



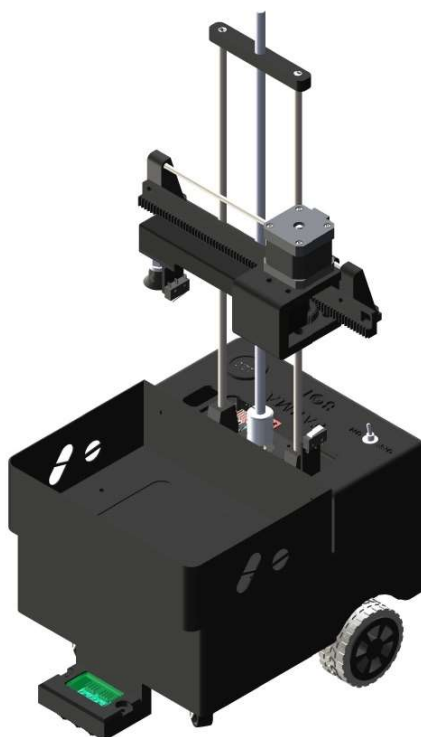
Universidad Nacional de Lomas de
Zamora



Facultad de Ingeniería
PROYECTO DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

INFORME

“FarmaBot”



PROFESORES:

Ezequiel Blanca
Cristian Leandro Lukaszewicz
Juan Ignacio Szombach

ALUMNOS

Matías Nicolás Gabio
Carolina Vasquez

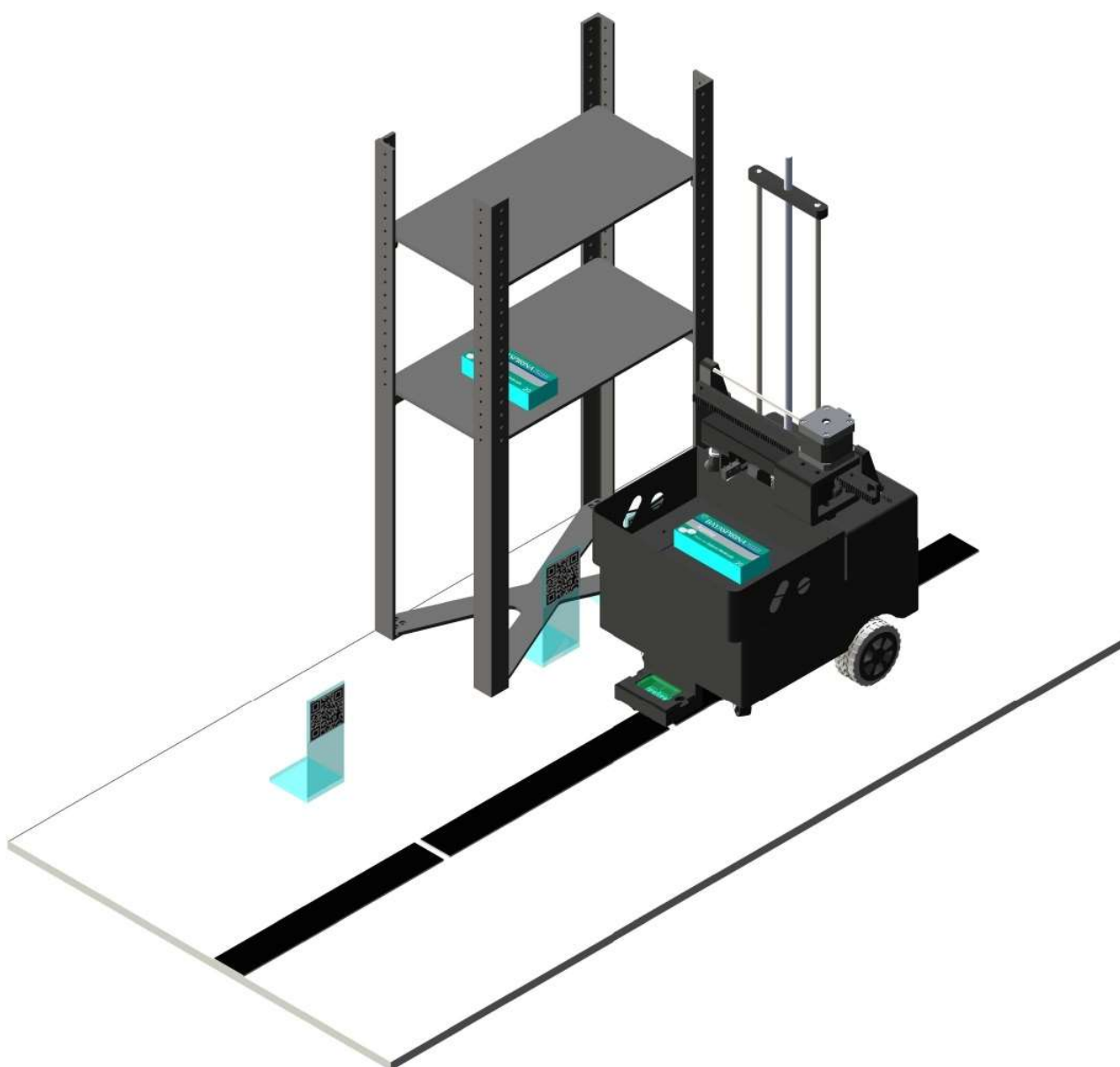


Contenido

Descripción general del proyecto.....	2
Objetivos.....	3
Funciones y características principales.....	3
Interacción con el usuario	3
Navegación del robot.....	4
Extracción y manipulación de la caja de medicamento	7
Restricciones y limitaciones	12
Evaluación de costos	22
Costo inicial estimado	22
Costo final	23
Análisis de desvíos de costos	24
Cálculos eléctricos.....	25
Cálculo de corriente máxima	26
Cálculos mecánicos.....	27
Cálculo y verificación del torque de las ruedas del robot	27
Cálculo de peso:	27
Cálculo de torque necesario:.....	27
Cálculo de velocidad lineal	28
Ensayos y/o testeos.....	30
Propuestas y mejoras futuras	32
Documentos complementarios.....	33
Diagrama de flujo	33
Manuel de Usuario	33
Cronograma	33
Conclusión	34

Descripción general del proyecto

El proyecto consiste en el desarrollo de un robot capaz de realizar la recolección de cajas de medicamentos específicos desde una estantería de farmacia, basándose en las instrucciones proporcionadas por un usuario. El robot navegará a lo largo de un camino predefinido y será capaz de manipular y transportar los medicamentos solicitados hasta una zona de recepción, que es la misma que la zona de partida.





Objetivos

- Asistir al farmacéutico en la recolección de medicamentos.
- Priorizar la atención al cliente y minimizar tiempos muerto de recolección.
- Automatizar el transporte de medicamentos desde las estanterías hasta la zona de recepción.

Funciones y características principales

Interacción con el usuario

- El robot recibirá a través de un programa desarrollado en Python la solicitud de las cajas de medicamentos que deba buscar y confirmará al usuario el inicio del recorrido. La comunicación será mediante wifi con ESP32 CAM, con la cual se simulará la comunicación entre el robot y el software de la farmacia.

A través un archivo .csv se simula la base de datos de los medicamentos de la farmacia, con la respectiva ubicación y stock de cada uno de estos.

Formato del archivo .csv: nombre medicamento,ubicación-n° estantería, stock

Ejemplo: Paracetamol, A-01,3

- En caso de que algún medicamento se encuentre en una estantería inaccesible para el robot, se generará una alerta para notificar al usuario.
- Al completar la tarea, el robot notificará al usuario que el recorrido ha finalizado y los medicamentos están listos para ser recolectados en la zona de recepción.

Navegación del robot

- El robot se desplazará de forma autónoma siguiendo una línea negra pintada en el suelo, la cual actúa como guía de navegación dentro del almacén. Esta funcionalidad se implementa mediante el uso de tres sensores infrarrojos ubicados en la parte inferior del chasis, que detectan el contraste entre la línea y el fondo. A partir de esta información, el sistema ajusta en tiempo real la velocidad de los motores paso a paso de las ruedas, permitiendo una corrección de trayectoria precisa.

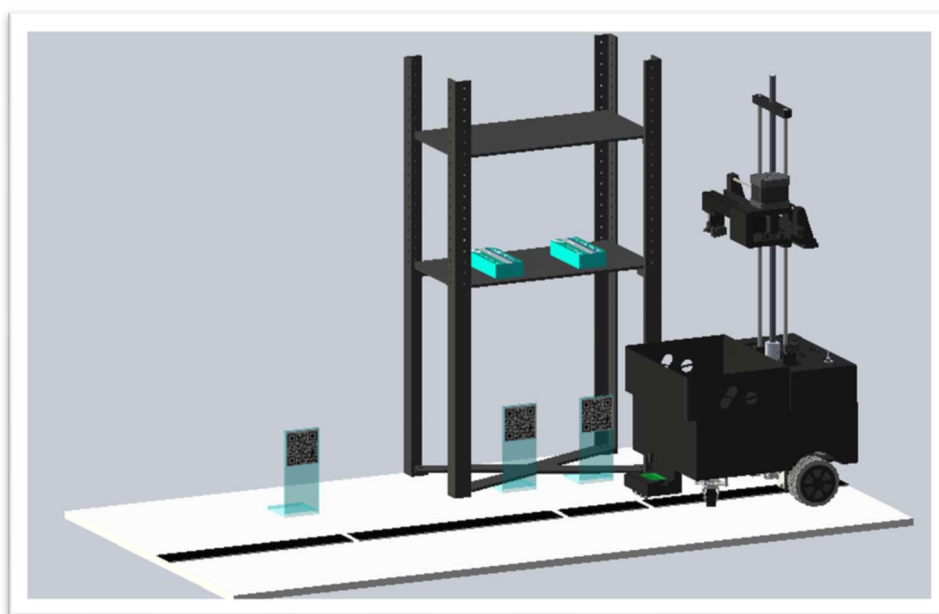


Imagen ilustrativa conceptual del diseño

- Las ubicaciones de las estanterías dentro del almacén están identificadas mediante códigos QR ubicados estratégicamente a lo largo de la línea de seguimiento. La ESP32-CAM, montada en el robot, transmite imágenes en formato .jpg a través de una red Wi-Fi, las cuales son recibidas por el programa de interfaz gráfica desarrollado en Python. Este software procesa las imágenes en tiempo real para detectar los códigos QR y, en caso de coincidencia con la ubicación deseada, envía una señal de detención al sistema de control del robot para comenzar el paso de extracción del medicamento.

