



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

Meza Pinargote, Luis Andrés y Toro Naula, Eloy Alexander

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

Ing. Tapia Zurita, Melton Edmundo

13 de febrero del 2023

Reporte de verificación de contenido

13/2/23, 15:30

Tesis expendedor

Informe de originalidad

NOMBRE DEL CURSO

Tesis expendedor

NOMBRE DEL ALUMNO

LUIS ANDRES MEZA PINARGOTE

NOMBRE DEL ARCHIVO

LUIS ANDRES MEZA PINARGOTE - Documento sin título

SE HA CREADO EL INFORME

13 feb 2023

Resumen

Fragmentos marcados	2	0,1 %
Fragmentos citados o entrecuillados	15	0,7 %

Coincidencias de la Web

unavarra.es	2	0,1 %
docplayer.es	3	0,1 %
espe.edu.ec	2	0,1 %
epon.edu.ec	3	0,1 %
ups.edu.ec	1	0,1 %
hostelvending.com	1	0,1 %
ubiobio.cl	1	0,1 %
puop.edu.pe	1	0,1 %
ehu.es	1	0 %
linuxgizmos.com	1	0 %
ingemecanica.com	1	0 %



Ing. Tapia Zurita, Melton Edmundo
Director

Certificación



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería en Mecatrónica

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación: "Diseño, construcción e implementación de una máquina expendedora automática de alimentos y bebidas" fue realizado por los señores Meza Pinargote Luis Andrés y Toro Naula Eloy Alexander; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Sangolquí, 13 de febrero del 2023

Firma:



Ing. Tapia Zurita, Melton Edmundo

C.C.: 1708863954

Responsabilidad de Autoría



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
Carrera de Ingeniería en Mecatrónica

Responsabilidad de Autoría

Nosotros, **Meza Pinargote Luis Andrés** y **Toro Naula Eloy Alexander**, con cédulas de ciudadanía N° 1750152538 y N° 1726072919, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Diseño, construcción e implementación de una máquina expendedora automática de alimentos y bebidas** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 13 de febrero del 2023

Firmas:

Meza Pinargote Luis Andrés

C.C.: 1750152538

Toro Naula Eloy Alexander

C.C.: 1726072919

Autorización de publicación



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería en Mecatrónica

Autorización de publicación

Nosotros **Meza Pinargote Luis Andrés** y **Toro Naula Eloy Alexander**, con cédulas de ciudadanía N° 1750152538 y N° 1726072919, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Diseño, construcción e implementación de una máquina expendedora automática de alimentos y bebidas** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi/nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 13 de febrero del 2023

Firmas:

Meza Pinargote Luis Andrés

C.C.: 1750152538

Toro Naula Eloy Alexander

C.C.: 1726072919

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis padres Giovanny y Patricia, a mis abuelos, a mi hermana Giovanna, a mi novia Verónica y a todas las personas que creyeron en mí y formaron parte de este largo camino, guiando cada paso y brindándome su apoyo en los momentos que más lo necesitaba.

Luis Andrés Meza Pinargote

Este trabajo va dedicado a todos mis seres queridos que depositaron su confianza en mí y me motivaron a luchar por mis objetivos, especialmente a mi abuelita Anita que siempre me brindó su apoyo durante este largo camino.

Eloy Alexander Toro Naula

Agradecimiento

Agradezco a Dios por brindarme la sabiduría necesaria y acompañarme en este largo camino.

A mis padres Giovanni y Patricia, por ser quienes me inculcaron valores, guiaron mis pasos desde pequeño y me acompañaron en cada momento de mi carrera con su apoyo y cariño incondicional. Gracias por enseñarme a nunca rendirme y ser responsable con mis obligaciones.

A mi hermana Giovanna, quien es mi mayor inspiración y fortaleza, con su ejemplo me enseñó que el estudio, la perseverancia y el sacrificio te abren muchas oportunidades.

A Verónica por acompañarme a lo largo de todo este camino, recordándome lo capaz que soy, llenándome de confianza y seguridad en cada paso.

A mis abuelos, que son una parte muy importante de mi vida regalándome enseñanzas, valores y consejos que los pongo en práctica cada día.

A mi grupo de amigos, por estar en los días buenos y malos, brindándome siempre una mano en cada proyecto y una frase de aliento.

A todos los docentes de los cuales tuve la oportunidad de recibir sus enseñanzas y a nuestro tutor Ing. Melton Tapia por facilitarnos los recursos y brindarnos el apoyo necesario para culminar este proyecto.

Luis Andrés Meza Pinargote

Agradezco en primer lugar a Dios que me ha dado la fortaleza para poder afrontar cada prueba que se vino presentando a lo largo de todo mi trayecto universitario.

Agradezco a mis padres Rolando y Lucía que siempre supieron darme el apoyo que necesitaba en cada proyecto y cada noche de desvelo que llevaron a poder culminar con gran honor mi etapa universitaria.

Agradezco a mi hermano Mateo que siempre ha sido mi ejemplo a seguir y me ha mostrado que los problemas son menos duros si los vemos con un poco de humor.

Agradezco a Samantha por el inmenso amor y comprensión que me ha dado durante años, por siempre brindarme su lealtad y acompañarme durante cada dificultad que se ha presentado en mi vida.

Agradezco a mis amigos Andrés, Diego, Carlos, Mateo, Santiago, David, Víctor y Sebastián por convertir cada momento y experiencia universitaria en una anécdota que la llevaré siempre en mi memoria.

Agradezco a mi compañero Andrés por trabajar junto a mi durante una infinidad de proyectos universitarios, prácticas preprofesionales y la presente tesis, por siempre ser un guía y formidable líder, amigo la vida te tiene preparadas cosas increíbles.

Agradezco al ingeniero Melton Tapia por haber brindado la confianza y el apoyo durante la realización de todo el proyecto, y a todos los docentes universitarios que me brindaron sus enseñanzas que al día de hoy dan sus frutos con los resultados obtenidos en el desarrollo de este proyecto.

Eloy Alexander Toro Naula

Índice de Contenido

Reporte de verificación de contenido	2
Certificación	3
Responsabilidad de Autoría	4
Autorización de publicación	5
Dedicatoria	6
Agradecimiento	7
Resumen	25
Abstract	26
Capítulo I: Introducción	27
Antecedentes	27
<i>Reseña histórica de máquinas expendedoras</i>	28
<i>Evolución tecnológica en máquinas expendedoras</i>	30
Descripción del proyecto	35
Justificación e importancia	36
Alcance del proyecto	38
<i>Componente Mecánico</i>	39
<i>Componente Electrónico</i>	40
<i>Componente de Control</i>	41
<i>Integración y pruebas de funcionamiento</i>	43
Objetivos	43
<i>Objetivo general</i>	43
<i>Objetivos específicos</i>	43
Capítulo II: Marco Teórico	45
Mercado de las máquinas expendedoras “Vending”	45

	10
<i>Factores clave para un negocio vending rentable</i>	47
<i>Beneficios que ofrece el Vending</i>	49
Máquinas expendedoras Vending	50
<i>Automatización en máquinas expendedoras Vending</i>	50
<i>Características de las máquinas expendedoras</i>	52
<i>Clasificación de máquinas expendedoras</i>	52
<i>Máquinas expendedoras en diversos sectores</i>	56
<i>Partes y sistemas constitutivos de las máquinas expendedoras</i>	59
<i>Diseño modular en máquinas expendedoras</i>	64
<i>Normativas para máquinas expendedoras</i>	67
Controlador de una máquina expendedora.....	69
<i>Plataforma Arduino para el desarrollo de proyectos</i>	70
<i>Arduino en el mercado Vending</i>	72
Módulos de cobro para máquinas Vending.....	73
<i>Tipos de módulos de cobro</i>	74
Protocolos de comunicación en máquinas vending.....	78
Protocolo de comunicación MDB / ICP para módulos de cobro.....	79
<i>Comunicación dentro del Protocolo MDB</i>	80
<i>Estructura del bloque de datos</i>	82
<i>Método de verificación en la transmisión de datos</i>	83
<i>Códigos de Respuesta</i>	83
<i>Direcciones establecidas para periféricos</i>	84
<i>Comandos principales para el control de los módulos de cobro</i>	85
<i>Especificaciones técnicas de hardware del protocolo MDB</i>	86
Descripción de IoT	87
<i>Smart Vending, incorporación del IoT en máquinas expendedoras</i>	89

	11
<i>Aplicaciones del IoT en máquinas expendedoras</i>	90
Capítulo III: Diseño Mecatrónico y Construcción	93
Metodología para el diseño	93
<i>Norma VDI 2206</i>	93
Definición de requisitos de la máquina.....	98
<i>Identificación de requisitos</i>	98
<i>Descripción de los productos a comercializar</i>	100
<i>Especificaciones técnicas preliminares</i>	102
Diseño preliminar del sistema	103
<i>Geometría y forma de la máquina expendedora</i>	104
<i>Sistema de almacenamiento y dispensado</i>	108
<i>Sistemas de cobro</i>	112
<i>Hardware de Control</i>	116
<i>Interfaz con el usuario</i>	122
<i>Concepto final de la máquina</i>	126
Diseño Mecánico	128
<i>Diseño de la estructura de la máquina</i>	128
<i>Diseño de los resortes de almacenamiento y dispensado</i>	131
<i>Diseño de las bandejas de almacenamiento</i>	136
<i>Diseño del receptáculo o bandeja de caída</i>	142
<i>Diseño de la puerta frontal</i>	144
<i>Verificación de los esfuerzos soportados mediante elementos finitos</i>	146
<i>Modelado CAD de la máquina expendedora diseñada</i>	150
<i>Manufactura y ensamblaje de los elementos mecánicos</i>	154
Diseño electrónico	158
<i>Identificación de componentes electrónicos disponibles</i>	158

<i>Dimensionamiento y selección de motores</i>	160
<i>Selección de elementos para la activación y control de motores</i>	162
<i>Selección de elementos para el sistema de cobro</i>	165
<i>Selección de la pantalla táctil</i>	167
<i>Hardware para la aplicación IoT relacionada al control de inventario</i>	168
<i>Especificaciones y distribución de pines del controlador</i>	169
<i>Dimensionamiento y selección de la fuente de alimentación DC</i>	174
<i>Dimensionamiento y selección de las protecciones eléctricas</i>	177
<i>Diseño de la arquitectura de red y del circuito eléctrico</i>	180
<i>Diseño y armado del tablero de control</i>	188
Diseño de Control	192
<i>Definición de la secuencia de control</i>	192
<i>Programación de la secuencia de control y del controlador Arduino</i>	194
<i>Programación para el control y comunicación del monedero</i>	197
<i>Programación de la pantalla HMI</i>	200
<i>Programación de la aplicación IoT para el control de inventario</i>	204
Integración y montaje de sistemas	209
<i>Actuadores, sensores y drivers</i>	209
<i>Periféricos y módulos</i>	213
<i>Tablero de control y paso del cableado</i>	219
Capítulo IV: Pruebas de Funcionamiento y Resultados	221
Pruebas de energización	221
<i>Energización y activación de los elementos</i>	221
<i>Potencia eléctrica consumida por la máquina</i>	222
<i>Tiempo de encendido de la máquina</i>	224
Pruebas funcionales de los subsistemas	224

<i>Sistema de dispensado y almacenamiento</i>	224
<i>Sistema de cobro y cambio</i>	230
<i>Interfaz de usuario</i>	233
<i>Control de inventario</i>	236
Prueba integral del funcionamiento de la máquina.....	241
Análisis de resultados.....	243
<i>Evaluación de cumplimiento de los requisitos</i>	245
<i>Especificaciones técnicas finales</i>	247
<i>Comparación con las especificaciones técnicas preliminares</i>	248
Presentación de costos	250
Capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones	254
Conclusiones.....	254
Recomendaciones	256
Bibliografía	259
Apéndices	268

Índice de Tablas

Tabla 1 Evolución tecnológica presente en máquinas expendedoras.....	34
Tabla 2 Sectores aplicables de máquinas expendedoras.....	57
Tabla 3 Direcciones de los dispositivos vending más comunes definidos en el protocolo MDB.	84
Tabla 4 Comandos enviados por el controlador maestro a los dispositivos de cobro de tipo monedero.....	86
Tabla 5 Valores de voltaje que manejan los dispositivos dentro del protocolo MDB.	86
Tabla 6 Especificaciones técnicas preliminares de la máquina expendedora.....	102
Tabla 7 Tabla de selección de la geometría y forma de la máquina.	108
Tabla 8 Tabla de selección para Hardware de control.....	112
Tabla 9 Tabla de selección para el sistema de cobro.	116
Tabla 10 Tabla de selección para Hardware de control.....	122
Tabla 11 Tabla de selección para la interfaz de usuario.....	126
Tabla 12 Descripción del espacio geométrico empleado en la estructura de la máquina expendedora.	130
Tabla 13 Materiales planteados para el diseño de la estructura.....	131
Tabla 14 Almacenamiento de productos en los diferentes resortes a diseñar.	132
Tabla 15 Valor del coeficiente de relleno según el material.....	133
Tabla 16 Potencia necesaria para el accionamiento de cada resorte.	136
Tabla 17 Resultados del análisis estático para las bandejas (Factores de seguridad).....	148
Tabla 18 Piezas mecánicas de la máquina expendedora diseñada.....	150
Tabla 19 Partes manufacturadas y ensambladas en máquina.....	155
Tabla 20 Identificación de elementos disponibles para la construcción de la máquina expendedora.	159
Tabla 21 Especificaciones de funcionamiento para motores.....	161

Tabla 22 Especificaciones técnicas del motor NEMA 17.....	162
Tabla 23 Especificaciones del módulo seleccionado para la activación de los motorreductores AC.	163
Tabla 24 Especificaciones del driver seleccionado para la activación de los motores a paso.	165
Tabla 25 Elementos seleccionados para el sistema de cobro con sus respectivas especificaciones.....	166
Tabla 26 Especificaciones de la pantalla seleccionada.	168
Tabla 27 Especificaciones técnicas de los dispositivos que se emplearán como Hardware para la aplicación IoT.	169
Tabla 28 Especificaciones del controlador seleccionado.....	170
Tabla 29 Pines del controlador configurados como entradas.	171
Tabla 30 Pines del controlador configurados como salidas.	172
Tabla 31 Pines del controlador destinadas para comunicación serial.	173
Tabla 32 Componentes electrónicos que funcionan con voltaje DC y su consumo de potencia.	174
Tabla 33 Componentes seleccionados para la alimentación DC con sus respectivas especificaciones.....	176
Tabla 34 Datos conocidos para el dimensionamiento de los interruptores termomagnéticos.	178
Tabla 35 Elementos de protección seleccionados con sus respectivas especificaciones.	179
Tabla 36 Comandos necesarios para el control del monedero por parte del Arduino.	198
Tabla 37 Tipos de monedas configuradas en el monedero.	200
Tabla 38 Elementos de la pantalla de inicio.	201
Tabla 39 Tipo de notificaciones que se pueden enviar con su condición, asunto y mensaje para cada caso.....	206
Tabla 40 Casos en los que se requiere el envío de información entre el Arduino Mega y el módulo ESP32.	207

Tabla 41 Resultados obtenidos de la prueba de energización y activación de los componentes eléctricos de la máquina.	221
Tabla 42 Potencia eléctrica real consumida por la máquina.	223
Tabla 43 Consumo energético de la máquina en un día de trabajo (24 horas).	223
Tabla 44 Capacidad total de almacenamiento de la máquina diseñada y tamaño adecuado de los productos para cada bandeja.	225
Tabla 45 Resultados de las pruebas realizadas para verificar el proceso de recarga de productos.	226
Tabla 46 Resultados obtenidos de las pruebas de dispensado por bandejas.	227
Tabla 47 Problemas presentados en las pruebas de dispensado.	228
Tabla 48 Tiempo aproximado de dispensado por bandeja.	229
Tabla 49 Resultados obtenidos en las pruebas de cobro e identificación de monedas.	231
Tabla 50 Resultados obtenidos que permiten calcular el porcentaje de error en la entrega de dinero.	232
Tabla 51 Resultados obtenidos que permiten calcular el porcentaje de error en el valor entregado.	233
Tabla 52 Resultados obtenidos en las pruebas realizadas a la interfaz HMI.	234
Tabla 53 Pruebas realizadas en torno al proceso de configuración de credenciales de red y direcciones de correo.	237
Tabla 54 Resultados obtenidos de las pruebas realizadas de conexión a la red mediante Wi-Fi.	239
Tabla 55 Resultados obtenidos de las pruebas de envío de notificaciones.	240
Tabla 56 Resultados obtenidos de las pruebas de venta realizadas a la máquina expendedora.	242
Tabla 57 Especificaciones técnicas finales de la máquina expendedora diseñada y construida.	247

