


INVESTIGACIÓN

TECNOLÓGICA IST CENTRAL TÉCNICO

Volumen 8 · Número 1 · Junio 2026 · Publicación semestral



Desarrollo e implementación de un sistema de dispensación automática de medicamentos basado en ventosas de precisión y control de coordenadas XY.

Development and Implementation of an Automatic Medication Dispensing System Based on Precision Suction Cups and XY Coordinate Control

Desarrollo e implementación de un sistema de dispensación automática de medicamentos basado en ventosas de precisión y control de coordenadas XY

Lenin Ramiro Merino Villegas¹[0000-0002-0315-246X], Víctor Gonzalo Taco Chalá²[0000-0002-4249-2643], Edwin Patricio Tituaña Calo³, Jhoel Bladimir Chiluisa Chicaiza⁴

¹ Instituto Superior Universitario Sucre, Quito, Ecuador
E-mail: imerino@tecnologicosucre.edu.ec

² Instituto Superior Universitario Sucre, Quito, Ecuador
E-mail: vtaco@tecnologicosucre.edu.ec

³ Instituto Superior Universitario Sucre, Quito, Ecuador
E-mail: tituana.edwin.patricio@gmail.com

⁴ Instituto Superior Universitario Sucre, Quito, Ecuador
E-mail: j.b.chiluisa.chicaiza@gmail.com

Recibido: 06/05/2026

Aceptado: 12/06/2026

Publicado: 30/06/2026

RESUMEN

La presente investigación detalla el diseño, desarrollo y fabricación de una máquina dispensadora de medicamentos que integra un sistema automatizado de movimiento en los ejes X, Y, controlado por motores DC, una bomba de succión, y sistemas embebidos para la gestión del usuario y la operación de la máquina. El sistema cuenta con una interfaz visual en una pantalla de 19 pulgadas y un sistema de ingreso de saldo mediante monedero electrónico, todo controlado por una Orange Pi 3 LTS y una tarjeta ESP8266. Se desarrolló una lógica de navegación jerárquica por niveles para la selección del medicamento mediante botones físicos, y se implementó una estructura de datos parametrizable en software para asociar cada producto con su nombre, precio y código de control enviado al microcontrolador ESP8266. La validación funcional permitió comprobar la interacción entre la interfaz gráfica, el sistema de saldo, la comunicación serial y el accionamiento electromecánico del mecanismo de dispensación. Los resultados evidencian que el prototipo cumple con las funciones esenciales de selección, validación de saldo y entrega automatizada, constituyéndose en una base técnica modular para futuras mejoras del sistema.

Palabras clave: *Dispensación automática, Actuadores electromecánicos, Sistemas embebidos, Orange Pi 3 LTS, Coordenadas XY.*

ABSTRACT

This research presents the design, development, and manufacturing of a medication dispensing machine that integrates an automated motion system along the X, Y, controlled by DC motors, a suction pump, and embedded systems for user management and machine operation. The system features a 19-inch LCD visual interface and a balance input system via an electronic coin acceptor, all managed by an Orange Pi 3 LTS and an ESP8266 board. A hierarchical multi-level navigation logic was developed for medication selection through physical buttons, and a software-parameterized data structure was implemented to associate each product with its name, price, and control code sent to the ESP8266 microcontroller. The functional validation confirmed the interaction among the graphical interface, the balance management system, the serial communication, and the electromechanical actuation of the dispensing mechanism. The results show that the prototype performs the essential functions of product selection, balance validation, and automated delivery, establishing itself as a modular technical basis for future system improvements.

Index terms: Automatic dispensing, Electromechanical actuators, Embedded systems, Orange Pi 3 LTS, XY coordinates.

1. INTRODUCCIÓN

La disponibilidad de la dispensación de fármacos en entornos de alta demanda exige soluciones que minimicen el error humano y aceleren la atención, así como la disponibilidad en situaciones de emergencia y fuera de los horarios habituales de operación de farmacias. En este escenario, la automatización de este proceso emerge como una alternativa tecnológica clave para optimizar la logística farmacéutica y resguardar la seguridad del paciente (Zafra Fernández et al., 2012). Si bien la literatura reciente sobre gabinetes automatizados destaca mejoras sustanciales en los flujos de trabajo y el control de inventarios, autores como Tu et al. (2023) y Al Mutair et al. (2025) advierten que estos beneficios no son automáticos: la efectividad real depende críticamente de la capacitación del personal, el contexto local y una integración armónica con los procesos preexistentes.

