

AruBot

Robot articulado + ArUco

Diseño de Elementos de Máquina 12233A-P25

Docente: Mtro. José Antonio García Herrera

José Pablo Hernández Alonso

Ing. Mecatrónica

Evelin Michelle Medel Jarillas

Ing. Mecánica

Angelica García Gonzalez

Ing. Mecánica

Luis Felipe Hernández Morales

Ing. Automotriz

Mayo 19, 2025





1

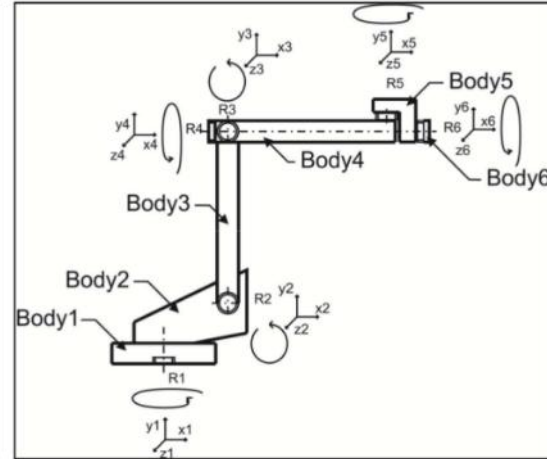
Introducción

(Antecedentes)



Introducción

- Se plantea un estudio integral para el diseño mecánico y análisis estructural dinámico de un robot articulado de tipo serial. Se abordan temas fundamentales del curso "Diseño de Elementos de Máquina", tales como esfuerzos cortantes y normales, torción, deflexión en flechas, selección y diseño de engranajes, transmisión de potencia, y se establece además una correlación explícita con la cinemática del robot, particularmente mediante matrices jacobianas.



• •
• •
• •
• •
• •
• •

Justificación

El estudio de robots articulados resulta fundamental para diversas aplicaciones industriales y de manufactura avanzada.

La correcta selección y análisis de elementos mecánicos garantiza un desempeño eficiente, seguro y optimizado de estos sistemas. La implementación mediante impresión 3D con PLA, motores NEMA 17, y la transmisión de potencia mediante engranajes o poleas, permitirán un diseño económico y versátil.

Objetivos

Desarrollar el análisis estructural y dinámico integral de un robot articulado, considerando esfuerzos mecánicos, deflexiones, transmisión de potencia y cinemática del movimiento mediante matrices jacobianas de velocidad y fuerza.

- ❖ Calcular esfuerzos generados en elementos estructurales bajo cargas.
- ❖ Determinar torque de motores.
- ❖ Analizar deflexiones en flechas.
- ❖ Diseñar y dimensionar engranajes y poleas para la adecuada transmisión de potencia, considerando velocidad angular, potencia y torque requerido.
- ❖ Relación entre parámetros dinámicos del robot y matrices jacobiana. para evaluar velocidades y fuerzas operativas en las articulaciones.



