



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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, construcción e implementación de una máquina expendedora automática de alimentos y bebidas”

Autores: Meza Pinargote, Luis Andrés
Toro Naula, Eloy Alexander

Director: Ing. Tapia Zurita, Melton Edmundo

2023

VERSIÓN: 1.1



Contenido

1.- Introducción

2.- Objetivos

3.- Fundamento teórico

4.- Diseño mecatrónico y construcción

5.- Pruebas de funcionamiento y resultados

6.- Conclusiones y recomendaciones



- El proyecto es auspiciado por la empresa SERMEC, con el objetivo de incursionar en el mercado de las máquinas expendedoras vending.
- Se conoce como vending a un modelo de negocio donde se comercializa productos de forma automática a través de máquinas expendedoras.
- Los consumidores interactúan directamente con la máquina:
 1. Seleccionan un producto
 2. Realizan el pago
 3. La máquina entrega el producto y el vuelto
- En el Ecuador, este mercado es poco explotado, debido a que son pocas las empresas que fabrican máquinas expendedoras.

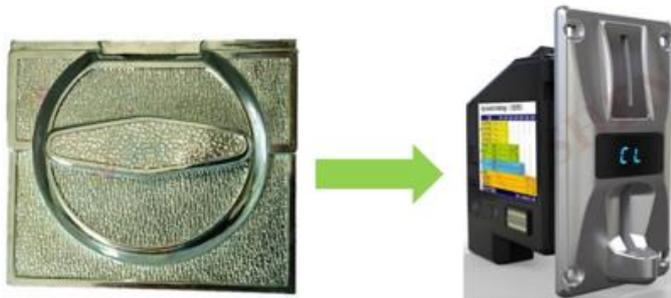




El vending ha presentado una clara evolución desde lo convencional y mecánico hasta lo tecnológico y práctico

Sistema de pago

Interfaz con el usuario



- El proyecto consiste en el diseño, construcción e implementación de una máquina expendedora automática de productos alimenticios:
 1. Alimentos fríos empacados tipo snacks
 2. Bebidas frías embotelladas personales
- La máquina expendedora debe incorporar los siguiente elementos y funciones:
 1. Sistema de cobro para la recepción de monedas y entrega de cambio
 2. Sistema para el almacenamiento y la entrega de producto
 3. Pantalla táctil como interfaz de usuario
 4. Conectividad a internet para control de inventario mediante notificaciones
- El diseño de la máquina se realiza considerando requerimientos iniciales por parte de la empresa auspiciante y especificaciones técnicas obtenidas de otras máquinas.
- Dentro del proyecto se considera el diseño y construcción del componente mecánico, electrónico y de control de la máquina, junto a su integración y pruebas de funcionamiento.

- Las máquinas expendedoras vending surge como una solución de compra rápida y eficaz que se adapta al estilo de vida actual de las personas.
- Actualmente, las máquinas expendedoras forman parte de la vida cotidiana de las personas y pueden encontrarse en diferentes lugares que se frecuentan normalmente.
- Las máquinas expendedoras ofrecen rapidez en el servicio, variedad de opciones a elegir y un manejo adecuado de productos.
- En países como Japón y Estados Unidos, la cantidad de máquinas instaladas superan los 4 millones y esta tendencia se está repitiendo en otros países, por lo que, se espera que un aumento en la demanda de máquinas expendedoras a nivel mundial.
- En Ecuador, es posible encontrar máquinas expendedoras en diferentes lugares, no obstante, son pocas las empresas que las fabrican.
- De las máquinas expendedoras que se implementan en el Ecuador son pocas las que incorporan nuevas tecnologías como pantalla táctil o conectividad a internet.



Objetivo General

Diseñar, construir e implementar una máquina expendedora automática de alimentos y bebidas haciendo uso de tecnología IoT para el control de inventarios.

Objetivos Específicos

- Diseñar y construir la estructura y elementos mecánicos necesarios para el funcionamiento de la máquina, que sean robustos, capaces de soportar las cargas de trabajo y con materiales adecuados para garantizar una vida útil prolongada.
- Diseñar y construir un sistema para el almacenamiento y dispensado de productos conforme los requerimientos de capacidad y carga.
- Dimensionar y seleccionar los elementos electrónicos como preactuadores, actuadores y sensores de acuerdo con los requerimientos óptimos de funcionamiento de la máquina
- Implementar un sistema de control confiable capaz de interrelacionarse con los diferentes módulos y subsistemas que constituyen la máquina expendedora.
- Diseñar e implementar una arquitectura de red que facilite la comunicación del controlador con los demás elementos electrónicos empleados en los diferentes subsistemas.

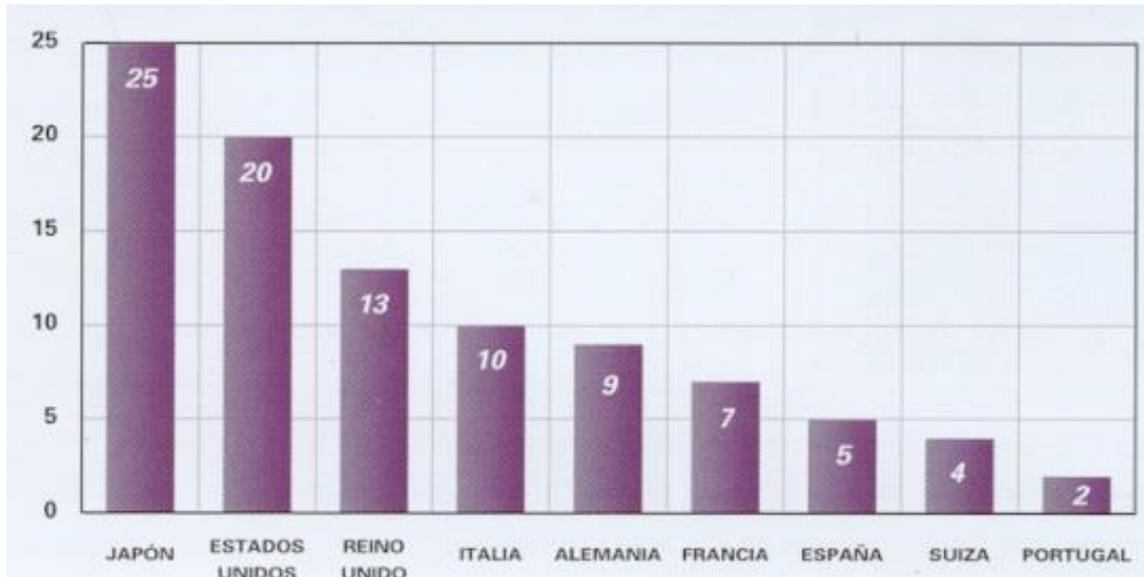
- Implementar un sistema de cobro que pueda comunicarse con el controlador de la máquina y sea capaz de receptor y entregar diferentes valores de dinero.
- Diseñar e implementar una interfaz gráfica de usuario para garantizar la comodidad de uso para los futuros clientes.
- Diseñar e implementar un sistema de control de inventario habilitando la conexión de la máquina a internet y haciendo uso de tecnología IoT.
- Evaluar el funcionamiento, confiabilidad y precisión de la máquina expendedora mediante pruebas experimentales que garanticen el correcto funcionamiento de la máquina.



Vending es un término inglés adoptado por expertos para englobar un modelo de negocio que se encarga de comercializar diferentes tipos de productos de manera autónoma.

- El Vending es bastante rentable y según varios expertos, la recuperación de la inversión se genera en un corto periodo de tiempo.
- Para que una máquina tenga éxito en el mercado vending tienen que combinar tres aspectos fundamentales: confianza, innovación y comodidad.

Máquinas Vending por cada mil habitantes



En el año 2000, Japón contaba con alrededor de 25 máquinas por cada mil habitantes. En el 2019, Japón contaba con 45 máquinas por mil habitantes

Nacen por la necesidad de las personas de poder adquirir cualquier tipo de producto de forma rápida, fácil y confiable.

Los beneficios que ofrece el vending son:

- Autonomía
- Se puede comercializar productos todos los días del año sin descansos
- Venta de productos rápida y eficiente
- Menor costo de instalación y fácil reubicación
- Rápida recuperación del capital invertido
- Venta de diferentes y muy variados tipos de productos

Los mercados a los cuales es aplicable el vending son:

- Pago de transporte público.
- Compra de snacks y bebidas (frías o calientes).
- Dispensado de medicamento.
- Máquinas de videojuegos y juegos de azar.
- Compra de periódicos y revistas.
- Reciclaje de desechos.



Máquina expendedora mecánica



Sistema de cobro en efectivo
Monedero



Máquina expendedora electrónica



Sistema de cobro en efectivo
Monedero



Máquina expendedora mecatrónica



Sistema de cobro en efectivo

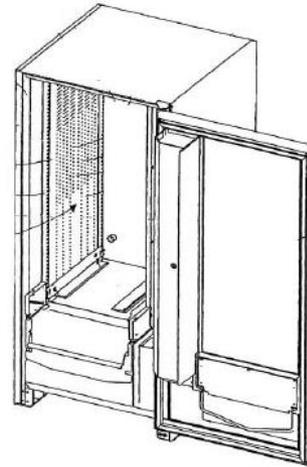


Sistema de cobro con tarjeta



- Carcaza o Armazón
- Sistema de almacenamiento y dispensado
- Zona de entrega de producto
- Sistema de cobro o pago
- Panel Frontal o de Usuario