Desde la perspectiva de la ingeniería, estos dispositivos materializan la convergencia entre la mecatrónica, los sistemas embebidos y el diseño de interfaces aplicadas a la salud. Al combinar hardware mecánico, electrónica y control computarizado, la mecatrónica médica permite desarrollar sistemas precisos y adaptables (Martins et al., 2025). No obstante, el verdadero desafío actual radica en la accesibilidad. Diseñar equipos modulares y de bajo costo se vuelve una prioridad en entornos que necesitan soluciones escalables y fáciles de mantener, sin quedar atados a las restricciones financieras de las licencias comerciales.

La viabilidad de estos dispensadores va más allá del simple acto mecánico de liberar un producto.

De hecho, factores como la claridad de la interfaz, los protocolos de seguridad, la ergonomía de recarga y la fiabilidad del mecanismo determinan si el usuario adoptará o rechazará la tecnología (Gargioni et al., 2024). Por lo tanto, cuando se proyectan prototipos para puntos de autoservicio, la interacción debe ser intuitiva y transparente, apoyándose en recursos visuales y físicos directos, como pantallas, botoneras e indicadores de saldo en tiempo real. El diseño mecánico del sistema de manipulación exige un cuidado especial. Para productos ligeros o empaquetados en blísteres, las ventosas de vacío representan una solución superior a las pinzas convencionales, las cuales suelen dañar las superficies delicadas o fallar ante geometrías complejas. Como señala Schmalz, Inc. (2009), la manipulación de blísteres es delicada debido a las láminas de sellado delgadas y las cavidades hundidas que comprometen el vacío. Para resolver el traslado de estos paquetes, las configuraciones cartesianas (XY o XYZ) siguen siendo la norma industrial gracias a su alta repetibilidad y control preciso en áreas de trabajo delimitadas (Omron Automation, s. f.).

Partiendo de estas premisas, esta investigación aborda el diseño, construcción e implementación de un prototipo de máquina dispensadora automatizada de medicamentos. El núcleo del sistema emplea un mecanismo de coordenadas XY, sujeción por vacío y un esquema de control distribuido que divide tareas entre una Orange Pi 3 LTS y un microcontrolador ESP8266. A nivel de usuario, el dispositivo integra una pantalla LCD de 19 pulgadas, botones físicos, un monedero electrónico y tarifas configurables por software, comunicados mediante un protocolo serial. Cabe enfatizar que, a diferencia de los complejos sistemas hospitalarios vinculados a historias clínicas, este proyecto valida estrictamente la viabilidad funcional y de bajo costo de una arquitectura orientada a la selección, pago directo y entrega de productos.

El valor de este trabajo reside en su enfoque integrador, logrando articular hardware, software e interfaz física en una plataforma modular única. Los datos experimentales recopilados sobre la cinemática de los ejes, el procesamiento del monedero y la estabilidad de la comunicación entre tarjetas no solo validan el prototipo, sino que sientan las bases técnicas para futuras iteraciones, tales como la automatización del eje Z, la incorporación de sensores de confirmación de caída y la validación del sistema en un entorno operativo real.

2. MATERIALES Y MÉTODOS / DESARROLLO

La máquina dispensadora de medicamentos ha sido diseñada bajo un enfoque modular, integrando componentes mecánicos, electrónicos y un software que trabajan de manera coordinada para garantizar un funcionamiento eficiente y preciso. Su arquitectura general se divide en tres subsistemas principales: el sistema de control y visualización, el sistema de movimiento XYZ, y el sistema de interacción con el usuario y dispensación. Cada uno de estos subsistemas cumple funciones específicas y se interconecta a través de interfaces físicas y lógicas bien definidas.

Sistema de control y visualización:

Este subsistema está compuesto por una tarjeta Orange Pi 3 LTS, que actúa como el cerebro del sistema, gestionando la interfaz gráfica de usuario, el control de saldo y la navegación entre

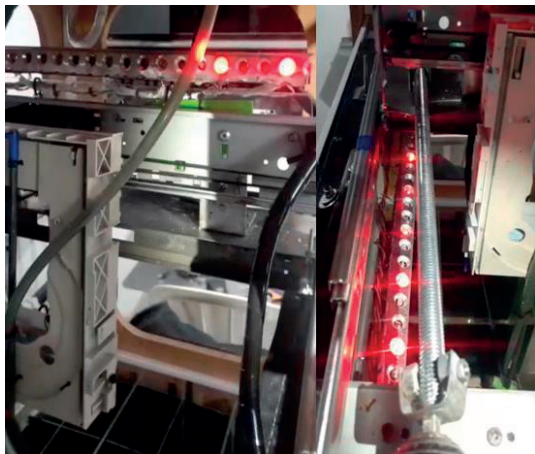
opciones de medicamentos. La Orange Pi está conectada a una pantalla de 19 pulgadas, en la cual se muestra la información esencial para el usuario, como las opciones de selección y el saldo disponible. Este sistema también se encarga de recibir las señales del monedero electrónico, procesarlas y actualizar el saldo visualizado.