Tabla 58 Comparación entre las especificaciones técnicas preliminares y las especificaciones técnicas finales.	249
Tabla 59 Detalle de costos directos en el proyecto.....	251
Tabla 60 Detalle de costos indirectos en el proyecto.....	253

Índice de Figuras

Figura 1 Primera máquina expendedora automática del mundo.....	28
Figura 2 Máquina dispensadora de postales diseñada por Percival Everitt en 1883.	29
Figura 3 Máquina dispensadora diseñada por Thomas Adams Gum Compay.....	30
Figura 4 Evolución del sistema de pago de una máquina dispensadora.	31
Figura 5 Gestor de cambio moderno para máquinas dispensadoras.....	32
Figura 6 Evolución de la interfaz de usuario en máquinas dispensadoras.	32
Figura 7 Esquema de distribución del sistema de dispensado.....	39
Figura 8 Número de máquinas vending por cada mil habitantes.	46
Figura 9 Máquina vending de Pizza cocinada, instaladas en Europa.	47
Figura 10 Máquina expendedora mecánica de dulces y su sistema de cobro característico....	53
Figura 11 Máquina expendedora electrónica de tabacos y su sistema de cobro característico.	54
Figura 12 Máquina expendedora electrónica de snacks y los posibles sistemas de cobro.....	55
Figura 13 Máquina dispensadora de medicinas.	58
Figura 14 Máquina expendedora de materiales de escritorio.....	59
Figura 15 Carcaza de una máquina vending comercial.....	60
Figura 16 Bandeja, resortes y motores que conforman el sistema de almacenamiento y dispensado.....	61
Figura 17 Motores característicos de máquinas expendedoras vending con resorte.....	61
Figura 18 Bandeja de entrega de producto empleada por algunas máquinas expendedoras. .	62
Figura 19 Sistemas de cobro empleados por máquinas expendedoras en la actualidad.....	63
Figura 20 Máquina expendedora comercial con los elementos más comunes que conforman el panel frontal.	64
Figura 21 Patente de máquina dispensadora de cigarrillos 1940 patente US6832694B2.	65
Figura 22 Módulos de máquina dispensadora actuales.	67

Figura 23 Controlador de máquinas vending en donde se indica los puertos de conexión disponibles.	69
Figura 24 Placas electrónicas de código abierto empleadas para el control de máquinas vending.	70
Figura 25 Diferentes placas Arduino, cada uno con diferentes características y capacidades para adaptarse a las necesidades de los usuarios.	71
Figura 26 Máquina expendedoras vending desarrolladas y controladas con Arduino.....	72
Figura 27 Convertidor MDB a RS232.....	73
Figura 28 Módulo de cobro de máquina dispensadora de dulces vs Módulo de cobro de máquina dispensadora actual.....	74
Figura 29 Módulo de cobro MEI CF-700 (izquierda) y Módulo de cobro AZKOYEN Combo-T (derecha).....	75
Figura 30 Estructura interna del receptor de billetes NV9.	76
Figura 31 Receptor de tarjetas de crédito/débito para máquinas vending.	77
Figura 32 Máquinas expendedoras que aceptan pagos por monedas electrónicas.....	77
Figura 33 Arquitectura de red empleada en el protocolo MDB.....	80
Figura 34 Bits transmitidos durante la comunicación del maestro con el esclavo en el protocolo MDB.	81
Figura 35 Código de respuesta ACK con su valor hexadecimal y binario para diferentes tipos de dispositivos.....	84
Figura 36 Distribución de pines y forma de los conectores empleados en el protocolo MDB. ..	87
Figura 37 Ejemplos de máquinas expendedoras inteligentes con pantalla táctil a color.	90
Figura 38 Proceso de desarrollo concurrente según la norma VDI 2206.....	93
Figura 39 Productos alimenticios fríos tipo Snacks comercializados en una máquina expendedora.	100

Figura 40 Bebidas embotelladas personales comercializadas en una máquina expendedoras.	101
Figura 41 Máquina expendedora con forma prismática rectangular.	105
Figura 42 Máquina expendedora de forma cilíndrica.....	106
Figura 43 Bandeja horizontal con resortes.....	109
Figura 44 Bandeja horizontal con banda transportadora.....	110
Figura 45 Sistema de cobro electrónico.....	113
Figura 46 Sistema de cobro mecatrónico.....	115
Figura 47 Controlador VMC modelo IVMC-60HM.....	117
Figura 48 Placa Arduino Mega 2560.....	119
Figura 49 Placa Raspberry Pi 4.....	120
Figura 50 Interfaz de usuario conformada por un teclado matricial + LCD.....	123
Figura 51 Máquina expendedora empleando una pantalla táctil como interfaz.....	124
Figura 52 Distribución geométrica parte frontal de la máquina expendedora.....	129
Figura 53 Distribución geométrica parte trasera de la máquina expendedora.....	129
Figura 54 Geometría del resorte para productos muy pequeños.....	133
Figura 55 Medidas de la bandeja tipo 1.....	137
Figura 56 Medidas de la bandeja tipo 2.....	137
Figura 57 Propiedades físicas de la bandeja tipo 1.....	138
Figura 58 Propiedades físicas de la bandeja tipo 2.....	138
Figura 59 Propiedades físicas de los resortes de la fila A.....	139
Figura 60 Propiedades físicas de los resortes de las filas B y C.....	140
Figura 61 Propiedades físicas de los resortes de las filas D y E.....	140
Figura 62 Diagrama de cuerpo libre de las bandejas.....	141
Figura 63 Bandeja de caída diseñada.....	142
Figura 64 Agarradera de la bandeja de caída.....	143

Figura 65 Mecanismo con bisagras para retirar producto de la máquina.	143
Figura 66 Diagrama de cuerpo libre de la puerta frontal.	144
Figura 67 Propiedades físicas de la puerta frontal diseñada.	144
Figura 68 Dimensiones del vidrio colocado en la puerta frontal.	145
Figura 69 Diagrama de cuerpo libre para la bandeja de la fila A en SolidWorks.	147
Figura 70 Parámetros de mallado para el análisis estático.	147
Figura 71 Resultados del análisis estático para la bandeja de la fila A.	148
Figura 72 Parámetros de mallado para la estructura.	149
Figura 73 Resultados del análisis estático para la estructura.	149
Figura 74 Motorreductor AC con el sistema compuesto por un fin de carrera y una leva para detectar su posición.	164
Figura 75 Estructura y componentes del Arduino Mega 2560.	170
Figura 76 Shield con borneras para Arduino Mega.	171
Figura 77 Arquitectura de red diseñada para la máquina expendedora.	180
Figura 78 Diagrama esquemático de la conexión de los drivers L298N para el control y accionamiento de los motores a pasos de la fila B.	182
Figura 79 Diagrama esquemático de la conexión del módulo relé de 16 canales para el control y accionamiento de los motorreductores AC de la fila D y E.	183
Figura 80 Diagrama esquemático de la conexión de los fines de carrera de las bandejas D y E al controlador.	184
Figura 81 Diagrama esquemático de la conexión de los elementos para el sistema de cobro.	185
Figura 82 Diagrama esquemático de la conexión del ESP32 con el módulo lector microSD (Hardware para el control de inventario).	186
Figura 83 Diseño de la PCB para la implementación del circuito para el control de inventario.	186

Figura 84 Modelo 3D de la PCB diseñada para la implementación del circuito, vista frontal (izquierda) y vista posterior (derecha).....	187
Figura 85 PCB construida donde se implementa el hardware para el control de inventario junto con sus conexiones.	187
Figura 86 Diagrama esquemático de la comunicación para la conexión del sistema de cobro, interfaz de usuario y control de inventario.	188
Figura 87 Ubicación prevista para el tablero eléctrico en la máquina expendedora.....	189
Figura 88 Diseño de la distribución de los elementos, software empleado: AutoCad Electrical.	191
Figura 89 Elementos instalados, conectados y montados en el doble fondo y en el gabinete eléctrico.....	191
Figura 90 Diagrama de flujo de la secuencia de control que debe seguir la máquina en una venta.	193
Figura 91 Máquina de estados que modela el proceso automático que debe seguir la máquina expendedora.	194
Figura 92 Pantalla de inicio.	201
Figura 93 Pantalla de acceso.	202
Figura 94 Pantalla de configuración.	203
Figura 95 Pantalla de cambio de precios	203
Figura 96 Pantalla de llenar inventario	204
Figura 97 Archivo conectividad.txt donde se guarda el nombre de la red y la contraseña.....	205
Figura 98 Archivo correo.txt donde se guarda los datos necesarios para el envío de las notificaciones.	206
Figura 99 Conexión del motor con el resorte por medio de un acople rígido.....	210
Figura 100 Integración y montaje de los motores a paso junto con el driver L298N en las bandejas.....	210

Figura 101 Integración y montaje de los motorreductores AC en las bandejas.....	211
Figura 102 Cableado requerido para los motores a pasos y los drivers L298N.	211
Figura 103 Cableado requerido para los motorreductores AC y los fines de carrera.	212
Figura 104 Paso del cableado dentro de la máquina, control (izquierda) y potencia (derecha).	212
Figura 105 Montaje de resorte en cada bandeja, vista frontal (izquierda) y vista posterior (derecha).....	213
Figura 106 Vista frontal de la máquina donde se indica el compartimiento en donde se ubicará el sistema de pago.....	213
Figura 107 Parte posterior del monedero (izquierda) y placa para el montaje del monedero en la máquina (derecha).....	214
Figura 108 Montaje y conexión del sistema de pago en la máquina expendedora, convertidor MDB – RS232 (izquierda) y convertidor RS232 – TTL (derecha).	215
Figura 109 Vista frontal de la máquina donde se puede observar el sistema de pago instalado.	215
Figura 110 Cofre diseñado y construido para el almacenamiento de monedas (izquierda) y montaje del cofre en la máquina (derecha).....	216
Figura 111 Estructura diseñada y construida para conducir las monedas que son parte del vuelto hacia el usuario, vista frontal (izquierda) y vista posterior (derecha).	217
Figura 112 Estructura para la entrega del vuelto montada en la puerta frontal de la máquina, vista frontal (izquierda) y vista posterior (derecha).	217
Figura 113 Ubicación de la pantalla táctil en la puerta frontal (vista frontal).	218
Figura 114 Montaje y conexión de la pantalla táctil en la puerta frontal (vista posterior).	218
Figura 115 Ubicación del tablero en la parte posterior de la máquina.	219
Figura 116 Paso del cableado desde la máquina al tablero de control por medio de manguera BX.....	220

Figura 117 Proceso de colocación de productos en la máquina expendedora.....	227
Figura 118 Forma correcta de colocar diferentes tipos de productos y calibrar los resortes (Izquierda: Alimentos tipo snacks y Derecha: Bebidas embotelladas).....	229
Figura 119 Pantallas de la HMI diseñadas e implementadas de forma física en la máquina..	236
Figura 120 Monitor del puerto serial donde se encuentra conectado el ESP32 a la computadora, en donde se puede observar los datos leídos de la memoria microSD.	238
Figura 121 Notificación informativa enviada por correo electrónico indicando que el ESP32 se ha conectado a internet y que la máquina ha sido encendida.....	238
Figura 122 Notificación de advertencia enviada al correo electrónico indicando que un producto está próximo a terminarse, en este caso el producto es el D3.....	240
Figura 123 Notificación de alerta enviada al correo electrónico indicando que un producto se ha terminado, en este caso el producto es el D3.....	240
Figura 124 Proceso de venta ejecutado por la máquina expendedora diseñada y construida.	243
Figura 125 Máquina expendedora automática de alimentos y bebidas diseñada y construida, con adecuaciones estéticas finales.....	244

Resumen

En este trabajo se presenta el diseño y construcción de una máquina expendedora Vending capaz de comercializar de forma automática diferentes tipos de productos alimenticios empaquetados y bebidas embotelladas, cumpliendo con los requisitos establecidos por la empresa auspiciante y empleando elementos que puedan ser encontrados fácilmente en el mercado nacional. Para el diseño de esta máquina, al ser un producto mecatrónico, se empleó la metodología descrita en la norma VDI 2206, realizando el diseño de la parte mecánica, electrónica y de control, para después integrarlas en un producto funcional. La máquina construida incorpora diferentes subsistemas controlados por la tarjeta Arduino Mega que trabajando en conjunto permiten realizar ventas de forma automática. El sistema de cobro emplea el protocolo de comunicación MDB, exclusivo de máquinas vending, para el intercambio de información con el controlador Arduino. Se incorpora una pantalla táctil como interfaz de usuario para mejorar la experiencia de uso por parte del cliente y propietario, mediante la cual se habilitan menús adicionales para la configuración de precios protegidos por usuario y contraseña. Además, se habilita la conectividad a internet de la máquina para el envío de notificaciones mediante correo electrónico con información del inventario. La secuencia de control fue definida mediante el modelo de máquina de estados finitos para ser programado en el controlador. Con las pruebas finales realizadas se obtuvo un porcentaje bajo de error en el funcionamiento de todos los subsistemas, lo que indica que la máquina es funcional y tiene una alta confiabilidad en la venta automática de productos.

Palabras Clave: máquina expendedora Vending, Norma VDI 2206, protocolo de comunicación MDB, conectividad a internet, venta automática.

Abstract

This thesis presents the design and construction of a vending machine capable of automatically marketing different types of packaged food products and bottled drinks, complying with the requirements established by the sponsoring company and using elements that can be easily found in the market. national. For the design of this machine, being a mechatronic product, the methodology described in the VDI 2206 standard was used, carrying out the design of the mechanical, electronic and control parts, to later integrate them into a functional product. The built machine incorporates different subsystems controlled by the Arduino Mega card that working together allow sales to be made automatically. The payment system uses the MDB communication protocol, exclusive to vending machines, to exchange information with the Arduino controller. A touch screen is incorporated as a user interface to improve the user experience by the client and owner, through which additional menus are enabled for the configuration of prices protected by user and password. In addition, the machine's internet connectivity is enabled to send notifications via email with inventory information. The control sequence was defined by the finite state machine model to be programmed in the controller. With the final tests carried out, a low percentage of error in the operation of all the subsystems was obtained, which indicates that the machine is functional and has a high reliability in the automatic vending of products.

Keywords: Vending machine, VDI 2206 Standard, MDB communication protocol, internet connectivity, automatic vending.

Capítulo I: Introducción

Antecedentes

La empresa auspiciante del proyecto SERMEC se dedica al desarrollo y construcción de máquinas comerciales para diferentes campos y en este caso ha decidido incursionar en el mercado de las máquinas expendedoras vending al identificar que son pocas las empresas a nivel nacional que se encargan de diseñarlas y construirlas, siendo un mercado poco explotado.

El mercado Vending, como se conoce a la comercialización o venta de diferentes productos a través de máquinas expendedoras, ha ganado bastante popularidad en todo el mundo, por lo que es usual encontrar este tipo de máquinas en diferentes lugares cotidianos como parques, hospitales, universidad, oficinas, entre otros. Existen diferentes modelos de máquinas expendedoras de acuerdo con el tipo de producto que comercializan, sin embargo, la característica en común de todas y por lo que gozan de tal popularidad es que son máquinas autónomas que no requieren de la presencia de ninguna persona al momento de vender los productos que contienen, lo cual permite que puedan funcionar sin interrupciones ni descansos todo el día. Debido a esto, la demanda de máquinas expendedoras ha aumentado y también el interés en estudiarlas y mejorarlas, añadiendo en ellas nuevos elementos y funciones que mejoren la calidad del servicio y generen confianza tanto en el consumidor como el propietario.