Para asegurar una correcta detección, incluso en condiciones de red inestables o con latencias en la transmisión, los códigos QR se posicionan en pequeñas interrupciones de la línea de seguimiento. Estas pausas en la trayectoria permiten que el robot se detenga un momento (5 s), otorgando el tiempo necesario para completar la captura, transmisión

y procesamiento de la imagen, garantizando así la detección confiable del código correspondiente a la estantería objetivo. En caso de que el QR no sea el buscado, la señal no es transmitida desde el programa y el robot avanza suavemente de manera recta hasta encontrarse nuevamente con la línea.

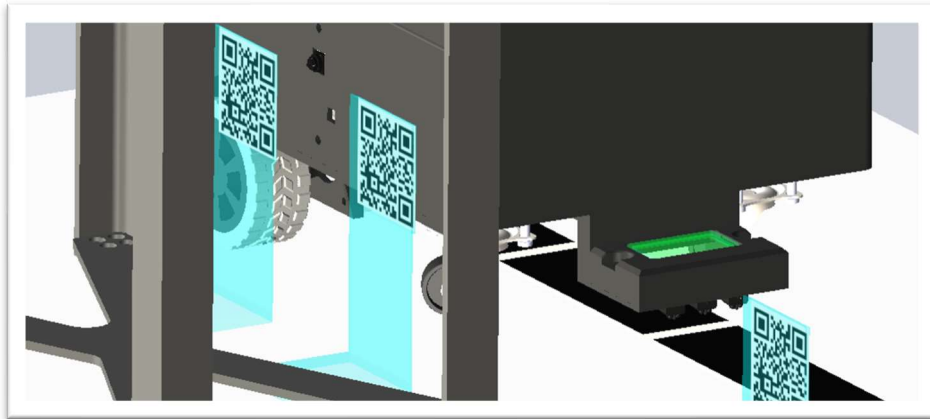


Imagen ilustrativa conceptual del diseño

- El robot se desplaza utilizando motores paso a paso, lo que permite un control preciso de la velocidad y posición de cada rueda. Para el seguimiento de línea, cuenta con tres sensores infrarrojos ubicados en su parte frontal, los cuales detectan el contraste entre la línea guía y el fondo. A partir de las señales de estos sensores, se aplica una lógica de corrección proporcional que ajusta la velocidad de los motores en tiempo real, permitiendo al robot mantenerse centrado sobre la trayectoria durante todo el recorrido.

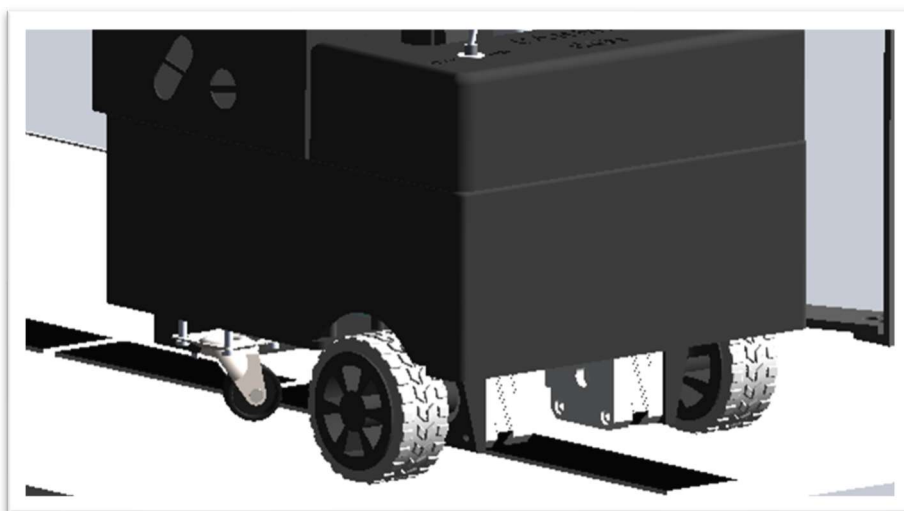
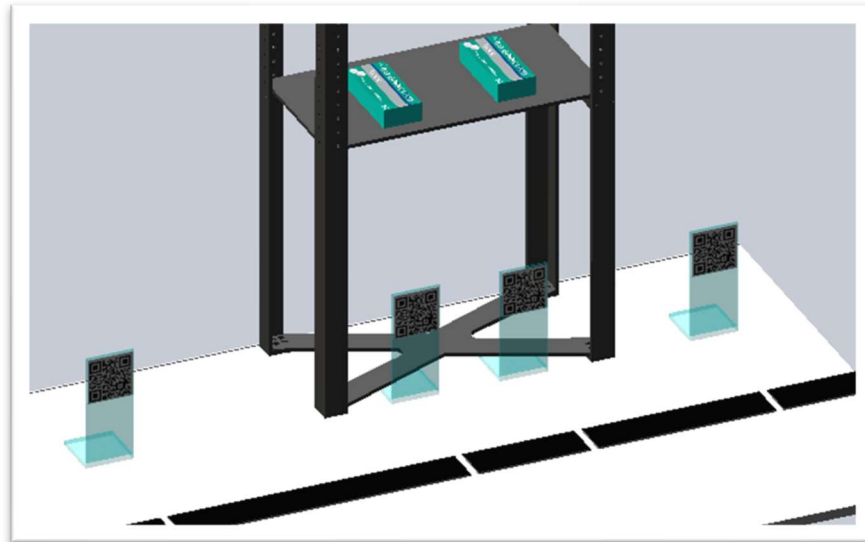


Imagen ilustrativa conceptual del diseño

- La estantería, a fines prácticos para el prototipo, tendrá tres QR para la posición de las cajas. Luego las posiciones de altura en las estanterías están precargadas junto a la ubicación del medicamento.



- El sector de inicio también tendrá su QR correspondiente.
- El robot contará con un indicador de voltaje que permitirá verificar el estado de carga de la batería. Además, dispondrá de un interruptor de encendido que, al activarse, pondrá en marcha el sistema y ejecutará una rutina de homing. Esta rutina establecerá una posición de referencia (cero) para los motores, utilizando dos microswitch ubicados estratégicamente para detectar el punto de inicio de cada eje.

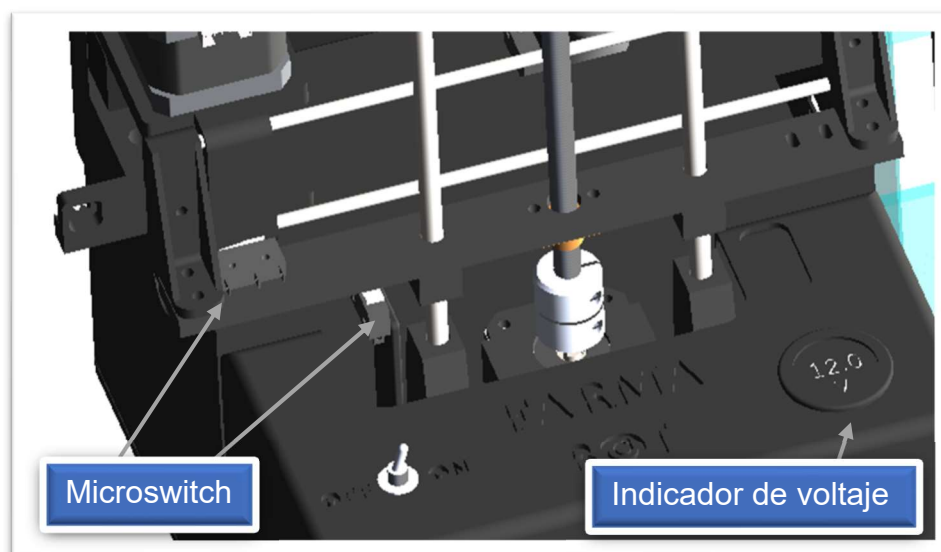
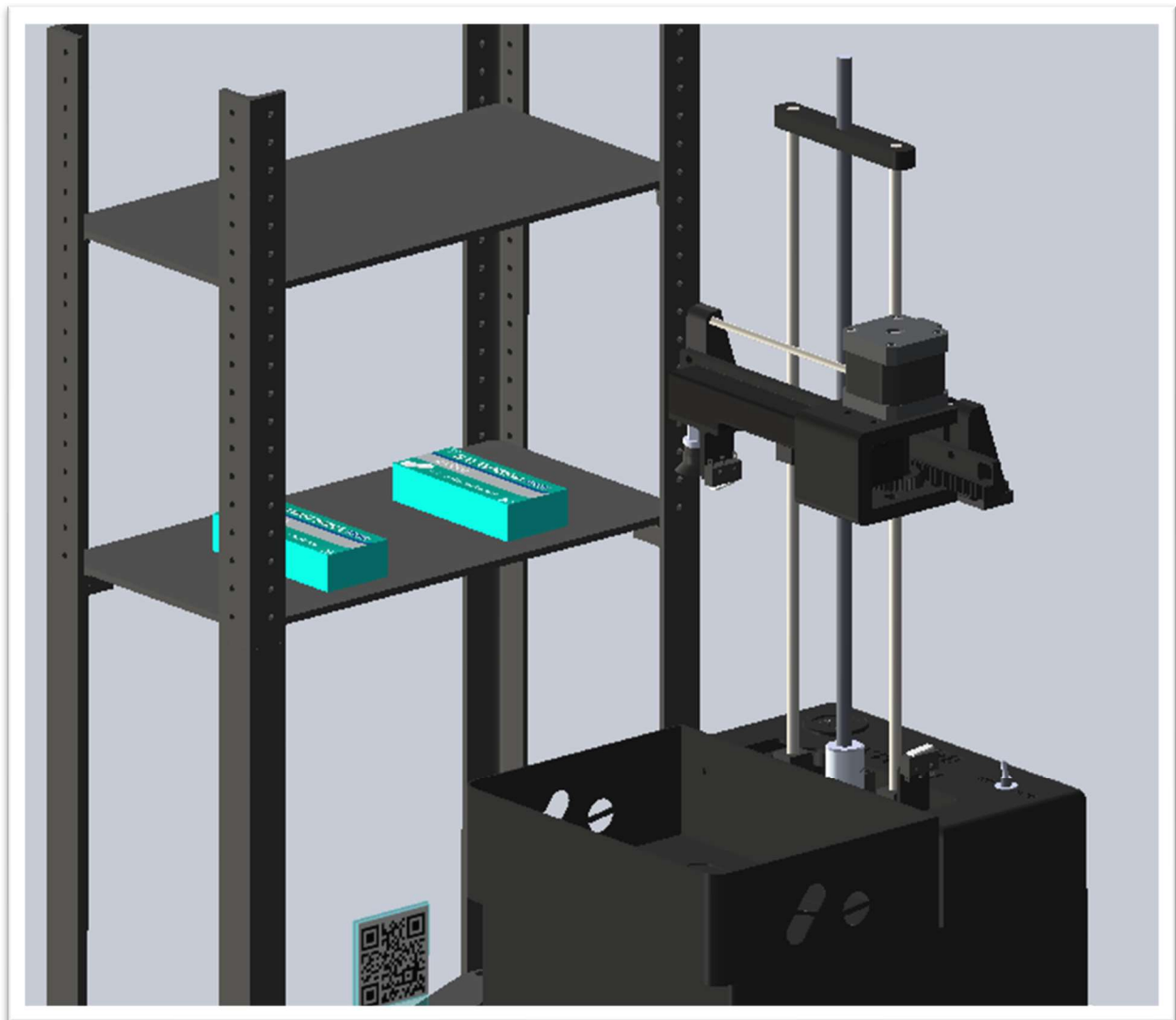