Sistema de movimiento XYZ:

El diseño actual incorpora control electrónico solo para los ejes X e Y. El eje Z, en cambio, no dispone de control automatizado y su recorrido se ajusta mediante una calibración previa que determina el punto final del movimiento según la longitud del eje. Para ello, se utilizan dos motores de corriente directa de 12 y 5 voltios para el desplazamiento en los ejes X e Y, y para el eje Z (movimiento vertical) respectivamente. Estos motores son alimentados con una fuente de poder de computadora tipo ATX, la cual proporciona los voltajes necesarios con suficiente estabilidad y potencia. El control del movimiento está a cargo de una tarjeta ESP8266, que recibe comandos seriales enviados desde la Orange Pi y activa los motores según las coordenadas predefinidas para cada medicamento. Están acoplados a mecanismos de transmisión mecánica, como guías lineales y correas dentadas, que permiten un movimiento controlado a lo largo del área de almacenamiento de los medicamentos.

Figura 1.

Sistema de movimiento XY



Sistema de interacción y dispensación:

Este subsistema incluye los elementos que permiten al usuario interactuar con la máquina y recibir el medicamento. Se compone de seis botones físicos, distribuidos verticalmente a los lados de la pantalla, que permiten seleccionar un tipo de medicamento. Cada botón está conectado a pines GPIO específicos de la Orange Pi, permitiendo su detección inmediata al ser presionado. Además, se incorpora un monedero electrónico que reconoce hasta seis denominaciones diferentes de monedas, generando pulsos que son interpretados por la Orange

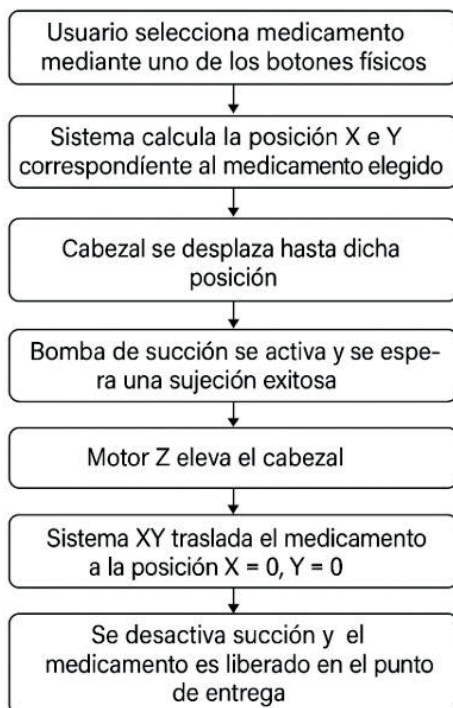
Pi para calcular el saldo del usuario. Finalmente, el cabezal de dispensación cuenta con una bomba de succión conectada a una manguera neumática, que acciona una ventosa para recoger el medicamento seleccionado y trasladarlo a la posición de entrega (coordenadas $X = 0, Y = 0$). Tras llegar a la ubicación destino, se desactiva la bomba, liberando el medicamento de forma controlada para que caiga suavemente en la bandeja de salida o compartimento de recolección. Esta arquitectura modular permite un desarrollo flexible, donde cada componente puede ser ajustado o reemplazado sin afectar significativamente al resto del sistema, facilitando su mantenimiento, mejora o ampliación futura.

El sistema de movimiento de la máquina dispensadora permite desplazar el cabezal de succión en tres dimensiones (X, Y y Z). Los ejes X e Y están controlados electrónicamente para posicionar con precisión el cabezal sobre el medicamento seleccionado, mientras que el eje Z opera mediante una calibración fija basada en su recorrido mecánico, permitiendo descender hasta el punto requerido para la extracción y posterior entrega del producto.

Secuencia de funcionamiento:

Figura 2.

Secuencia de funcionamiento del sistema de dispensación automática de medicamentos.



El proceso de dispensación sigue una secuencia lógica y sincronizada:

1. El usuario selecciona el medicamento mediante uno de los botones físicos.
2. El sistema calcula la posición X e Y correspondiente al medicamento elegido.

3. El cabezal se desplaza hasta esa posición.
4. Se activa el motor Z para bajar el cabezal hasta el nivel del medicamento.
5. Se activa la bomba de succión y se espera la sujeción exitosa.
6. El motor Z eleva el cabezal.
7. El sistema XY traslada el medicamento a la posición $X = 0, Y = 0$.
8. Se desactiva la succión y el medicamento es liberado en el punto de entrega.

La interacción entre el usuario y el sistema se realiza principalmente a través de una pantalla de 19 pulgadas y seis botones físicos distribuidos a los lados de la pantalla.