En este modelo de comercialización, los consumidores interactúan directamente con la máquina expendedora para conseguir el producto que necesitan, entregan el pago y seleccionan el producto, posterior a esto la máquina lo entrega y en algunos casos también da vuelto. Al tratarse de una máquina que maneja medios de pago y dinero en efectivo, la probabilidad de que cometa errores debe ser mínima, un error puede ocasionar una pérdida para el propietario de la máquina o conflictos con el consumidor. Las máquinas expendedoras actuales incorporan elementos mecánicos, electrónicos y de control, que en conjunto permiten reducir errores y garantizar un buen funcionamiento en el proceso.

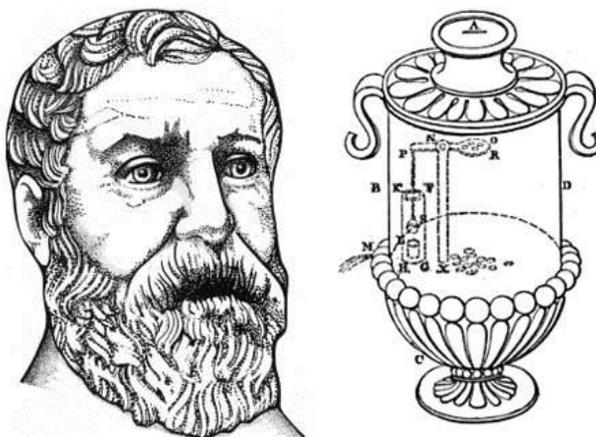
Para llegar a tener la popularidad y confiabilidad que tienen estas máquinas en la actualidad, han pasado por muchos años de desarrollo incorporando nuevas tecnologías y mejorando sus características. Para iniciar con el diseño de una máquina expendedora vending es importante conocer la historia de estas máquinas y que características deben tener para ser competitiva y generar confianza en el mundo actual.

Reseña histórica de máquinas expendedoras

El principio de trabajo y origen de las máquinas expendedoras se remontan al antiguo Egipto a manos de Herón de Alejandría en el siglo I antes de Cristo, que consistía en una máquina que dispensaba agua bendita como se muestra en la figura 1. La máquina funcionaba introduciendo una moneda que caía sobre una balanza y elevaba un lado del mecanismo abriendo una válvula para llenar un recipiente, al finalizar el llenado la moneda caía a un compartimento volviendo a la posición inicial e iniciando el ciclo nuevamente (Matute Pinos & Uday Lupercio, 2013).

Figura 1

Primera máquina expendedora automática del mundo.



Nota. Tomado de Diseño y desarrollo de un sistema de ubicación, monitoreo y control de una máquina vending dispensadora de bebidas automática mediante un dispositivo AVL (p.4), por Matute Pinos & Uday Lupercio, 2013, [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana].

La revolución industrial fue la progenitora de las máquinas dispensadoras que se conocen hoy en día, específicamente en 1883 Percival Everitt lanzó al mercado su primera máquina de venta de postales, la cual, se muestra en la figura 2. Esta presentaba un tamaño considerablemente alto y un funcionamiento confiable a los clientes, por lo que en poco tiempo alcanzó una popularidad alta en el mercado instalándose más de 100 máquinas en la ciudad de Londres (Muñoz Checa, 2015).

Figura 2

Máquina dispensadora de postales diseñada por Percival Everitt en 1883.

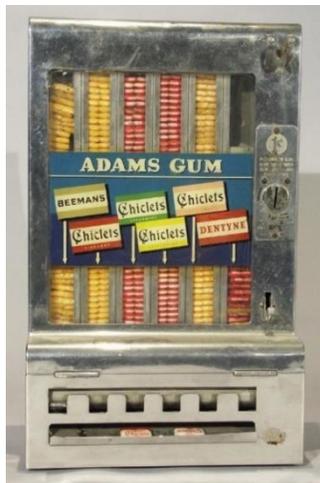


Nota. Tomado de *Automatización del Llenado de una máquina de helados vending* (p.14), por Fernández Álvarez et al., 2017, [Tesis de pregrado, Instituto Politécnico Nacional].

Años después en 1888 se visualizó la utilidad de estas máquinas para la venta no supervisada de productos, por lo que, la compañía Thomas Adams Gum Company adquirió la patente para poner en funcionamiento máquinas dispensadoras de goma de mascar, lo cual en años posteriores terminó en la implementación de otros productos y ligeros cambios en el funcionamiento de la máquina como un frente transparente para visualizar el stock de productos y el uso de un sistema para verificar la entrega de un solo producto. Una de las máquinas de Adams Gum Company se muestra en la figura 3.

Figura 3

Máquina dispensadora diseñada por Thomas Adams Gum Company.



Nota. Tomado de *El origen de las Máquinas Expendedoras*, por Azueta, s.f.

La década definitiva de las máquinas dispensadoras se dio a inicios de 1920 a manos de las compañías estadounidenses que empezaron a comercializar todo tipo de productos en este tipo de máquinas como cigarrillos, refrescos, café, postales, galletas, etc. Incluso mejorando considerablemente los mecanismos incluyendo resortes a medida para la adaptación de diversos productos, refrigeración para productos líquidos e identificadores de cada denominación de moneda para la variabilidad de precios (Matute Pinos & Uday Lupercio, 2013).

Evolución tecnológica en máquinas expendedoras

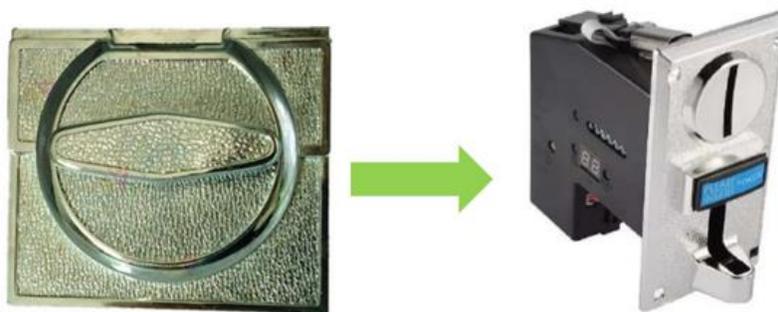
El vending ha presentado una clara evolución desde lo convencional y mecánico hasta lo tecnológico y práctico, lo cual ha permitido combinar una experiencia análoga y digital para lograr mayor seguridad, agilidad e innovación. Es notorio evidenciar los cambios pertinentes que se han presentado a lo largo de la historia en los diferentes sistemas que componen las máquinas vending.

Sistema de pago. La forma de pagar dentro de las máquinas vending es sin lugar a duda uno de los sistemas más importantes, las primeras máquinas vending incluían un sistema

de pago únicamente por monedas de una sola denominación que se conectaba de forma directa al sistema mecánico desbloqueando la activación del mecanismo de entrega de producto, lo que limitaba a la máquina al abastecimiento de únicamente un tipo de producto. En la actualidad las máquinas han evolucionado al punto de aceptar todo tipo de monedas, billetes, tarjetas de crédito y hasta calcular el total acreditado en el caso de entregar cambio al cliente como se muestra en la figura 4, lo que ha llevado a las máquinas vending a una versatilidad muy amplia debido a que se puede introducir productos de diferentes precios y el sistema de pago será capaz de reconocer la denominación y validez de la moneda.

Figura 4

Evolución del sistema de pago de una máquina dispensadora.



Nota. Adaptado de *Desarrollo de una máquina expendedora de dispositivos electrónicos para la ESFOT* (p. 5), por Insuasti López & Tandazo Gallegos, 2019, [Tesis de pregrado, Escuela Politécnica Nacional].

Sistema de devolución de cambio. La versatilidad a la hora de pagar en una máquina dispensadora ha marcado la diferencia entre comprar o no un producto, esta versatilidad se obtiene gracias a la posibilidad de introducir monedas de cualquier denominación y que la máquina reconozca la cantidad introducida y en base al precio del producto, entregue el cambio correspondiente; esta característica era inexistente en máquinas antiguas y actualmente está presente en todas las máquinas expendedoras del mercado. En la figura 5, se muestra un módulo de cobro moderno capaz de entregar cambio.

Figura 5

Gestor de cambio moderno para máquinas dispensadoras.



Nota. Tomado de *Gestor de cambio MEI CASHFLOW Serie 7000 Manual Técnico* (p. 1), por MEI Group, 2006.

Interfaz con el usuario. La interfaz de usuario es la encargada de interactuar con el cliente y orientar su compra durante el proceso, máquinas dispensadoras antiguas contaban con avisos escritos en la parte frontal con información como tipo de producto, precio e instrucciones de uso. Las máquinas modernas utilizan sistemas más amigables como pantallas informativas junto con teclados físicos, paneles táctiles y hasta asistencia auditiva para personas con capacidades especiales como se muestra en la figura 6, este sistema es modular y trabaja de forma conjunta con los demás componentes compartiendo información.

Figura 6

Evolución de la interfaz de usuario en máquinas dispensadoras.



Nota. Adaptado de *El origen de las Máquinas Expendedoras*, por Azueta, s.f.

Sistema de control. El sistema de control constituye el subsistema más importante dentro de la máquina expendedora ya que se encarga de la interacción de cada módulo y la gestión de actuadores junto con sensores, las primeras máquinas eran netamente mecánicas y operaban con la fuerza del cliente al girar una perilla, pero todo cambió con la adaptación de sistemas electrónicos que permitieron el diseño de circuitos embebidos capaces de gestionar de forma confiable los módulos encargados de la interfaz de usuario, cobro, entrega de cambio y activación de motores para despacho de producto; así como la verificación de la entrega mediante sensores internos de la máquina expendedora. También el controlador ha sido escalable de manera que cada fabricante ha podido incorporar nuevas funcionalidades orientadas a los avances tecnológicos en el ámbito de conectividad y gestión de datos.

Conectividad y acceso a la información. En un mundo cada día más globalizado el acceso a la información de manera remota se ha vuelto una necesidad intrínseca del mercado de máquinas expendedoras, debido a que, es importante conocer cierta información que permita planificar el abastecimiento de productos, corregir fallos existentes o solventar oportunamente los problemas de algún cliente durante su compra (Flores-Cueto et al., 2020). Para cubrir estas necesidades múltiples fabricantes han integrado tecnologías muy útiles en sus máquinas como las que se describen a continuación:

- Acceso a datos de inventario desde una página web o servicios en la nube.
- Estadísticas de ventas diarias, mensuales y anuales de forma remota de la máquina dispensadora.
- Alarmas vía web para el abastecimiento de productos en la máquina dispensadora.
- Gestión de datos en la nube de todas las máquinas expendedoras.
- Diagnóstico de funcionamiento de motores de forma remota.
- Estadísticas para un plan de mantenimiento integral de la máquina expendedora.
- Integración de sistemas GPS para mejorar los sistemas de seguridad.

- Integración del internet de las cosas a las máquinas para la gestión de ventas y toma de decisiones.
- Versatilidad en el pago incluyendo pagos en efectivo, billeteras móviles, tarjeta de crédito, código QR o pagos vía internet.

De esta manera es notable la evolución que han tenido las diferentes máquinas expendedoras a lo largo de la historia pasando de ser máquinas con un funcionamiento mecánico, a incorporar elementos electrónicos y de control para convertirse en productos mecatrónicos, como se puede evidenciar en la tabla 1.

Tabla 1

Evolución tecnológica presente en máquinas expendedoras.

Máquina dispensadora de postales 1883	Máquina dispensadora de snacks 2017
----------------------------------------------	--------------------------------------------



- Diseño integral.
- Accionamiento mecánico.
- Interfaz poco amigable e inmodificable.
- Sistema de pago único.
- Solo maneja un producto



- Diseño modular.
 - Accionamiento eléctrico.
 - Interfaz de usuario amigable y reprogramable.
 - Múltiples formas de pago.
 - Integración de tecnología IoT.
 - Gestión de datos en la nube.
 - Versatilidad de productos.
-

Descripción del proyecto

El proyecto consiste en el diseño, construcción e implementación de una máquina expendedora automática de alimentos y bebidas para la empresa auspiciante SERMEC, que permita comercializar un total de 28 diferentes tipos de productos de una forma sencilla, fácil de utilizar y amigable con el usuario, además se realizará un control de inventarios empleando IoT, de tal forma que se pueda notificar al dueño por correo electrónico si un producto está próximo a terminarse. La máquina contará con diferentes elementos mecánicos, electrónicos y de control que integrados garantizarán un correcto funcionamiento en la entrega de los productos al consumidor después de realizado su pago, de estos elementos se destacan los siguientes: un armazón o estructura mecánica que permitirá almacenar los productos y las demás partes constitutivas de la máquina, un sistema de pago capaz de receptar monedas de diferente denominación y entregar vuelto, una pantalla táctil con interfaz HMI en donde el usuario podrá seleccionar el producto y un sistema de control que permita integrar los sistemas mencionados con los demás actuadores y sensores de la máquina.

La ejecución del proyecto se iniciará con el diseño de la máquina tomando en cuenta las especificaciones y requerimientos iniciales, dentro del diseño se contempla realizar una investigación referente a este tipo de máquinas y los elementos que la componen para continuar con el diseño y dimensionamiento de las partes mecánicas, el diseño del circuito eléctrico, la selección del hardware y módulos necesario, la programación preliminar de la secuencia de control de la máquina, entre otros. El diseño se realizará siguiendo normas internacionales, criterios ingenieriles y recomendaciones de expertos.

Posterior al diseño se realizará la construcción de la máquina, para lo cual, se cuenta con algunos elementos provenientes de un prototipo discontinuado como es el caso de los motores, otros elementos deberán ser adquiridos como es el caso de la pantalla táctil y algunos otros manufacturados como es el caso de las partes mecánicas de la máquina. Por otro lado, también se realizará la adquisición de los elementos y hardware seleccionados, la conexión de

los circuitos eléctricos y, por último, la integración de las partes mecánicas, elementos electrónicos y la programación para concluir con la construcción y ensamblaje de la máquina.

Previo a la implementación de la máquina en su lugar de trabajo, se planea realizar pruebas de funcionamiento y correcciones necesarias para garantizar una máquina funcional, versátil y amigable con el usuario.

Justificación e importancia

El vending, como se conoce a la comercialización de productos a través de máquinas expendedoras, ha ganado cierta importancia con el pasar de los años y se posiciona como uno de los servicios más utilizados y modernos del mundo, debido a que, por su rapidez y versatilidad en el servicio se adapta a un estilo de vida denominado “out of home” (HostelVending, 2020b).

Actualmente, el ritmo de vida de las personas es más acelerado, lo cual, muchas veces impide que estas tengan un espacio en donde puedan dejar sus actividades para comprar e ingerir algún producto, por lo que, las máquinas expendedoras surgen como una solución eficaz, ya que evita que los consumidores tengan que emprender largos viajes, hacer largas filas o desviarse de su camino unos minutos para adquirir bebidas, snacks o algún otro tipo de productos de uso diario, con las máquinas expendedoras las personas pueden adquirir sus productos de forma rápida y sencilla mientras esperan el transporte, van camino a su trabajo, en un receso o mientras realizan alguna actividad recreacional (Hidalgo Villareal, 2017).

Las máquinas expendedoras forman parte de la vida cotidiana de muchas personas en los diferentes contextos que se encuentran como lugares de trabajo, de recreación, espacios educativos, paradas de transportes públicos, entre otros. La gran popularidad de las máquinas expendedoras se debe a múltiples ventajas que ofrecen a la hora de comercializar sus productos, por ejemplo: la rapidez en el servicio es mayor comparada con una tienda tradicional, se tiene una gran variedad de productos ofertados, los productos comercializados se encuentran protegidos y bien conservados, el manejo de los productos es más higiénico, la

máquina no requiere de un gran espacio para su implementación, puede funcionar por largos periodos de tiempo lo que garantiza su disponibilidad a toda hora, su costo de implementación es menor comparado con otras formas de comercializar productos de uso cotidiano y su utilización es sencilla y fácil de entender, básicamente se debe introducir dinero y solicitar el producto (Alliance Vending, 2010).