Imagen ilustrativa conceptual del diseño

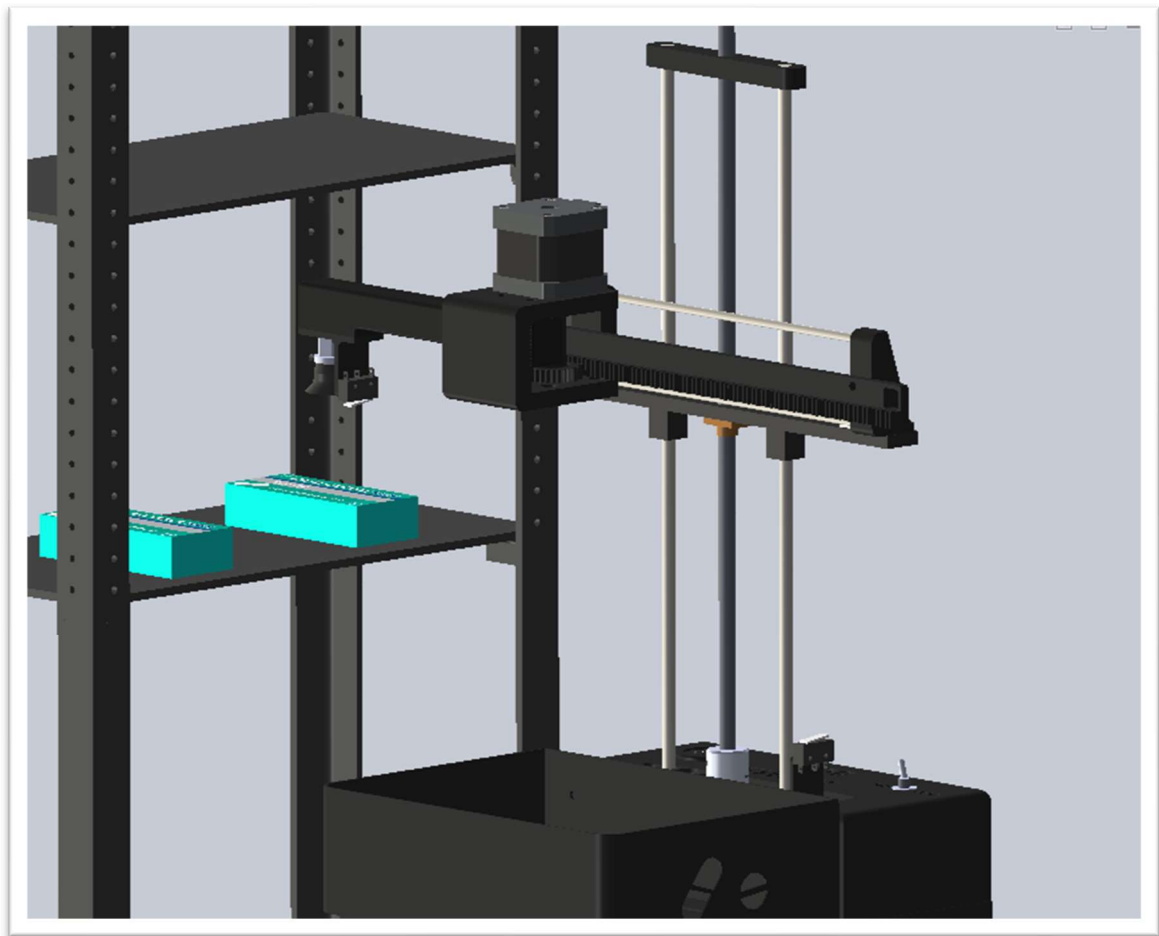
Extracción y manipulación de la caja de medicamento

- El robot ajusta su mecanismo de elevación en función de la altura específica de la estantería donde se encuentra la caja de medicamento. Este mecanismo está conformado por una varilla roscada acoplada a un motor paso a paso, la cual permite un movimiento vertical preciso. La estructura cuenta con dos barras laterales que brindan soporte y estabilidad al desplazamiento vertical.

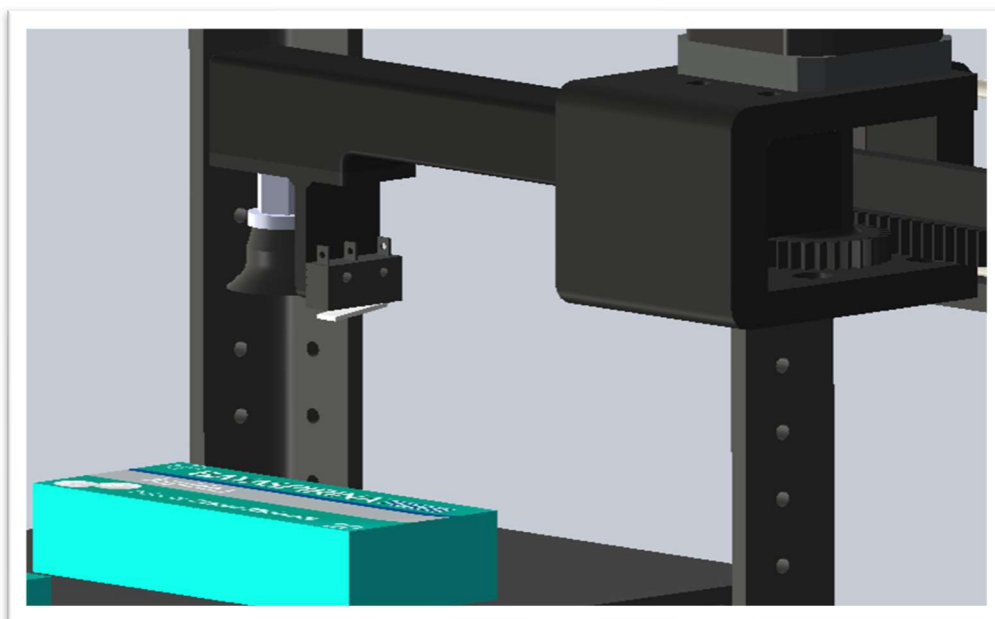


- Una vez alcanzada la altura correspondiente a la ubicación de la caja, el robot acciona un segundo mecanismo para realizar el desplazamiento horizontal hacia la estantería. Este sistema está compuesto por una cremallera lineal y un engranaje acoplado a un motor paso a paso.

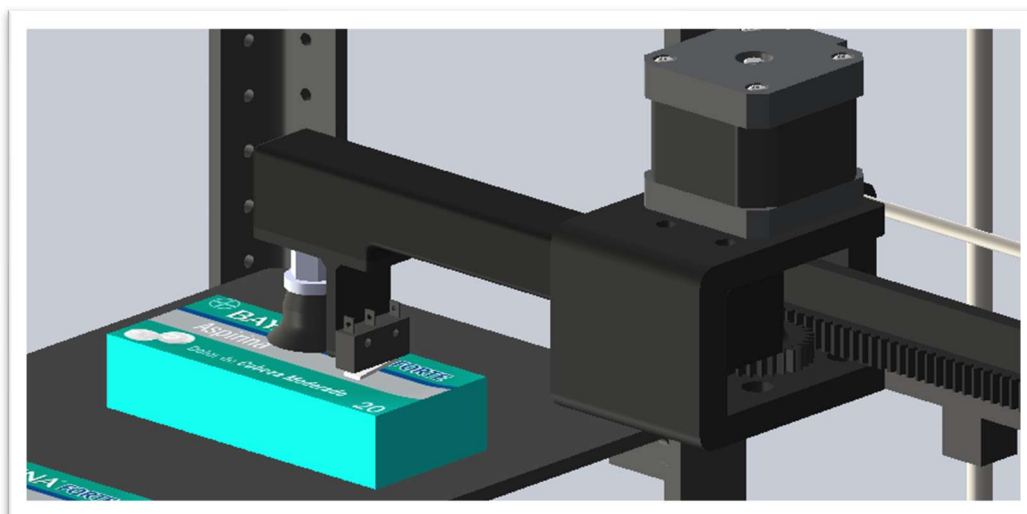
La cantidad de pasos del motor está calibrada cuidadosamente en función de la longitud útil de la cremallera, asegurando que el movimiento se detenga en el punto exacto sin exceder el recorrido disponible.

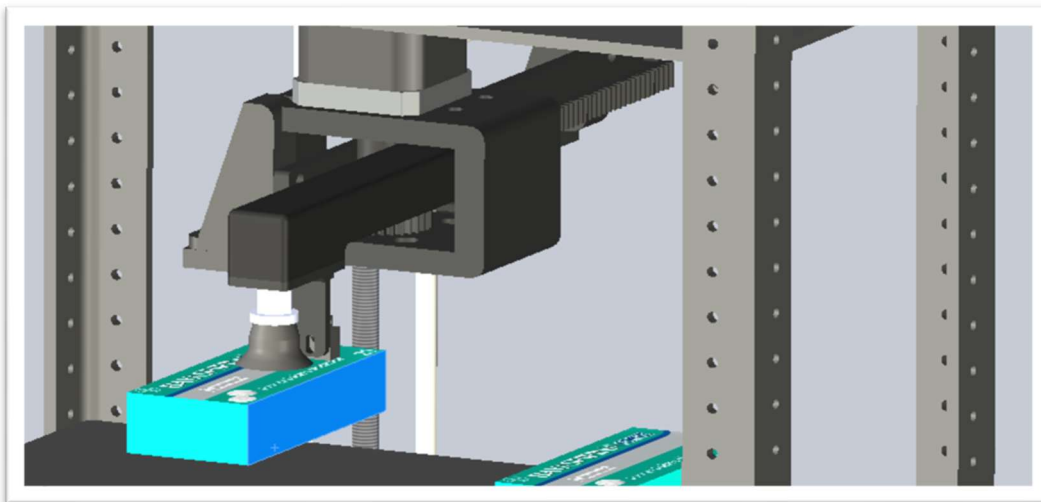


- Una vez que la cremallera alcanza su recorrido máximo, el sistema de elevación comienza a descender la torre hasta que un microswitch, ubicado a la misma altura que la ventosa de succión, entra en contacto con la caja de medicamento. Este sensor garantiza que el contacto sea suficiente para generar el vacío necesario y asegurar una sujeción efectiva del objeto.