Carcaza o Armazón



Sistema de Cobro



Sistema de almacenamiento y dispensado

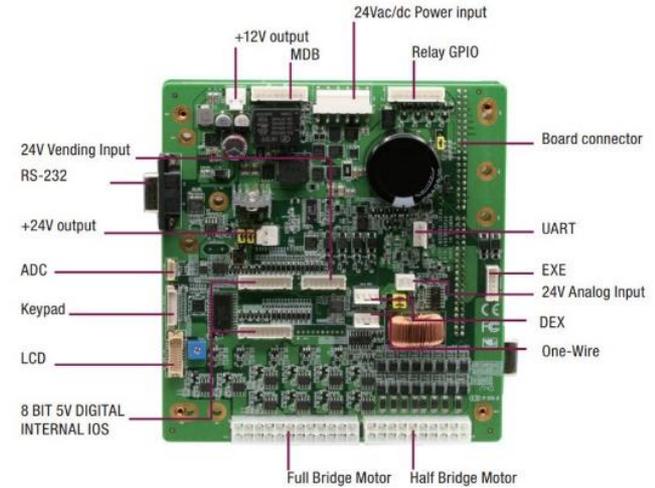


Zona de entrega de producto





Sistema de control



Arduino



Raspberry Pi



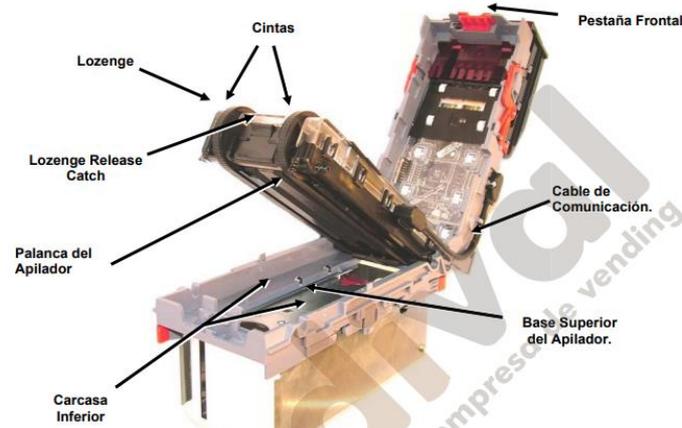
Módulo de cobro de monedas



Módulo de cobro para tarjetas

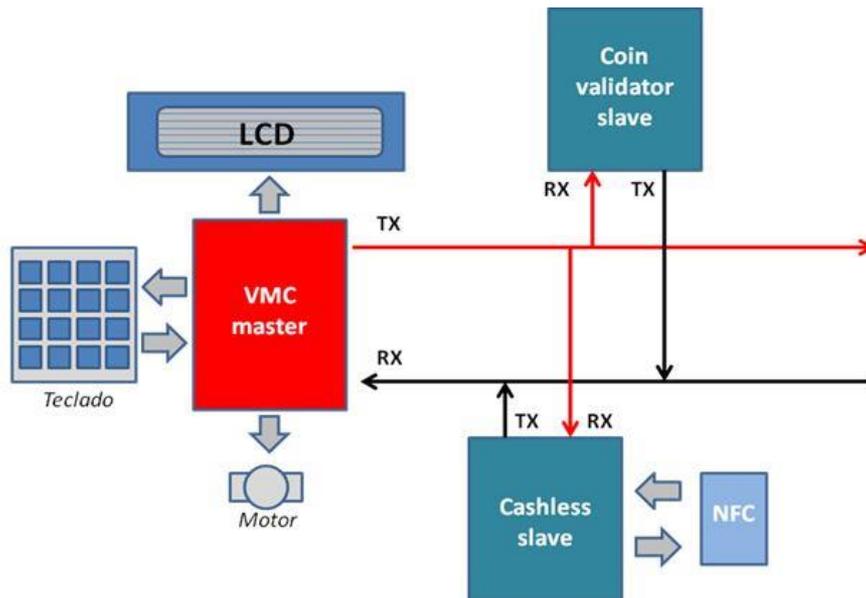


Módulo de cobro de billetes

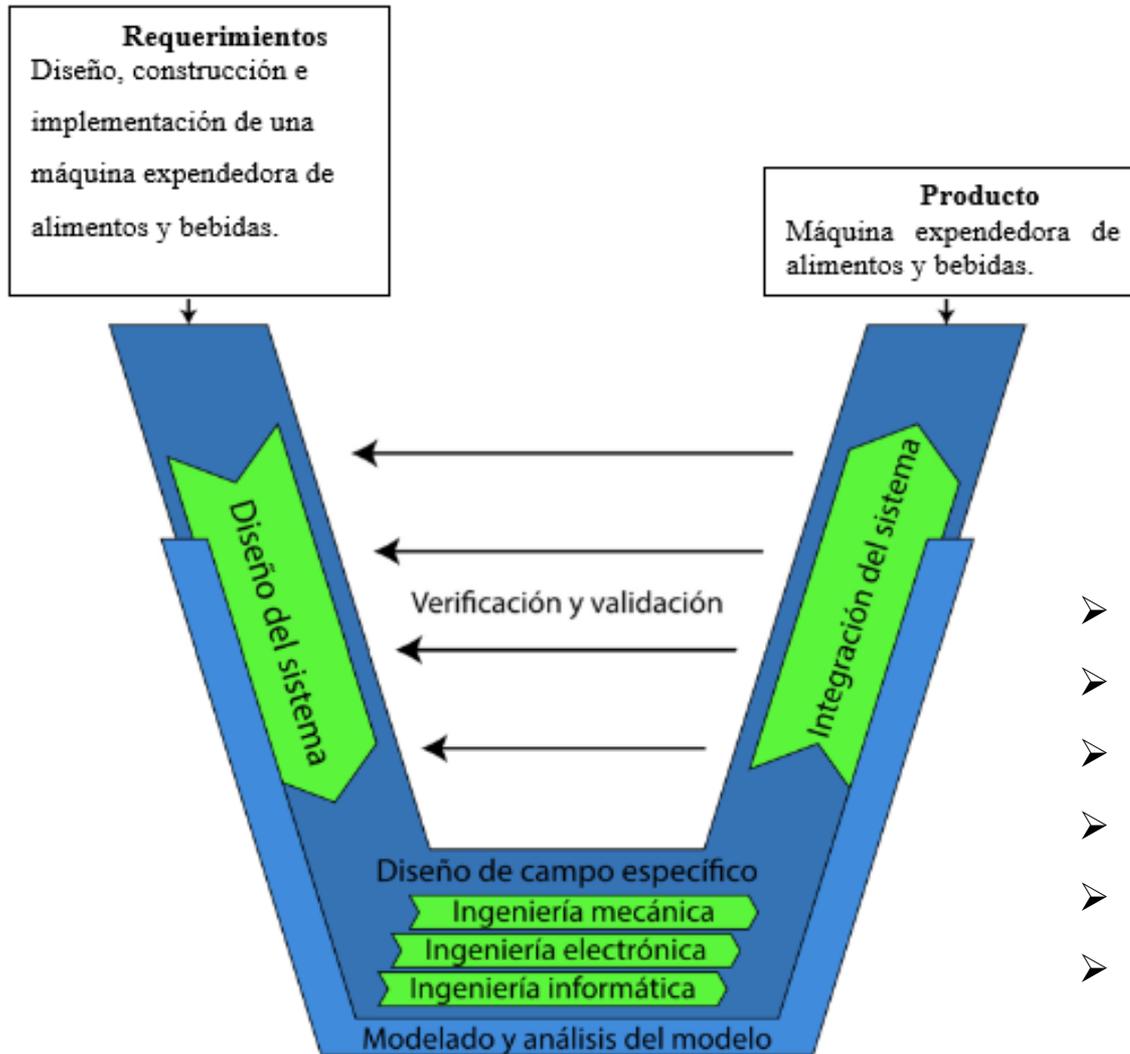


- Protocolo EXE (Ejecutivo)
- Protocolo MDB / ICP (Multi Drop Bus)
- Protocolo CCTalk

Protocolo de comunicación MDB / ICP para módulos de cobro



- Topología de red tipo bus serie.
- Configuración Single-Master / Multi-Slave.
- Comunicación asíncrona con velocidad de 9600 baudios.
- Por cada bloque de datos se envía un bit de Start y un bit de Stop.
- Con cada Byte de datos transmitido se envía un bit de modo.
- Se emplea un byte de checksum como método de verificación de errores.
- La alimentación requerida es de 24V o 34V, dependiendo del equipo.



- Definición de requisitos
- Diseño preliminar del sistema
- Diseño específico de cada disciplina
- Integración del Sistema
- Comprobación de las propiedades
- Modelado y análisis del modelo

Físicos

- Carcaza robusta que brinde seguridad a los productos.
- Diseño modular de la máquina, que permita el intercambio rápido y fácil de elementos
- Capacidad para 28 tipos de productos diferentes distribuidos dentro de la máquina.
- Del total de productos 18 son productos de bajo peso y 10 productos de mayor peso.
- De las 28 celdas, 4 serán destinados para productos pequeños, 14 para productos medianos y 10 para productos de un tamaño mayor.
- Capacidad por celda de mínimo 15 productos para los productos más pequeños, 8 productos para los productos medianos y 6 productos para los productos grandes.
- Estructura rígida capaz de soportar cargas durante el uso y durante el transporte.

Funcionales

- Entrega del producto seleccionado al cliente de forma automática, rápida y segura.
- Implementación de un interfaz de usuario fácil de utilizar e intuitiva (de preferencia pantalla táctil).
- Sistema de cobro con reconocimiento de cada denominación monetaria.
- Sistema de entrega de cambio conforme el valor del producto y el dinero introducido
- Configuración de precios de forma directa desde la interfaz de usuario.
- Control de inventario y manejo de notificaciones por correo electrónico.
- Flexibilidad para la recarga de productos
- Facilidad de uso por parte del consumidor.



Geometría y forma de la máquina expendedora

	Opción 1: forma prismática rectangular	Opción 2: forma cilíndrica recta
Facilidad de construir o conseguir	4	4
Facilidad de mantenimiento	5	3
Capacidad de almacenamiento	5	2
Optimización de espacio	5	2
Variedad de productos	5	3
Facilidad de recarga	3	5
Consumo energético	5	1
Total	32	20

Opción 1



Opción 2



Sistema de almacenamiento y dispensado

	Opción 1: Bandeja con Resortes	Opción 2: Bandeja con banda transportadora
Facilidad de construir o conseguir	4	2
Facilidad de mantenimiento	5	3
Menor número de elementos	5	3
Menor espacio ocupado	4	3
Capacidad de almacenamiento	4	5
Precisión en el dispensado	4	3
Sujeción del producto	5	2
Confiablez en el dispensado	3	4
Menor costo	4	2
Total	38	27

Opción 1



Opción 2



Sistemas de cobro

	Opción 1: Sistema de cobro electrónico	Opción 2: Sistema de cobro mecatrónico
Facilidad de conseguir	5	3
Facilidad de mantenimiento	4	2
Mayor seguridad en cobro	3	5
Menor afección al ruido	3	5
Capacidad de clasificación de dinero	1	5
Capacidad de conectividad externa	2	5
Capacidad para entregar cambio	1	5
Compatibilidad con cualquier controlador	4	2
Total	23	32

Opción 1



Opción 2



Interfaz con el usuario

	Opción 1: Teclado matricial + LCD	Opción 2: Pantalla Táctil
Menor costo	5	2
Afección al ruido	2	5
Disponibilidad en el mercado	5	5
Programación y/o configuración	4	2
Facilidad de conexión al controlador	2	5
Innovación	1	5
Funcionalidad permitida	3	5
Total	22	29

Opción 1



Opción 2



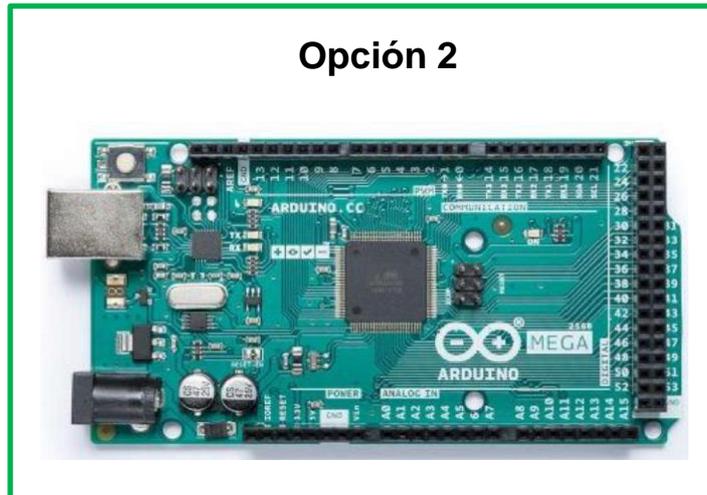
Hardware de Control

	Opción 1: IVMC-60HM	Opción 2: Arduino Mega 2560	Opción 3: Raspberry Pi 4
Capacidad de comunicación con módulos de cobro	5	1	1
Menor costo	3	5	2
Disponibilidad en el mercado nacional	1	5	3
Programación y/o configuración	2	5	3
Integración de cualquier elemento electrónico	1	5	5
Velocidad de procesamiento	2	2	5
Total	14	23	19

Opción 1



Opción 2

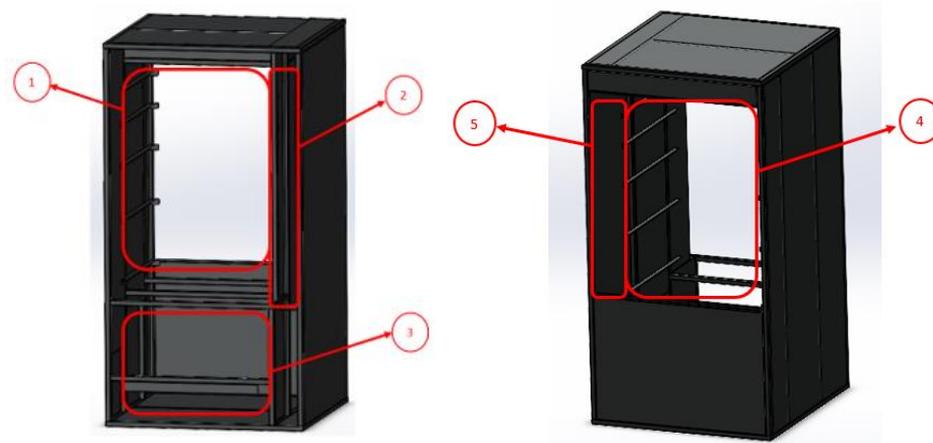


Opción 3



Diseño geométrico

N°	Descripción
1	Espacio destinado al almacenamiento de las bandejas, resortes, motores y drivers.
2	Espacio destinado al almacenamiento de los periféricos como el monedero MEI, pantalla HMI y convertidor MDB/RS232.
3	Espacio destinado a la bandeja de despacho y al futuro sistema de refrigeración (conforme los requerimientos).
4	Espacio destinado a contener todo el cableado de actuadores y sensores.
5	Espacio destinado a llevar el cableado global hacia el tablero de control y también de toda conexión auxiliar necesaria dentro de la máquina.



Selección de material

- Que el material sea higiénico para el manejo de alimentos sellados.
- Que sea fácil de dar mantenimiento y limpieza.
- Que sea un material abundante en el mercado nacional.
- Que sea un material maquinable y soldable.
- Que sea un material con revestimiento resistente, capaz de soportar las cargas de trabajo y no se vea afectado por rasgaduras y golpes.

N°	Descripción	Uso
1	Plancha de acero negro de 1.3 mm de espesor.	Recubrimiento exterior de la estructura
2	Tubo cuadrado 25 x 25 x 2 mm	Carcaza de la estructura de la máquina expendedora.
3	Perfil en L 25 x 25 x 3 mm	Soporte y sujeción de las bandejas que contendrán los productos.

N°	Almacenamiento en resorte
1	Almacenamiento de productos muy pequeños.
2	Almacenamiento de productos pequeños.
3	Almacenamiento de productos medianos.
4	Almacenamiento de productos grandes y bebidas embotelladas.

Diseño de resortes de productos muy pequeños

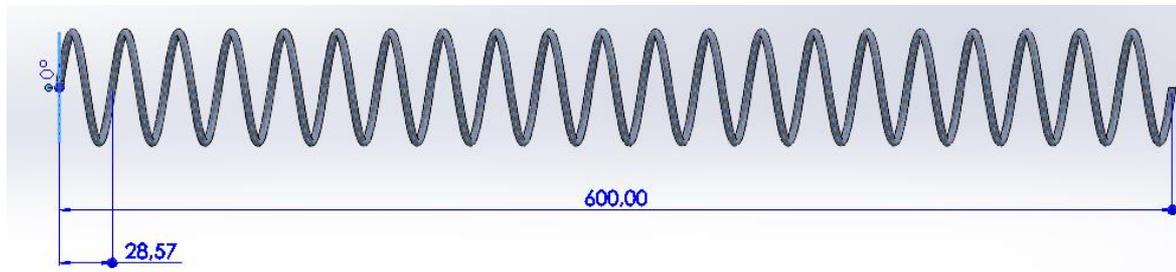
El resorte destinado a ser usado para productos muy pequeños tendrá las siguientes medidas:

- Diámetro: 60 mm.
- Largo: 600 mm.
- Espesor de hilo: 4 mm.

$$Paso = \frac{Largo}{Cantidad\ de\ compartimentos}$$

$$Paso = \frac{600}{21}$$

$$Paso = 28.57\ mm$$



Cálculo el área de relleno del canalón

$$S = \lambda * \frac{\pi * D^2}{4}$$

Donde:

- S: es el área de relleno del transportador.
- D: es el diámetro del canalón.
- λ : es el coeficiente de relleno de la sección.