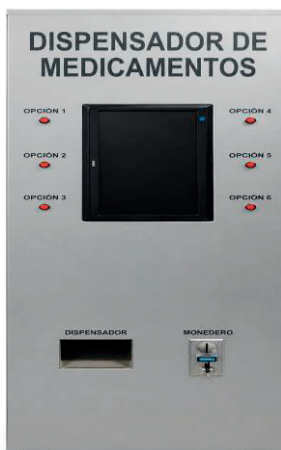
Al encender la máquina, la pantalla arranca directamente con el menú de opciones de malestares, donde, en la parte inferior se encuentra un indicador de saldo, que se actualiza automáticamente conforme se insertan monedas en el monedero electrónico. Cada moneda insertada genera pulsos eléctricos que son leídos desde el pin GPIO correspondiente, y cada pulso representa un incremento según el valor configurado por pulso del monedero en el saldo del usuario. El valor actual del saldo se visualiza en tiempo real en la pantalla mostrando el mensaje "SALDO: \$x.xx", lo cual incentiva la interacción y mejora la legibilidad del estado de la máquina.

La máquina cuenta con seis botones físicos conectados a los pines GPIO mediante la librería gpiod (utilizada para Orange Pi). Están organizados verticalmente, tres a cada lado de la pantalla:

- Lado izquierdo (de arriba hacia abajo):
 - Botón 1 (GPIO Line 114): Medicamento 1 / Opción 1
 - Botón 2 (GPIO Line 111): Medicamento 2 / Opción 2
 - Botón 3 (GPIO Line 112): Medicamento 3 / Opción 3
- Lado derecho (de arriba hacia abajo):
 - Botón 4 (GPIO Line 117): Medicamento 4 / Opción 4
 - Botón 5 (GPIO Line 120): Medicamento 5 / Opción 5
 - Botón 6 (GPIO Line 119): Instrucciones

Figura 3

Vista frontal del prototipo de máquina dispensadora con pantalla integrada y panel de selección



Los botones son gestionados mediante detección de flancos descendentes (cambio de estado de ALTO a BAJO), lo cual garantiza una lectura eficiente y evita múltiples activaciones involuntarias. Al presionar un botón, el sistema evalúa el saldo disponible y, si es suficiente, se descuenta el valor del medicamento seleccionado, se muestra un mensaje de confirmación (“Dispensando...”), y se envía el código correspondiente al microcontrolador ESP8266 por comunicación serial.

Cada producto tiene asignado un nombre, precio y código único. Estos parámetros están definidos dentro del código fuente como un diccionario de datos, lo que permite modificar fácilmente el precio de los productos sin necesidad de reprogramar toda la aplicación. Al presionar el botón 6, la pantalla muestra un mensaje temporal de instrucciones con duración de 5 segundos, el cual guía al usuario en el uso correcto de la máquina: “Instrucciones: Ingrese el dinero necesario y elija su producto.” Este mensaje se puede cerrar manualmente volviendo a presionar el botón de instrucciones.

Cada uno de estos pulsos generados por el monedero, es detectado por la tarjeta Orange Pi a través del pin configurado como entrada digital (PD22 – Línea GPIO 118), utilizando la librería `gpiod` para una lectura precisa del estado del pin. Dentro del programa, cada pulso detectado equivale a un incremento de \$0,25 (veinte y cinco centavos) en el saldo actual del usuario. Esta equivalencia está definida en una constante denominada `CREDIT_INCREMENT`, la cual puede ser fácilmente ajustada en el código para adaptarse a otras configuraciones de monedero o valores por pulso. El sistema detecta cada pulso utilizando una técnica de detección de flanco descendente, es decir, identifica el momento en que el estado del pin cambia de alto a bajo (1 a 0). Esto permite registrar únicamente eventos reales de inserción de moneda y evita lecturas duplicadas o falsas activaciones.

Cada vez que se detecta un nuevo pulso, se ejecuta la función `pulso_monedero()`, que actualiza la variable global `current_balance`, la cual almacena el saldo actual. Este valor es inmediatamente reflejado en la interfaz gráfica, permitiendo al usuario conocer con precisión cuánto ha ingresado. Los precios de los medicamentos están definidos dentro del código fuente como parte de una estructura tipo diccionario en el lenguaje Python. Esta estructura, llamada `MEDICAMENTOS`, asigna a cada botón un identificador numérico (del 1 al 5) y almacena tres atributos clave para cada producto: Nombre del medicamento, Precio en dólares (valor decimal, múltiplo de 0.25), Código de control para la tarjeta ESP8266

Interfaz de navegación y parametrización de productos

La interfaz se ejecuta en la Orange Pi 3 LTS y es visualizada a través de una pantalla de 19 pulgadas, donde, la navegación se encuentra estructurada en niveles jerárquicos, de este modo cada usuario selecciona primero una de las 6 categorías establecidas, luego una subcategoría y finalmente la opción de medicamento disponible. La interacción se realiza mediante los botones físicos tratados en el apartado anterior.