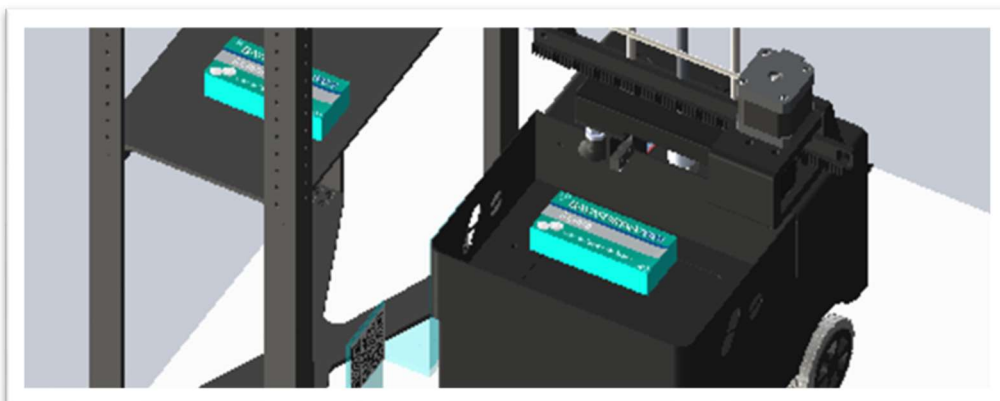
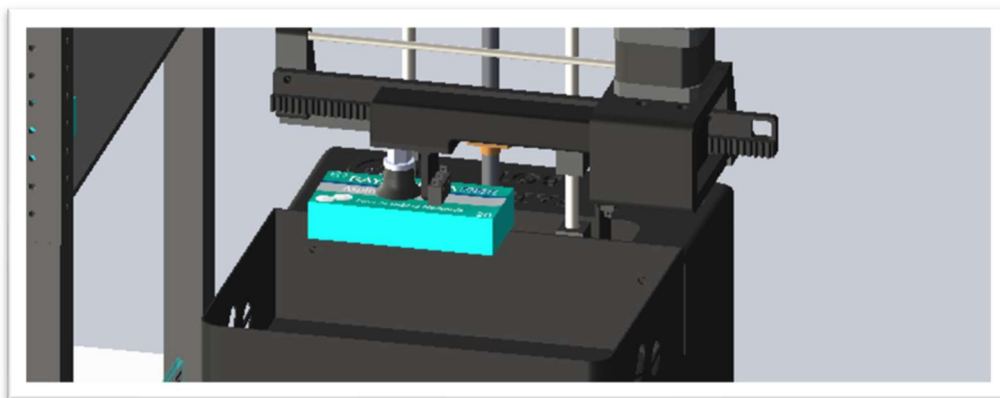


- En ese momento, se activa la bomba de vacío, permitiendo que la caja quede adherida a la ventosa. A continuación, la torre se eleva ligeramente para separar la caja del resto, evitando así arrastrar otros medicamentos apilados.

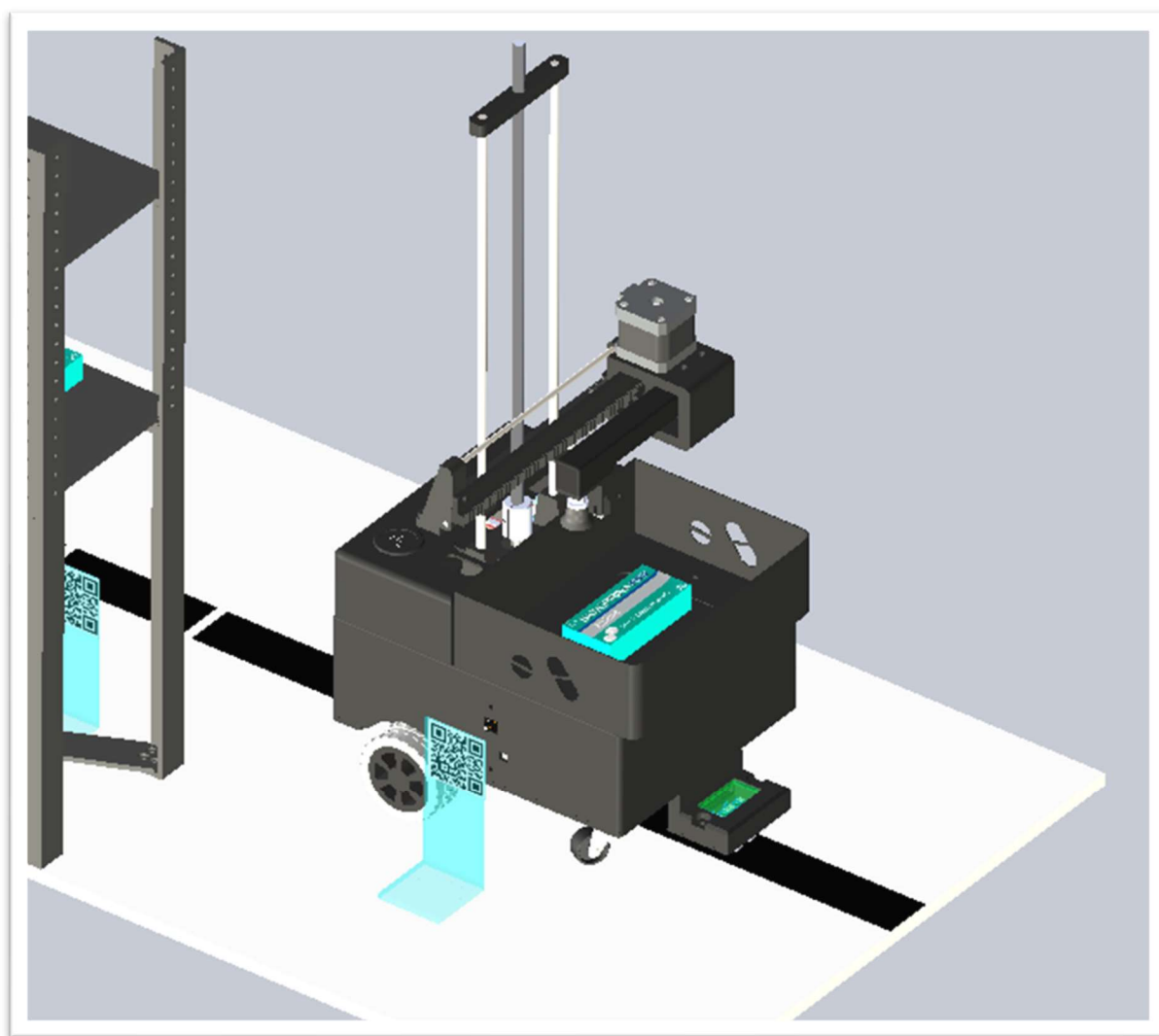




Luego, se procede a retraer la cremallera, manteniendo la caja sostenida, y finalmente la torre vuelve a descender hasta presionar un segundo microswitch, ubicado en su posición de reposo. Este último paso indica que el sistema ha finalizado la secuencia de recolección, desactivando la bomba de vacío para que el medicamento caiga en el recipiente del robot y que está listo para continuar con el transporte del medicamento.



- Una vez que el medicamento ha sido recolectado correctamente, el robot retoma su trayecto siguiendo la línea guía del suelo. Durante el desplazamiento, la ESP32-CAM continúa transmitiendo imágenes al programa de interfaz desarrollado en Python, que se encarga de detectar los códigos QR ubicados a lo largo del recorrido. Cuando se identifica el QR correspondiente al punto final de entrega, el sistema envía una señal de detención al robot, marcando así la finalización de la misión a través de un mensaje al usuario por la interfaz del programa.