A nivel mundial, la implementación y utilización de máquinas expendedoras de alimentos ha ido en aumento debido al continuo incremento de la población, al cambio en su ritmo de vida y a lo sencillo y rápido que resulta comprar en estas máquinas. Además, un gran número de personas al ser más conscientes de su salud, buscan ingerir pequeñas raciones de alimentos entre sus comidas, por lo que, también ha aumentado la demanda de ciertos productos como snacks, bebidas frías, dulces, entre otros. La implementación de estas máquinas ha permitido mejorar y aumentar la rapidez en la distribución y comercialización de los productos antes mencionados al mismo tiempo que se garantiza un adecuado manejo de estos (Serunion Vending, s.f.).

Con el incremento de los avances tecnológicos, la digitalización y la evolución de los mercados, las máquinas expendedoras se han convertido en máquinas complejas ya que aparte de poseer elementos mecánicos como se tenían en un inicio, ahora también poseen elementos electrónicos y de control que permiten mejorar la experiencia del consumidor y facilitar la configuración y monitoreo por parte del propietario de la máquina. El mercado de máquinas expendedoras que implementan nuevas tecnologías como el IoT o la gestión de datos en la nube ha ido en incremento y se espera que este mercado crezca a 11.240 millones de dólares en los siguientes años, lo que indica el aumento de la demanda de máquinas expendedoras automáticas a nivel mundial, la importancia de su implementación en diferentes lugares transitados y la tendencia de las personas a utilizarlas diariamente (HostelVending, 2020a).

En Ecuador es posible encontrar máquinas expendedoras en diferentes lugares desde hospitales, universidades, centros comerciales, locales, instituciones públicas o privadas, entre muchos más, lo que indica claramente su elevada utilización y comercialización a nivel nacional, no obstante, en el país son pocas las empresas que fabrican este tipo de máquinas y existen otras que se dedican únicamente a comercializar máquinas expendedoras fabricadas en el extranjero.

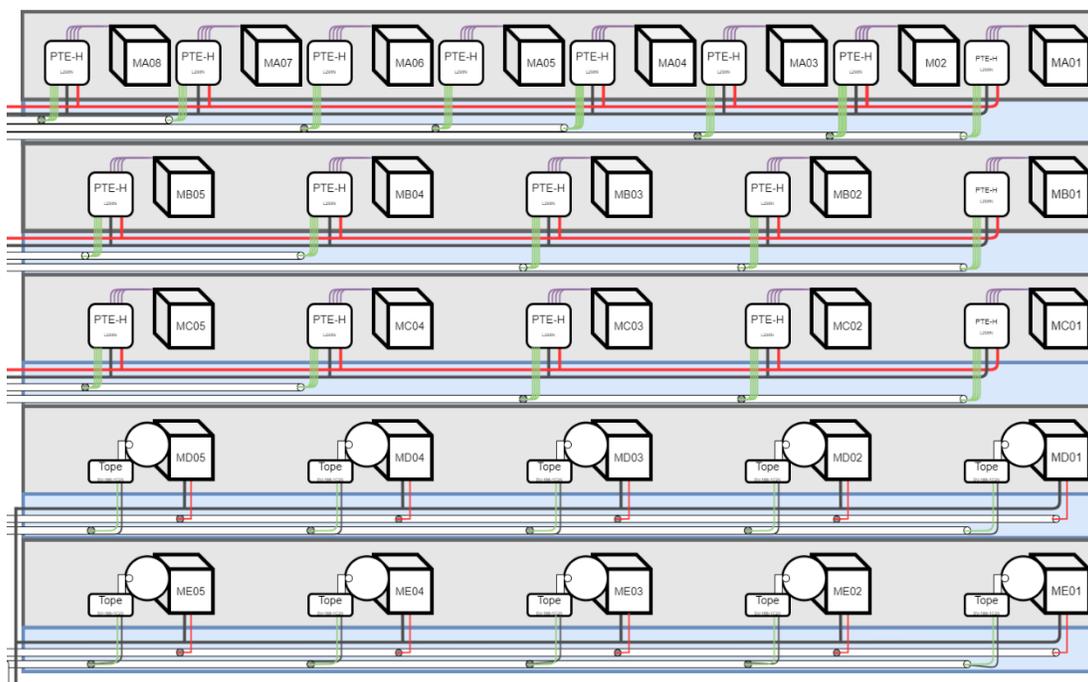
Por lo tanto, con el desarrollo del proyecto se busca diseñar y construir este tipo de máquinas expendedoras dentro del país para contribuir con el desarrollo tecnológico y la inclusión de nuevas tecnologías como el IoT y la gestión de datos en la nube. En base a lo mencionado, la máquina expendedora que se plantea desarrollar posee un conjunto de componentes mecánicos, electrónicos y de control, algunos de estos modulares, que integrados permitirán obtener una máquina funcional, simple de utilizar y amigable con el usuario y el ambiente, que sea capaz de cubrir la demanda del lugar donde sea instalada y ofrecer diferentes tipos de productos garantizando una buena higiene, calidad y manejo de estos. Además, con la implementación de nuevas tecnologías como el IoT se espera mejorar el monitoreo por parte del dueño de la máquina y hacerla competitiva dentro del mercado nacional.

Alcance del proyecto

Con la máquina expendedora de alimentos y bebidas que se desarrollará en el proyecto se busca dispensar 28 diferentes tipos de productos distribuidos en filas y columnas como se puede observar en la figura 7.

Figura 7

Esquema de distribución del sistema de dispensado.



Los productos que se comercializarán en la máquina son alimentos fríos empaquetados tipo snacks como frituras, chocolates, galletas, entre otros, y bebidas embotelladas como gaseosas, refrescos o aguas. En cada compartimiento se debe poder colocar entre 8 a 15 productos y el espacio disponible para esto debe ser adecuado, de tal forma, que se pueda almacenar y dispensar productos de diferente geometría y tamaño. Además, la máquina debe incorporar un sistema de pago que pueda recibir monedas de diferente denominación y entregar vuelto con una alta confiabilidad y exactitud.

El sistema descrito, al ser una máquina mecatrónica, se enfocará y subdividirá en tres áreas de importancia para la carrera: mecánica, electrónica e informática/control; los mismos que se describen a continuación de forma detallada:

Componente Mecánico

En el diseño mecánico se realizará el cálculo, dimensionamiento, modelado CAD y análisis mecánico de los distintos elementos que conforman la máquina como es la estructura o

armazón, las bandejas con sus respectivas divisiones para cada producto, las espiras o resortes de almacenamiento, el receptáculo, el panel de usuario y los soportes para cada actuador. Dentro del diseño mecánico se realizará la selección del material y la geométrica más adecuada para cada elemento y la comprobación de que estos resistan las cargas aplicadas.

A continuación del diseño, se realizará la manufactura de los elementos mecánicos antes mencionados, para después ensamblarlos. Como parte del diseño mecánico de la máquina, se considera además realizar los respectivos planos mecánicos de cada parte con el objetivo de crear documentación que permita en un futuro realizar mantenimiento, reparaciones o mejoras en la máquina.

En la siguiente parte se explica de manera detallada los elementos mecánicos más importantes de la máquina que serán diseñados y construidos:

Estructura o Armazón. La estructura o armazón es la encargada de almacenar y proteger los productos a dispensar y los demás elementos electrónicos y mecánicos de la máquina.

Bandejas y resortes de almacenamiento. Las bandejas permiten almacenar el producto, por lo que, deben ser capaces de soportar el peso de todos los productos, de los resortes y de los motores ubicados en la parte posterior. Por otro lado, los resortes permiten dispensar un solo producto en cada solicitud del consumidor, el paso del resorte forma compartimientos para los productos y una revolución completa permite que el producto almacenado se desplace y caiga al receptáculo.

Receptáculo. El receptáculo es el elemento que se encarga de entregar el producto al consumidor, una vez se haya hecho el pedido, el resorte gira haciendo que un producto caiga en este elemento para que el consumidor pueda abrirlo y tomarlo.

Componente Electrónico

En el diseño electrónico se seleccionará los diferentes elementos electrónicos necesarios para el control de la máquina, como los sensores, actuadores, drivers,

controladores, módulos para la recepción y entrega de dinero, fuentes de voltaje, pantalla, luces y otros equipos que sean necesarios.

Se dimensionará y seleccionará los motores adecuados para cada tipo de productos de acuerdo con el peso máximo soportado por bandeja, también se seleccionará los drivers necesarios para cada motor de acuerdo con el consumo de corriente requerido. Se diseñará e implementará el circuito eléctrico/electrónico y se realizará las respectivas conexiones, instalaciones y configuraciones de los diferentes drivers y módulos de la máquina. Se seleccionará el controlador más adecuado (Arduino, Raspberry PI, PLC, entre otros) que soporte los protocolos de comunicación empleados por los diferentes módulos de la máquina y que permita una conexión IoT. Además, se seleccionará los protocolos de comunicación más adecuados en el caso de que se tenga que conectar dos o más controladores para cubrir el número total de actuadores que se tiene que controlar en la máquina. Por otro lado, también se debe considerar otros elementos como sensores que permitan detectar el correcto dispensado de los productos. Como parte del componente electrónico se diseñará la red de sensores y actuadores incluido los lugares por donde pasara el cableado y donde se montarán los equipos. Finalmente, también es importante la instalación y conexión de luces que permitan iluminar y destacar los productos existentes.

Como parte del diseño electrónico de la máquina, se considera además realizar los respectivos esquemas y planos eléctricos de los circuitos diseñados e implementados con el objetivo de crear documentación que permita en un futuro realizar mantenimiento, intercambio de algún elemento o mejoras en la máquina.

Componente de Control

En el diseño de control se definirá y diseñará la secuencia de control de la máquina, es decir, la secuencia que tiene que seguir para dispensar un determinado producto, iniciando desde la solicitud de un producto, pasando por la recepción y verificación del dinero ingresado, continuando con la activación del motor que acciona el resorte y a su vez permite dispensar el

producto seleccionando, para finalmente, entregar el cambio o vuelto en el caso de ser necesario. En el diseño de control de la máquina se realizará la programación del controlador seleccionado para que este ejecute la secuencia de control descrita, reciba información de los sensores y módulos de recepción de dinero y emita diferentes órdenes a los motores y otros elementos para ejecutar la acción programada.

En ese punto también se considera la programación de la pantalla táctil de tal forma que esta sirva como un interfaz humano máquina HMI, por medio de la cual, el usuario pueda seleccionar el producto, consultar precios e interactuar con la máquina. Además, con el objetivo de facilitar la configuración de la máquina por parte del propietario, se considera implementar funciones para cambiar los precios de los productos o consultar otros datos desde la misma pantalla ingresando usuario y contraseña.

Por otro lado, se considera importante que se pueda tener un control del inventario de la máquina para que esta pueda ser reabastecida en el momento justo y no perder ventas por falta de stock. Para este propósito se implementará herramientas relacionadas al IoT, en donde, la máquina pueda enviar notificaciones por medio de correo electrónico para informar oportunamente a los encargados el momento que un producto se ha agotado o está próximo a agotarse, con esto se puede planificar adecuadamente la recarga de productos.

Por lo tanto, el sistema de control de la máquina debe coordinar y controlar los siguientes puntos clave:

- Solicitud de un producto emitida por el consumidor
- Manejo de pago y cambio (efectivo: monedas)
- Dosificación del producto
- Verificación de un correcto dispensado del producto
- Control de inventario de productos en base a IoT.

Todos estos deben de ser integrados, controlados y evaluados en base a los requerimientos del usuario.

Integración y pruebas de funcionamiento

Por último, se considera la integración de las partes mencionadas en un solo producto funcional, para realizar pruebas de funcionamiento que permitirán corregir posibles errores en la programación, establecer los parámetros de funcionamiento óptimos para la máquina y recopilar datos referentes a la velocidad de trabajo, consumo energético, exactitud en la entrega de vueltos, entre otros indicadores que permitan verificar la confiabilidad de la máquina.

A parte de las actividades ya mencionadas, en el desarrollo del proyecto se contempla la realización de las siguientes actividades adicionales:

- Investigación previa al diseño de la máquina.
- Realización de planos mecánicos y eléctricos.
- Modelamiento virtual de la estructura mecánica.
- Manual de usuario del sistema.
- Pruebas de funcionamiento y correcciones necesarias

Objetivos

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.
- Realizar la documentación necesaria que respalde el desarrollo del proyecto en base a planos mecánicos, diagramas eléctricos, esquemas electrónicos, así como un manual de usuario de la máquina a desarrollar cumpliendo normativas y haciendo uso de software especializado.

Capítulo II: Marco Teórico

Mercado de las máquinas expendedoras “Vending”

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, es decir, sin la necesidad de una persona encargada de realizar los respectivos cobros ni de un lugar fijo como una tienda para presentar los productos disponibles, en otras palabras, el "vending" es la venta de productos mediante máquinas expendedoras automáticas. El origen del término Vending se remonta al inicio de la década de 1880 donde se introduce en Londres la primera máquina vending de tarjetas postales, no obstante, el término se populariza en el año 1888 donde la compañía estadounidense Adams Gum incorpora en Nueva York las primeras máquinas vending dispensadoras de chicles. Esta forma de comercializar productos, desde sus inicios hasta la actualidad, ha ganado gran popularidad debido a que se adapta al estilo de vida de las personas, una máquina vending puede encontrarse en múltiples lugares, ocupar poco espacio y ofrecer un servicio rápido, eficaz y confiable (Fernández Álvarez et al., 2017).

En la actualidad, el modelo de negocio Vending es bastante rentable y según varios expertos, la recuperación de la inversión se genera en un corto periodo de tiempo, es por esta razón que cada vez más empresas y personas independientes apuestan por este medio para comercializar sus propios productos o productos de terceros. En Estados Unidos, al año se alcanza un valor aproximado de 30 mil millones de dólares en el desarrollo de esta industria y un valor aproximado de 31 billones de dólares en ventas realizadas por máquinas vending principalmente máquinas que comercializan alimentos, bebidas y tabacos (Lin et al., 2011). Con respecto al número de máquinas vending instaladas en todo el mundo, en el año 2000 Japón contaba con alrededor de 25 máquinas vending por cada mil habitantes, seguido por Estados Unidos con 20 máquinas por cada mil habitantes, a partir de aquí le siguen países europeos como Reino Unido, Italia, Alemania, entre otros que pueden observarse en la figura 8 (Murillo

Ferrer, 2000). En los últimos años, el número de máquina vending instaladas ha aumentado ya que en Japón se encuentran instalada una máquina por cada 23 habitantes, mientras que en Estados Unidos se calcula que existe aproximadamente 4.6 millones de máquinas dispensadoras en total. Estos datos demuestran la gran acogida que tienen las máquinas vending en la actualidad y como esta forma de comercializar productos se ha convertido en un negocio lucrativo teniendo una utilidad promedio por producto vendido de USD \$0.35 (Vending PASS, 2019).

Figura 8

Número de máquinas vending por cada mil habitantes.



Nota. Tomado de *Máquinas expendedoras automáticas: El "vending", la venta más directa* (p. 61), por Murillo Ferrer, 2000, *Revista Distribución y consumo*.

Para gozar de la popularidad que tienen en la actualidad, las máquinas vending han tenido que pasar por varios años de desarrollo, en sus inicios las personas evitaban el uso de estas máquinas debido a que estaban asociadas con productos de baja calidad, su manejo era complicado o simplemente no tenían a nadie a quien reclamar si existía un daño con el producto o un error con el pago. El mercado Vending se ha visto beneficiado enormemente gracias al avance de la tecnología lo que ha permitido incorporar mejores medios de cobro, brindar un mejor servicio, mejorar la experiencia del cliente y generar confianza en el

consumidor y en el propietario, sin mencionar que la innovación ha permitido que hoy en día se pueda comercializar casi todo tipo de productos, desde snacks hasta alimentos calientes como pizzas, tal y como se muestra en la figura 9. Para que una máquina tenga éxito en el mercado vending tienen que combinar tres aspectos fundamentales: confianza, innovación y comodidad (Murillo Ferrer, 2000).

Figura 9

Máquina vending de Pizza cocinada, instaladas en Europa.