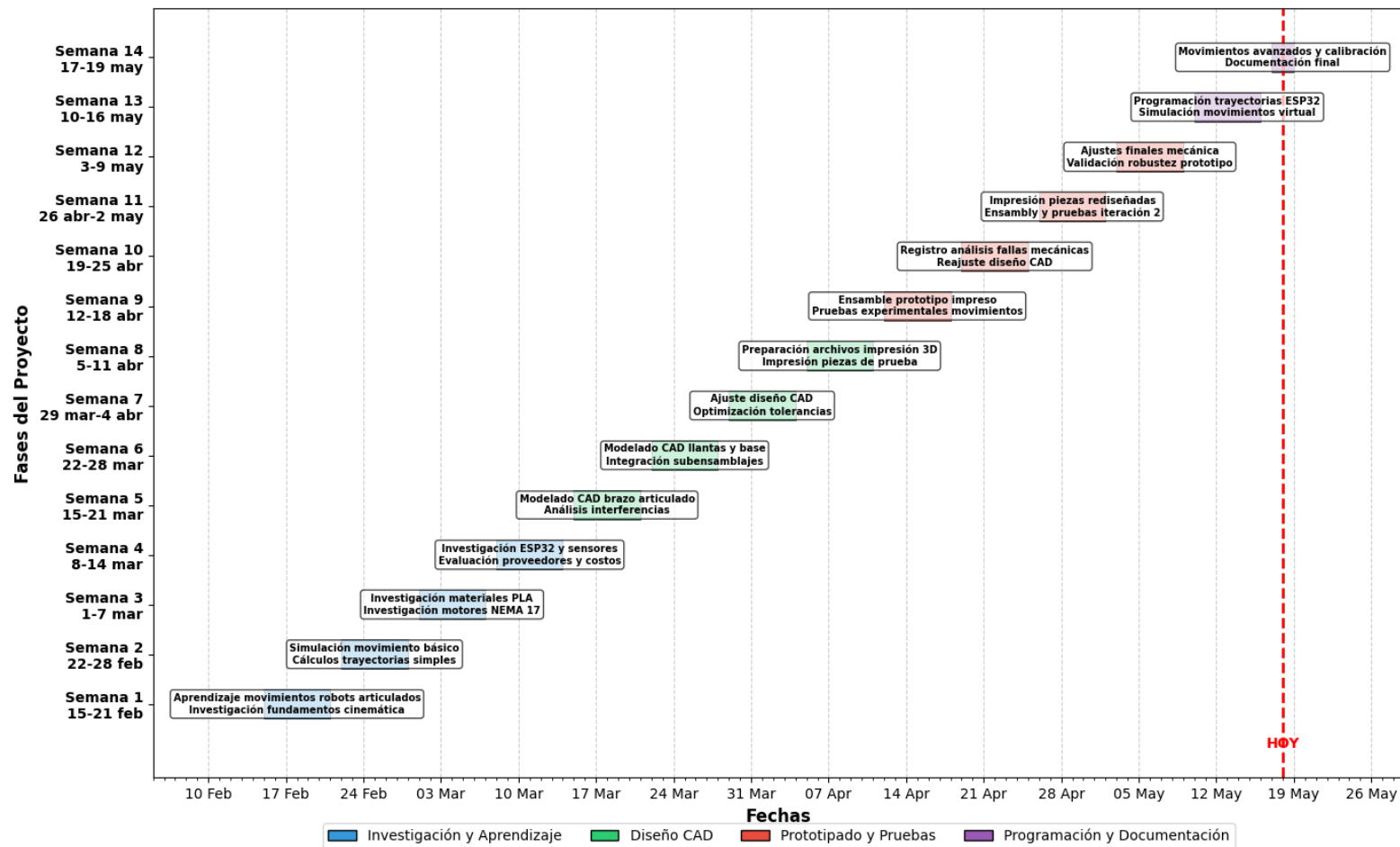
2

Plan de plazos

(Cronograma)



Cronograma de Proyecto: Robot Articulado





3

Diseño general

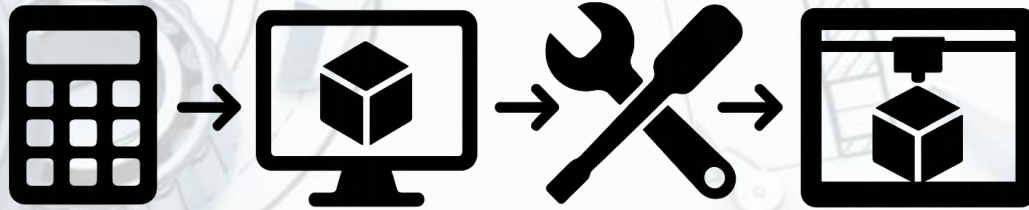
(Necesidades, línea de desarrollo y marco teórico)



Necesidades del diseño:

- ❖ Diseño ligero para aprovechar torque en motores.
- ❖ Resistencia de componentes contra golpes y desajustes.
- ❖ Proporcionar una mejor resolución de posición aprovechando la relación de engranes para aumentar la precisión.