El programa organiza los productos en una estructura de datos tipo diccionario, denominada “Medicamentos”, en la cual cada producto contiene tres parámetros: nombre, precio y código.

El código se envía al microcontrolador ESP8266 para activar la secuencia electromecánica correspondiente al medicamento seleccionado. Esta organización permite modificar los precios desde el archivo de configuración del programa sin alterar la lógica general de navegación ni la comunicación con el sistema de control.

Como ejemplo de parametrización, la categoría “Malestar estomacal” fue organizada en subniveles de selección, permitiendo el desplazamiento desde el menú principal hasta la selección y dispensación del producto final “Digesta”. El siguiente fragmento representa la estructura utilizada para asociar categorías, subcategorías, productos, precios y códigos de control.

```
"3": {  
  "nombre": "Malestar estomacal",  
  "opciones": {  
    "1": { "nombre": "Alivio estomacal e indigestión", "opciones": { "1": {"nombre": "Digestotal Forte", "precio": 1.50, "codigo_esp": 31},  
    "2": {"nombre": "Digesta tabletas", "precio": 1.00, "codigo_esp": 32}  
    }},  
    "2": {  
      "nombre": "Cólicos o espasmos",  
      "opciones": {  
        "1": {"nombre": "Buscapina Duo", "precio": 1.75, "codigo_esp": 33}  
      }},  
    "3": {  
      "nombre": "Equilibrio Gastrointestinal",  
      "opciones": {  
        "1": {"nombre": "Loperamida", "precio": 1.00, "codigo_esp": 34}  
      }},  
    "4": {  
      "nombre": "Tránsito y regulación intestinal",  
      "opciones": { "1": {"nombre": "Dulcolax tableta", "precio": 1.00, "codigo_esp": 35} }  
    }  
  }  
}
```

Durante la operación, el sistema compara el saldo disponible con el precio del medicamento seleccionado. Si el saldo es suficiente, se descuenta el valor correspondiente, se muestra un mensaje de confirmación en pantalla y se envía el código del medicamento al ESP8266. Si el saldo es insuficiente, no se ejecuta la dispensación.

3. RESULTADOS

Validación de la interfaz de navegación

La lógica de la navegación por niveles se evaluó mediante pruebas funcionales en el dispensador físico. En la Figura 4 se detalla este proceso usando como ejemplo la selección de “Digesta”. Primero, el usuario interactúa con el menú principal y sus categorías; al presionar “Malestar estomacal”, se abre un submenú de opciones. Al avanzar hacia “Alivio estomacal e indigestión”, el sistema filtra y muestra los productos específicos. La secuencia culmina cuando, tras validar que el saldo cubre el costo, aparece en pantalla el mensaje “Dispensando Digesta tabletas...”.

La prueba deja en evidencia que el acceso a los medicamentos sigue una ruta jerárquica controlada por software y ejecutada mediante botones físicos. Asimismo, la visualización del saldo en pantalla y el mensaje de confirmación de dispensación permite comprobar que la interfaz de usuario, el sistema de saldo y el microcontrolador ESP8266 trabajan de manera integrada.

Figura 4

Evidencia funcional de la interfaz de navegación por niveles y selección de medicamentos



Nota. (a) Menú principal del dispensador. (b) Submenú de la categoría “Malestar estomacal”. (c) Subnivel “Alivio estomacal e indigestión”. (d) Selección final del medicamento con saldo disponible. (e) Mensaje de confirmación de dispensación.

La Tabla 1 resume la validación funcional de la interfaz de navegación, relacionando cada función implementada con la evidencia observada en pantalla y el criterio utilizado para verificar su funcionamiento.

Tabla 1

Validación de la interfaz de navegación

Función validada	Evidencia en pantalla	Criterio de validación
Navegación por niveles	Menú principal → Malestar estomacal → Alivio estomacal	El sistema cambia de menú según la opción seleccionada
Selección por botones físicos	Cada opción se identifica con un número	La pulsación del botón permite avanzar o retroceder
Parametrización de productos	Producto "Digesta" asociado a una categoría	El producto aparece dentro de la estructura configurada
Gestión de saldo	Pantalla muestra "Saldo: \$1.00"	El saldo se visualiza antes de autorizar la compra
Confirmación de dispensación	Mensaje "Dispensando Digesta tabletas..."	El sistema confirma la selección y ejecuta la secuencia de entrega

Validación de la integración hardware- software

El funcionamiento conjunto de la Orange Pi 3 LTS, el monedero electrónico, la interfaz y el ESP8266 quedó demostrado mediante las pruebas funcionales. En este flujo, la comunicación serial fue clave para transferir el código del medicamento desde la Orange Pi hacia el microcontrolador, el cual ejecutó la secuencia electromecánica sin inconvenientes.