Nota. Tomado de *Pizza in 3 minuti, è boom mondiale*, por Guarnieri, 2015, L'Adige.it.

Factores clave para un negocio vending rentable

Como ya se ha mencionado, para que sea posible comercializar de manera autónoma diferentes tipos de productos se requiere principalmente de una máquina expendedora Vending o también denominada Vending Machine, que cuente con ciertas características y elementos de los cuales se profundizará más adelante, no obstante, para que el negocio sea rentable se debe tener en cuenta otros factores clave:

Selección de productos. Una vez que se conoce el tipo de productos que se van a comercializar, pudiendo ser estos snacks, bebidas, alimentos calientes, materiales de oficina, entre otros, es importante seleccionar un grupo de productos líderes de ese tipo, que sean de

rápida rotación y de gran éxito en el mercado. Si los productos no son llamativos o populares, no se venderán y el negocio no será rentable.

Precio de los productos. El precio de venta al público de cada producto se debe definir tomando en cuenta el costo del producto entregado por el proveedor y la calidad de este y del servicio. No es recomendable subir demasiado el precio, debido a que, si el producto es reconocido en el mercado, lo más probable es que los posibles consumidores prefieran acudir a otro punto de venta para adquirirlo.

Ubicación óptima. El lugar donde se instale la máquina vending es muy importante y está directamente relacionada con el éxito del negocio. La localización de la máquina depende del tipo de productos que se comercializan, debido a que, por la necesidad y urgencia de un grupo de consumidores o de un segmento de mercado, un lugar puede ser mejor que otro, por ejemplo, una máquina expendedora de materiales de oficina tendrá un éxito mayor en lugares de trabajo y unidades educativas que en hospitales o centros comerciales. Además, la ubicación de la máquina debe brindar comodidad y fácil accesibilidad al cliente.

Logística operativa. La planificación en cuanto a los tiempos de reabastecimiento de productos, recaudación del dinero y mantenimiento general de la máquina, juega un papel muy importante en este negocio para evitar que la máquina quede parada o sin productos durante periodos largos de tiempo. Aunque la máquina sea autónoma a la hora de vender un producto, requiere de supervisión periódica por parte de una persona, la frecuencia con la que una persona debe revisar la máquina puede variar. Durante la revisión, la persona encargada verifica el estado de la máquina, actualiza la información de inventarios, repone los productos vendidos, recauda el dinero y revisa el estado de los elementos de la máquina. Un reabastecimiento oportuno permite competir con otros negocios minoristas, debido a que, se garantiza la disponibilidad de un producto.

Estudio de mercado. Consiste en realizar un estudio para identificar el comportamiento de los compradores y los productos que pueden tener éxito al comercializarlos en máquinas

vending. Este estudio permitirá seleccionar de manera adecuada los productos que se comercializarán, el precio de estos, la ubicación ideal de la máquina expendedora y los medios adecuados de publicidad para que la máquina sea reconocida por los potenciales consumidores.

Costo de una máquina expendedora. El costo de una máquina expendedora comercial varía según el tipo de productos que se comercializarán en ella y la complejidad que tenga, para máquina de café se puede encontrar máquinas desde los USD 2000 a los USD 8000 dólares aproximadamente, mientras que para máquinas expendedoras de snacks y bebidas los precios pueden variar entre los USD 4000 y los USD 8000 dólares (Negocios y Empresa, s.f.).

Beneficios que ofrece el Vending

- No se requiere de una persona encargada de vender los productos o que este pendiente de la máquina en todo momento, por lo que, ciertos gastos como los sueldos se reducen o eliminan.
- Se puede comercializar productos todos los días del año sin descansos, incluso días festivos y fines de semana.
- La venta de productos es más rápida y eficiente lo que evita tener filas de espera y tiempos muertos.
- Menor costo de instalación y fácil reubicación, si el lugar no es el idóneo se puede reubicar a la máquina hasta conseguir los resultados esperados.
- Se tiene una rápida recuperación del capital invertido y es una buena fuente de ingresos para el propietario.
- Se tiene la posibilidad de comercializar diferentes tipos de productos desde alimentos y bebidas hasta materiales de oficina.

Máquinas expendedoras Vending

Las máquinas expendedoras pueden considerarse como un dispositivo mecatrónico que es capaz de despachar diferentes productos comerciales por un valor monetario, naciendo por la necesidad de las personas de poder adquirir cualquier tipo de producto de forma rápida, confiable y fácil. Las máquinas expendedoras han alcanzado un alto impacto en el mercado ya que por su propia particularidad de no tener un trabajador realizando el cobro, este se realiza de forma sumamente confiable al igual que la devolución de dinero y entrega de cambio al cliente. Las máquinas expendedoras se encuentran ubicadas en lugares estratégicos conforme la necesidad de los clientes.

Los mercados a los cuales es aplicable el vending mediante máquinas expendedoras es sumamente alto, en la actualidad este tipo de máquinas es empleado mayormente para el dispensado de los siguientes productos:

- 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.

Las máquinas expendedoras fueron diseñadas de forma modular desde los primeros modelos lanzados al mercado, los módulos que poseen han permitido que su construcción y mantenimiento se realice de forma rápida reduciendo los costos de su fabricación.

Automatización en máquinas expendedoras Vending

La automatización puede considerarse como una técnica que emplea elementos de tipo mecánico, electrónico y dispositivos computacionales o de control, para que un sistema o máquina funcione de manera autónoma, en otras palabras, con la automatización se busca

controlar el comportamiento de un proceso con la mínima participación de una persona (Torres & Jara, 2011). Una de las principales características y que es común en todas las máquinas expendedoras Vending es que son capaces de vender un producto de manera automática, por lo tanto, interactúan directamente con el consumidor, esta característica ha estado presente desde las primeras máquinas expendedoras formadas únicamente por sistemas mecánicos. El proceso general que todas las máquinas expendedoras llevan a cabo es el siguiente:

1. El cliente selecciona un producto y entrega el pago.
2. La máquina verifica que el pago ingresado corresponda al costo del producto seleccionado.
3. La máquina entrega el producto y en algunos casos también entrega vuelto.

Es importante destacar que, aunque la venta del producto se realice de manera autónoma, en la mayoría de los casos se requiere que una persona, al final de un periodo de tiempo, rellene la máquina con nuevos productos reemplazando así lo vendido, por lo que, el reabastecimiento de la máquina es manual, sin embargo, la capacidad de almacenamiento de estas máquinas suele ser alto lo que hace que no sea necesario rellenar la máquina a cada hora o cada día.

Beneficios de la automatización. La automatización en general trae consigo importantes beneficios y es por esta razón que cada vez más empresas e industrias buscan automatizar sus procesos y sistemas, no obstante, en esta parte se mencionarán algunos de los beneficios de la automatización específicamente para las máquinas expendedoras, como son:

- Mayor eficiencia y rendimiento en el proceso de venta.
- Disminución de errores en el cobro provocados por falla humana.
- Mayor calidad en el manejo de productos.
- Optimización de energía y recursos, incluido el recurso humano.

- Aumento en la velocidad de ejecución del proceso.
- Mayor seguridad, confianza y fiabilidad.
- Aumenta la rentabilidad del negocio.

Características de las máquinas expendedoras

Las máquinas expendedoras que se pueden observar actualmente en el mercado presentan una serie de características que permiten que su funcionamiento sea óptimo, independientemente del tipo de producto o sector comercial al que están dedicadas. Las características que poseen dichas máquinas son:

1. Funcionamiento autónomo: una máquina expendedora debe ser capaz de funcionar de forma automática sin intervención humana, el único contacto que posee dicha máquina es para el reabastecimiento de productos o mantenimiento.
2. Alta confiabilidad: una máquina expendedora debe garantizar que el dinero introducido sea discriminado, validado y reflejado como saldo a favor del cliente.
3. Despacho rápido: las máquinas expendedoras son diseñadas para mercados donde los clientes buscan obtener un producto de forma rápida para lo cual toda máquina expendedora debe garantizar un despacho ágil hacia el cliente.
4. Sistema de control eficiente: entregar la cantidad de producto correcta es el punto clave de las máquinas expendedoras, esto se consigue con un sistema de control capaz de identificar y despachar la cantidad correcta de producto.
5. Interfaz amigable: toda máquina expendedora debe tener una interfaz sumamente amigable con el usuario para que cualquier cliente sea capaz de utilizar.

Clasificación de máquinas expendedoras

La clasificación de máquinas expendedoras se puede realizar tomando en cuenta diferentes criterios como el tipo de sistemas que posee o el tipo de producto que comercializa. Según el tipo de sistemas que posee se puede clasificar la máquina en:

Máquina expendedora mecánica. Conformada por elementos, sistemas y mecanismos mecánicos, que en conjunto permiten dispensar un producto a partir de la confirmación del pago. Las máquinas expendedoras mecánicas son las primeras en aparecer y en la actualidad aún pueden encontrarse para dispensar ciertos tipos de productos como: papel higiénico, chicles, dulces, entre otros. Este tipo de máquinas funcionan únicamente con ciertos tipos de productos, aceptan una única moneda como forma de pago y tienen funciones muy limitadas. Por lo general, una sola máquina de este tipo es capaz de dispensar un único tipo de productos y es muy difícil modificar el precio de estos. Este tipo de máquina descrita junto a su sistema de cobro se muestra en la figura 10.

Figura 10

Máquina expendedora mecánica de dulces y su sistema de cobro característico.



Máquina expendedora electrónica. Este tipo de máquinas incorporan elementos eléctricos y electrónicos como son motores, botones, pantallas LCD y microcontroladores, acompañados de elementos y mecanismos mecánicos. Estas máquinas son más comunes y pueden encontrarse en diferentes lugares, son capaces de comercializar diferentes productos en la misma máquina y aceptan diferentes monedas como forma de pago. Brindan más funciones que las máquinas mecánicas, su diseño puede adaptarse para vender diferentes tipos de productos y es posible modificar los precios de los productos mediante interruptores

físicos o con combinaciones de los botones de la máquina. Este tipo de máquina descrita con su sistema de cobro se muestra en la figura 11.

Figura 11

Máquina expendedora electrónica de tabacos y su sistema de cobro característico.



Máquina expendedora mecatrónica. Son máquinas más complejas que incorporan elementos mecánicos, electrónicos, de control y elementos basados en sistemas computacionales. Los sistemas de cobro son más complejos y robustos, capaces de entregar vueltos y aceptar diferentes métodos de pago en efectivo, con tarjeta u otros. En la mayoría de caso estos sistemas manejan protocolos de comunicación para enviar los datos del pago al controlador general de la máquina con el objetivo de reducir errores en el cobro. Con este tipo de máquinas es posible comercializar casi todo tipo de productos de manera automática desde bebidas calientes preparadas hasta snacks. Brindan una mejor experiencia al usuario al incorporar pantallas táctiles, sensores, conexión a internet, microcontroladores, entre otros elementos que facilitan su manejo tanto para el consumidor a la hora de solicitar un producto como para el propietario a la hora de configurar la máquina y modificar precios. Este tipo de máquina descrita se muestra en la figura 10.

Figura 12

Máquina expendedora electrónica de snacks y los posibles sistemas de cobro.



Nota. Adaptado de *Sistemas de pago*, por Sistiaga, 2018.

A continuación, se menciona una segunda clasificación de las máquinas expendedoras, esta vez según los tipos de productos que comercializan:

Máquinas expendedoras de bebidas frías. Son de las más comunes y es fácil encontrarlas en diferentes lugares como hospitales, centros comerciales, universidades, aeropuertos, entre otros. Estas máquinas comercializan bebidas frías embotelladas o enlatadas de diferentes tipos como: agua, gaseosas, jugos, refrescos, bebidas energizantes, etc. También existen máquinas que dispensan bebidas frías preparadas como zumo recién exprimidos o batidos en diferentes recipientes.

Máquinas expendedoras de bebidas calientes. Las máquinas más comunes son las que comercializan productos derivados del café como: capuchino, americano, café solo o con leche, entre otros. No obstante, estas máquinas también comercializan otro tipo de bebidas calientes como son las infusiones o el chocolate caliente.

Máquinas expendedoras de alimentos fríos. Las máquinas de este tipo comercializan productos alimenticios envasados tipo snacks como: frituras, golosinas, galletas, chicles, frutos secos, palomitas dulces, entre otros. En algunos casos, estas máquinas también comercializan comidas más saludables como los frutos secos, la granola o ensaladas.

Máquinas expendedoras de alimentos calientes. Estas máquinas comercializan comida caliente preparada como son: pizzas, hamburguesas, sándwiches, empanadas y sopas.

Máquinas expendedoras de alimentos combinadas. Estas máquinas comercializan múltiples productos alimenticios, las más comunes son las que comercializan bebidas frías junto a alimentos fríos, aunque también existen otras que comercializan bebidas frías y calientes.

Máquinas expendedoras de productos no alimenticios. Las máquinas expendedoras más comunes se encargan de comercializar productos alimenticios, no obstante, también existen máquinas expendedoras que venden otros tipos de productos como son: materiales de oficina, productos de cuidado personal e higiene, vestimenta y calzado, juguetes para niños, entre otras.

Máquinas expendedoras de servicios. A diferencia de las anteriores máquinas mencionadas estas no ofrecen un producto tangible, más bien ofrecen un servicio como: pago de servicios, recarga de tarjetas, entretenimiento, entre otros.

Máquinas expendedoras en diversos sectores

Según Insuasti López & Tandazo Gallegos (2019), las máquinas expendedoras llegan a brindar asistencia a diversos sectores del mercado tales como el sector alimenticio, farmacéutico y hasta incluso el sector académico.

Máquinas expendedoras en el sector alimenticio. El sector alimenticio ha sido el principal sector beneficiado por la inclusión de máquinas dispensadoras ya que han ahorrado la necesidad de tener un trabajador realizando la venta y pueden operar de manera continua 24 horas con el correcto abastecimiento. De esta manera múltiples industrias han optado por

distribuir sus productos de forma directa en máquinas dispensadora. Los principales alimentos distribuidos en máquinas expendedoras se pueden visualizar en la Tabla 2.

Tabla 2

Sectores aplicables de máquinas expendedoras.

Imagen	Productos	Descripción
	Snacks	Máquina utilizada en todo mundo capaz de surtir una gran cantidad de snacks, emplea un sistema de pago de devolución de dinero automatizada y una facilidad de uso muy elevada.
	Bebidas embotelladas	Máquina surtidora de bebidas embotelladas frías gracias a su sistema de refrigeración.
	Bebidas libres	Máquina empleada en locales comerciales de venta de alimentos, no incluye un sistema de pagos y se maneja bajo un jarabe denso donde produce los sabores disponibles.
	Bebidas calientes	Máquina expendedora que prepara bebidas conforme a las recetas programadas en su sistema, presenta un alto consumo energético.

Imagen	Productos	Descripción
	Alimentos preparados	Son máquinas sofisticadas capaces de preparar alimentos diversos como pizza, ramen, pasta y su adopción ha sido muy baja en países latinoamericanos.

Máquinas expendedoras en el sector farmacéutico. El sector farmacéutico en los últimos años ha tenido una adopción del vending dentro de sus propuestas debido al alto flujo de clientes en busca de medicamento convencional para malestares diarios, en respuesta se ha creado la máquina MedCentre por parte de la empresa PharmaTrust que permite el acceso a medicina 24 horas al día, así como un asistente telefónico disponible para una asesoría rápida durante la compra (HostelVending, 2021). Esta máquina también ofrece una lectura de recetas médicas mediante la identificación RFID que facilita en gran medida el acceso a la medicina. La máquina creada por PharmaTrust se muestra en la figura 13.

Figura 13

Máquina dispensadora de medicinas.



Nota. Tomado de *Las primeras expendedoras de medicamentos ya funcionan en el Reino Unido*, por HostelVending, 2021.

Máquinas expendedoras en el sector académico. El constante aumento de la población estudiantil ha generado una adopción de máquinas expendedoras para surtir útiles escolares, libros, entre otros, como se muestra en la figura 14 (Arévalo Chalacán & Bolaños Gaona, 2018). Aunque el principio de trabajo se mantiene con prácticamente cualquier producto, la increíble versatilidad de la máquina ha logrado abarcar áreas para satisfacer las necesidades de cualquier cliente.