Línea de desarrollo:



Cálculos
analíticos
preliminares.

Modelado CAD
(SolidWorks).

Ajuste del diseño
basado en
resultados.

Impresión 3D del
prototipo y pruebas
experimentales.

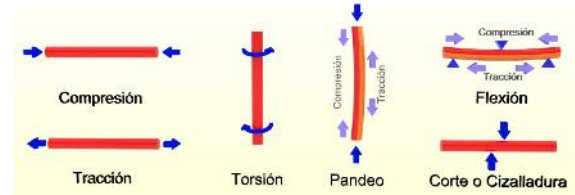
Marco teórico:

Esfuerzos

❖ El **esfuerzo normal** (σ) se define por la ecuación:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Donde F es la fuerza axial aplicada y A el área transversal.



❖ El **esfuerzo cortante** (τ) debido a fuerzas transversales se calcula mediante:

$$\tau = \frac{VQ}{Ib}$$

Donde V es la fuerza cortante, Q el primer momento del área, I el momento de inercia y b el ancho de la sección.

❖ La **torción** en elementos circulares se describe por:

$$\tau_{torción} = \frac{Tr}{J}$$

Donde T es el torque aplicado, r el radio externo y J el momento polar de inercia.

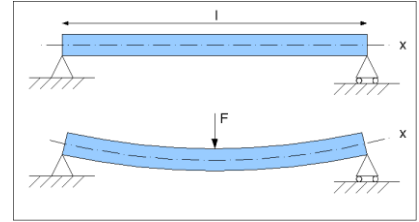
Marco teórico:

Deflexión en Flechas

- ❖ La deflexión máxima (δ) de una flecha soportando cargas se obtiene mediante:

$$\delta = \frac{FL^3}{3EI} \text{ ó } \frac{5\omega L^4}{384EI}$$

- Dependiendo del tipo de carga y soporte, donde F es la fuerza puntual, L la longitud de la flecha, E el módulo de elasticidad e I el momento de inercia.



Transmisión de Potencia mediante Engranajes o Poleas

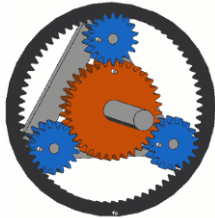
- ❖ La potencia (P) transmitida se expresa como:

$$P = T * \omega$$

Donde T es el torque y ω la velocidad angular. La relación de transmisión mediante engranajes se determina por:

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{Z_2}{Z_1}$$

Siendo Z el número de dientes de cada engranaje o los diámetros respectivos para poleas.



• •
• •
• •

Marco teórico:

Jacobianas de Velocidad y Fuerza

- • La Jacobiana de velocidad (J_v) relaciona velocidades angulares de articulaciones con velocidades lineales del efector final mediante:
- •
- •
- •
- • La Jacobiana de fuerza (J_f), definida como la transpuesta inversa de la Jacobiana de velocidad, relaciona las fuerzas y torques externos aplicados al efector final con torques en articulaciones:

$$\tau = J_v^T(q)F$$

$$\mathbf{J_F}(x_1, x_2, x_3) = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} & \frac{\partial f_1}{\partial x_3} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \frac{\partial f_2}{\partial x_3} \\ \frac{\partial f_3}{\partial x_1} & \frac{\partial f_3}{\partial x_2} & \frac{\partial f_3}{\partial x_3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 5 \\ 0 & 8x_2 & -2 \end{bmatrix}$$

• •
• •
• •
• •
• •
• •

Desarrollo del diseño:

•• Selección y Análisis Estructural del PLA

- Se selecciono la impresión 3D con PLA porque era la forma más rápida para crear un
- prototipo funcional y validar su funcionamiento; a esta validación se le suma algunos
- análisis de elemento finito para piezas y realizar refuerzos en puntos clave.