Por otra parte, la validación del monedero se logró al procesar las señales de entrada de dinero y proyectar el saldo actualizado en la pantalla de 19 pulgadas, un paso crucial para verificar los fondos antes de liberar el producto. Respecto al movimiento mecánico, la selección del fármaco activó las secuencias de los motores y relés en los ejes X e Y, guiando el cabezal de succión a la posición exacta.

La interfaz gráfica se acopló bien a los botones físicos, mostrando transiciones limpias de menús y estados de operación. Cabe destacar que durante el proceso se ajustaron pequeños retardos y el efecto rebote en la lectura de los pulsadores, elevando la estabilidad del sistema. Al final, estos avances confirman que la integración hardware-software presentó un funcionamiento estable durante las pruebas realizadas.

Desempeño cinemático y consumo eléctrico del sistema

Además, los ensayos de desplazamiento evidenciaron diferencias significativas en el comportamiento dinámico de cada eje del sistema cartesiano. Como se observa en la Figura 5, el

tiempo de desplazamiento en el eje Y aumenta de forma proporcional a la distancia recorrida, registrando valores de 2,0 s, 3,1 s, 4,8 s y 7,0 s para las posiciones (0,1), (0,2), (0,3) y (0,4), respectivamente, lo que refleja una velocidad promedio de 0,57 unid. /s. En contraste, el eje X mostró un desempeño notablemente superior, alcanzando una velocidad constante de 3,0 unid. /s para el recorrido completo entre (0,0) y (3,0), como se aprecia en la Figura 5.

Este comportamiento confirma que el eje Y constituye la principal limitante cinemático del sistema, dado que su velocidad es aproximadamente 5,3 veces menor que la del eje X. Por otro lado, la Figura 7 muestra el perfil de corriente, evidenciando un pico de arranque de 25 A seguido de una estabilización en 7,8 A durante el movimiento en régimen permanente, lo que corresponde a una reducción del 68,8 %. Este comportamiento es consistente con motores de corriente continua sometidos a cargas de elevación y refleja un adecuado dimensionamiento del actuador para el esfuerzo requerido en la etapa de sujeción y liberación del medicamento.

Figura 5

Tiempo de desplazamiento del eje Y.

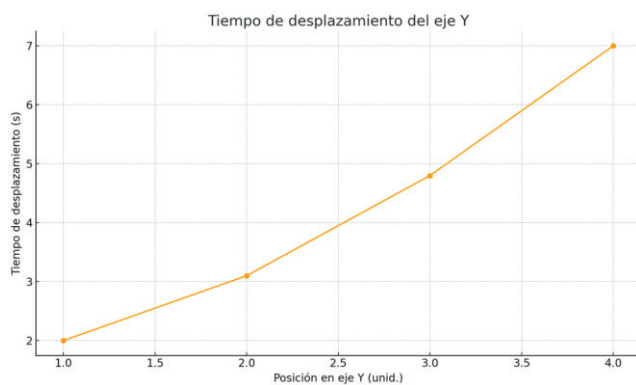


Figura 6.

Comparación de velocidad promedio por eje.

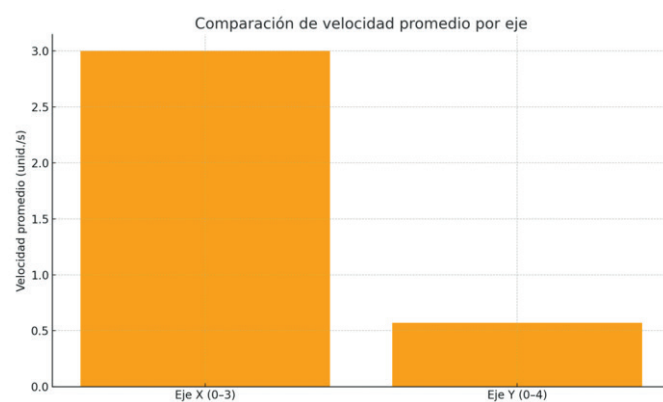
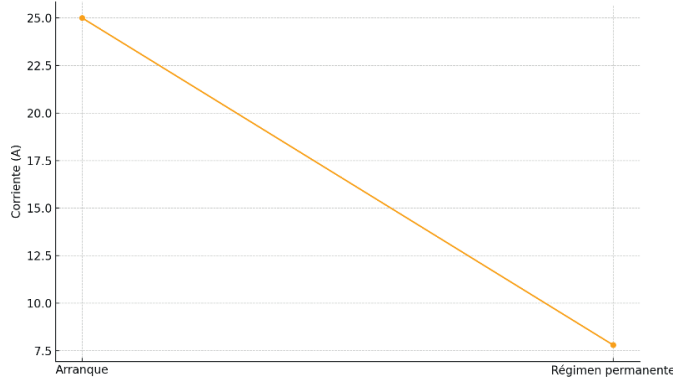


Figura 7.