Figura 14

Máquina expendedora de materiales de escritorio.



Nota. Tomado de *Diseño y construcción de máquina dispensadora automática de materiales de escritorio mediante el uso de la plataforma Arduino* (p. 108), por Arévalo Chalacán & Bolaños Gaona, 2018, [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana].

Partes y sistemas constitutivos de las máquinas expendedoras

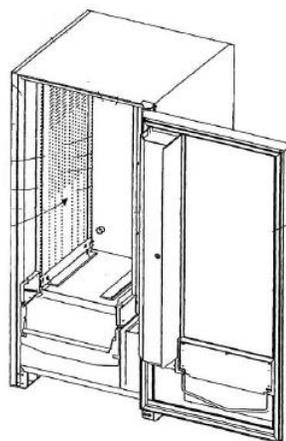
Existen diferentes clases de máquinas expendedoras de acuerdo con el tipo de producto que comercializan, por lo que algunas partes y sistemas son comunes en todas las máquinas expendedoras y otros son exclusivos de una determinada clase de máquinas. En este apartado se hará énfasis en las partes constitutivas de una máquina expendedora de alimentos fríos tipo Snacks y bebidas embotelladas, que emplean resortes para el dispensado del producto.

Carcaza o Armazón. Este elemento se encarga de almacenar, proteger y soportar los diferentes elementos de la máquina y los productos que se comercializan. El material de este

elemento suele ser acero, su geometría es similar a la de un prisma rectangular y sus dimensiones depende de algunos factores como la capacidad, tamaño de los productos, dispositivos requeridos, entre otros. También suele tener dos compuertas una frontal y una posterior, la frontal permite reabastecer los productos de la máquina, retirar el dinero recaudado o acceder a los elementos del panel frontal y la posterior permite acceder los elementos mecánicos, electrónicos y de control de la máquina para temas de mantenimiento o reparación. El elemento descrito se muestra en la figura 15.

Figura 15

Carcaza de una máquina vending comercial.



Nota. Tomado de *Diseño y construcción del prototipo de una máquina expendedora de pastelillos de la marca The Cupcake Factory para la empresa Publicidad* (p. 11), por Freire Mendieta & Places Villacis, (2014), [Tesis de pregrado, Universidad de las Fuerzas Armadas].

Sistema de almacenamiento y dispensado. Este sistema se encarga de almacenar y dispensar los productos que se comercializan en la máquina. En el caso de máquinas expendedoras de snacks, se suele tener bandejas largas con varias divisiones en donde reposan resortes de diferente diámetro y paso de acuerdo con el tipo de producto que se almacena. Cada resorte está conectado a un motor que al accionarse impulsa al resorte permitiendo que este pueda transportar y entregar los productos al comprador. El sistema descrito se muestra en la figura 16.

Figura 16

Bandeja, resortes y motores que conforman el sistema de almacenamiento y dispensado.

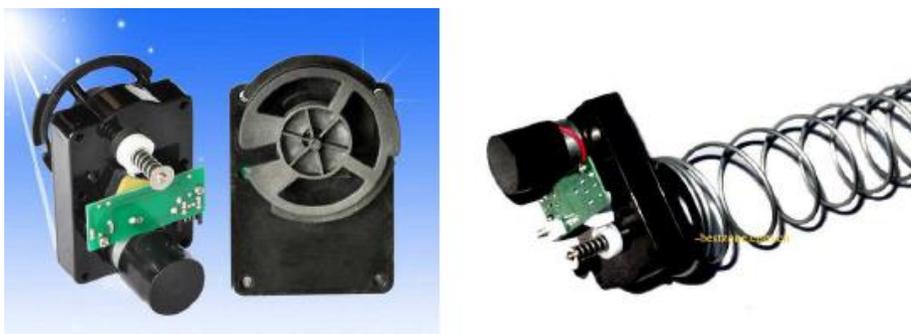


Nota. La imagen de la izquierda corresponde a la vista frontal y la de la derecha corresponde a la vista posterior. Tomado de *Charola De Botana Snacks Para Maquina Vending*, por Mercado Libre, 2022.

En este tipo de máquinas la entrega de productos se realiza por caída, en donde, el resorte, impulsado por el motor, transporta el producto al filo de la bandeja y lo deja caer hacia una bandeja de entrega donde el comprador lo retira. Los motores que se emplean para impulsar los resortes pueden ser de diferentes tipos y características, los más comunes y característicos de máquinas expendedoras se muestran en la figura 17.

Figura 17

Motores característicos de máquinas expendedoras vending con resorte.

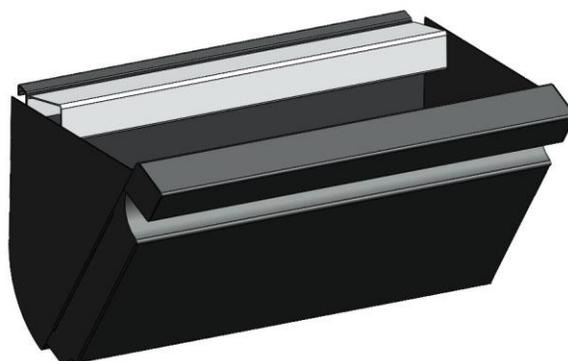


Nota. Tomado de *Diseño de una máquina de vending para suministrar productos de acceso general y otros de acceso restringido por medio de identificación digital* (p. 46), por Calvo Díaz, 2013, [Tesis de pregrado, Universidad Pública de Navarra].

Zona de entrega de producto. Este elemento se encarga de entregar el producto al cliente sin dañarlo en el proceso, al ser un elemento que tiene contacto con el usuario y con el interior de la máquina también debe impedir que personas que no han realizado el pago puedan sustraerse mercancía. En algunas máquinas expendedoras, este elemento suele tener un sensor de caída para detectar si el producto solicitado llegó a la bandeja de entrega o si se quedó atascado en alguna parte de la máquina. Cabe mencionar, que la geometría y forma de este elemento puede variar entre una máquina y otra, en algunos casos, las máquinas suelen tener únicamente una compuerta que permite al usuario recoger el producto. En la figura 18, se muestra un tipo de bandejas para la entrega de producto.

Figura 18

Bandeja de entrega de producto empleada por algunas máquinas expendedoras.



Sistema de cobro o pago. Este sistema se encarga de realizar el cobro del producto seleccionado y en algunos casos, entregar vuelto al usuario. Este sistema es muy importante y la probabilidad de que cometa algún error debe ser mínima, debido a que una equivocación puede ocasionar pérdidas al propietario o malestares con el consumido y en cualquier caso, una pérdida de confianza en la máquina expendedora. Estos sistemas de cobro pueden aceptar diferentes métodos de pago como monedas, billetes, tarjetas de crédito o débito, entre otros que actualmente se están implementando como se muestra en la figura 19. Con el avance tecnológico, estos sistemas de cobro han evolucionado convirtiéndose en sistemas más complejos, siendo importante profundizar en ellos más adelante.

Figura 19

Sistemas de cobro empleados por máquinas expendedoras en la actualidad.



Nota. Tomado de *Sistemas de pago*, por Sistiaga, 2018.

Sistema de refrigeración. Este sistema se encarga de mantener a cierta temperatura a los productos almacenados dentro de la máquina expendedora. Es importante mencionar que no todas las máquinas expendedoras de snacks poseen este sistema ya que depende en gran parte del tipo de productos que se comercializen o el lugar donde la máquina se instale. Por lo general, se suele ocupar un sistema de refrigeración con productos que sean mejor consumirlos fríos como es el caso de algunas bebidas o también con productos que puedan dañarse con el calor, en el caso de que la máquina se localice en lugares cálidos.

Panel Frontal o de Usuario. En el panel frontal se ubican diferentes elementos que permiten la interacción del cliente con la máquina, de tal forma, que el usuario pueda observar, seleccionar, pagar y retirar el producto deseado de una forma rápida y sencilla. Algunos elementos del panel frontal como el teclado o la ranura para recoger el vuelto deben estar ubicados de forma que sean de fácil accesibilidad para cualquier persona. El panel frontal también debe permitir al cliente observar de forma clara los productos disponibles con sus respectivos precios, por lo que, algunas máquinas suelen tener una ventana con vidrio protector acompañado de un sistema de iluminación como luces LED. Además, el panel frontal debe contar con las seguridades necesarias para impedir que personas no encargadas de la

máquina tenga acceso al interior, protegiendo así los elementos internos y productos. En la figura 20, se muestran los elementos más comunes que forman parte del panel frontal en las máquinas expendedoras.

Figura 20

Máquina expendedora comercial con los elementos más comunes que conforman el panel frontal.



Nota. Tomado de *Maquina Dispensadora De Bebidas Y Snacks*, por Mercado Libre, 2022.

La guía de operación informa al usuario los pasos que debe seguir para realizar su compra y que hacer en el caso de algún problema durante el proceso. Las teclas de selección junto a la pantalla de visualización permiten al usuario seleccionar el producto y verificar su selección y precio. El sistema de cobro puede tener diferentes métodos como el ingreso de monedas, billetes o tarjetas de crédito, así mismo la entrega de vueltos.

Diseño modular en máquinas expendedoras

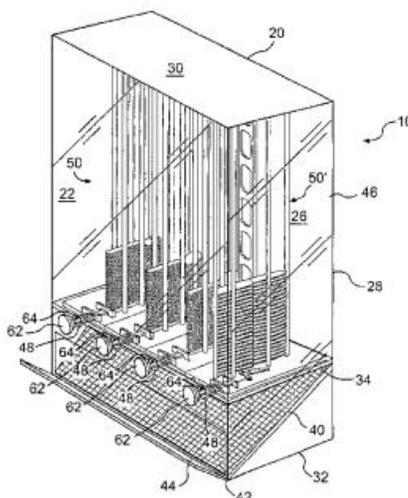
La modularidad permite una rápida y efectiva integración durante el cambio o modificación del diseño de una máquina ya que es posible manejar la máquina como un conjunto de subsistemas que trabajan de forma conjunta para un fin determinado. El enfoque

de modularidad funcional se deriva de un análisis funcional orientado a satisfacer las necesidades de los usuarios, a través de la simple adición o sustracción de módulos (Pérez Rodríguez et al., 2005).

En sus inicios las máquinas expendedoras presentaba un diseño integral que dificultaba en gran medida el cambio de piezas o la revisión de la máquina, debido a que al ser un único sistema todo se encontraba conectado, como se muestra en la figura 21 (Guevara Campos, 2020).

Figura 21

Patente de máquina dispensadora de cigarrillos 1940 patente US6832694B2.



Nota. Tomado de *Estudio y propuesta de solución conceptual de una máquina vending ecológica de ensaladas y jugos de frutas personalizados* (p. 14), por Guevara Campos, 2020, [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú].

De esta manera podemos observar la complejidad de la máquina, la misma que a lo largo del tiempo ha evolucionado hacia su diseño modular y presentando módulos específicos ya sean mecánicos, electrónicos o mecatrónicos que se interconectan entre sí de manera muy sencilla. Los módulos que presentan las máquinas expendedoras actuales han permitido aumentar la rentabilidad, mejorar el mantenimiento preventivo y correctivo; así como desarrollar tecnología específica para su mejoramiento. Desde el enfoque modular es importante recalcar

los subsistemas principales en el diseño de una máquina dispensadora, los cuales según Arévalo Chalacán & Bolaños Gaona (2018) son:

- **Módulo receptor de dinero:** es el sistema encargado de recibir dinero en monedas, billetes y pagos electrónicos como tarjetas de débito o crédito, además este módulo es capaz de discriminar dinero real de dinero falso.
- **Interfaz de usuario:** este módulo posee toda la interfaz de funcionamiento de la máquina, es decir, aquí el cliente selecciona el producto, observa el precio, la cantidad de dinero introducido y navega por la interfaz para poder realizar la compra; esta interfaz es sumamente amigable y está orientada para el uso de clientes de todas las edades.
- **Módulo de despacho:** conformado por un actuador capaz de despachar el producto al cliente ya sea por un motor (sólidos), una válvula (líquidos), cilindros neumáticos, bandas transportadoras, etc., dependiendo del tipo de producto y tipo de máquina dispensadora.
- **Módulo de recepción:** es un sistema mecánico/electrónico que cumple con la función de que el producto mantenga su integridad desde que la máquina lo despacha hasta que el cliente lo toma, regularmente puede ser un receptáculo diseñado para no producir rotura en los productos o una ventanilla que evita el derramamiento o caída de producto antes de que este esté listo.
- **Módulo de devolución y cambio:** este módulo tiene la función de entregar el cambio monetario al cliente conforme el dinero que se ha ingresado y el precio marcado del producto, además posee un sistema de almacenamiento y clasificación de dinero para que el cambio se entregue de forma precisa y rápida.
- **Módulo de control de temperatura:** este módulo es capaz de preservar una temperatura constante para que el producto se mantenga de forma segura.

- **Módulo de control:** es el módulo encargado de controlar el funcionamiento y cada subsistema de la máquina, antiguamente eran totalmente mecánicos, pero en la actualidad se emplean circuitos embebidos dedicados o microcontroladores.

Cada uno de estos subsistemas y módulos que se muestran en la figura 22, permiten la construcción de una máquina dispensadora funcional que facilita en gran medida el mantenimiento preventivo o correctivo, debido a que al trabajar con módulos es más sencillo identificar fallas y realizar cambios o reparaciones pertinentes sin interferir en el funcionamiento o integridad de los demás subsistemas.

Figura 22

Módulos de máquina dispensadora actuales.



Nota. Tomado de *Placa de Control de máquina expendedora IVMC 60HM*, por BESTZONE, 2022.

Normativas para máquinas expendedoras

Para el diseño y construcción de máquinas expendedoras existen varias normativas internacionales a seguir, dichas normas nos permiten diseñar máquinas seguras para la población tanto en su nivel constructivo eléctrico/mecánico como sanitario.

Norma NAMA 700.1B. Para máquinas expendedoras de comportamiento individual que contengan alimento peligroso y no peligroso se debe contar con un sistema de control de apagado automático en caso de sobrecarga y se debe marcar de forma clara donde se encuentra el instrumental eléctrico.

NSF/ANSI25-2021. Es una normativa estadounidense que establece los requisitos mínimos de protección, saneamiento de materiales, el diseño, la construcción y el rendimiento de máquinas expendedoras de alimentos y bebidas. Además, lo más relevante de esta norma es que incluye una guía específica de pruebas de funcionamiento para máquinas expendedoras. Las máquinas expendedoras deberán ser construidas con materiales que sean resistentes al desgaste, a la penetración de alimañas, al calor, compuestos de limpieza, desinfectantes y otras sustancias con las que se podría entrar en contacto durante su uso (Kelechava, 2021).

Community Regulation 852/2004. Normativa que describe de forma detallada la construcción de las partes de máquinas expendedoras que estarán en constante contacto con los productos, esta normativa exige que los recubrimientos de las partes en contacto sean fáciles de limpiar y de desinfectar para evitar la contaminación. Todos los productos de máquina expendedora deben estar aislados herméticamente del exterior (Oranfresh, 2022).

Standard for Safety for Vending Machines ANSI/UL 751. Normativa que entrega una serie de estándares definidos para controladores de máquinas expendedoras, especificaciones para la selección de fuentes de alimentación empleadas en máquina expendedoras, requisitos eléctricos para máquinas expendedoras que cuentan únicamente con dos cables de alimentación, requisitos para el diseño del filtro EMI empleado en máquinas expendedoras y una guía de pruebas de corrientes de fuga con máquina al vacío (ANSI/NFPA 70, 2016).

UNE-EN 61000-6-3:2007. La normativa incluye condiciones en los cuales los sistemas que emplean cargas electromagnéticas para su funcionamiento (monederos) pueden operar sin

causar interferencia en los demás sistemas de trabajo dentro de máquinas de pequeña escala y uso doméstico (Normalización Española, 2012).