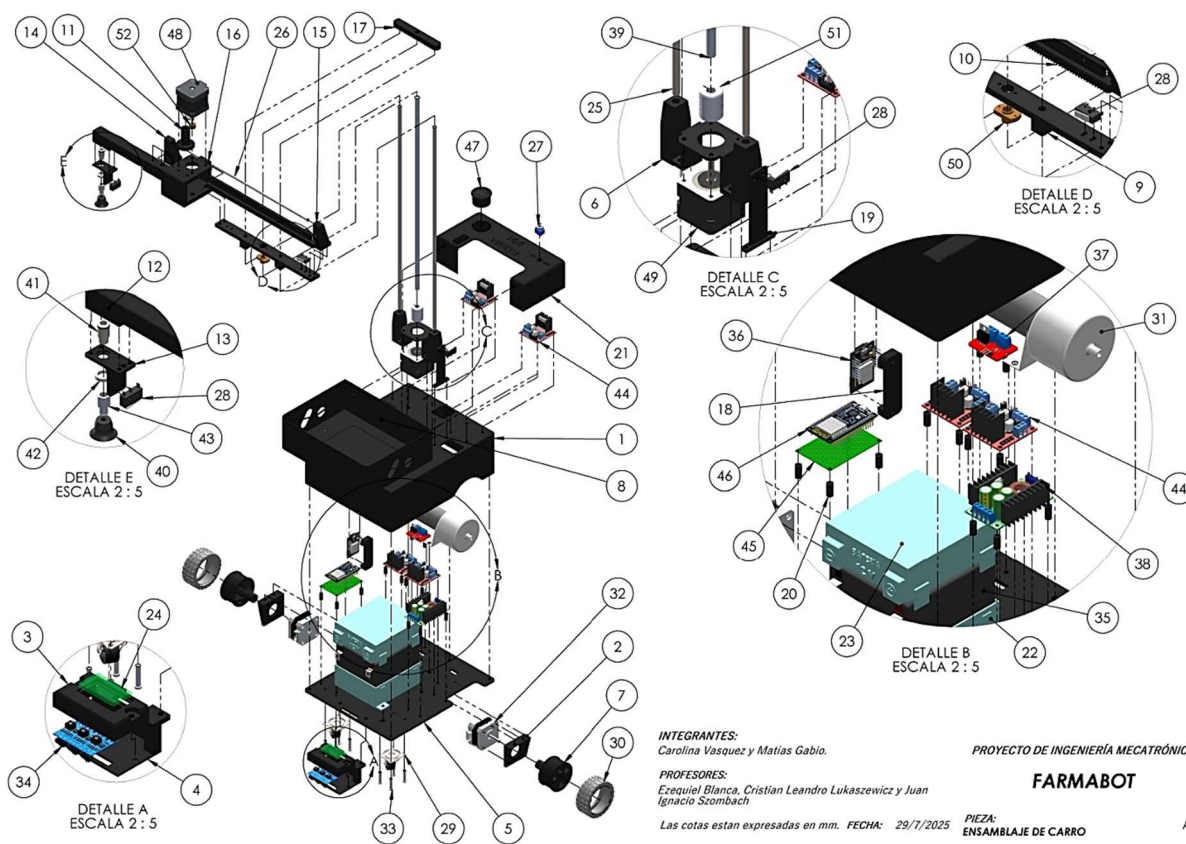
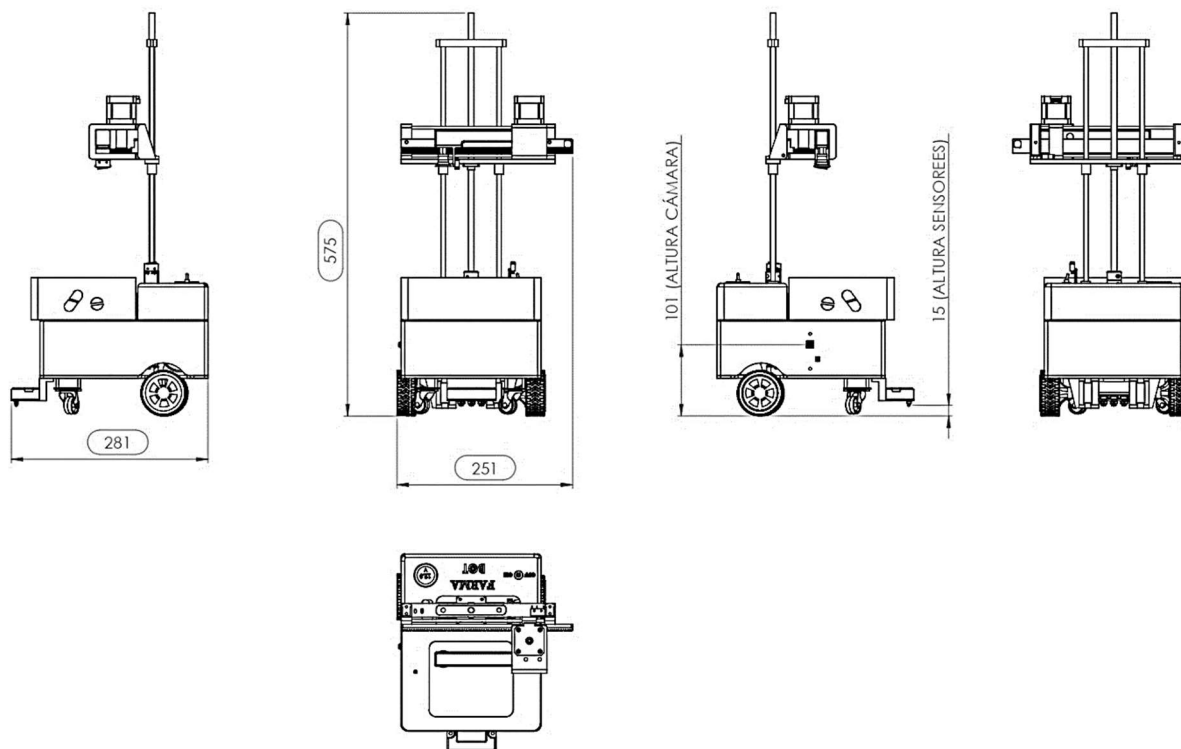




Restricciones y limitaciones

- El robot sólo puede operar en áreas donde haya una línea pintada claramente visible para la navegación.
- El acceso a ciertos niveles de estanterías podría estar limitado por la altura máxima de alcance del robot.
- El robot solo podrá manipular cajas de medicamentos. No se incluirá la manipulación de envases de vidrio, frascos, botellas, blisters, etc.
- El robot no será capaz de hacer reposición de cajas de medicamentos en las estanterías a las que tiene acceso. La persona encargada de renovar stocks deberá colocar las cajas en una posición en la que el robot sea capaz de extraerlas.

Componentes





NOTA. : Para más detalles, ver los planos de ensamblaje, la vista en explosión y los planos individuales de cada componente.

REFERENCIAS DE PIEZAS FABRICADAS

N.º	N.º DE PIEZA	Material	CANTIDAD
1	BASE DE CARRO	PLA NEGRO	1
2	SOPORTE DE RUEDAS	PLA NEGRO	2
3	TAPA DE SENSORES	PLA NEGRO	1
4	SOPORTE DE SENSORES	PLA NEGRO	1
5	BASE DE RUEDA	PLA NEGRO	1
6	FIJACION DE MOTOR DE ASCENSO	PLA NEGRO	1
7	LLANTA Y ACOPLE DE RUEDA MOTRIZ	PLA NEGRO	2
8	CAJON DE MEDICAMENTOS	PLA NEGRO	1
9	SOPORTE MEDIO	PLA NEGRO	1
10	CREMALLERA	PLA NEGRO	1
11	ENGRANAJE DE CREMALLERA CON ACOPLE	PLA NEGRO	1
12	SOPORTE DE SUCCION	PLA NEGRO	1
13	SOPORTE DE SOPAPA Y MICROSWITCH	PLA NEGRO	1
14	DISTANCIADOR DE VARILLAS DERECHO	PLA NEGRO	1
15	DISTANCIADOR DE VARILLAS IZQUIERDO	PLA NEGRO	1
16	SOPORTE DE MOTOR	PLA NEGRO	1
17	UNION DE VARILLAS	PLA NEGRO	1
18	SOPORTE DE ESP 32 CAM	PLA NEGRO	1
19	SOPORTE DE MICROSWITCH	PLA NEGRO	1
20	AISLANTE PLACA	PLA NEGRO	18
21	TAPA SUPERIOR	PLA NEGRO	1
22	SOPORTE BATERIA	PLA CELESTE	1
23	TAPA DE SOPORTE DE BATERIA	PLA CELESTE	1
24	TAPA DE SENSORES TRANSPARENTE	PLA VERDE TRANSLÚCIDO	1
25	VARILLA DE GUIA ASCENSO	ACERO INOX AISI 304	2
26	VARILLA DE GUIA TRASLACION	ACERO INOX AISI 304	2



REFERENCIAS DE PIEZAS COMERCIALES

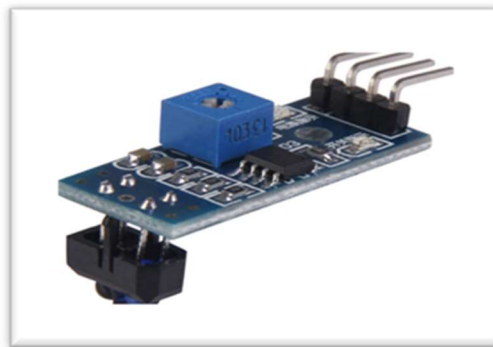
N.º	N.º DE PIEZA	Material	CANTIDAD
27	SELECTORA	COMERCIAL	1
28	MICROSWITCH	COMERCIAL	3
29	RUEDA LIBRE	COMERCIAL	2
30	LLANTA DE RUEDA MOTRIZ	COMERCIAL	2
31	BOMBA DE VACIO CON DIFRAGMA 12 V DC	COMERCIAL	1
32	MOTOR PASO A PASO NEMA 17 17HS2408	COMERCIAL	2
33	TORNILLO M4X20	COMERCIAL	8
34	SENSOR TCRT5000L	COMERCIAL	3
35	BATERIA 12 V 4 AMPHORA	COMERCIAL	1
36	ESP32 CAM	COMERCIAL	1
37	CONTROLADOR CON MOSFET Irf520	COMERCIAL	1
38	CONVERTIDOR DE VOLTAJE DC-DC XL4016 STEP DOWN	COMERCIAL	1
39	VARILLA ROSCADA ASCENSO	COMERCIAL	1
40	SOPAPA V-ZP20UN-X19	COMERCIAL	1
41	RACOR M8 ACOPL	COMERCIAL	1
42	ANILLO DE FIJACION V-ZPL2	COMERCIAL	1
43	ADAPTADOR DE VENTOSA V-ZPT3-B8	COMERCIAL	1
44	CONTROLADOR DOBLE PUENTE H L298 PARA MOTOR DC	COMERCIAL	4
45	PLACA PERFORADA	COMERCIAL	1
46	ESP 32	COMERCIAL	1
47	INDICADOR DE VOLTAJE	COMERCIAL	1
48	MOTOR PASO A PASO NEMA 17 42-40	COMERCIAL	1
49	MOTOR PASO A PASO NEMA 17 42-34	COMERCIAL	1
50	TUERCA THSTL 8 MM TIPO ACME TRAPEZOIDAL	COMERCIAL	1
51	ACOPLE RIGIDO	COMERCIAL	1
52	ENGRANAJE HOBBED MK8 MOLETEADO	COMERCIAL	1

Ingeniería de detalle

El desarrollo del robot recolector de medicamentos comenzó con el objetivo de diseñar un sistema autónomo capaz de asistir en la recolección y transporte de medicamentos dentro de un entorno controlado, como una farmacia o institución médica. Este robot debía seguir una trayectoria predefinida mediante una línea en el suelo, posicionarse frente a estanterías, identificar códigos QR, recolectar medicamentos y transportarlos hasta un punto de entrega.

- **Sistema de Navegación**

Inicialmente, el sistema de navegación se planteó mediante sensores infrarrojos **TCRT5000L**. Se integraron tres sensores alineados para detectar la línea de guía y permitir correcciones dinámicas en la dirección, utilizando un **ESP32** como microcontrolador principal. Las correcciones se implementaron modificando la velocidad relativa de los motores traseros, con el fin de mantener el robot sobre la línea guía.



- **Control de la Bomba de Vacío – Módulo MOSFET LRF520**

Para controlar el encendido y apagado de la bomba de vacío, se optó por utilizar un módulo **MOSFET LRF520**. Este tipo de módulo permite conmutar cargas de mayor potencia (en este caso, 12V para la bomba) utilizando señales de bajo voltaje provenientes del microcontrolador (ESP32).



El funcionamiento básico del módulo MOSFET se basa en la conmutación electrónica mediante un transistor tipo MOSFET canal N, que actúa como un interruptor controlado por voltaje.