Tipo de carga	Coefficiente de relleno, λ
Pesada y abrasiva	0,125
Pesada y poco abrasiva	0,25
Ligera y poco abrasiva	0,32
Ligera y no abrasiva	0,4

$$S = 0.4 * \frac{\pi * 0.06^2}{4}$$

$$S = 1.13097 * 10^{-3} \text{ m}^2 = 13.097 \text{ cm}^2$$

Cálculo de la velocidad de desplazamiento del transportador

$$v = \frac{p * n}{60}$$

Donde:

- v: es la velocidad de desplazamiento.
- p: es el paso del resorte.
- n: es la velocidad de rotación.

Cálculo de la velocidad del motor a pasos NEMA 17

$$\text{Tiempo por paso} = \frac{2 * L * I_{max}}{V}$$

Donde:

- L: es la inductancia en mH
- I_{max} : es la corriente de operación del motor
- V: es el voltaje de operación del motor

$$\text{Tiempo por paso} = \frac{2 * 2.5 * 2}{12}$$

$$\text{Tiempo por paso} = 0.833 \text{ ms}$$



Diseño de los resortes de almacenamiento y dispensado

Cálculo de la velocidad del motor a pasos (considerando 200 pasos por revolución)

$$n = \left(\frac{200 * \text{Tiempo por paso}}{10^3 * 60} \right)^{-1}$$

$$n = 360.14 \text{ RPM}$$

$$v = \frac{(0.02857) * 360.14}{60}$$

$$v = 0.1715 \frac{m}{s}$$

Cálculo del flujo de material dentro del resorte

$$Q = 3600 * S * v * i$$

Donde:

- S: es el área de relleno del transportador.
- v: es la velocidad de desplazamiento.
- i: es el factor de inclinación.

$$Q = 3600 * 1.13097 * 10^{-3} * 0.1715 * 1$$

$$Q = 0.6983 \frac{tn}{h}$$

Cálculo de la potencia de accionamiento

$$P = P_H + P_N \Rightarrow P_H = C_0 \frac{Q * L}{367} \quad P_N = \frac{D * L}{20}$$

Donde:

- P: es la potencia total del transportador.
- P_H : es la potencia de desplazamiento horizontal.
- P_N : es la potencia de desplazamiento de resorte vacío.
- C_0 : es el coeficiente de resistencia del material.
- L: es la longitud del resorte.

$$P_H = 4 \frac{0.6983 * 0.6}{367}$$

$$P_N = \frac{0.06 * 0.6}{20}$$

$$P = 4.567 + 1.8$$

$$P_H = 4.567 \text{ W}$$

$$P_N = 1.8 \text{ W}$$

$$P = 6.367 \text{ W}$$

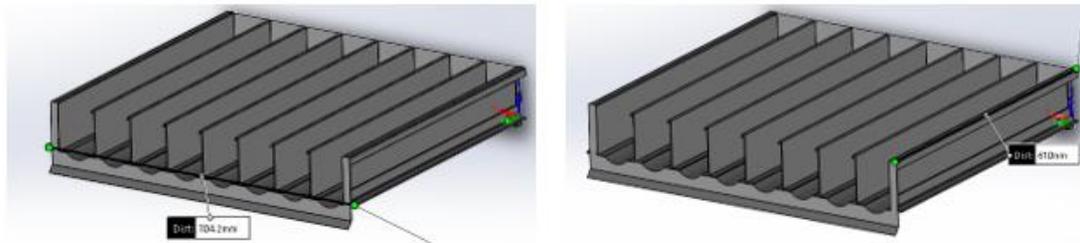
Tipo	Medidas			Potencia
	Diámetro	Largo	Paso	
Resorte productos pequeños	60 mm	600 mm	60 mm	6.367 W
Resorte productos medianos	90 mm	600 mm	75 mm	12.97 W
Resorte productos grandes	80 mm	600 mm	85.71 mm	10.518 W



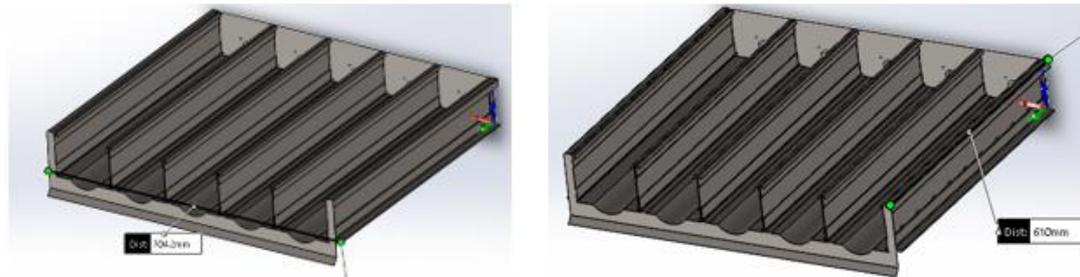
Diseño de las bandejas de almacenamiento

Medidas de las bandejas

Medidas de la bandeja tipo 1.



Medidas de la bandeja tipo 2.



1. Peso de la bandeja

$$\text{Masa} = \text{Volumen} \times \text{Densidad}$$

$$\text{Densidad}_{\text{SAE1070}} = 7.8 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$\text{Masa}_{A1} = 50.439 \times \frac{7.8}{1000} = 0.3934 \text{ kg}$$

$$\text{Masa}_{A2} = 24.392 \times \frac{7.8}{1000} = 0.1903 \text{ kg}$$

$$\text{Masa}_{\text{totalFA}} = 0.3934 \times 4 + 0.1903 \times 4 = 2.3348 \text{ kg}$$

2. Peso de los resortes

$$\text{Masa} = \text{Volumen} \times \text{Densidad}$$

$$\text{Densidad}_{\text{SAE1070}} = 7.8 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$\text{Masa}_{A1} = 50.439 \times \frac{7.8}{1000} = 0.3934 \text{ kg}$$

$$\text{Masa}_{A2} = 24.392 \times \frac{7.8}{1000} = 0.1903 \text{ kg}$$

$$\text{Masa}_{\text{totalFA}} = 0.3934 \times 4 + 0.1903 \times 4 = 2.3348 \text{ kg}$$



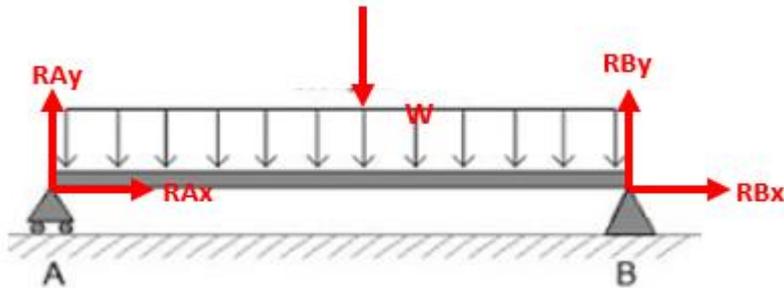
Diseño de las bandejas de almacenamiento

3. Peso de los productos

Para obtener el peso de los productos se toma como referencia la especificación de límite superior para el peso de los productos de 300g multiplicado por el número de celdas de los resortes de mayor capacidad (Fila A).

$$Peso_{productos} = 0.3 * (21 * 4) + 0.3 * (10 * 4) = 37.2 \text{ kg}$$

Considerando esto se dibuja el diagrama de cuerpo libre de la bandeja



$$R_{Ax} = R_{Bx} = 0$$

$$\Sigma M_A = 0 \rightarrow R_{By} \cdot L - WL \cdot \frac{L}{2} = 0 \rightarrow R_{By} = \frac{WL}{2}$$

$$\Sigma F_y = 0 \rightarrow R_{Ay} + R_{By} - WL = 0 \rightarrow R_{Ay} = \frac{WL}{2}$$

$$R_{Ay} = \frac{WL}{2} = \frac{537.33}{2} = 268.665 \text{ N} \quad R_{By} = \frac{WL}{2} = \frac{537.33}{2} = 268.665 \text{ N}$$

$$Peso_{totalFA} = 15.2397 + 2.3348 + 37.2 = 54.7745 \text{ kg}$$

$$W_{FA} = 54.7745 * 9.81 = 537.33 \text{ N}$$

$$Peso_{totalFBC} = 15.2397 + 1.1445 + 37.2 = 53.5842 \text{ kg}$$

$$W_{FBC} = 53.5842 * 9.81 = 525.66 \text{ N}$$

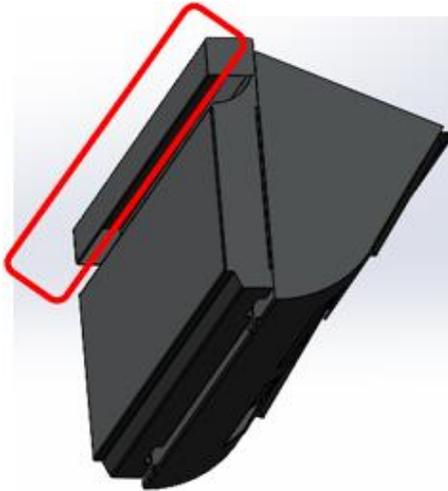
$$Peso_{totalDE} = 15.2397 + 0.9 + 37.2 = 53.3397 \text{ kg}$$

$$W_{FDE} = 53.3397 * 9.81 = 523.26 \text{ N}$$

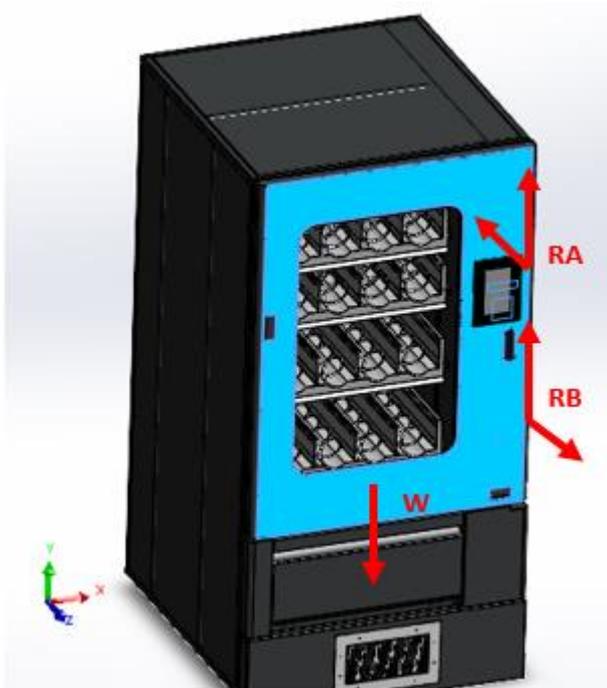


Diseño del receptáculo o bandeja de caída

- No debe causar ningún daño a los productos cuando se despachen.
- Debe separar de forma eficiente el inventario interno del producto comprado cuando el cliente lo tome para evitar robos.
- Debe tener un fácil agarre por parte de cliente.