Perfil de corriente durante el arranque y régimen permanente



4. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos permiten apreciar que el sistema propuesto alcanza un funcionamiento estable y coherente con el propósito para el cual fue diseñado. El desempeño de cada uno de los ejes evidencia diferencias naturales derivadas de su construcción y del tipo de esfuerzo que soportan. En el eje X, la velocidad constante observada a lo largo de todo el recorrido confirma que el mecanismo presenta poca fricción y una transmisión eficiente, lo que facilita un desplazamiento predecible del cabezal. En contraste, el eje Y muestra tiempos de movimiento mayores y una velocidad promedio más baja, lo que sugiere que, aunque opera correctamente, es el componente que más contribuye al tiempo total de dispensación. Esta diferencia no implica una falla, pero sí abre la posibilidad de optimizarlo en futuras versiones mediante ajustes mecánicos o motores con mayor torque.

El análisis de corriente revela un comportamiento típico de motores sometidos a cargas verticales: un pico inicial elevado seguido de un descenso estable. Este patrón indica que el motor está bien dimensionado para el esfuerzo que requiere la sujeción del medicamento, y que el diseño no presenta riesgos de sobrecarga durante el uso prolongado. La estabilidad en régimen permanente respalda la viabilidad del sistema para operar de manera continua sin comprometer la seguridad eléctrica.

Por otro lado, la integración entre la Orange Pi y la ESP8266 demostró ser adecuada para este tipo de aplicación. El sistema respondió sin retrasos perceptibles y la comunicación serial fue lo suficientemente rápida y confiable para coordinar la interfaz gráfica, el control de saldo y la activación de motores. Esto confirma que la distribución de tareas entre ambos dispositivos fue acertada y que el uso de hardware de bajo costo no limita la funcionalidad del prototipo.

Finalmente, la interacción con el usuario —un aspecto clave en este tipo de equipos— mostró un comportamiento intuitivo y estable. La detección de pulsos del monedero, la lectura de botones y la actualización inmediata de la interfaz evidencian que el sistema no solo realiza la dispensación, sino que además facilita una experiencia clara y comprensible. Este punto es

especialmente relevante si se considera que la máquina podría implementarse en entornos donde el flujo de personas es constante y la operación debe ser lo más sencilla posible.

Estos hallazgos coinciden con la literatura sobre dispensación automatizada, donde se asume que el propósito tecnológico trasciende la mera reducción de mano de obra; el verdadero valor radica en blindar la trazabilidad, agilizar los tiempos de entrega y reestructurar la lógica del flujo farmacéutico (Zafra Fernández et al., 2012; Foglia et al., 2024). Con todo, es crucial delimitar los alcances de este trabajo. El prototipo actual valida estrictamente la viabilidad mecatrónica y funcional de la arquitectura elegida. No pretende, por tanto, sustituir los rigurosos ensayos clínicos, normativos o de bioseguridad indispensables para operar en un entorno asistencial real. Los datos aquí expuestos configuran, esencialmente, la primera fase de un desarrollo tecnológico en evolución.

Por otro lado, la estabilidad observada en la interfaz gráfica, sumada a la captura precisa de los pulsos del monedero, cobra sentido al contrastarse con los factores de adopción tecnológica. Como advierten Gargioni et al. (2024), el éxito de un dispensador autónomo está supeditado a la claridad de su entorno visual, la respuesta inmediata ante las acciones del usuario y una interacción libre de fricciones. En este punto, el esquema distribuido entre la Orange Pi y la tarjeta ESP8266 demuestra que es perfectamente viable delegar tareas complejas (visualización y validación de saldo) y operativas (accionamiento electromecánico) en hardware embebido de bajo costo. Esta estrategia responde directamente a la tendencia actual de aplicar la ingeniería mecatrónica para democratizar el acceso a dispositivos médicos escalables (Martins et al., 2025).

La elección de una ventosa de vacío para la manipulación del medicamento responde a un criterio estrictamente operativo: mover empaques ligeros sin comprometer su integridad estructural mediante presión mecánica. En la práctica, este enfoque técnico se alinea con las directrices de Schmalz, Inc. (2009) para el manejo automatizado de blísteres, donde el vacío supera las limitaciones de las pinzas mecánicas al mitigar el riesgo de deformaciones o roturas en láminas delgadas. Sin embargo, el sistema actual es de lazo abierto. Para optimizar el diseño en futuras mejoras, resulta indispensable integrar sensores de presencia o presostatos que confirmen la sujeción real del fármaco, cerrando así el ciclo de control antes de dar por terminada la dispensación.