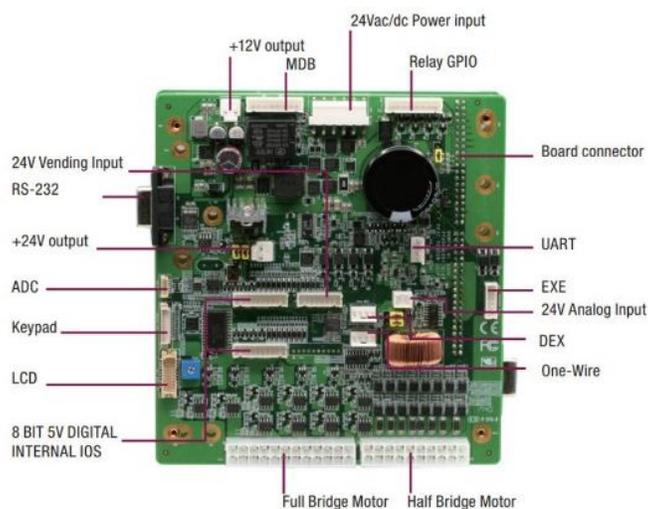
Controlador de una máquina expendedora

Las máquinas expendedoras modernas, al ser máquinas automáticas y complejas que integran elementos mecánicos y electrónicos, requieren de un controlador que permita gobernar los módulos, subsistemas y las operaciones que la máquina debe seguir.

En el mercado existen diferentes controladores fabricados específicamente para máquinas expendedoras, los cuales se denominan VMC o Vending Machine Controller y uno de ellos se muestra en la figura 23. El objetivo de este tipo de controladores es facilitar la fabricación de una máquina vending, debido a que permiten la fácil integración de diferentes elementos electrónicos que son característicos y específicos de estas máquinas como: módulos de cobro, motores, teclados, pantallas, sensores de caída, entre otros, y admiten diferentes protocolos de comunicación como el RS232 o el protocolo MDB diseñado específicamente para módulos vending.

Figura 23

Controlador de máquinas vending en donde se indica los puertos de conexión disponibles.



Nota. Tomado de *Vending machine boardset works with UP or UP Squared boards*, por Brown, 2018.

Por otro lado, existen proyectos en donde se ha empleado otro tipo de placas electrónicas y plataformas de código abierto para la fabricación de máquinas vending con gran éxito y confiabilidad, como es el caso del Arduino que se basa en un microcontrolador ATMELE o la Raspberry Pi que se basa en un microprocesador Broadcom, con el objetivo de generar soluciones de bajo costo a las necesidades del mercado vending y a la automatización de máquinas expendedoras, estas placas de desarrollo se muestran en la figura 24. Una de las desventajas de estos controladores es que no admiten los protocolos de comunicación que son exclusivos de módulos vending, por lo que, es necesario de otros dispositivos que conviertan estos protocolos de comunicación a otros que, si sean entendidos por el controlador empleado, como por ejemplo un convertidor MDB a RS232.

Figura 24

Placas electrónicas de código abierto empleadas para el control de máquinas vending.



Nota. Adaptado de Arduino y Raspberry Pi: ¿qué son y cuáles son sus diferencias?, por Fernández, 2018.

Plataforma Arduino para el desarrollo de proyectos

Arduino es creado en el Instituto de Diseño de Interacción Ivrea como una solución para el desarrollo rápido y fácil de prototipos por parte de estudiantes que carecen de conocimiento previo en el campo de la electrónica y la programación de microcontroladores.

La plataforma electrónica Arduino está basada en hardware y software de código abierto, sencillo de emplear y accesible para diferentes niveles de usuarios, lo que permite un rápido y fácil desarrollo de proyectos, dispositivos y prototipos electrónicos. Las placas Arduino

están basadas en microcontroladores ATMEL, los cuales, ejecutan un conjunto de instrucciones programadas por el usuario a través del software de desarrollo Arduino IDE, mediante un lenguaje de programación denominado Arduino basado en Wiring y múltiples librerías desarrolladas en lenguaje de programación C++ y AVR C. Las placas también contienen diferentes elementos electrónicos como puertos I/O, convertidores ADC, interfaces de comunicación, entre otros, que en conjunto permite la fácil integración de entradas como sensores y salidas como actuadores, sean digitales o analógicas.

Actualmente, las placas Arduino han evolucionado agregando diferentes elementos electrónicos para adaptarse a las necesidades de los usuarios a nivel mundial como se muestra en la figura 25, su entorno es sencillo de aprender y utilizar por parte de personas principiantes, pero al mismo tiempo flexible y adaptable a las necesidades de usuarios más avanzados (Arduino, 2018).

Figura 25

Diferentes placas Arduino, cada uno con diferentes características y capacidades para adaptarse a las necesidades de los usuarios.



Nota. Tomado de *Placas de Arduino*, por Vegas, 2020.

La plataforma Arduino simplifica el proceso de desarrollo de proyectos que basan su funcionamiento en microcontroladores, por lo que, han sido empleados en miles de proyectos y

prototipos de diferentes campos, desde dispositivos de uso cotidiano hasta instrumentos complejos de uso profesional.

Arduino en el mercado Vending

Debido a la gran popularidad de las placas Arduino en la actualidad, estas son empleadas en múltiples proyectos de diferentes campos incluido en el mercado de máquinas expendedoras Vending. Varios usuarios de la plataforma Arduino han desarrollado desde máquinas expendedoras caseras a prototipos y sistemas vending comerciales con un gran éxito y confiabilidad, algunas de estas máquinas se muestran en la figura 26. Esta placa es una buena opción de bajo costo para la fabricación de una máquina vending, debido a que, permite integrar fácilmente los diferentes módulos y elementos que la conforman desde pantallas LCD o táctiles hasta los módulos de cobro.

Figura 26

Máquinas expendedoras vending desarrolladas y controladas con Arduino.



Nota. Tomado de *Venduino sirve bocadillos, muestra que la venta es un negocio complicado*, por Maloney, 2016, y de *Implementación de una máquina expendedora para mascarillas artesanales (etapa 2)*, por Espinosa Ortega, 2021, [Tesis de pregrado, Escuela Politécnica Nacional].

La creciente utilización del Arduino para el desarrollo de sistemas automáticos Vending, ha dado paso a que más usuarios desarrollen interfaces que permitan convertir los protocolos de comunicación que son exclusivos de los módulos de cobro como el protocolo MDB a protocolos de comunicación que maneje el Arduino y otras plataformas de microcontroladores, como la comunicación Serial por puerto UART o I2C, de tal forma, que se puedan emplear módulos de cobro complejos con cualquier placa de Arduino. Como ejemplo de estas interfaces se tiene el convertidor MDB a RS232 que se muestra en la figura 27.

Figura 27

Convertidor MDB a RS232.



Nota. Tomado de *MDB Coin Changer and MDB Bill Acceptor to RS232 Interface* (p. 2), por Shanghai Wafer Microelectronics Co, 2021.

Módulos de cobro para máquinas Vending

Los módulos de cobro son considerados uno de los subsistemas más importante de una máquina expendedora puesto que este módulo es el encargado de realizar el cobro y en algunos casos de entregar el cambio al cliente, es decir, este módulo debe tener una confiabilidad y robustez sumamente alta.

Los módulos de cobro han presentado una evolución increíble a lo largo de los años ya que en un inicio eran netamente mecánicos y aceptaban monedas de una única denominación para funcionar lo que limitaban la variedad de productos que se podían comercializar. En la

actualidad son módulos electrónicos capaces de diferenciar entre diferentes tipos de monedas, billetes y hasta incluso hacer cobros mediante tarjetas de crédito/débito junto con el trabajo de empresas como MasterCard. En la figura 28, se muestra una comparación entre los módulos de cobro mecánicos y electrónicos.

Figura 28

Módulo de cobro de máquina dispensadora de dulces vs Módulo de cobro de máquina dispensadora actual.



Tipos de módulos de cobro

Según el método de pago que acepten los sistemas de cobro, se pueden clasificar de la siguiente manera:

Módulo de cobro de monedas. El módulo de cobro de monedas es un dispositivo diseñado para ser capaz de discriminar las monedas reales de las falsas, a su vez clasifica las monedas en tolvas o canales para que la máquina sea posible de identificar la cantidad total de dinero introducido y entregar el cambio correcto al cliente. Estos módulos son sumamente utilizados en diferentes industrias como la de alimentos, snacks, bebidas calientes.

Los módulos de cobro de monedas emplean el uso de campos magnéticos generados al momento de introducir monedas de diferente denominación que junto a un sistema de medición laser es capaz de diferenciar con gran exactitud las monedas falsas de las reales, su

programación es sencilla y se pueden utilizar para monedas de cualquier país que sean fabricadas con materiales ferromagnéticos.

Su funcionamiento se da gracias a un mecanismo divisor que guía las monedas a diferentes canales conforme su denominación, en el mercado actual los dos sistemas más utilizados son por paletas hacia canales o por ductos hacia tolvas. En la figura 29, se muestran dos módulos de cobro para recepción de monedas, más utilizados en máquinas expendedoras actuales.

Figura 29

Módulo de cobro MEI CF-700 (izquierda) y Módulo de cobro AZKOYEN Combo-T (derecha).



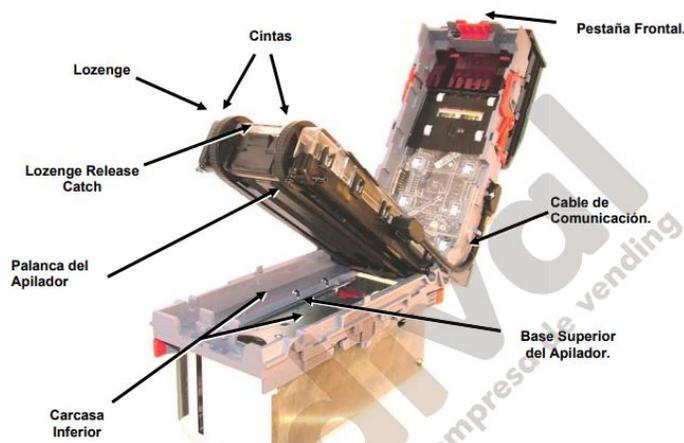
Nota. Tomado de *Gestor de cambio MEI CASHFLOW Serie 7000 Manual Técnico* (p. 1), por MEI Group, 2006, y de *Diseño de una máquina de vending para suministrar productos de acceso general y otros de acceso restringido por medio de identificación digital* (p. 24), por Calvo Díaz, 2013, [Tesis de pregrado, Universidad Pública de Navarra].

Módulo de cobro de billetes. El módulo receptor de billetes es un dispositivo diseñado para la aceptación de billetes dentro de las máquinas vending, estos módulos son capaces de diferenciar billetes reales de billetes falsos y almacenarlos de forma segura hasta que un operador vaya a retirar las ganancias. Los módulos receptores de billetes presentan la particularidad de que comúnmente solo aceptan billetes de una denominación o máximo dos denominaciones debido a que su tamaño aumenta en gran medida.

El funcionamiento de estos módulos se da gracias a una serie de sensores ópticos ubicados a lo largo de un conducto por donde se ubican los billetes al momento de introducirse en el módulo, principalmente se valida la veracidad del papel utilizando sensores UV; adicionalmente otros sensores ayudan a medir el billete, detectar roturas del billete y hasta identificar la denominación para poder ser clasificado. Los elementos internos que conforman a este tipo de módulos se muestran en la figura 30.

Figura 30

Estructura interna del receptor de billetes NV9.



Nota. Tomado de “*Lector de Billetes NV9*” (p. 26) por Innovative Technology Limited, 2005.

Módulo de cobro para tarjetas. Es un dispositivo diseñado para poder realizar el pago de productos en máquinas vending mediante tarjetas de débito específicas, el cliente únicamente introduce la tarjeta dentro del lector y se realiza el cobro de dinero del saldo total más la comisión por la transacción que cobra la empresa.

El funcionamiento de estos módulos se da gracias a un lector que escanea el chip de la tarjeta y funciona como un cajero automático haciendo la validación de la cuenta y el saldo para poder hacer el débito, presenta la limitante que necesita de forma obligatoria una conexión a internet para poder realizar la transacción, además que se limita a las tarjetas que trabajen con la empresa que realiza la transacción. En la figura 31, se muestra un módulo de cobro receptor de tarjetas para mago sin efectivo.

Figura 31

Receptor de tarjetas de crédito/débito para máquinas vending.



Nota. Tomado de App monedero vs tarjeta contactless en el vending, buscando la máxima eficacia para retener clientes, por HostelVendign, 2018.

Módulo de cobro por transacciones electrónicas. En los últimos años han salido a la luz máquinas vending como las que se muestran en la figura 32, que aceptan ciertos tipos de monedas electrónicas como es el caso de BTC, ETH y BNB; su funcionamiento es relativamente sencillo ya que trabajan de la mano con Exchanges certificados que permiten realizar el pago de forma rápida y sencilla ya que únicamente el cliente debe escanear un código QR para poder realizar el pago.

Figura 32

Máquinas expendedoras que aceptan pagos por monedas electrónicas.



Nota. Tomado de "6 Cool Machines that Accept Bitcoin" por Hajdarbegovic, 2014.

Protocolos de comunicación en máquinas vending

Todos los módulos que componen una máquina expendedora necesitan una forma de comunicación común, en especial los módulos de cobro, para ello a lo largo de la historia se han venido desarrollando diferentes protocolos que permiten que la comunicación se realice de forma rápida y confiable para poder asegurar un funcionamiento óptimo de las máquinas vending.

Desde 1960 que se inicia el vending en Estados Unidos se construyeron las primeras máquinas expendedoras que tenían un funcionamiento 100% mecánico, luego de que se presentara la necesidad de la validación de monedas se inició el diseño de diferentes validadores de monedas y billetes en la década de 1980 junto con el lanzamiento de microchips que permitían realizar un procesamiento de datos.

Los protocolos de comunicación presentan una importancia sumamente alta en el mercado vending, debido a que, la información de un subsistema necesita ser compartida entre diferentes módulos para poder receptor dinero y entregar cambio conforme el producto seleccionado. Inicialmente en la década de 1980 Coca Cola y Mars Electronics dan inicio su investigación en el desarrollo de diferentes protocolos que permitan generar la comunicación necesaria de forma segura y rápida, así nacieron entonces los protocolos que hasta el día de hoy han predominado en el mercado vending.

Protocolo EXE (Ejecutivo). Este fue el primero protocolo de comunicación oficial lanzado en el mercado vending, se desarrolló por parte de la empresa Mars Electronics y en un inicio se pensó únicamente para la gestión de cambio, pero hoy en día, monederos, validadores de billetes y tarjetas utilizan este protocolo. El protocolo EXE presenta la particularidad de que la transacción de venta es controlada por el monedero, es decir, el monedero funciona como el maestro dentro de la máquina expendedora, lo que con los años se ha visto como una desventaja pues quita jerarquía a la arquitectura de la red.

Protocolo MDB (Multi Drop Bus). El protocolo MDB dio sus orígenes a finales de 1980 gracias a la empresa hoy conocida como Coca-Cola dando una solución de bajo costo para la gestión de cambio en máquinas expendedoras. Este protocolo presenta la ventaja de que todos los dispositivos receptores de dinero se convierten en esclavos y trabajan únicamente con los comandos específicos que envíe el controlador.

Siendo un protocolo de fines económicos y prácticos, en 1994 la empresa NAMA adquiere los derechos y desarrolla especificaciones para su mejora, naciendo entonces el protocolo MDB/ICP que hasta el día de hoy se encuentra en la versión 4.3 ofreciendo servicios transaccionales de un valor agregado muy alto.

Protocolo CCTalk. El protocolo CCTalk es un protocolo de comunicación serial desarrollado por la empresa Money Controls para poder comunicar dispositivos de cobro en el mercado vending como aceptadores de monedas, billetes y tarjetas de crédito. Este protocolo nació como una alternativa para el dominante MDB que hasta el día de hoy copa un gran porcentaje de dispositivos vending.

Este protocolo tiene la desventaja de que la velocidad de comunicación es menor, pero de igual manera su consumo eléctrico en dispositivos también reduce ya que emplea tres cables para su conexión (voltaje, datos y tierra), además de que este protocolo es el que mejor se ha adaptado al trabajo con microcontroladores ya que emplea niveles de voltaje TTL (PAYTEC Technologies, 2019).