Diseño de la puerta frontal



$$\text{Masa de la puerta} = 20.493 \text{ kg}$$

Para el vidrio se tiene:

$$\text{Espesor: } 7 \text{ mm}$$

$$\text{Densidad de vidrio laminado: } 2500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Volumen} = 0.534 * 0.851 * 0.006$$

$$\text{Volumen} = 0.00272 \text{ m}^3$$

$$\text{Masa} = \text{Densidad} * \text{volumen}$$

$$\text{Masa} = 2500 * 0.00272 = 6.8165 \text{ kg}$$

Entonces la masa total que soportan las bisagras es:

$$\text{Masa}_{\text{total}} = 20.495 + 6.8165 = 27.3115 \text{ kg}$$

$$\text{Peso}_{\text{total}} = \text{Masa}_{\text{total}} * \text{gravedad}$$

$$\text{Peso}_{\text{total}} = 27.3115 * 9.81 = 267.926 \text{ N}$$

$$R = R_{Ay} = R_{By} = 133.963 \text{ N}$$

$$R_{Bx} = R_{Ax} = 79.357 \text{ N}$$

Propiedades de masa de Puerta frontal
Configuración: Predeterminado
Sistema de coordenadas: -- predeterminado --

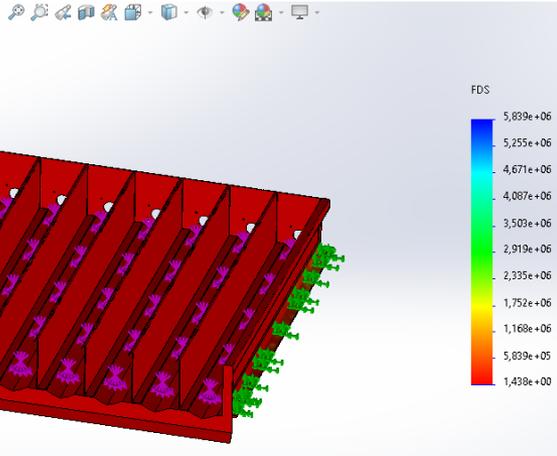
Densidad = 0.01 gramos por milímetro cúbico
Masa = 20493.10 gramos
Volumen = 2603952.20 milímetros cúbicos
Área de superficie = 2634172.52 milímetros cuadrados
Centro de masa: (milímetros)
X = 463.18
Y = 598.29
Z = -21.55



Verificación de los esfuerzos soportados mediante elementos finitos

Esfuerzos en Bandejas

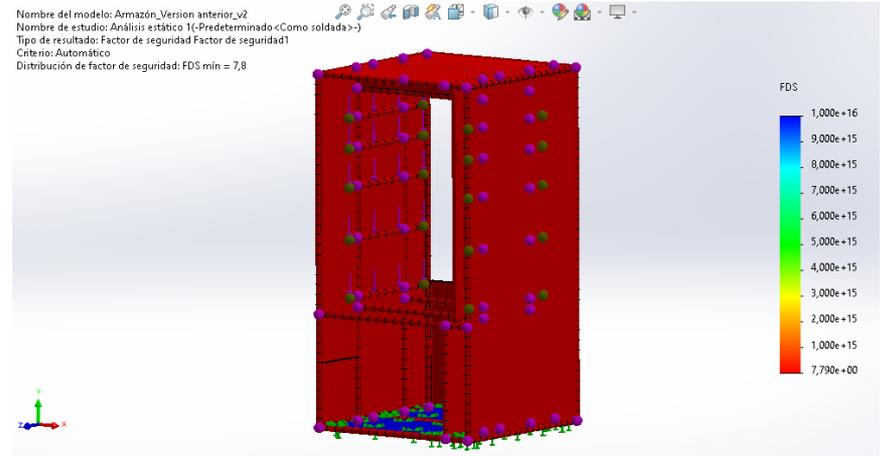
Nombre del modelo: Bandeja A_20102022
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad2
Criterio: Automático
Distribución de factor de seguridad: FDS min = 1,4



Bandeja	Factor de seguridad
Fila A	1.4
Fila B, C	2.3
Fila D y E	1.7

Esfuerzos en Estructura

Nombre del modelo: Armazón_Versión anterior_v2
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado «Como soldada»-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Automático
Distribución de factor de seguridad: FDS min = 7,8

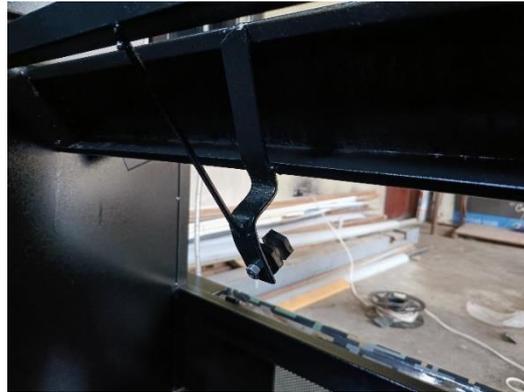


Factor de seguridad: 7.8

Estructura interna



Limitador de receptáculo



Receptáculo



Bandeja de almacenamiento



Cubierta lateral izquierda



Cubierta lateral derecha



Cofre



Estructura para entrega de cambio



Bandejas montadas en la estructura



Bandeja de caída



Ensamblaje de motores a bandejas



Componentes electrónicos disponibles

- Motores a pasos
- Motorreductores AC
- Controlador Arduino Mega 2560
- Monedero MEI CF7000



Especificaciones de funcionamiento para motores

Tipo de resorte	Potencia [W]	Voltaje [V]	Intensidad [A]
Resorte para productos muy pequeños	6.367	12	0.531
Resorte para productos pequeños	6.367	12	0.531
Resorte para productos medianos	12.97	12	1.08

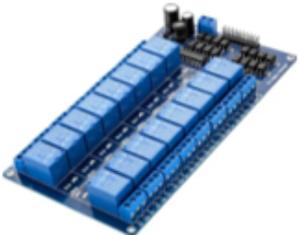
La corriente más alta es la de los productos medianos, que tiene un valor de 1.08 A.

Especificaciones técnicas del motor NEMA 17

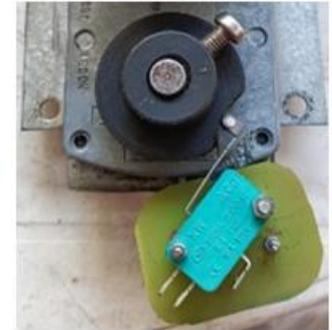
Especificación	Valor
Voltaje nominal	12 VDC
Corriente de trabajo	1.0 – 4 A
Ángulo de paso	1.8 grados
N° de fases	4
Temperatura de funcionamiento	-10 – 40°C

La corriente de trabajo en la cual opera el motor NEMA 17 proporcionado, entra dentro de los parámetros necesarios.

Elementos para el control de motorreductores AC

Nombre del componente	Componente	Especificaciones
Módulo de Relé 16 canales		<ul style="list-style-type: none">• Voltaje de operación: 12V DC• Señal de control: 3.3 o 5 V (TTL)• N° de canales: 16• Carga soportada por los contactos: 125 VAC a 10A• Tiempo de acción: 5 a 10 ms• Activación de relé con señal de 0 lógico.• Posee entradas optoacopladas para aislamiento eléctrico.

Sistema para detectar la posición del resorte compuesto por fin de carrera y leva



Elementos para el control de motores a pasos

Nombre del componente	Componente	Especificaciones
Driver puente H		<ul style="list-style-type: none">• Chip L298N• Control de un solo motor a pasos• Voltaje de alimentación: 6 a 12 V DC con jumper de 5V activado y 12 a 35 V DC con jumper desactivado.• Voltaje de control: 5V (TTL)• Voltaje de potencia para motor: 5 a 35 V DC• Capacidad de corriente para motor: 2A con picos de hasta 3A• Potencia: 25W

Para motores a pasos, el control de la posición del resorte se realizará por tiempo, ya que se puede calcular a partir del número de pasos por revolución y la velocidad de giro del motor.

Selección y conexión de los elementos del sistema de cobro



MDB
Cable con conectores
molex de 6 pines



Convertidor
MDB a RS232



RS232
Cable con
conector DB9



Convertidor
RS232 a TTL



Arduino Mega 2560



Pantalla Nextion 7 pulgadas



Nombre del componente	Especificaciones
Arduino Mega 2560	<ul style="list-style-type: none"> • Microcontrolador: ATmega2560 con velocidad de reloj de 16 MHz • Voltaje de alimentación: 7 a 12 V DC • Corriente de consumo: 93 mA • Voltaje de operación: 5V DC • Corriente por pin I/O: 40 mA • N° de pines digitales: 54 pines, de los cuales, 14 son PWM • N° de entradas análogas: 16 entradas • Puertos de comunicación serial: 4 UART, 1 I2C y 1 SPI. • Tipo de memorias y capacidad: 256 KB Flash, 4 KB EEPROM y 8 KB SRAM. • Ciclos de escritura de la memoria EEPROM: 100000 ciclos

Nombre del Componente	Especificaciones
Pantalla Táctil	<ul style="list-style-type: none"> • Marca: Nextion – Modelo: NX8048K070-011C-Y (Capacitiva) • Tamaño: 7 pulgadas (189.9 x 139.7 x 39.878 mm) • Resolución: 800 x 480 • Procesador: BRAZO 7 de 108 Mhz • Memoria: 32 MB Flash, 8192 Byte RAM y 1024 Byte EEPROM

N°	Componente	Voltaje de Alimentación (V)	Corriente de consumo (A)	Potencia consumida (W)
1	Arduino Mega	12	0.093	1.116
2	Motor a pasos (Nema 17)	12	2	24
3	Módulo de Relés	12	0.066	0.792
4	Monedero MEI	24	0.5	12
5	Convertidor MDB	24	0.046	1.104
6	Pantalla Nextion	5	0.51	2.55
7	ESP32	5	0.02	0.1
8	Módulo Lector MicroSD	5	0.2	1
9	Extras			36
Potencia Total				78.662

- Se tiene elementos que requieren:
- 24V (consumen en total 13.1 W)
 - 12V (consumen en total 26.4 W)
 - 5V (consumen en total 3.65 W)

La mayoría de los componentes electrónicos funcionan a 12V y en total consumen una mayor potencia.

Los elementos seleccionados para cubrir los requerimientos de alimentación son los siguientes:

**Fuente de alimentación DC
12V a 10A (120 W)**



**Convertidor DC/DC Reductor
Salida de 5V a 3 A máximo**



**Convertidor DC/DC Elevador
Salida de 24V a 3 A máximo**



Dimensionamiento y selección de las protecciones eléctricas

Datos conocidos para el dimensionamiento de las protecciones:

	Termomagnético 1	Termomagnético 2
Elementos por proteger	Cargas AC: motorreductores, sistema de iluminación y otros elementos instalados en el futuro	Fuente de alimentación DC
Tensión de la red (U)	110V AC	110V AC
Corriente máxima de trabajo (IB)	5 A	3.3 A

Para la selección de los interruptores termomagnéticos se debe verificar que se cumpla las siguientes condiciones:

Condición 1

$$V_n \geq U$$

$$\text{Termomagnético 1} \rightarrow V_n \geq 110V \text{ AC}$$

$$\text{Termomagnético 2} \rightarrow V_n \geq 110V \text{ AC}$$

Condición 2

$$I_n \geq IB \times 1.25$$

$$\text{Termomagnético 1} \rightarrow I_n \geq 6.25 \text{ A}$$

$$\text{Termomagnético 2} \rightarrow I_n \geq 4.125 \text{ A}$$

Condición 3

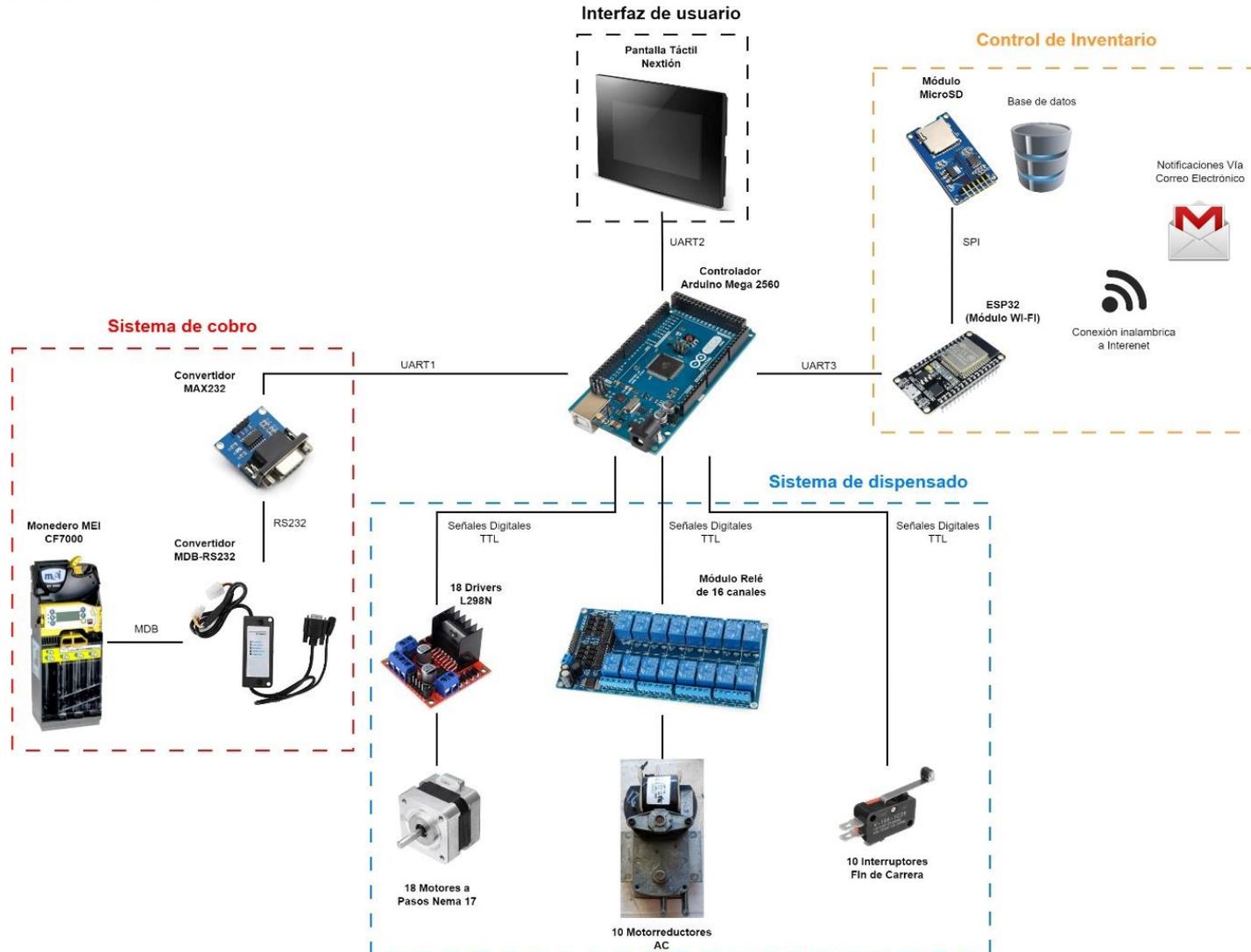
$$I_{pc} > I_{cc}$$

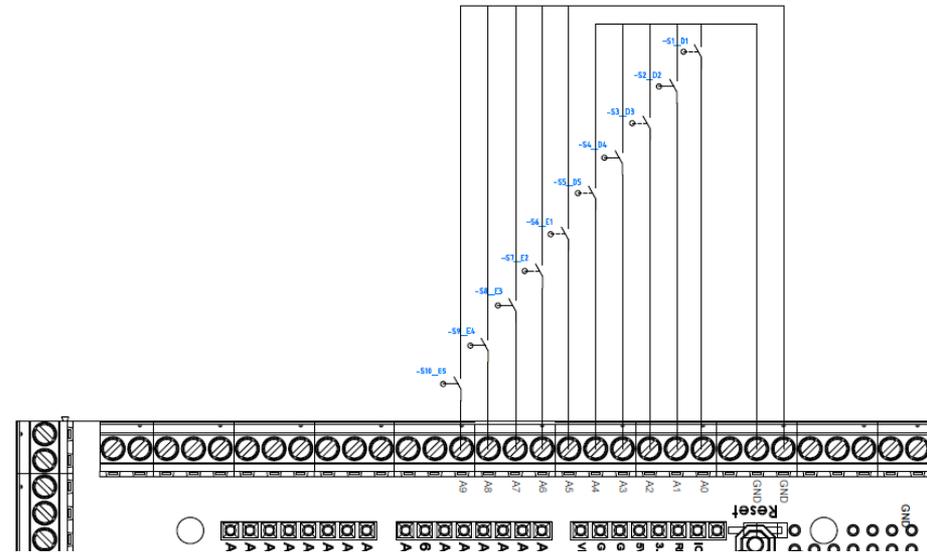
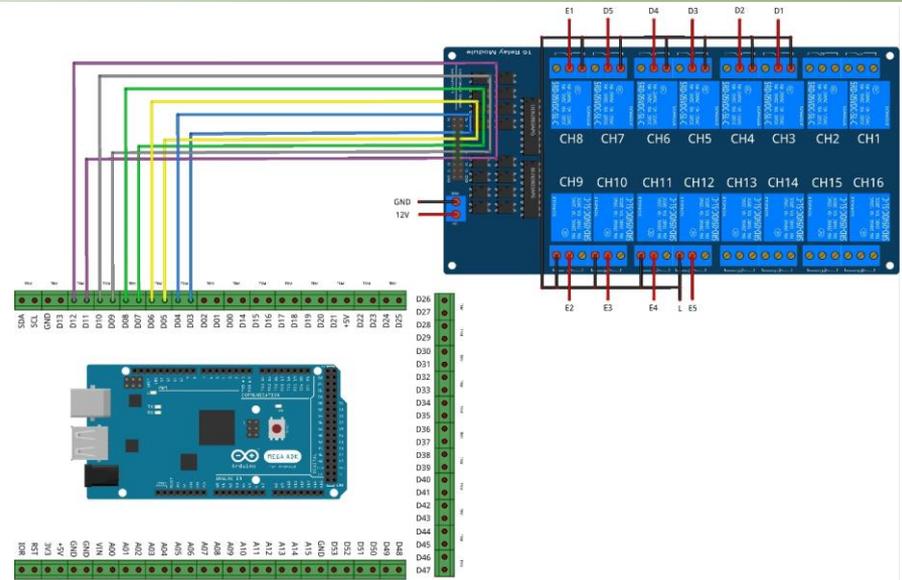
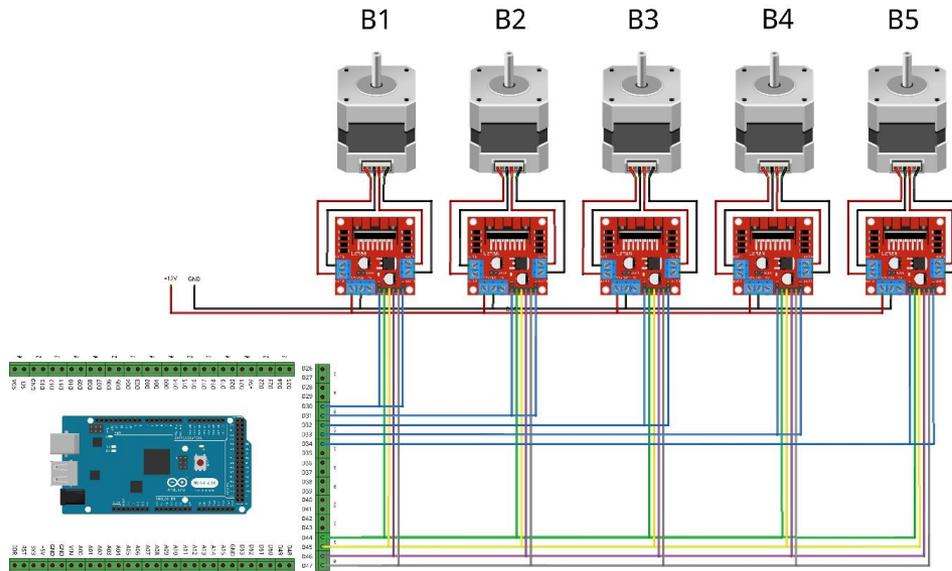
Según la National Electrical Code (NEC), se recomienda dimensionar las protecciones al 125% de la corriente máxima de trabajo.

Protecciones seleccionadas:

Nombre del componente	Especificaciones
Termomagnético 1	<ul style="list-style-type: none"> • Marca: EBASEE - Modelo: EBS6BN • Corriente nominal $I_n = 10 \text{ A}$ • Tensión nominal $V_n = 415 \text{ VAC}$ • Polos = 2 • Capacidad de corte = 6000 A • Curva tipo C
Termomagnético 2	<ul style="list-style-type: none"> • Marca: EBASEE - Modelo: EBS6BN • Corriente nominal $I_n = 6 \text{ A}$ • Tensión nominal $V_n = 415 \text{ VAC}$ • Polos = 2 • Capacidad de corte = 6000 A • Curva tipo C





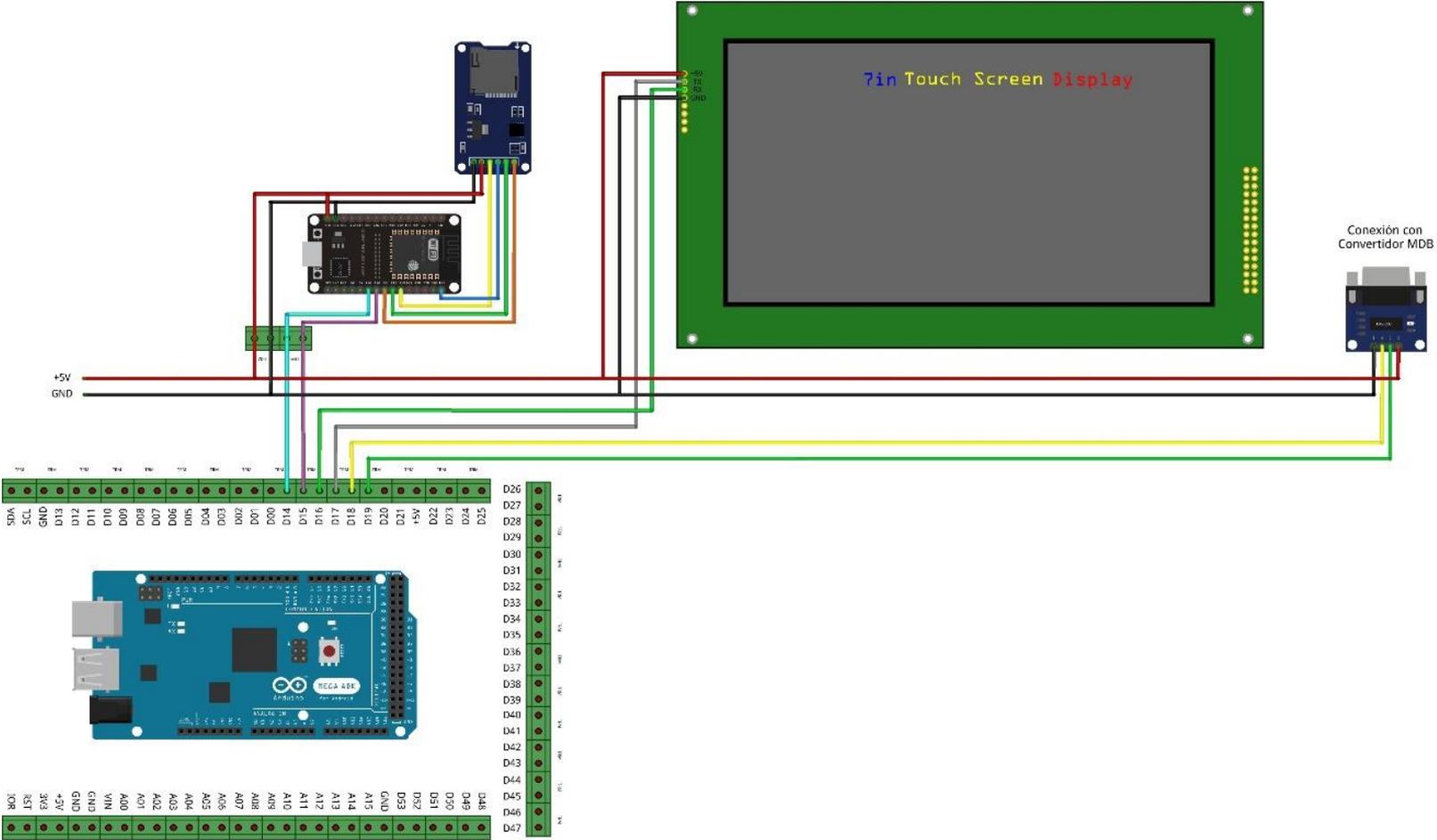


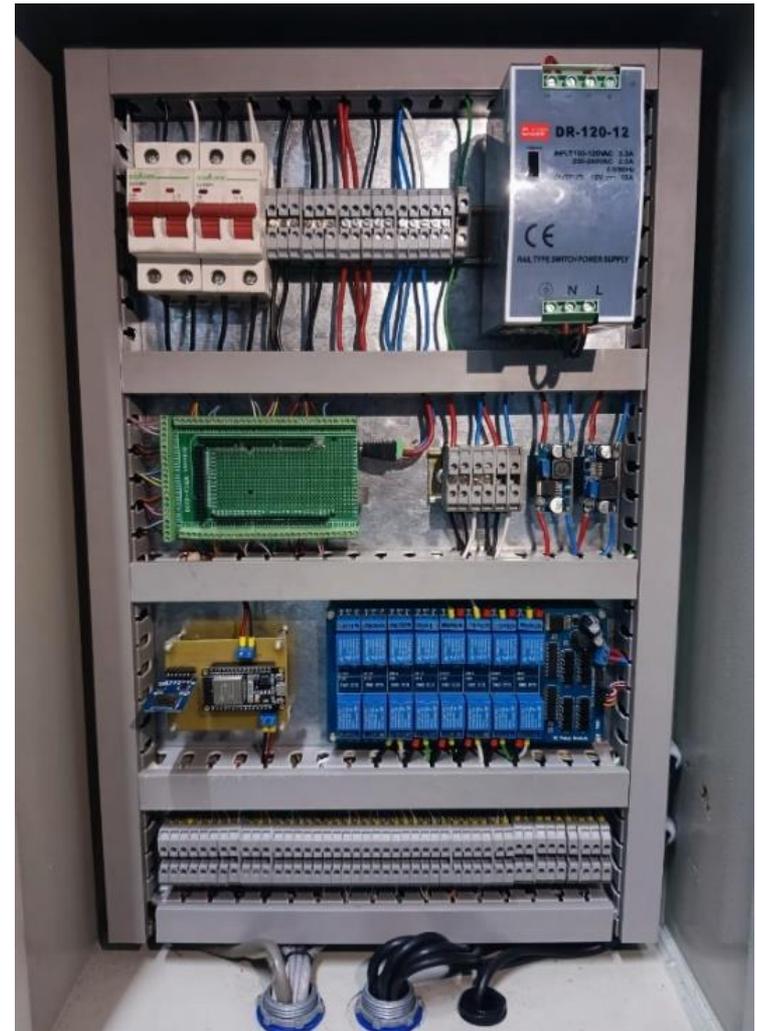
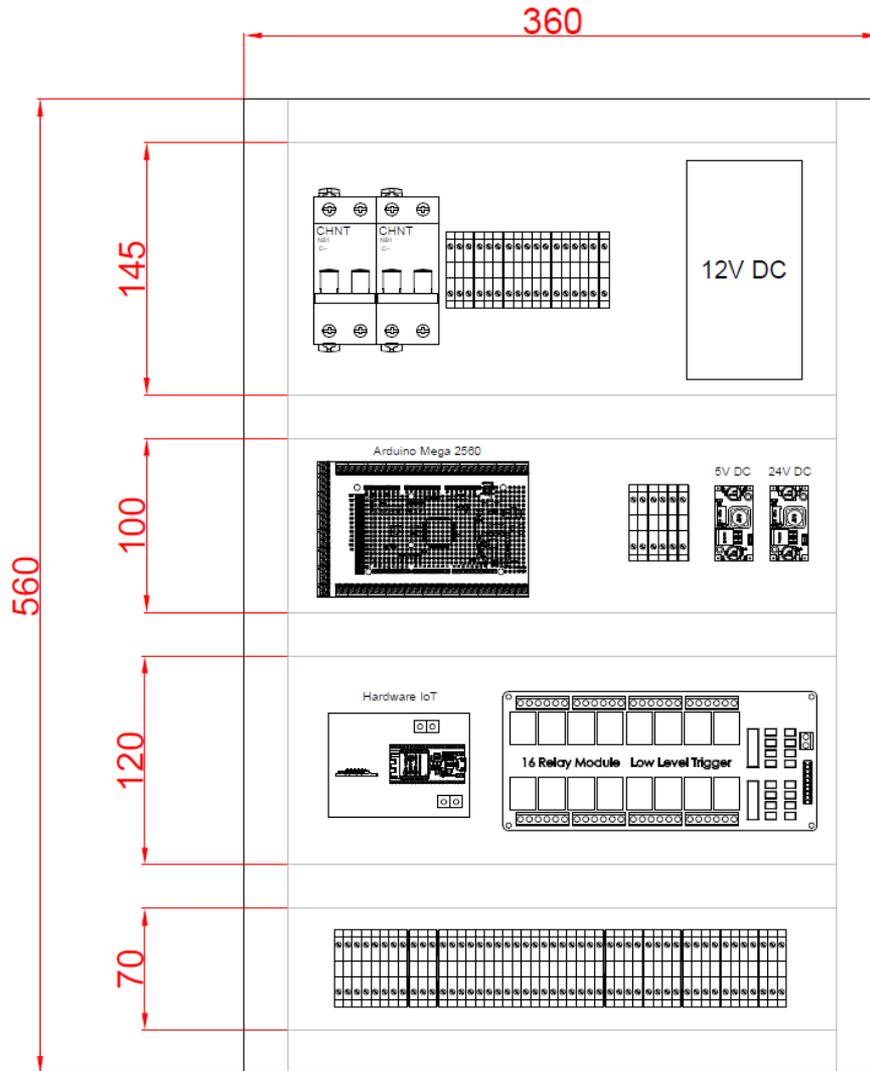
Esta conexión se puede utilizar únicamente si los pines del Arduino se configuran con el argumento `INPUT_PULLUP` en el programa, este argumento habilita la resistencia interna de pull up del Arduino.