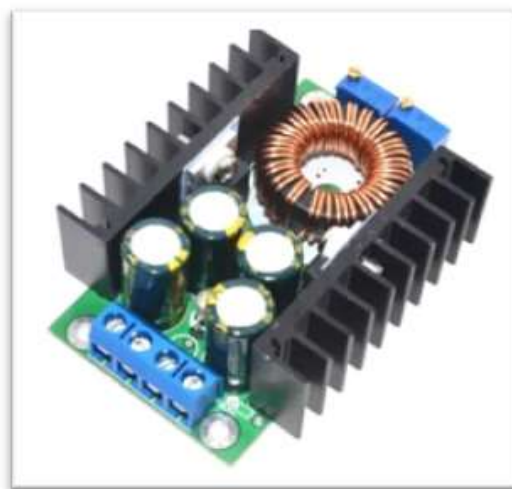
- El terminal de entrada de señal (Gate) recibe una señal de bajo voltaje (por ejemplo, 3.3V o 5V desde el ESP32).
- Cuando esta señal está presente, el transistor se activa (conduce), permitiendo el paso de corriente desde el Drain al Source, y así alimenta la bomba de vacío con los 12V conectados a la entrada de potencia.
- Cuando no hay señal, el transistor se apaga (no conduce) y la bomba permanece desactivada.

Este método resulta eficiente y seguro, ya que evita que el microcontrolador maneje directamente corrientes elevadas, protegiendo sus pines de salida.

- **Reducción de Voltaje – Módulo Step-Down**

El sistema completo funciona con una batería de 12V, sin embargo, tanto el ESP32 como el ESP32-CAM requieren una alimentación estable de 5V. Para reducir el voltaje sin perder eficiencia, se utilizó un módulo reductor de voltaje tipo **Step-Down regulable**

Este módulo permite ingresar un voltaje mayor (12V) y regular la salida a un voltaje inferior (5V en este caso), mediante un potenciómetro ajustable.



Cambios y Mejoras en el Diseño

→ Primer Cambio – Tipo de Motores

Se había considerado el uso de motores DC comunes utilizados en kits Arduino. Sin embargo, durante las pruebas iniciales, estos motores demostraron no tener el **torque necesario** para desplazar el peso total del robot, especialmente cuando se cargaban los componentes y medicamentos. Además, no permitían un control preciso a bajas velocidades, lo que era indispensable para un seguimiento estable de línea y detención exacta frente a estanterías.

Solución: Se reemplazaron por **motores paso a paso de alto torque**, que ofrecían mayor precisión y fuerza, permitiendo un movimiento más controlado y eficiente.

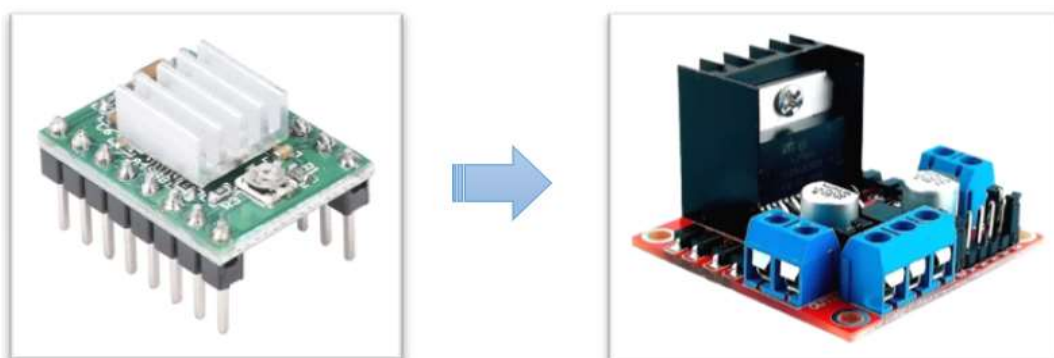


→ Segundo Cambio – Controladores de Motor

En un principio se utilizaron **drivers Pololu** para el control de los motores paso a paso.

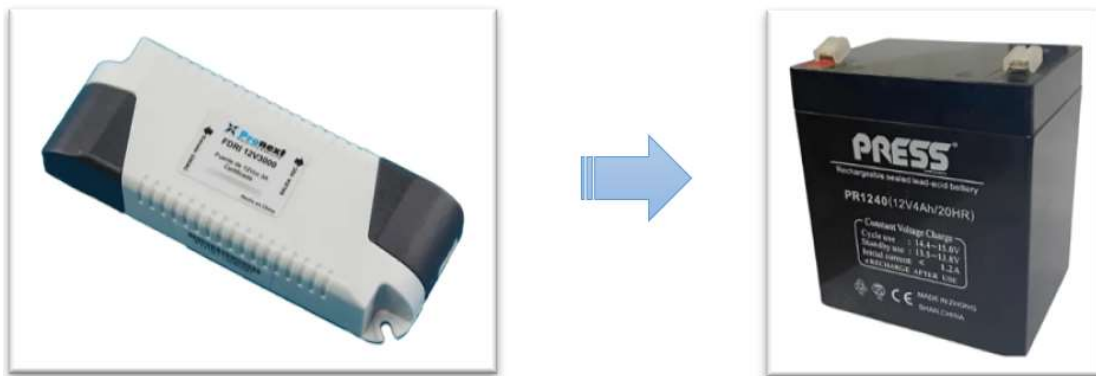
Sin embargo, estos requerían soldaduras finas y resultaban frágiles ante variaciones de corriente, por lo que se estropeaban.

Solución: Se reemplazaron por módulos de puente H L298N, que ofrecían una solución más robusta, sencilla de montar y con buena disipación térmica.



→ Tercer Cambio – Fuente de Alimentación

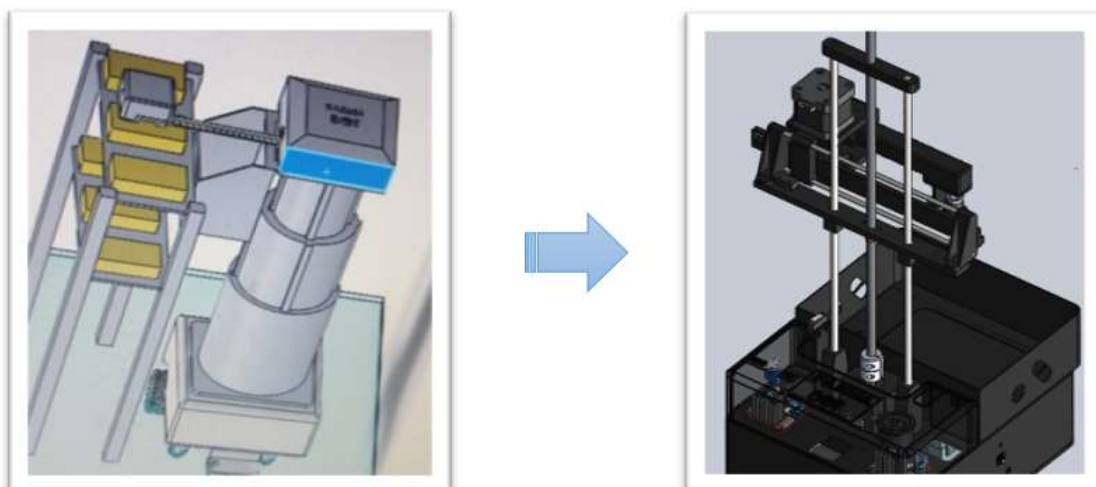
Durante las primeras pruebas se alimentó el robot mediante un transformador externo de 12V. Sin embargo, para otorgarle **autonomía y movilidad**, fue necesario integrar una batería interna que cubriera la demanda de los motores y la bomba de vacío. **Solución:** Se seleccionó una batería de alta capacidad, suficiente para alimentar todos los actuadores. Aunque su peso era considerable, los motores de alto torque permitían el desplazamiento sin problemas.



→ Cuarto Cambio – Mecanismo de Elevación

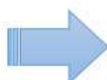
El mecanismo original de elevación consistía en un diseño telescópico, fabricado en 3D. Este presentaba **alto rozamiento y trabas mecánicas**, afectando la eficiencia y confiabilidad del sistema.

Solución: Se rediseñó utilizando una varilla roscada y guías de acero inoxidable, **reduciendo la fricción** y aumentando la precisión del movimiento vertical.



→ Quinto Cambio – Sistema de Posicionamiento Superior

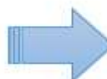
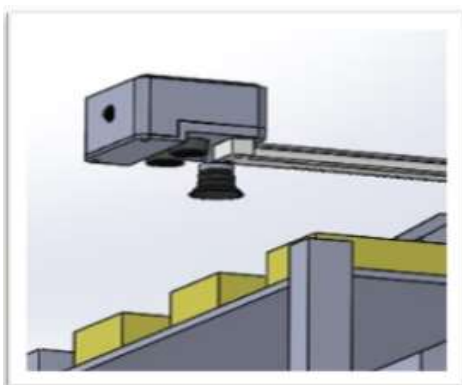
Inicialmente se planeó un sistema giratorio en la parte superior para posicionar los medicamentos en el canasto. Sin embargo, tras optimizar el diseño de la torre y reducir su volumen, se logró implementar un sistema **más simple y compacto**, permitiendo la recolección mediante un solo movimiento sin necesidad de rotación adicional.



→ Sexto Cambio – Sensor de Posicionamiento

En vez del sensor ultrasónico previsto para posicionamiento de la ventosa sobre la caja de medicamentos, se detectaron problemas de falta de precisión en distancias.

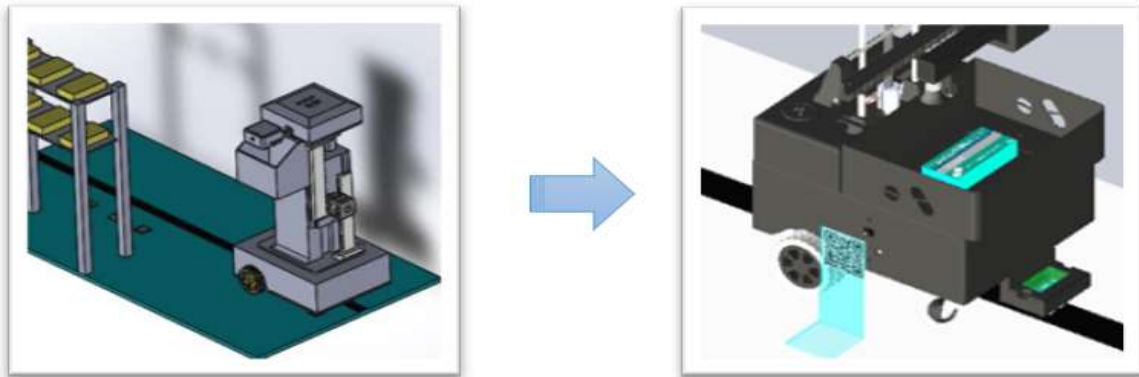
Solución: Se reemplazó por un switch de carrera (sensor de contacto), que proporciona **mayor exactitud**.



→ Séptimo Cambio – Lectura de Códigos QR

La cámara ESP32-CAM encargada de leer códigos QR se ubicó inicialmente a nivel del suelo, iluminada por su LED integrado. Sin embargo, en condiciones de poca iluminación o presencia de suciedad en el piso, la lectura se volvía **poco confiable**.