Flechas y Elementos en Torción

Con el material proporcionado por la universidad se valido que estos elementos soportaran los toques generados por los motores NEMA 17.

Diseño de Sistema de Transmisión

Mediante el diseño y análisis empírico de las fuerzas se buscó garantizar la correcta transmisión de ellas y el desempeño óptimo para tener una relación de posición y eficiencia mecánica correcta.





4

Despiece

(Cálculos de piezas)

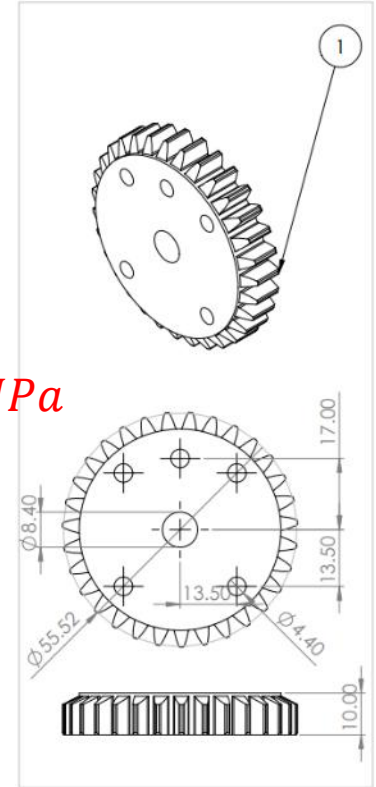


- • **Cálculos:**
- • **Engrane (2.5cm radio):**
- • Motor de T=55 kg/cm
- •
- •

$$T = \frac{55 \text{ kg}}{\text{cm}} * \frac{9.807 \text{ N}}{\text{kg}} * \frac{0.01 \text{ cm}}{\text{m}} = 5.397 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

$$J = \frac{\pi(0.0275 \text{ m})^4}{2} = 8.984 * 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$\tau_{\text{torción}} = \frac{Tr}{J} = \frac{5.397 \frac{\text{N}}{\text{m}} * 0.0275 \text{ m}}{8.984 * 10^{-7} \text{ m}^4} = 0.165 \text{ MPa}$$



- •
- •
- •
- •
- •
- •

Cálculos:

Base y ejes de motores (área de 5mm x 3mm y 0.9kg):

$$\tau_{max} = \frac{VQ}{Ib} \rightarrow V = 0.9kgf * 9.807 \frac{N}{kgf} = 8.83N \rightarrow I = \frac{0.005 * 0.003^3}{12} = 1.125 * 10^{-11}m^4$$

$$Q = A'y = \frac{bh}{2} * \frac{h}{4} = \frac{0.005 * 0.003^2}{8} = 5.625 * 10^{-9}m^3$$

$$\tau_{max} = \frac{8.83N * 5.625 * 10^{-9}m^3}{1.125 * 10^{-11}m^4 * 0.005m} = 0.874 MPa$$

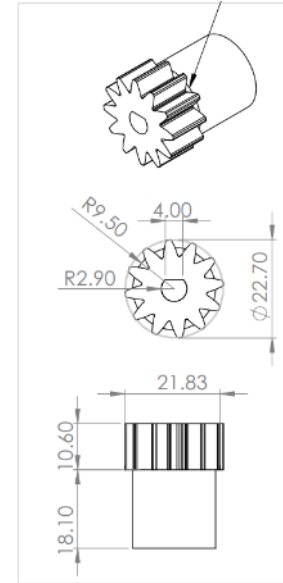
Relación de dientes:

$$i = \frac{z_1}{z_2} = \frac{12}{32} = 0.375$$

$$T_2 = \frac{T_1}{i} = \frac{5.397 \frac{N}{m}}{0.375} = 14.392 \frac{N}{m}$$

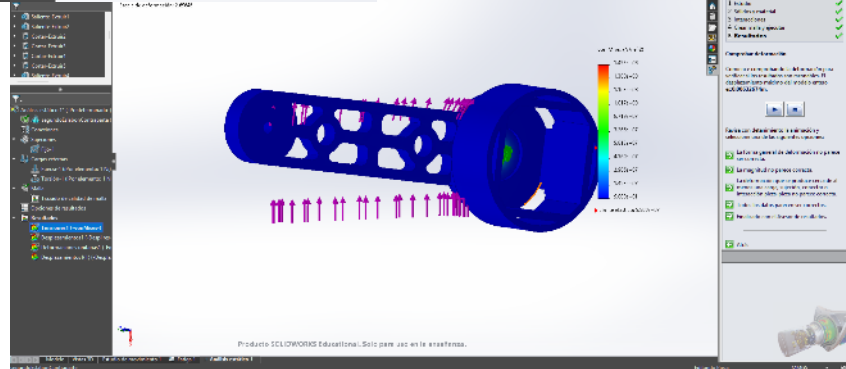
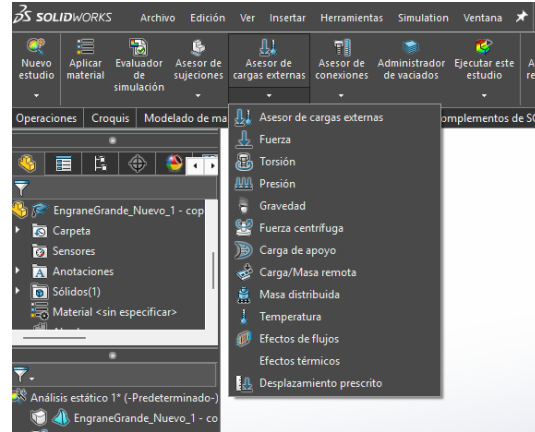
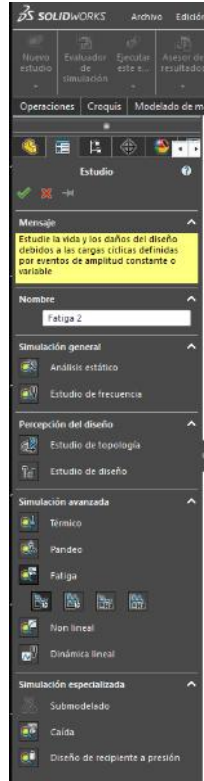
ángulo por paso $1.8^\circ \pm 5\%$ pero por relación.

$$ang^\circ = 1.8 * \frac{12}{32} = 0.675^\circ \text{ por paso}$$



Desarrollo del diseño:

Análisis de elemento finito



Propiedades Tablas y curvas Apariencia Rayado Personalizado Datos de aplicación

Propiedades de material
No se pueden editar los materiales en la biblioteca predeterminada. Para editar un material, cópielo primero a una biblioteca personalizada.

Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal ☐ Guardar tipo de modelo en la biblioteca

Unidades: SI - N/mm² (MPa)

Categoría: Plástico

Nombre: PLA

Criterio de fallos predeterminado: Tensión de von Mises máx.