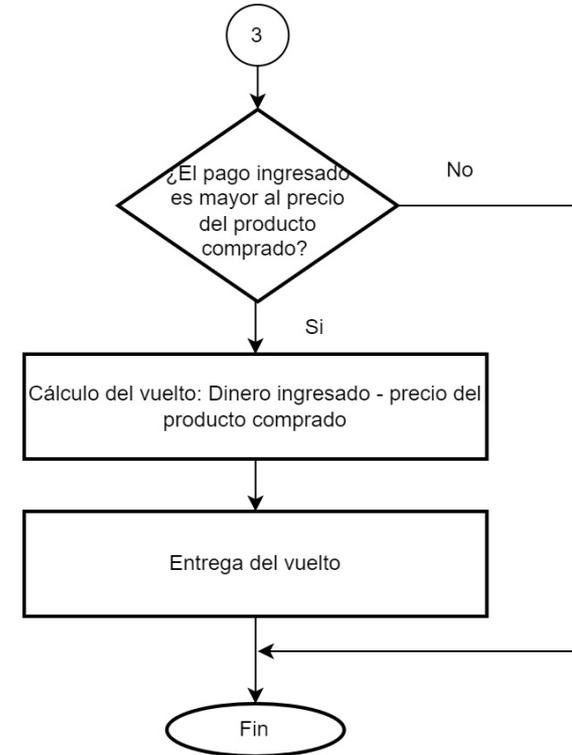
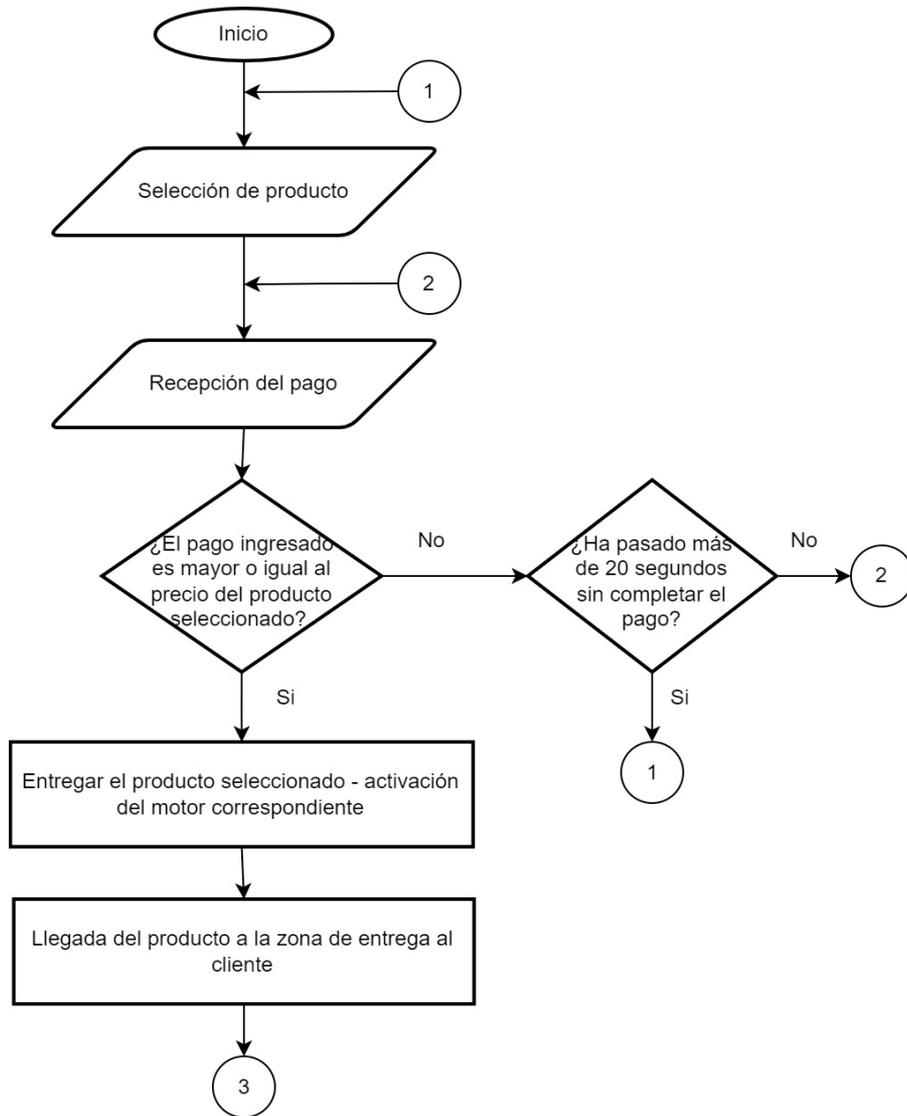
Conexiones para la comunicación de subsistemas

Diseño electrónico

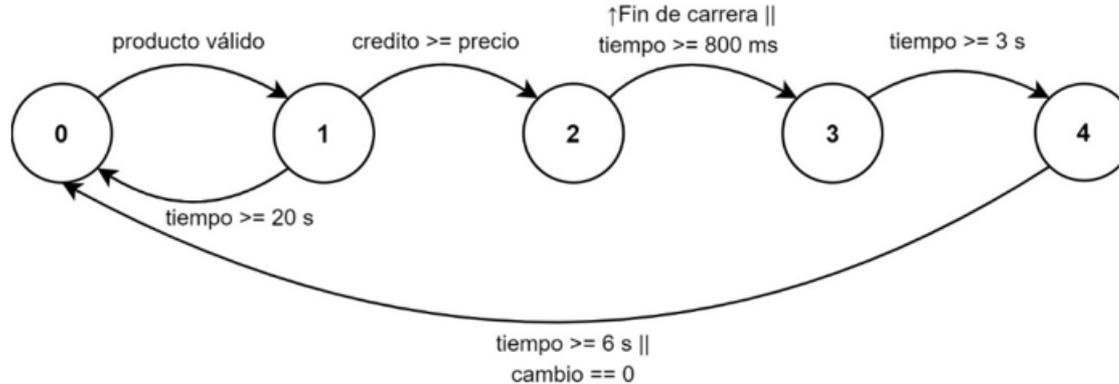




Definición de la secuencia de control



Máquina de estados que modela el proceso automático que debe controlar el Arduino



Estados:

0. Selección del producto
1. Verificación del pago
2. Entrega del producto
3. Recogida del producto
4. Entrega de vuelto

Programación para el control y comunicación del monedero

Comandos necesarios para el control del monedero

Comando	Cadena de Bytes (hexadecimal)	Descripción
Habilitar monedero para cobro	0C FF FF FF FF	Este comando habilita el cobro y la recepción de monedas por parte del monedero, si no se envía este comando el monedero no acepta ninguna moneda.
Deshabilitar monedero para cobro	0C 00 00 00 00	Este comando deshabilita el cobro y la recepción de todo tipo de moneda.
Entregar vuelto	0F 02 --	Este comando indica al monedero que debe entregar vuelto, el último byte (--) indica la cantidad de vuelto que debe entregar.

- En el programa del Arduino se debe incluir los comandos mostrados.
- Cada vez que el monedero se enciende se lo debe habilitar.
- Después de cada comando, el monedero responde con un ACK (00H)
- Para el vuelto, el tercer byte se calcula en base al factor de escala configurado en el monedero.

Ejemplo de la información enviada por el monedero cuando se ingresa una moneda:

08 42 01 H

- Primer byte 08H indica la dirección del módulo que envía el mensaje
- El valor 42H en bits es 01000010. Los primeros dos bits iniciando desde los bits más significativos (01) indican que el dato corresponde a una recepción de monedas, los siguientes dos bits (00) indican al lugar donde fue enviada la moneda ingresada (tubos o cofre), los últimos cuatro bits menos significativos, es decir, el valor 2H indican el tipo de moneda ingresado.
- El tercer byte 01H indica el número de monedas que se encuentran almacenadas en los tubos del monedero del tipo de moneda ingresada

Tipo de Moneda	Valor	Denominación
Tipo 0	\$ 0.05	Moneda de 5 centavos estadounidense
Tipo 1	\$ 0.05	Moneda de 5 centavos nacional
Tipo 2	\$ 0.10	Moneda de 10 centavos estadounidense
Tipo 3	\$ 0.10	Moneda de 10 centavos nacional
Tipo 4	\$ 0.25	Moneda de 25 centavos estadounidense
Tipo 5	\$ 0.25	Moneda de 25 centavos nacional
Tipo 6	\$ 1.00	Moneda de 1 dólar



Pantalla de inicio



N°	Nombre	Descripción
1	Indicador de proceso	Permite que el usuario conozca si su producto ya fue despacho, si puede recoger el cambio o puede seleccionarlo.
2	Indicador de precio	Muestra el precio del producto seleccionado en dólares.
3	Indicador de saldo	Muestra el total de dinero introducido a la máquina en dólares.
4	Indicador de producto	Muestra al cliente el producto que ha seleccionado.
5	Botón Pedir	Botón encargado de generar la solicitud del producto en base al precio y al producto seleccionado.
6	Teclado de selección	Teclado alfanumérico que permite que el cliente seleccione la fila y columna del producto solicitado.
7	Botón Borrar	Permite que el cliente limpie la pantalla de selección si lo necesita.
8	Botón Devolución	Permite al cliente solicitar la devolución del dinero si desea cancelar la compra con el dinero ya introducido.
9	Botón Configuración	Permite al dueño de la máquina acceder a las configuraciones de precios e inventario.