Solución: Se **elevó la cámara** para asegurar una lectura **precisa del QR**.



Documentos complementarios

**Evaluación de costos****Costo inicial estimado**

CANTIDAD	ITEM	Precio	Sub-Total
1	Módulo L298N	\$ 6.712,00	\$ 6.712,00
2	Motor DC 3V a 6V	\$ 9.563,00	\$ 19.126,00
	Ruedas		
2	Modulo Sensor Infrarrojo Seguidor Linea Tcrt5000	\$ 2.539,00	\$ 5.078,00
2	Motor Pasos a Paso	\$ 8.600,00	\$ 17.200,00
	Modulo UNL2003		
1	Bomba de vacio	\$ 25.000,00	\$ 25.000,00
	Transistor BC549	\$ 400,00	\$ 400,00
	Rele	\$ 5.129,00	\$ 5.129,00
1	Servomotor Mg996	\$ 12.100,00	\$ 12.100,00
1	Sensor de proximidad (ultrasonico) HC-SR04	\$ 2.612,00	\$ 2.612,00
1	Rueda loca	\$ 4.499,00	\$ 4.499,00
6	Microswitch	\$ 1.155,00	\$ 6.930,00
2	Estructura rollo ecofila hellbot PLA Ø1,75	\$ 13.971,00	\$ 27.942,00
1	Ventosa	\$ 18.992,00	\$ 18.992,00
1	Racord m8	\$ 4.482,00	\$ 4.482,00
1	ESP 32	\$ 14.257,00	\$ 14.257,00
2	ESP 32 CAM	\$ 13.882,00	\$ 27.764,00
2	Placa base programador OV2640	\$ 6.600,00	\$ 13.200,00
TOTAL			\$ 211.423,00

**Costo final**

CANT.	N° Pieza	ITEM	Precio	Sub-Total	Observación
2	44	Módulo L298N	\$6.712	\$13.424	
2	No se utilizó	Motor DC 3V a 6V	\$9.563	\$19.126	Se descarto en el diseño final.
	30	Ruedas			
3	34	Modulo Sensor Infrarrojo Tcrt5000	\$2.539	\$7.617	
2	No se utilizó	Motor Paso a Paso 28byj	\$8.600	\$17.200	Se descarto en el diseño final.
	-	Modulo UNL2003			
1	31	Bomba de vacío	\$25.000	\$25.000	
	No se utilizó	Transistor BC549	\$400	\$400	Se descarto en el diseño final.
	No se utilizó	Relé	\$5.129	\$5.129	Se descarto en el diseño final.
1	No se utilizó	Servomotor Mg996	\$12.100	\$12.100	Se descarto en el diseño final.
1	No se utilizó	Sensor de proximidad (ultrasónico) HC-SR04	\$2.612	\$2.612	Se descarto en el diseño final.
2	29	Rueda loca	\$4.499	\$8.998	
3	28	Microswitch	\$1.155	\$3.465	
2	Insumo	Rollo ecofila hellbot PLA Ø1,75	\$13.971	\$27.942	
1	40 Y 42	Ventosa + Anillo de fijación V-ZPL2 + Adaptador de ventosa V-Z-PT3-B8	\$18.992	\$18.992	
1	41	Racord m8	\$4.482	\$4.482	
1	46	ESP 32	\$14.257	\$14.257	
1	36	ESP 32 CAM	\$13.882	\$13.882	
1	Complemento	Placa base programador OV2640	\$6.600	\$6.600	
4	32	Motor Paso a Paso Nema 17 17HS2408	\$15.000	\$60.000	
1	35	Batería 12V	\$33.000	\$33.000	
1	47	Voltímetro De Panel Digital	\$6.300	\$6.300	
1	27	Tecla Llave Switch Interruptor	\$5.500	\$5.500	
1	39 Y 52	Varilla Roscada + Tuerca THSTL 8 MM tipo acme Trapezoidal	\$33.000	\$0	Reciclado
	51	Acople Rígido	\$22.500	\$0	Reciclado
1	38	Step Down DC-DC	\$8.000	\$8.000	
1	48	Motor Paso a Paso Nema 17 42-40	\$20.000	\$0	Reciclado
1	49	Motor Paso a Paso Nema 17 42-34	\$20.000	\$0	Reciclado
1	37	Módulo Irf520 Mosfet	\$3.200	\$3.200	
1	52	Engranaje Hobbed MK8 Moleteado	\$5.291	\$0	Reciclado
1	45	Placa perforada	\$3.811	\$3.811	
1	33	Tornillería	\$10.000	\$10.000	
1	Insumo	Varilla de acero inoxidable 4 mm pulido x 1 m	\$5.300	\$5.300	
1	Insumo	Varilla de acero inoxidable 6 mm pulido x 1m	\$9.990	\$9.990	
TOTAL				\$346.327	



Análisis de desvíos de costos

- Costo inicial: \$ 211.423,00
- Costo final: \$346.327
- ⇒ Desvío de costo: 63.83%

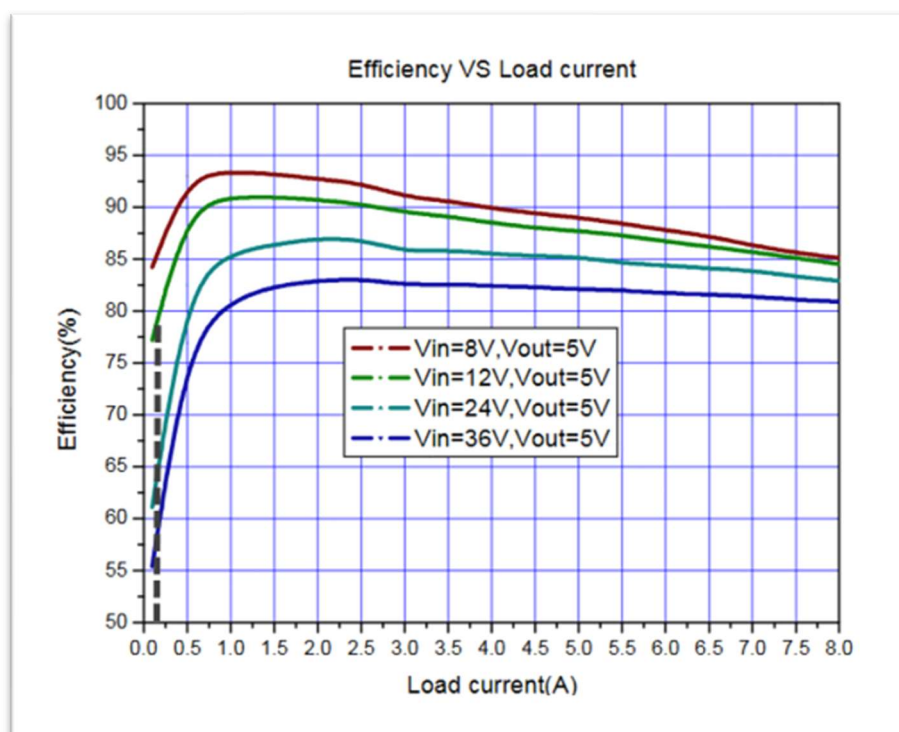


- Motores DC 3V a 6V: No se utilizaron para el diseño final. El torque de los motores no fue suficiente para tener un control estricto del seguimiento de la línea a bajas velocidades.
- Motor Paso a Paso 28byj + Modulo UNL2003: No se utilizaron para el diseño final. El torque del motor no era suficiente para extender la cremallera de la torre y se perdían en ciertos ensayos pasos en el camino para lograr el recorrido deseado.
- Transistor BC549 + Relé: Se reemplazó por un módulo Irf520 Mosfet para el control de la bomba de vacío.
- Sensor de proximidad (ultrasónico) HC-SR04: Dado a que se requería gran precisión para lograr un buen contacto de la ventosa con la caja de medicamentos, se optó por reemplazar el sensor por un microswitch.
- Batería 12V: No se contempló en los costos iniciales dado a que se desconocían los cálculos eléctricos.
- Otros: la varilla roscada, acople, barras y motores paso a paso no contemplados en el costo inicial fueron productos de un rediseño de mecánico en el proyecto.

Cálculos eléctricos

Dado a que el robot será alimentado por una batería de corriente continua, se considera el escenario donde mayor consumo de corriente se presenta. Este escenario se da cuando el robot se desplaza por la línea utilizando 2 motores paso a paso Nema 17 (17HS2408), el ESP32 CAM utilizando el WiFi + cámara OV2640 transmitiendo archivos .jpg, el ESP32 y un Step-down XL4016 considerando la eficiencia brindada por el fabricante para alimentar los microcontroladores.

Datasheet Step-down XL4016:



Parámetro	Valor
Corriente por fase NEMA17	1.5 A
Fases energizadas	1
Cantidad de motores	2
ESP32 sin WiFi	80 mA @ 5V
ESP32-CAM con WiFi + cámara OV2640	300 mA @ 5V
Step-down XL4016 eficiencia	77%



Cálculo de corriente máxima

1) Consumo de los motores en 12V (una fase por motor)

- $1.5 \text{ A por fase} \times 1 \text{ fase} \times 2 \text{ motores} = \mathbf{3.0 \text{ A @ 12V}}$

2) Consumo de los ESP32 en 5V

- ESP32: 80 mA
- ESP32-CAM: 300 mA
- Total 5V = 0.38 A

Potencia total en 5V:

$$P = 5V \times 0.38A = 1.9W$$

Corriente desde 12V por step-down:

$$I = \frac{1.9W}{0.77 \times 12V} \approx 0.205A$$

3) Consumo total a 12V

$$It = 3 \text{ A} + 0.205 \text{ A} = 3.205 \text{ A}$$

Batería seleccionada: Batería de gel 12V 4Ah PR1240.

La batería de gel 12V 4Ah PR1240, por sus características de química AGM sellada y especificaciones del fabricante, puede entregar una corriente pico de hasta 1C (4A) durante cortos intervalos sin degradación significativa de la vida útil. Dado que el sistema presenta un consumo pico máximo estimado de 3,205 A bajo operación normal (una fase energizada por motor), la batería puede suministrar sin inconvenientes dicha corriente.