Descripción: -

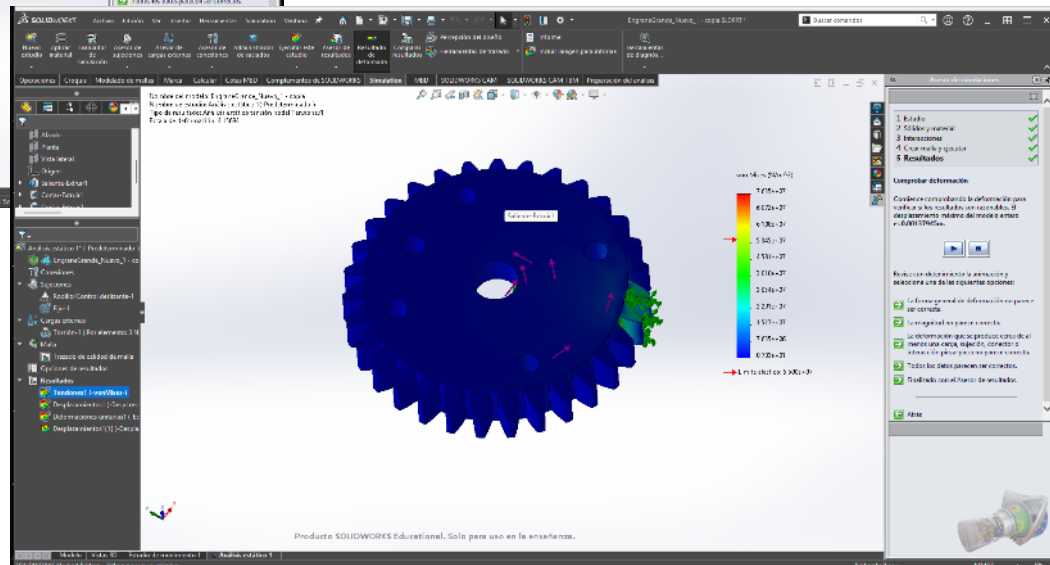
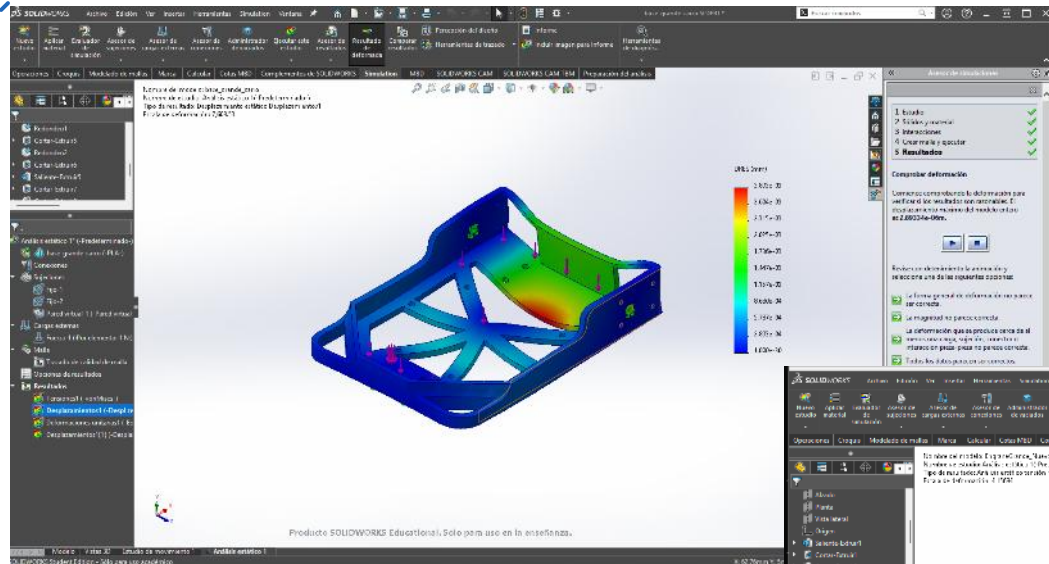
Origen:

Sostenibilidad: No definido

Seleccionar...

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	2000	N/mm ²
Coefficiente de Poisson	0.394	N/D
Módulo cortante	318.9	N/mm ²
Densidad de masa	1020	kg/m ³
Límite de tracción	30	N/mm ²
Límite de compresión		N/mm ²
Límite elástico	55	N/mm ²
Coefficiente de expansión térmica		/K
Conductividad térmica	0.2256	W/(m·K)
Calor específico	1386	J/(kg·K)
Cociente de amortiguamiento del material		N/D

Análisis de elemento finito





5

Prototipo

(Render y planos)







