Precisión}_{\text{Eje Y}} = \pm 2,219 \text{ [mm]}$$

Factor	N	Media	Desv. Est.	IC de 95%
15 [mm]	5	15,160	0,777	(14,050; 16,270)
45 [mm]	5	45,140	1,001	(44,030; 46,250)
75 [mm]	5	75,160	1,397	(74,050; 76,270)
105 [mm]	5	105,600	1,387	(104,490; 106,710)

Nota: Desv. Est. agrupada = 1,17090

$$\text{Precisión}_{\text{Eje Z}} = \pm 1,171 \text{ [mm]}$$



Calibración de posiciones

Factores de corrección para posicionamiento:

Pasos	Distancia
5000	62,1 [mm]
x	100 [mm]

$$x = \frac{100 \times 5000}{62,1}$$

$$x = 8041,52 \text{ Pasos}$$

Pasos	Distancia
5000	198,5 [mm]
x	100 [mm]

$$x = \frac{100 \times 5000}{198,5}$$

$$x = 2518,9 \text{ Pasos}$$

Se calcula el Factor de Corrección (FC) para el eje x:

$$FC_x = \frac{\text{Pasos}}{\text{Desplazamiento}} = \frac{8041,52}{100}$$

$$FC_x = 80,419$$

Se calcula el Factor de Corrección (FC) para el eje y:

$$FC_y = \frac{\text{Pasos}}{\text{Desplazamiento}} = \frac{2518,9}{100}$$

$$FC_y = 25,189$$

Antecedentes y
Justificación

Investigación
previa

Diseño y
construcción

Pruebas y
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



Configuración de parámetros

Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

STORAGE ROBOT CONTROL MANUAL

MOVIENDO DONE HOME

VELOCIDADES

ENABLE	VELOCIDAD	HOME
X OFF	<input type="range" value="1200"/> 1200	<input type="checkbox"/>
Y OFF	<input type="range" value="2100"/> 2100	<input type="checkbox"/>
Z OFF	FACTOR X: 25.189 FACTOR Y: 80.419	<input type="checkbox"/>

DISTANCIA X: mm DISTANCIA Y: mm DISTANCIA Z: mm

Y+ ZL
-X 0 X+ Z0
-Y

EMERGENCY OFF STOP

DISTANCIA Z

ALTIMETRO: 12 mm
Z SALIDA: 30

RESET

STORAGE

00:00:00 p. m.
DD/MM/YYYY

	A	B	C	D	
4					DISTANCIAY: 880
3					590
2					300
1					10
					DISTANCIAX: 7, 287, 567, 847

MANUAL LIMPIAR

SP DISTANCIA X: 0
SP DISTANCIA Y: 0

ALTURA: 12 mm
Z SALIDA: 30

RESET

CONSTANTE: 1

GUARDANDO RECOGIENDO

GUARDAR RECOGER

STOP

AUTORES: PAUL CISNEROS, RODNEY CHACHA



Antecedentes y
Justificación

Investigación
previa

Diseño y
construcción

Pruebas y
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Conclusiones

- Se diseño y se implementó un robot cartesiano de almacenamiento STORAGE con 16 puestos de trabajo en disposición matricial, el sistema cuenta con 3 ejes de desplazamiento lineal, x, y, z que le permiten acceder a cada uno de las ubicaciones permitiendo almacenar sistemáticamente objetos de manera ordenada y precisa.
- El sistema de control utiliza un PLC de la marca Mitsubishi de la serie FX1S, el cual debido a sus prestaciones de uso industrial garantiza la confiabilidad del sistema, se optó por este dispositivo debido a la cantidad de entradas y salidas que trae de fábrica, además de manejar salidas tipo transistor, necesarias para manejar señales de alta frecuencia sin llegar a fallar como sucede en las salidas tipo relé.
- El diseño experimental permitió optimizar los parámetros adecuados para garantizar precisión en el desplazamiento de los ejes del robot, ya que está relacionado directamente con la velocidad de los motores y la carga manipulada, llegando a la conclusión que es mejor trabajar a bajas revoluciones, para lo cual se requiere aumentar el parámetro de pulsos/revolución con el que trabajan los actuadores y así obtener un mayor par motriz.



Antecedentes y
Justificación

Investigación
previa

Diseño y
construcción

Pruebas y
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Conclusiones

- Se utilizó un OPC server para realizar la integración del programa desarrollado en el PLC con la interfaz de control HMI, este permite acceder y manipular las variables del controlador, además de que brinda la posibilidad de dejar abierto el sistema en caso de querer integrar una pantalla HMI física.
- Las instrucciones de posicionamiento absoluto DDRVA y relativo DDRVI facilitan el control en lazo abierto de los sistemas de desplazamiento, estas instrucciones permiten trabajar con valores numéricos de posición facilitando la programación del sistema, es importante tomar en cuenta el registro que se utiliza en estas instrucciones ya que este debe ser inicializado cada vez que se arranca el programa.
- Del análisis y validación de resultados realizado se obtuvo que el desplazamiento de los ejes x, y, z presenta una variación en el conjunto de datos tomados con respecto a la media agrupada, de forma que la precisión en el movimiento es de: ± 2.025 , ± 2.219 , ± 1.171 [mm] respectivamente para cada eje de movimiento.



Antecedentes y
Justificación

Investigación
previa

Diseño y
construcción

Pruebas y
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Recomendaciones

- Se recomienda realizar un control de posición en lazo cerrado, teniendo una retroalimentación de distancia para garantizar que el posicionamiento del efector final sea exacto.
- Debido a que el eje Y trabaja verticalmente, esta almacena energía potencial, razón por la cual es el que mayor problema presenta al momento del funcionamiento del robot, se recomienda utilizar un motor a pasos de mayor potencia o en su defecto una caja reductora para aumentar al par inducido al sistema de tracción.
- Es importante la lubricación periódica de las guías lineales, para evitar que estas se descasten debido al rozamiento que existe entre las ruedas y el perfil de la guía.
- Se recomienda revisar con frecuencia que las correas de transmisión se encuentren correctamente tensadas, ya que caso contrario el movimiento no se transmitirá de manera adecuada y provocará que el sistema pierda precisión o deje de funcionar totalmente.



Antecedentes y
Justificación

Investigación
previa

Diseño y
construcción

Pruebas y
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Trabajos futuros

- Diseñar un sistema de visión por computadora para tener un panorama general en tiempo real del funcionamiento del robot, de tal manera que se pueda realizar una corrección de fallas durante su operación.
- Implementar un sistema de registro de datos, para generar una base de datos con los históricos de los productos que han ingresado y han sido retirados de los diferentes espacios de trabajo que manipula el robot.
- Realizar la integración del robot a un sistema de manufactura inteligente, donde pueda interactuar con diferentes equipos para trabajar en conjunto.
- Emplear paradigmas y conceptos de la Producción Digital Avanzada (PDA) enfocada en el uso de IoT para aprovechar las características de conectividad multiplataforma que ofrece la arquitectura cliente/servidor OPC y desarrollar aplicativos de control remoto o acceso a la red.



GRACIAS POR SU ATENCIÓN