Cálculos mecánicos

Cálculo y verificación del torque de las ruedas del robot

DATOS

Masa total: 4.3 kg

Ruedas: 2 motrices traseras, 2 ruedas delanteras libres

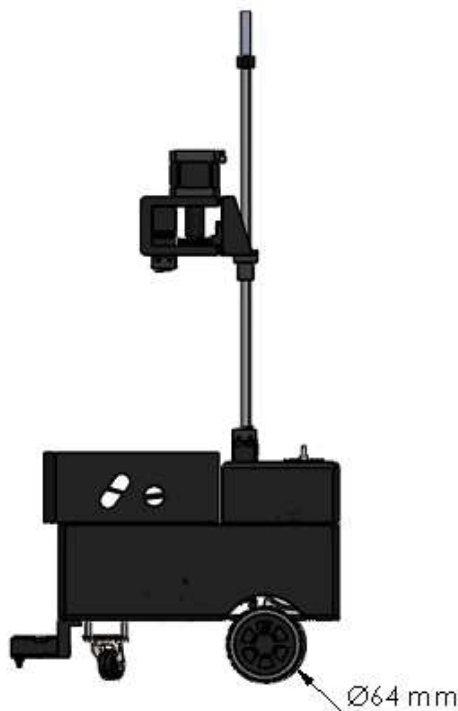
Diámetro de las ruedas: 64 mm

Motores paso a paso: NEMA 17, 1.8° por paso (200 pasos/rev)

Holding torque mínimo: 12 Ncm

Detent torque: 1.6 Ncm

Relación directa rueda-motor (sin reducción)



Cálculo de peso:

$$W = m \times g = 4,3 \text{ kg} \times 9,81 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = 42,18 \text{ N}$$

Se estima que cada rueda soportara la mitad del peso (21,09 N)

Se desprecia el rozamiento.

Cálculo de torque necesario:

$$T = F \times r = 21,09 \text{ N} \times 0,032 \text{ m} = 0,67 \text{ Nm} = 6,749 \text{ Ncm}$$

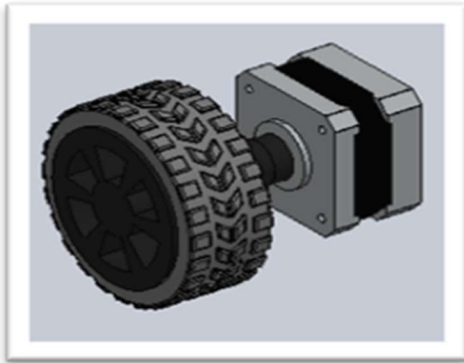
El torque requerido es de 6,749 Ncm y el que entrega cada motor es de 12 Nm por lo que el factor de seguridad es de:

$$\text{Factor de seguridad} = \frac{T_{\text{disponible}}}{T_{\text{requerido}}} = \frac{12}{6,749} = 1,78$$

Se verifica que el motor cumple con el torque necesario para mover el motor.

Cálculo de velocidad lineal

Por programación se le da a cada motor velocidades diferentes dependiendo si esta corrigiendo con los sensores.



DELAY_MIN 15 // Velocidad mínima (delay corto)

DELAY_MED 20 // Velocidad media

DELAY_MAX 25 // Velocidad máxima (delay largo)

Los motores tienen 200 pasos por revolución

Tiempo total de velocidades

$$T = Delay \times N \text{ pasos}$$

$$T_{\text{minimo}} = 15 \text{ ms} \times 200 \text{ pasos} = 3000 \text{ ms} = 3 \text{ s}$$

$$T_{\text{medio}} = 20 \text{ ms} \times 200 \text{ pasos} = 4000 \text{ ms} = 4 \text{ s}$$

$$T_{\text{maximo}} = 25 \text{ ms} \times 200 \text{ pasos} = 5000 \text{ ms} = 5 \text{ s}$$

Frecuencia:

$$f = \frac{1}{T}$$

$$f_{\text{minima}} = \frac{1}{3} = 0,3333 \text{ rev/s}$$

$$f_{\text{medio}} = \frac{1}{4} = 0,25 \text{ rev/s}$$

$$f_{\text{maxima}} = \frac{1}{5} = 0,2 \text{ rev/s}$$



Perímetro:

$$P = \pi \times d = \pi * 0,064 = 0,201 \text{ m}$$

Velocidad lineal:

$$v = F \times P$$

$$v_{\text{minima}} = 0,3333 \frac{\text{rev}}{\text{s}} \times 0,201 \text{ m} = 0,067 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 6,7 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

$$v_{\text{media}} = 0,25 \frac{\text{rev}}{\text{s}} \times 0,201 \text{ m} = 0,05025 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 5 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

$$v_{\text{maxima}} = 0,2 \frac{\text{rev}}{\text{s}} \times 0,201 \text{ m} = 0,0402 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 4 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$



Ensayos y/o testeos

1. Prueba inicial con motores de corriente continua

En una primera etapa se evaluó la posibilidad de utilizar motores de corriente continua (DC) para el desplazamiento del robot. Se implementó una rutina de control de velocidad mediante modulación por ancho de pulso (PWM) para adaptar la respuesta del sistema a distintos tramos del recorrido. Sin embargo, se observó que, al reducir la velocidad para lograr mayor precisión en el seguimiento de línea, el torque entregado por los motores DC no fue suficiente para vencer la inercia del chasis, lo que provocaba atascos o pérdida de movimiento. Esta limitación motivó la migración hacia motores paso a paso, que permiten un control más preciso y un mejor comportamiento en bajas velocidades.

2. Prueba de seguimiento de línea con motores paso a paso y sensores infrarrojos (IR)

Se realizó una validación del sistema, empleando tres sensores infrarrojos para la detección de línea y controlando el movimiento mediante motores paso a paso. Se ajustó el sistema de corrección proporcional basado en la lectura diferencial de los sensores, permitiendo que el robot mantuviera la trayectoria sobre la línea negra con precisión. Este ensayo permitió definir el comportamiento esperado del robot en curvas suaves y detectar la necesidad de desaceleración en giros pronunciados.

3. Prueba de torre telescópica

Se testeó un primer prototipo de torre de elevación con estructura telescópica, accionada por un motor paso a paso. Durante los ensayos, se detectaron trabas mecánicas ocasionadas por el contacto plástico-plástico entre las secciones de la torre, lo que derivó en la pérdida de pasos por parte del motor y fallas en el posicionamiento vertical. Como resultado, se descartó esta solución mecánica por falta de confiabilidad en el funcionamiento.

4. Prueba de comunicación entre ESP32-CAM y aplicación en Python

Se realizó una prueba de comunicación entre la ESP32-CAM y una aplicación desarrollada en Python, encargada de procesar las imágenes capturadas y decodificar los códigos QR. El sistema permitió identificar exitosamente los valores de los QR transmitidos desde la ESP32-CAM vía WiFi. Una vez procesada la información visual, la aplicación pudo activar los pines deseados en el microcontrolador. El resultado fue satisfactorio, validando el flujo completo de captura, procesamiento y respuesta en el sistema.



5. Prueba de bomba de vacío

Se probó el funcionamiento de la bomba de vacío junto con su respectivo módulo de control, con el objetivo de evaluar la capacidad de succión para la recolección de medicamentos. El ensayo fue exitoso, observándose fuerza suficiente para generar vacío y sujetar objetos livianos como blísteres. Este resultado permitió avanzar con la integración del sistema de agarre al mecanismo general.

6. Prueba de nueva torre de elevación con varilla roscada

Como solución alternativa a la torre telescópica, se implementó una torre de elevación basada en una varilla roscada, también accionada por un motor paso a paso. Esta configuración mecánica presentó un comportamiento mucho más fluido y confiable, sin atascamientos. Se realizaron ajustes finos a las posiciones finales programadas, calibrando la cantidad de pasos necesarios para alcanzar distintos niveles de estantería según la selección del usuario y la ubicación del medicamento. Esta prueba validó el correcto funcionamiento del sistema de elevación en condiciones reales.



Propuestas y mejoras futuras

Ruta inteligente basada en códigos QR

Se propone implementar una lógica de navegación inteligente que permita al robot memorizar los códigos QR detectados durante su recorrido. Esta funcionalidad evitaría que el robot pase repetidamente por los mismos puntos, optimizando así el consumo energético y reduciendo los tiempos de operación. La información de los QR recolectados se almacenaría en la memoria de la ESP32, y a partir de ella, el sistema podría tomar decisiones autónomas sobre a qué zonas dirigirse o cuáles evitar.

Alimentación por batería recargable y sistema de carga autónoma

Otra mejora clave consiste en dotar al robot de un sistema de carga autónoma mediante una estación base. Cuando el voltaje de la batería descienda por debajo de un umbral definido, el robot podrá dirigirse automáticamente a dicha estación para recargar energía. El sistema incluiría una batería recargable, sensores de voltaje, y conectores metálicos para facilitar el acoplamiento seguro. Esto aumentaría significativamente la autonomía del robot y permitiría ciclos de trabajo prolongados sin intervención humana.

Sensor de proximidad para detección de obstáculos

Para garantizar una navegación más segura, se plantea incorporar un sensor de proximidad en la parte frontal del robot. Este dispositivo permitiría detectar obstáculos inesperados en su trayectoria, como personas u objetos en movimiento, y realizar maniobras para evitar colisiones.

Verificación de medicamento mediante escaneo de código de barras u OCR

Como mejora orientada a la trazabilidad y seguridad del sistema, se propone añadir una etapa de verificación del medicamento recolectado. Para ello, el robot podría escanear el código de barras presente en cada caja utilizando la ESP32-CAM, comparando la información capturada con la base de datos del pedido. Alternativamente, mediante técnicas de OCR (reconocimiento óptico de caracteres), sería posible leer el texto impreso en la etiqueta del medicamento, garantizando así que se haya seleccionado el producto correcto antes de continuar el recorrido.





Conclusión

El diseño y construcción del robot recolector de medicamentos logro satisfacer la necesidad concreta en entornos farmacéuticos: mejorar la eficiencia operativa en la preparación de pedidos mediante la automatización parcial del proceso.

A lo largo del proyecto, se logró implementar un sistema autónomo capaz de desplazarse siguiendo una trayectoria predefinida, identificar ubicaciones mediante códigos QR y coordinar acciones a través de una interfaz gráfica en Python, en comunicación con la ESP32-CAM.

Durante el desarrollo enfrentamos desafíos técnicos que demandaron rediseños tanto en el sistema mecánico como en la electrónica.

Como se observó en el análisis de costos los cambios generaron un incremento, tanto en recursos como en tiempo.

Más allá de los aspectos técnicos, el proyecto dejó en evidencia la importancia del diseño iterativo, la validación constante y la integración efectiva entre hardware y software.

El robot no solo cumple con las funciones previstas como asistir al farmacéutico, reducir los tiempos de búsqueda y transporte de medicamentos y minimizar los errores humanos—, sino que también sienta las bases para futuras mejoras y adaptaciones en otros entornos.

En resumen, el proyecto no solo alcanzó sus objetivos funcionales, sino que también aportó experiencia valiosa en desarrollo de soluciones robóticas aplicadas.