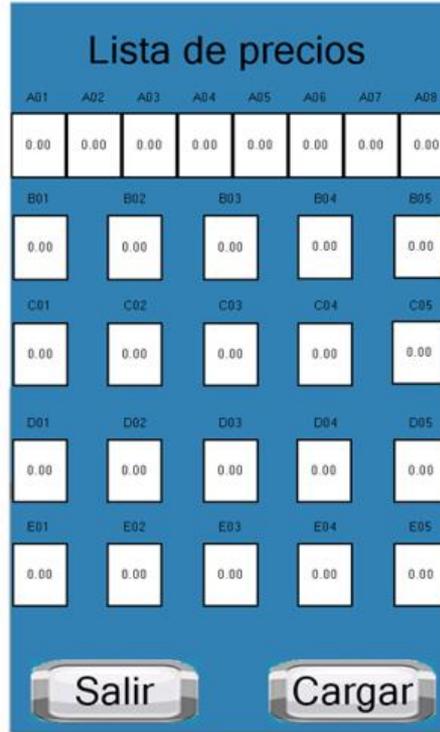
Pantalla de acceso



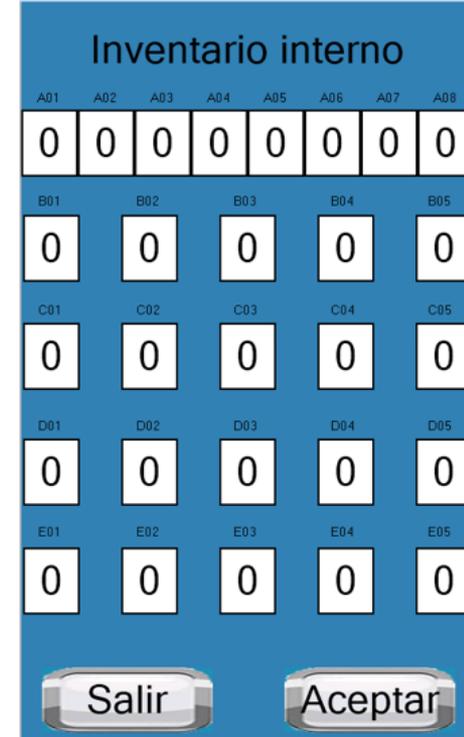
Pantalla de configuración



Pantalla de cambio de precios



Pantalla de llenar inventario



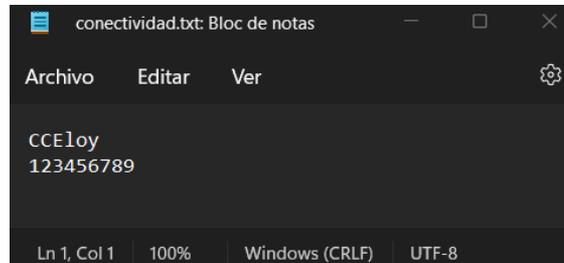
Características y consideraciones de la aplicación IoT:

- La aplicación IoT debe funcionar de manera independiente al proceso general de la máquina.
- El módulo ESP32 debe conocer las credenciales de la red y las direcciones de correo electrónico además estas deben ser fácilmente configurables.
- La información de los productos vendidos será enviada por el controlador principal.
- Los datos relacionados al número de productos vendidos deben ser almacenados en memoria para que no se pierdan cada que la máquina se desenergiza.

Archivos almacenados en la microSD

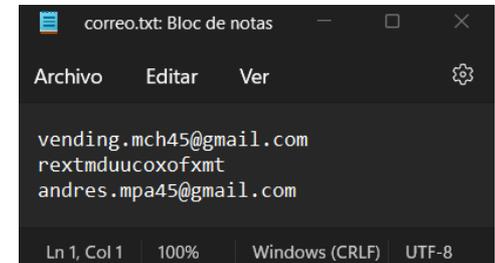
- conectividad.txt
- correo.txt
- inventario.
- vendidos.txt

conectividad.txt



```
conectividad.txt: Bloc de notas
Archivo  Editar  Ver
CCEloy
123456789
Ln 1, Col 1 | 100% | Windows (CRLF) | UTF-8
```

correo.txt



```
correo.txt: Bloc de notas
Archivo  Editar  Ver
vending.mch45@gmail.com
rextmduucoxofxmt
andres.mpa45@gmail.com
Ln 1, Col 1 | 100% | Windows (CRLF) | UTF-8
```

Tipo de notificaciones a enviar

Tipo de notificación	Condición para el envío de la notificación	Mensaje
Informativa	Al encenderse la máquina y conectarse a internet	ESP32 conectado a internet - Máquina encendida Información del Inventario: (Se despliega una lista con el nombre del compartimiento y el número de productos disponibles)
Advertencia	Cuando existe menos de tres artículos de un tipo de producto	El siguiente producto está próximo a terminarse con menos de 3 productos disponibles: D3 (nombre del producto mencionado)
Alerta	Cuando un tipo de producto vendido se ha terminado	El siguiente producto se ha terminado: D3 (nombre del producto mencionado)

Comunicación con el controlador principal

El Arduino tiene el papel de maestro, por lo que, el ESP32 no envía datos si no le solicitan. El Arduino podrá enviar los siguientes tres comandos:

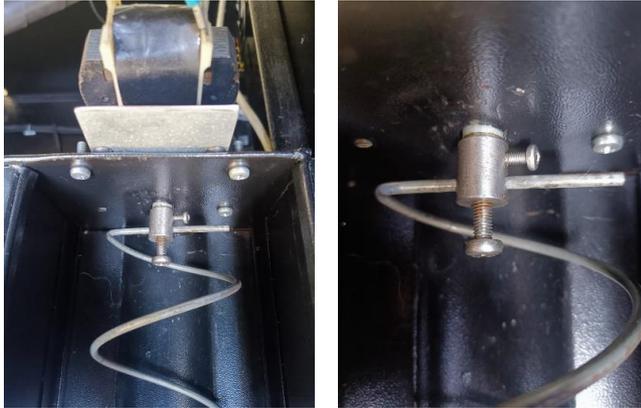
- 1. Producto vendido:** El Arduino envía el comando “1” con el nombre del producto para que sea registrado por el ESP32. El ESP32 no responde nada.
- 2. Actualización de inventario:** El Arduino envía el comando “2” con la información del inventario actualizado en pantalla. El ESP32 no responde nada.
- 3. Información del inventario:** El Arduino envía el comando “3” para solicitar al ESP32 que le envíe la información del inventario actual para mostrarlo en pantalla.



Integración y montaje de sistemas

Actuadores, sensores y drivers

Acople motores con resortes



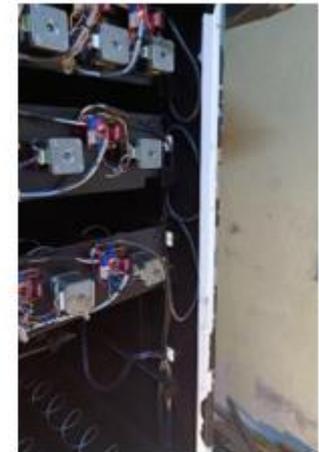
Bandejas A, B y C



Bandejas D y E



Paso de cables



Integración y montaje de sistemas

Sistema de cobro



Estructura para entrega de vultos



Cofre



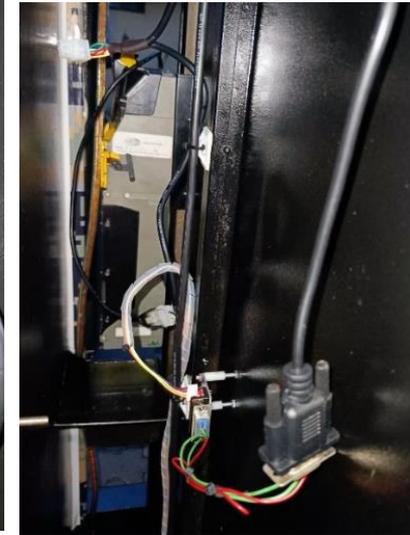
Interfaz de usuario



Ubicación del tablero de control



Integración del convertidor MDB y MAX232



Paso de cables a la máquina



Pruebas de energización y consumo eléctrico

Tiempo de encendido aproximado: 12 segundos

Al energizar el monedero MEI CF7000, este entra en un proceso de verificación de tubos para determinar cuánto dinero tiene para entregar vuelto, por lo que, este elemento es el que más se demora en estar preparado para trabajar de forma normal.

Tiempo de dispensado de productos

Bandejas	Tiempo de dispensado
Bandeja A	3.2 segundos
Bandeja B	3 segundos
Bandeja C	2.9 segundos
Bandeja D	8.1 segundos
Bandeja E	8 segundos

Pruebas y resultados

Potencia real consumida por la máquina

Condición de la máquina	Tensión de alimentación	Corriente de entrada	Potencia consumida
En reposo	126.2 V	0.2 A	25.3 W
Activación de un motor a pasos	125.9 V	0.9 A	126.8 W
Activación de un motorreductor AC	123 V	3 A	369 W

Consumo energético de la máquina calculado para un día de trabajo (24 horas)

Condición de la máquina	Potencia consumida	Tiempo de consumo	Consumo energético
En reposo	0.0253 kW	23 h	0.58 kWh
Activación de un motor a pasos	0.1268 kW	0.5 h	0.06 kWh
Activación de un motorreductor AC	0.369 kW	0.5 h	0.18 kWh
Total		24 h	0.82 kWh

Consumo energético diario: 0.82 kWh
Consumo energético mensual: 24.6 kWh



Pruebas funcionales del sistema de almacenamiento y dispensado

Pruebas y resultados

Capacidad de almacenamiento obtenida

	Capacidad por bandeja	Capacidad por compartimiento	Tamaño máximo de productos
Bandeja A	116 productos	20 productos	Productos pequeños (140x50x20 mm)
		9 productos	Productos pequeños (140x50x50 mm)
Bandeja B	35 productos	7 productos	Productos medianos (170x120x80 mm)
Bandeja C	35 productos		
Bandeja D	30 productos	6 productos	Productos grandes (240x120x80 mm)
Bandeja E	30 productos		

Proceso de recarga de productos



Pruebas de dispensado por bandejas

	N° de productos solicitados	N° de productos entregados	Integridad de los productos entregados	% Error en la entrega de productos
Bandeja A	20	19	Sin daños	5%
Bandeja B	20	17	Sin daños	15%
Bandeja C	20	18	Sin daños	10%
Bandeja D	20	19	Sin daños	5%
Bandeja E	20	20	Sin daños	0%
Total	100	93	Sin daños	7%

Problemas presentados en las pruebas

Problema	N° de pruebas realizadas	N° de veces que se presentó el problema	Probabilidad de que se presente el problema
Resortes descarrilados durante expendio	100	2	2 %
Producto trabado en la propia bandeja	100	3	3 %
Producto atrapado en otra parte de la máquina	100	4	4 %



Sistema de cobro y cambio

Cobro e identificación de monedas

Tipos de Monedas	N° de monedas ingresadas	N° de monedas aceptadas y reconocidas	N° de monedas rechazadas	% Error en el reconocimiento de la moneda
5 centavos	20	20	0	0 %
10 centavos	20	20	0	0 %
25 centavos	20	20	0	0 %
1 dólar	20	20	0	0 %
Otras monedas internacionales	20	0	20	0 %

- El sistema de cobro acepta monedas de 5, 10, 25 centavos y un dólar.
- El sistema de cobro no acepta monedas falsas.
- La máquina acepta monedas nacionales y estadounidenses.
- La máquina no acepta monedas de 50 centavos por limitaciones del módulo.

Entrega de cambio y devolución de dinero

Cálculo del porcentaje de error en la entrega de dinero

Casos	N° de veces que la máquina debe entregar dinero	N° de veces que la máquina entregó dinero	% Error en la entrega de dinero
Compras que requieren la entrega de cambio	20	20	0%
Compras que no requieren la entrega de vuelto	0	0	0%
Devolución de dinero solicitada antes de la entrega del producto	20	20	0%
Devolución del dinero solicitado durante la entrega del producto	0	0	0%

Cálculo del porcentaje de error en el valor de dinero entregado

Casos	N° de veces que la máquina entrega dinero	N° de veces que el dinero entregado es correcto	% Error en el valor entregado
Compras que requieren la entrega de vuelto	20	20	0%
Devolución de dinero solicitada antes de la entrega del producto	20	20	0%



Prueba	Resultado de la Prueba
Solicitud de precio de producto	Aprobado
Ingreso correcto de monedas y adición al saldo	Aprobado
Funcionamiento del botón borrar para cancelar pedidos	Aprobado
Funcionamiento del botón de devolución de dinero	Aprobado

Prueba	Resultado de la Prueba
Ingreso correcto con usuario y contraseña	Aprobado
Lectura y actualización de precios	Aprobado
Lectura y actualización de valores de inventario	Aprobado
Muestra de mensajes durante la venta para ayuda del cliente	Aprobado

Pantalla de Inicio



Pantalla de configuración



Pantalla de cambio de precios



Pantalla de llenar inventario



Envío de notificaciones

Pruebas	N° de notificaciones que deben ser recibidas	N° de notificaciones recibidas de forma correcta	% Error en funcionamiento
Envío de notificaciones informativas	20	20	0%
Envío de notificaciones de advertencia	20	20	0%
Envío de notificaciones de alerta	20	20	0%

Notificaciones recibidas

Notificaciones Informativas



Notificación de Máquina Expendedora Recibidos x

 **ESP32-Máquina Expendedora** <vending.mch45@gmail.com> mié, 1 feb, 18:49 (hace 6 días) ☆ ↶ ⋮

para mí ▾

ESP32 conectado a internet - Máquina encendida
 Información del Inventario:
 A1 = 2
 A2 = 3
 A3 = 0
 A4 = 5
 A5 = 3
 A6 = 1

Notificaciones de Advertencia



 **ESP32-Máquina Expendedora** <vending.mch45@gmail.com> mié, 1 feb, 19:50 (hace 6 días) ☆

para mí ▾

El siguiente producto se ha terminado: D3

Notificaciones de Alerta



 **ESP32-Máquina Expendedora** <vending.mch45@gmail.com> mié, 1 feb, 19:18 (hace 6 días) ☆

para mí ▾

El siguiente producto está proximo a terminarse con menos de 3 productos disponibles: D3