5. CONCLUSIONES

La integración entre la Orange Pi 3 LTS y el módulo ESP8266, mediante comunicación serial, permitió una separación efectiva de funciones y un control estable del sistema de dispensación, demostrando que una arquitectura modular de bajo costo puede gestionar con eficiencia procesos mecánicos y de interfaz.

El monedero electrónico presentó un desempeño preciso en la detección y contabilización de monedas, lo que reafirma su utilidad como mecanismo confiable para la gestión automática de saldo y como componente clave en sistemas de autoservicio.

El uso de relés y secuencias programadas en la ESP8266 facilitó la coordinación mecánica de los motores en los ejes X, Y y Z, garantizando desplazamientos controlados y una dispensación segura. Este resultado valida la pertinencia del enfoque basado en control discreto para prototipos de máquinas de distribución automatizada.

La interfaz gráfica desarrollada en Python mediante Pygame, aportó una experiencia de usuario clara e intuitiva, permitiendo una interacción directa con las funciones esenciales del sistema y evidenciando que el entorno gráfico se adapta adecuadamente al hardware utilizado.

Los mecanismos de retroalimentación mediante la pantalla de 19 pulgadas y el buzzer contribuyeron a una comunicación efectiva con el usuario, especialmente en etapas críticas como la selección del producto y la confirmación de la operación, fortaleciendo la usabilidad general del dispositivo.

En conjunto, los resultados demuestran que el prototipo cumple satisfactoriamente con las funciones esenciales de un sistema de dispensación automatizada. Además, establece una base sólida para futuras mejoras, entre ellas la incorporación de control automático en el eje Z, la optimización de la velocidad en el eje Y y la inclusión de sensores para reemplazar procesos actualmente dependientes de calibración

6. REFERENCIAS

- Al Mutair, A., Elgamri, A., Taleb, K., Alhassan, B. M., Alsalim, M., Alduriahem, H., Saha, C., & Alsaleh, K. (2025). Exploring the benefits, barriers and improvement opportunities in implementing automated dispensing cabinets: A qualitative study. *Pharmacy*, 13(1), 12. <https://doi.org/10.3390/pharmacy13010012>
- Aanesht Raj, G., Bharani, V., Geerthana, P., Rajeshwari, S., & Tamizhalan, A. (2025). Automatic medicine dispenser. *International Journal of Scientific Research in Engineering & Technology*, 5(3), 66–68. <https://doi.org/10.59256/ijreat.20250503010>
- Foglia, E., Asperti, F., Antonacci, G., Jani, Y. H., Garagiola, E., Bellavia, D., & Ferrario, L. (2024). Automated drugs dispensing systems in hospitals: A health technology assessment (HTA) study across six European countries. *ClinicoEconomics and Outcomes Research*, 16, 679–696. <https://doi.org/10.2147/CEOR.S468417>
- Gargioni, L., Fogli, D., & Baroni, P. (2024). A systematic review on pill and medication dispensers from a human-centered perspective. *Journal of Healthcare Informatics Research*, 8, 244–285. <https://doi.org/10.1007/s41666-024-00161-w>
- Martins, O. O., Oosthuizen, C. C., & Desai, D. A. (2025). Exploring the import of mechatronics engineering in medicine: A review. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, 14(1), 26. <https://doi.org/10.1186/s43088-025-00618-w>
- Tu, H. N., Shan, T. H., Wu, Y. C., Shen, P. H., Wu, T. Y., Lin, W. L., Yang-Kao, Y. H., & Cheng, C. L. (2023). Reducing medication errors by adopting automatic dispensing cabinets in critical care units. *Journal of Medical Systems*, 47(1), 52. <https://doi.org/10.1007/s10916-023-01953-0>

- Zafra Fernández, J. L., Tejera, B., & Del Prado Llergo, J. R. (2012). Efecto de un sistema automático de dispensación de medicamentos sobre el gasto farmacéutico y el grado de satisfacción del usuario. *Enfermería Global*, 25 250-261.
- Schmalz, Inc. (2009). Schmalz vacuum expertise – Handling blister packs efficiently. *Automate.org* (Tech paper). <https://www.automate.org/robotics/tech-papers/schmalz-vacuum-expertise-handling-blister-packs-efficiently>
- Omron Automation. (s. f.). Cartesian robot solutions: Palletizer gantry robot and XY/XYZ applications. Omron. https://files.omron.eu/downloads/latest/brochure/en/cartesian_robotic_leaflet_en.pdf