6

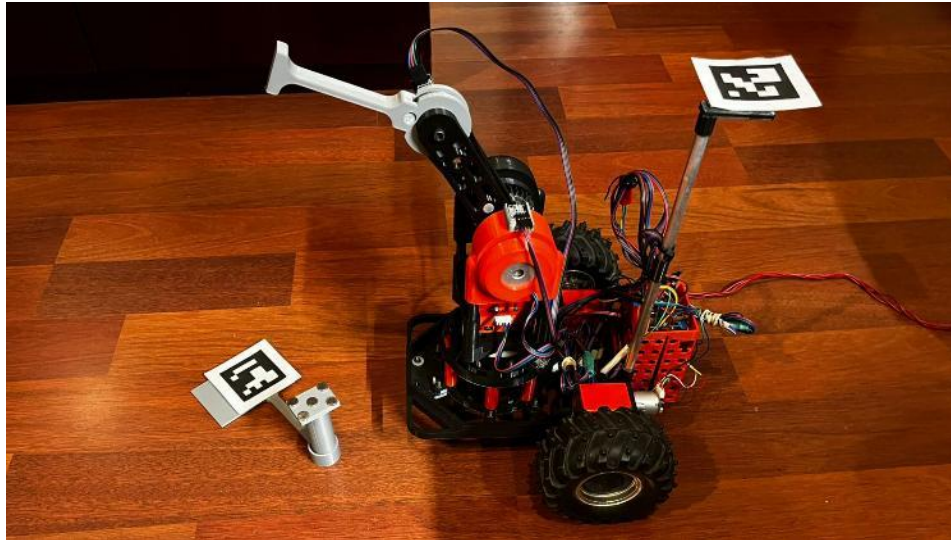
Armado

(Pruebas)



Videos de pruebas y armado en WEB:

https://jphajp.github.io/Robotica/Web/Reportes/Teoria/Proy_final/Proy_final.html





7

Costos



Categoría	Ítem	Precio unitario (MXN)	Cantidad	Costo total (MXN)
Electrónicos	Alambre para protoboard (5 m)	27.22	1	27.22
	Driver A4988 (x3)	38	3	114
	ESP32	170	1	170
	Fuente conmutada 24 V, 5 A	224	1	224
	Motor NEMA17 17HS8401 (x3)	173	3	519
	Motoreductor DC con encoder (x2)	216	2	432
	Placa fenólica (x2)	20	2	40
	Puente H TB6612FNG	68	1	68
	Regulador LM2596 (25 W, 3 A)	36	1	36
	Sensor magnético KY-003 (x3)	14	3	42
	Soldadura estaño (10 g)	65	1	65
	Banda dentada GT2 (5 m)	156	1	156
Mecánicos	Filamento PLA (1.365 kg)	465	1.365	634.72
	Llanta de hule (x2)	57	2	114
	Polea dentada 2GT	177	1	177
	Rodamiento axial 51206	70	1	70
	Rodamientos lineales LM8UU (x5)	26	5	130
	Rueda loca de hule	26	1	26
	Tornillería M3 (100 g)	210	1	210
Total del proyecto				\$ 3,254.94



19

CONCLUSION



.. En conclusión, el desarrollo del proyecto sirvió para reforzar nuestros
.. conocimientos en el funcionamiento de los distintos elementos mecánicos que
.. se revisaron durante el curso.

.. ***Puntualmente:***

- ❖ Componentes de bajo costo (NEMA-17, ESP32, piezas PLA) y librerías open-source hicieron el sistema accesible y replicable.
- ❖ El flujo CAD, modelo cinemático y control (SolidWorks + Denavit-Hartenberg + Python) garantizó correspondencia entre teoría y hardware.
- ❖ La reducción mecánica 3 : 1 potenció la resolución de las articulaciones sin complejidad adicional.
- ❖ El análisis mecánico permitió visualizar elementos y puntos débiles para ser reforzados
- ❖ Visión ArUco y comunicación Bluetooth lograron navegación y manipulación coordinadas.

Gracias