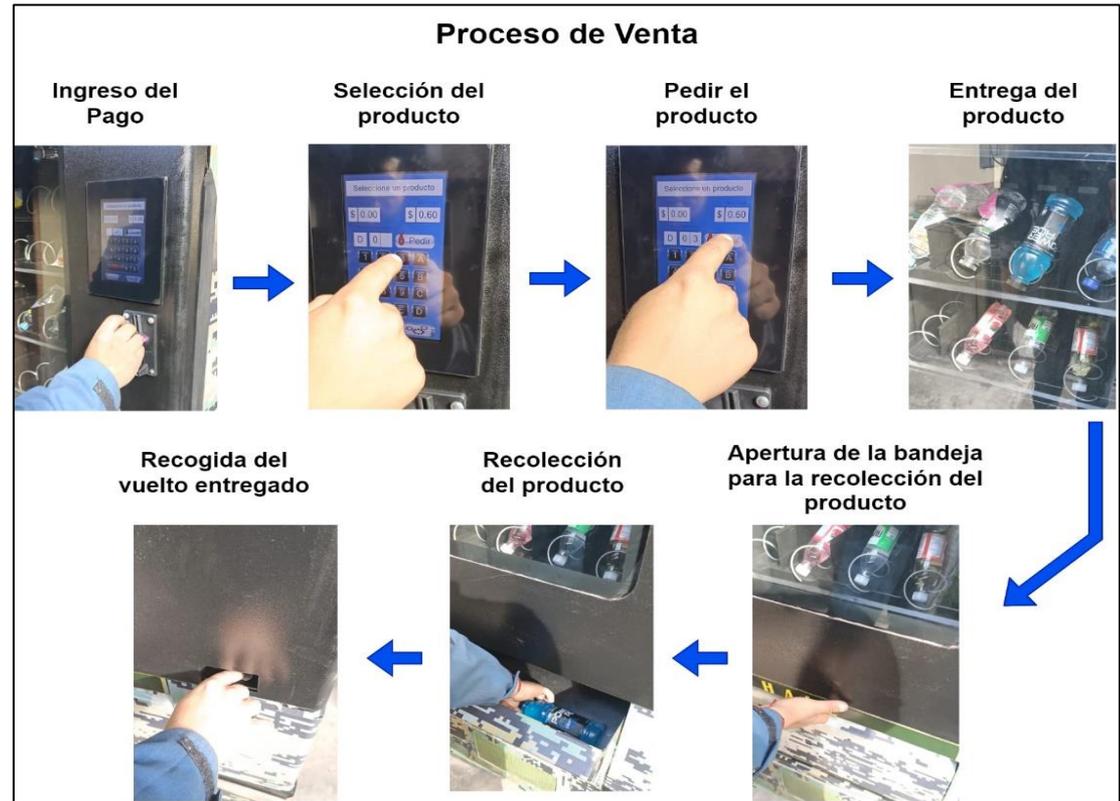


Prueba integral del funcionamiento de la máquina

Pruebas y resultados

Estas pruebas tienen la finalidad de verificar el correcto funcionamiento de la máquina con todos los subsistemas integrados.

En este apartado se busca evaluar el proceso de venta desde que el consumidor selecciona el producto e ingresa el dinero hasta que retira su producto y se completa la venta.



N° de ventas realizadas por la máquina	N° de ventas completadas de forma correcta	N° de ventas fallidas	% Error en las ventas realizadas por la máquina
100	96	4	4%



La máquina expendedora integra las siguientes funciones:

- Venta de alimentos fríos tipo snacks y bebidas embotelladas de forma automática.
- Recepción de dinero y entrega de vueltos.
- Consulta de precios previo a la compra.
- Menú de configuraciones protegido con usuario y contraseña.
- Configuración del número de productos y de los precios por pantalla.
- Iluminación para mejorar la visualización de los productos.
- Conectividad a internet para envío de notificaciones.
- Envío de notificaciones vía correo electrónico con información del inventario.
- Interfaz de usuario intuitiva y sencilla de utilizar lo que facilita el uso de la máquina.
- Almacenamiento del número de ventas realizadas por producto en microSD.
- Estructura robusta para la protección de productos y elementos de la máquina.



Especificaciones Técnicas	Valores
Altura	1835 mm
Ancho	900 mm
Profundidad	990 mm
Peso	180 kg aproximadamente
Variedad de productos	28 tipos diferentes
Capacidad de productos pequeños	116 productos
Capacidad de productos medianos	70 productos
Capacidad de productos grandes	60 productos
Capacidad total de productos	246 productos
Peso neto por producto	Máximo 300 gramos para alimentos Máximo 700 ml para bebidas
Altura de productos	Mínimo de 80 mm Máximo de 240 mm
Ancho de productos	Máximo 130 mm
Espesor de productos	Máximo de 80 mm
Tensión de alimentación	120 VAC
Frecuencia de alimentación	60 Hz
Consumo de energía (diario)	0.82 kWh
Tiempo de venta	22 segundos
Tiempo de dispensado	8 segundos
Capacidad del Monedero	4 denominaciones monetarias diferentes (nacionales y estadounidenses)
Conectividad a internet	Wi-Fi

Video de funcionamiento



Presentación de costos

Costos directos

Detalle	Cantidad	Costo Unitario	Total
		\$	\$
ELEMENTOS MECANICOS			
Estructura	1	\$ 850.00	\$ 850.00
Bandejas de almacenamiento	5	\$ 100.00	\$ 500.00
Resortes	28	\$ 4.00	\$ 112.00
Receptáculo	1	\$ 35.00	\$ 35.00
Mano de obra para soldaduras	1	\$ 120.00	\$ 120.00
ELEMENTOS ELECTRONICOS Y DE CONTROL			
Tablero de control	1	\$ 62.46	\$ 62.46
Fuente de poder 12V 10A	1	\$ 46.37	\$ 46.37
Shield Arduino Mega	1	\$ 19.00	\$ 19.00
Fines de carrera	10	\$ 1.05	\$ 10.50
Convertidor MDB-Serial	1	\$ 52.00	\$ 52.00
MAX 232	1	\$ 3.00	\$ 3.00
ESP32	1	\$ 12.00	\$ 12.00
Adaptador memoria microSD	1	\$ 5.00	\$ 5.00
Pantalla Nextion 7 pulg	1	\$ 180.00	\$ 180.00
Placa PCB para ESP32+MicroSD	1	\$ 12.00	\$ 12.00
Módulo L298N	1	\$ 4.50	\$ 4.50
MEI CF-700	1	\$ 650.00	\$ 650.00
Motor NEMA 17	18	\$ 15.00	\$ 270.00
Motor AC	10	\$ 35.00	\$ 350.00

Costos indirectos

Detalle	Cantidad	Costo Unitario	Total
		\$	\$
Productos de pruebas			
Luz	4	\$ 12.00	\$ 48.00
Internet	4	\$ 18.00	\$ 72.00
Remachadora	1	\$ 18.00	\$ 18.00
Ponchadora	1	\$ 25.00	\$ 25.00
Servicio de cerrajería	1	\$ 55.00	\$ 55.00
TOTAL DE COSTOS INDIRECTOS			\$ 233.00

Detalle	Cantidad	Costo Unitario	Total
		\$	\$
OTROS ELEMENTOS			
WD40	1	\$ 8.45	\$ 8.45
Galón gasolina	1	\$ 2.40	\$ 2.40
Remaches	1	\$ 0.45	\$ 0.45
Canaleta 25x40	2	\$ 5.12	\$ 10.24
Borneras	12	\$ 1.15	\$ 13.80
Alzas plásticas	60	\$ 0.40	\$ 24.00
Cable de timbre	4	\$ 0.30	\$ 1.20
Cable de red 8 hilos CAT5	4	\$ 1.25	\$ 5.00
Cable 3x16 y Cable 2x18	2	\$ 45.04	\$ 45.04
Cable AWG 16 flexible	1	\$ 5.78	\$ 5.78
Conectores molex	18	\$ 0.60	\$ 10.80
Cable de alimentación	1	\$ 5.60	\$ 5.60
Amarras plásticas	1	\$ 2.12	\$ 2.12
Ancladeros adhesivos	1	\$ 4.02	\$ 4.02
Conector BX Curvo	4	\$ 3.09	\$ 12.36
tubería BX con PVC	1	\$ 4.33	\$ 4.33
Prensaestopa	3	\$ 1.00	\$ 3.00
Tornillería	1	\$ 15.00	\$ 15.00
TOTAL DE COSTOS DIRECTOS			\$ 3.467.42

De esta forma se determina el costo total del proyecto en **\$ 3 700.42**



- Se diseño y construyó una máquina expendedora automática para la venta de alimentos fríos sellados de tipo snacks y bebidas frías embotelladas, que satisface los requerimientos especificados por la empresa auspiciante y permite alcanzar las especificaciones técnicas preliminares planteadas como metas de diseño. La máquina es capaz de realizar el cobro, dispensar el producto seleccionado, entregar vuelto y brindar mensajes de ayuda al comprador a través de la pantalla táctil, con una alta confiabilidad y exactitud en cada etapa del proceso de venta.
- Se empleó el Arduino Mega 2560 como controlador principal y para su programación se definió el proceso que debe seguir mediante el modelo de una máquina de estados finita. El Arduino es capaz de comunicarse y controlar los diferentes subsistemas de la máquina en cada etapa del proceso de venta y permitió la incorporación de funciones adicionales como el almacenamiento de precios en su memoria y la incorporación de una pantalla táctil como interfaz de usuario.
- Uno de los subsistemas que más destaca en la máquina es el sistema de cobro implementado, el cual es capaz de aceptar el pago en monedas y entregar vuelto con una alta confiabilidad. El sistema de pago reconoce monedas de cuatro denominaciones diferentes sin importar si son estadounidenses o nacionales y el crédito total es calculado por el controlador y mostrado en pantalla. Se implemento el protocolo de comunicación MDB para el intercambio de datos entre el monedero y el controlador.



- Se diseñó un sistema de almacenamiento en el que se puede colocar hasta 28 tipos diferentes de productos y un total de 246 productos. El sistema de dispensado es capaz de llevar el producto desde la bandeja donde se almacena hasta la zona de recogida de producto de forma correcta, no obstante, según las pruebas realizadas se encontró que hay una probabilidad del 4% que el producto se quede atrapado antes de llegar a la bandeja de caída y del 3% que el producto se quede atrapado en el resorte. La probabilidad de que estos problemas se presenten puede reducirse si se realiza una correcta colocación de los productos en los resortes.
- La máquina expendedora incorpora tecnologías propias del Smart Vending como la conectividad a internet (IoT) y una pantalla táctil que en conjunto con los demás subsistemas mejoran la experiencia de los usuarios y permiten la incorporación de nuevas funciones. Con la conectividad a internet se logró implementar el envío de notificaciones por correo electrónico para informar al propietario los datos actuales del inventario. Por otro lado, el empleo de una pantalla táctil habilita la posibilidad de mostrar mensajes al cliente para ayudarlo en cada etapa de su proceso de compra.
- Con las correcciones implementadas en los subsistemas que presentaron algún tipo problema, se obtuvo un error del 4% en el proceso de venta de productos, por lo que, se puede concluir que la máquina expendedora diseñada es funcional y tiene una alta confiabilidad en la venta automática de productos.

- La máquina expendedora tiene un uso simple e intuitivo, se orienta para el uso de un usuario general y se recomienda que el dueño de la máquina lea el manual de usuario antes de poner en operación la máquina para conocer los puntos de operabilidad de la máquina y no cometer errores en su puesta en marcha.
- En cuanto a los productos que se comercialicen con la máquina, se recomienda no colocar productos que excedan el tamaño máximo recomendado para cada bandeja y compartimiento de la máquina, ya que esto podría causar un atascamiento de los productos con otras bandejas o en el receptáculo de salida, aumentando el riesgo de que el producto no sea entregado al usuario. Además, es importante revisar en el manual de usuario la forma correcta de colocar un producto de acuerdo con su geometría, ya que esto también puede afectar su entrega al cliente.
- Se recomienda colocar la máquina en un lugar donde se encuentre protegida de las inclemencias del clima como la lluvia o la exposición directa de los rayos del sol ya que esto causará un deterioro temprano de la estructura mecánica y hasta un daño en ciertos elementos electrónicos que se encuentran en la puerta frontal como la pantalla táctil.



- Se recomienda desconectar la alimentación para realizar cualquier trabajo en el tablero de control ya que existen conectores que al ser tocados sin protección y con la máquina energizada podrían causar un accidente. Además, como tareas de mantenimiento se recomienda que cada mes un operador se encargue de revisar y calibrar la posición de las levas de los motorreductores AC puesto que de esto depende el control del expendio de los productos para las filas D y E ya que esto puede derivar en un mal funcionamiento durante el expendio de productos.
- Se recomienda recargar los tubos del monedero de forma periódica para que este sea capaz de entregar vueltos en las ventas que lo requiera, ya que el monedero únicamente envía hacia los tubos de almacenamiento las monedas de origen estadounidense mientras que las monedas nacionales son enviadas directamente hacia el cofre.
- Se recomienda que la recarga de productos se realice de forma periódica siguiendo las recomendaciones de recarga que se incluyen en el manual de usuario, bajo ninguna circunstancia se debe abrir la puerta trasera para realizar esta actividad ya que allí se encuentran las conexiones eléctricas. Para realizar cualquier trabajo de calibración o mantenimiento en la parte posterior se recomienda desconectar la máquina de la conexión eléctrica.