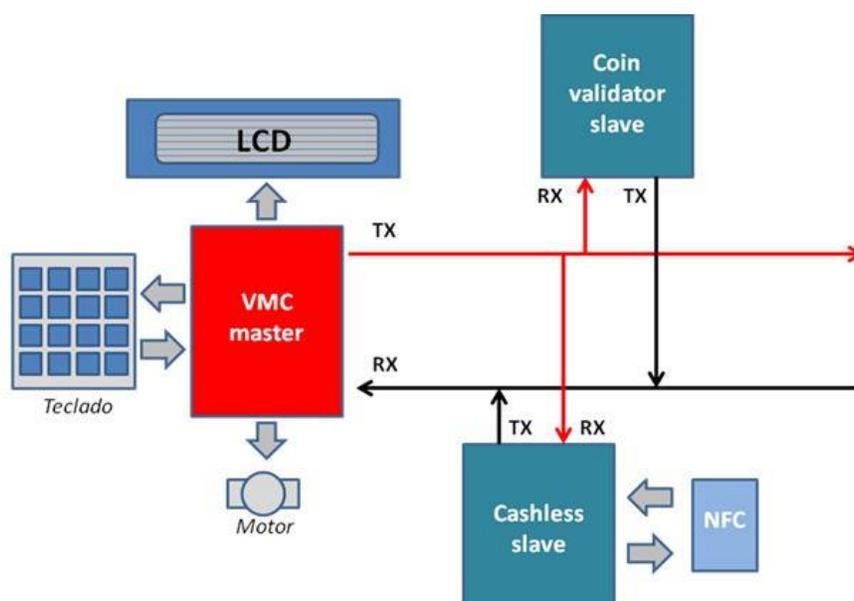
Protocolo de comunicación MDB / ICP para módulos de cobro

El protocolo de comunicación MDB / ICP (Multi Drop Bus / Internal Communication Protocol) es un protocolo desarrollado específicamente para el mercado de máquinas expendedoras y módulos de cobro vending. Este protocolo emplea una topología de red tipo bus serie y una configuración Single-Master / Multi-Slave, por lo que, permite conectar a la red múltiples dispositivos de cobro los cuales son controlados por un único maestro como se muestra en la figura 33.

El maestro suele denominarse VMC y mediante este protocolo de comunicación, puede comunicarse hasta con un máximo de 32 dispositivos diferentes que corresponderían a los esclavos, cada esclavo tiene una dirección única y pueden ser de diferente tipo, por ejemplo: módulos monederos o coin changers, módulos billeteros o bill acceptors, módulos cashless, entre otros.

Figura 33

Arquitectura de red empleada en el protocolo MDB.



Nota. Tomado de *Introducción a la especificación MDB/ICP*, por Ballesteros, 2015.

Comunicación dentro del Protocolo MDB

La transmisión de los bloques de datos mediante el protocolo MDB se realiza en serie de manera asíncrona con una velocidad de 9600 baudios y empleando una codificación tipo NRZ (no retorno a cero). En el protocolo de comunicación MDB, el maestro se encarga de encuestar continuamente a los esclavos para conocer su estado, dependiendo de la encuesta recibida, el esclavo responde con un acuse de recibo positivo, negativo o con los datos específicos solicitados por el maestro, si no hay una respuesta del esclavo, el maestro interpreta que este dispositivo está desconectado de la red.

El maestro puede comunicarse continuamente con los esclavos en cualquier momento, no obstante, los esclavos no pueden enviar ningún bloque de datos a menos que el maestro se los solicite, esta forma de comunicación previene y evita las colisiones en la red ya que como solo hay un maestro, este inicia la comunicación con un solo esclavo y los demás no deben transmitir datos hasta que sea solicitado por el mismo maestro.

En cada bloque de datos se envían varios bytes, con cada byte transmitido se envían además 3 bits, teniendo un total de 11 bits, como se muestra en la figura 34, transmitidos en el siguiente orden:

- 1 bit de inicio o Start (LSB)
- 8 bits de datos
- 1 bit de modo
- 1 bit de parada o Stop (MSB)

Figura 34

Bits transmitidos durante la comunicación del maestro con el esclavo en el protocolo MDB.

LSB											MSB
Start	0	1	2	3	4	5	6	7	Mode	Stop	

Nota. Tomado de *Multi-Drop Bus / Internal Communication Protocol MDB / ICP* (p. 30), por National Automatic Merchandising Association, 2019.

Bit de modo. Cuando el maestro es el que envía el bloque de datos, este bit se pone en 1 para indicar que el byte que se transmite contiene la dirección del esclavo con el que se quiere comunicar y se pone en 0 para indicar que el byte que se transmite contiene únicamente datos y no direcciones. Por otro lado, cuando el esclavo es el que envía el bloque de datos, este bit se pone en 1 en el último byte que transmite para indicar que finaliza el envío de datos.

Al inicio de la comunicación, el maestro envía un byte con el bit de modo en 1, por lo que, en este byte se encuentra la dirección del esclavo. Todos los dispositivos de cobro

conectados al bus pueden recibir y leer este byte, no obstante, el resto de los bytes enviados por el maestro que tengan el bit de modo en 0, solo podrán ser leídos por el esclavo al que corresponde la dirección enviada anteriormente y este dispositivo es el único que podrá responder al maestro.

Estructura del bloque de datos

En cada bloque de datos se envían varios bytes de la forma indicada en la parte anterior, no obstante, la estructura del bloque de datos varía según el dispositivo que la envíe, es decir, el bloque de datos enviado por el maestro no tendrá la misma estructura que el bloque de datos enviado por los esclavos. Los bloques de datos para ambos casos tienen un tamaño máximo de 36 bytes. A continuación, se explica la estructura del bloque de datos en cada caso y la información que es transmitida:

Maestro a esclavo. El bloque de datos enviado por el maestro al esclavo se compone primero de un byte que contiene la dirección del esclavo en los cinco bits superiores (MSB) y un comando en los 3 bits inferiores (LSB), el bit de modo en este byte se pone en 1. A continuación, de forma opcional se envía un byte con un subcomando o varios bytes con datos, por lo que, el bit de modo se pone en 0. Finalmente se envía un byte con el checksum (CHK) y con bit de modo en 0.

Esclavo a Maestro. El bloque de datos enviado por algún dispositivo de cobro al maestro se compone de uno o varios bytes que contienen los datos solicitados por el maestro, en estos bytes el bit de modo se pone en 0. Finalmente se envía un byte de checksum (CHK), de acuse de recibo positivo (ACK) o de acuse de recibo negativo (NAK) y con bit de modo en 1 para indicar que ha finalizado el envío de datos.

Una vez recibido el bloque de datos enviado por el esclavo, el maestro también responde con un código de respuesta, el cual puede ser un acuse de recibo positivo (ACK), un acuse de recibo negativo (NAK) o un comando RET.

Método de verificación en la transmisión de datos

El protocolo MDB emplea un byte de checksum como método de verificación de errores en la transmisión de datos para proteger la integridad de la información. El checksum o CHK es una suma de verificación o chequeo que tiene el objetivo de identificar si existen cambios en los bytes enviados, provocado por errores accidentales durante la transmisión de datos. Al final de cada bloque de datos transmitido por el maestro o por el esclavo, se envía un byte de checksum CHK, este byte se calcula a partir de la suma de todos los bytes enviados sin contar el mismo byte de checksum y al final se ignora el bit de acarreo propio de la adición. Cabe mencionar que, no se ocupa el byte CHK cuando se envíen códigos de respuesta ACK, NAK o RET.

Códigos de Respuesta

Los códigos de respuesta son enviados por el maestro o los esclavos después de recibir un bloque de datos, estos códigos son los siguientes:

- **ACK (00H):** este código es un acuse de recibo positivo y se envía cuando el checksum es correcto y el dispositivo que recepta el bloque de datos recibió lo esperado. En la figura 35 se muestra el valor hexadecimal y binario de este código para diferentes tipos de dispositivos.
- **NAK (AAH):** este código es un acuse de recibo negativo y se envía cuando hay un error en el bloque de datos y no se recibió lo esperado. El maestro también interpreta como NAK cuando no se tiene respuesta de un dispositivo por un tiempo mayor al tiempo de respuesta de 5 ms.
- **RET (FFH):** este código puede ser enviado únicamente por el maestro y con él le indica al esclavo que vuelva a enviar el último bloque de datos transmitido.

Figura 35

Código de respuesta ACK con su valor hexadecimal y binario para diferentes tipos de dispositivos.

coin changer	0x108 =	100001000	
cashless device	0x110 =	100010000	
bill validator	0x130 =	100110000	

Nota. Tomado de *Introducción a la especificación MDB/ICP*, por Ballesteros, 2015.

Direcciones establecidas para periféricos

Las direcciones de los dispositivos y módulos vending dentro del bus de datos son establecidos en el protocolo MDB, una dirección está definida por los cinco bits superiores (MSB) del byte que se envía. En la tabla 3, se indica la dirección binaria y hexadecimal de los dispositivos más comunes:

Tabla 3

Direcciones de los dispositivos vending más comunes definidos en el protocolo MDB.

Dirección	Dispositivo
00000xxxB (00H)	Reservado para el controlador maestro VMC
00001xxxB (08H)	Módulo Monedero o Coin Acceptor
00010xxxB (10H)	Módulo de cobro sin efectivo (Cashless) #1
00011xxxB (18H)	Gateway
00100xxxB (20H)	Display
00101xxxB (28H)	Sistema de gestión de energía
00110xxxB (30H)	Módulo de billetes o Bill Validator
01000xxxB (40H)	Dispositivo universal #1
01001xxxB (48H)	Dispositivo universal #2
01010xxxB (50H)	Dispositivo universal #3
01011xxxB (58H)	Monedero o tubo de monedas 1
01100xxxB (60H)	Módulo de cobro sin efectivo (Cashless) #2

Dirección	Dispositivo
01101xxxB (70H)	Monedero o tubo de monedas 2
11110xxxB (F0H)	Periféricos específicos de máquina vending #1
11111xxxB (F8H)	Periféricos específicos de máquina vending #2

Nota. Adaptado de *Multi-Drop Bus / Internal Communication Protocol MDB / ICP* (p. 34), por National Automatic Merchandising Association, 2019.

Cabe mencionar que las direcciones desde la 78H hasta la D8H están reservadas para futuros periféricos estándar.

Comandos principales para el control de los módulos de cobro

El protocolo MDB tiene tres niveles funcionales, en donde, cada nivel soporta un número limitado de comandos que se pueden emplear con los diferentes dispositivos conectados, siendo el nivel 3 el que soporta un mayor número de comandos. Es importante conocer de que nivel MDB son los dispositivos conectados a la red, debido a que, tanto el maestro como los esclavos debe enviar comandos o respuestas compatibles con el nivel de los dispositivos, por ejemplo, comandos de nivel 2 serán entendidos únicamente por dispositivos de nivel 2 o superior.

El controlador Maestro VMC se encarga de enviar comandos a los módulos de cobro para que estos ejecuten una tarea o envíen la información requerida, estos comandos son transmitidos en el mismo byte donde se define la dirección del esclavo, no obstante, para indicar el comando se emplea los tres bits inferiores (LSB) del byte. Los comandos enviados por el maestro para el control de los módulos de cobro de tipo monedero se muestran en la tabla 4.

Tabla 4

Comandos enviados por el controlador maestro a los dispositivos de cobro de tipo monedero.

Comando	Código	Descripción
RESET	00001000B (08H)	Indica al módulo que debe reiniciarse.
SETUP	00001001B (09H)	Permite solicitar información entorno a la configuración del monedero.
TUBE STATUS	00001010B (0AH)	Permite solicitar información acerca del estado del tubo de monedas.
POLL	00001011B (0BH)	Solicita el estado actual y actividades recientes del monedero.
COIN TYPE	00001100B (0CH)	Indica los tipos de monedas que son aceptados por el monedero.
DISPENSE	00001101B (0DH)	Permite entregar un tipo de moneda con el fin de entregar vueltos.
EXPANSION COMMAND	00001111B (0FH)	Permite integrar nuevas funciones y mejoras futuras.

Nota. Adaptado de *Multi-Drop Bus / Internal Communication Protocol MDB / ICP* (p. 63), por National Automatic Merchandising Association, 2019.

Especificaciones técnicas de hardware del protocolo MDB

Las especificaciones técnicas de hardware con respecto al voltaje de alimentación, tipos de conectores, entre otros que se requieren para el protocolo MDB, se resumen en la tabla 5:

Tabla 5

Valores de voltaje que manejan los dispositivos dentro del protocolo MDB.

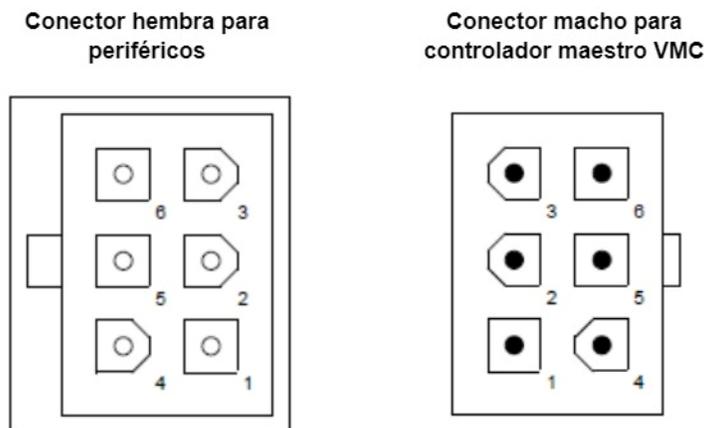
Voltaje de alimentación	Valor
Mínimo	20 VDC (rectificado)
Nominal	34 VDC (rectificado y filtrado) 24VDC (solo rectificado)
Máximo	42.5 VDC

Los conectores que se emplean para la conexión de dispositivos al bus de datos MDB son de tipo Molex de 6 pines como se muestran en la figura 36, para el caso de los dispositivos esclavos se emplea los conectores hembra mientras que el controlador maestro emplea conectores macho. A continuación, se indica la distribución de los pines del conector y el uso que se le da a cada pin:

1. Alimentación de 34 VDC o 24VDC
2. Retorno de la alimentación DC
3. No se utiliza (N/C)
4. RX del maestro
5. TX del maestro
6. Común de la comunicación

Figura 36

Distribución de pines y forma de los conectores empleados en el protocolo MDB.



Nota. Tomado de *Multi-Drop Bus / Internal Communication Protocol MDB / ICP* (p. 60), por National Automatic Mechandising Association, 2019.

Descripción de IoT

El término IoT viene del inglés "Internet of Things" y se define como la interconexión de dispositivos a través de una red ya sea pública o privada donde todos los elementos podrían ser visibles e interactuar entre sí. Cuando se habla se objetos se refiere a cualquier sensor,

motor, cilindro, módulo o básicamente cualquier dispositivo que trabaje dentro de un entorno controlado. El ámbito de aplicación del IoT es prácticamente infinito y a nivel tecnológico ha presentado un increíble avance para la industria mundial ya que es posible recoger datos en tiempo real, mandar instrucciones de forma remota, monitorear plantas industriales y analizar datos recogidos de forma rápida.

Uno de los grandes retos que enfrentó el desarrollo del IoT como una solución global fue la adaptación de los diferentes protocolos de comunicación existentes en el mercado, de esta manera existen sensores, placas, microcontroladores, PLCs, etc que presentan una gran facilidad para su conexión a la red, pero de igual manera existen dispositivos cuyos protocolos dificultan la conexión y por ende la comunicación global para alcanzar objetivos IoT; de esta forma el internet de las cosas viene de la mano de un protocolo de comunicación común que permite traducir cualquier protocolo a la base de entendimiento para poder formar tramas de datos y enviarlos a la red, estamos hablando del protocolo MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) que permite que todos los fabricantes puedan participar de la revolución tecnológica que ha traído el internet a nuestra era.

Todos los dispositivos IoT cuentan con un procesador y una plataforma que gestione los datos, de esta manera en el mercado existen dispositivos dedicados que son fabricados por empresas como Intel, pero a un costo elevado, mientras que por otra parte también se pueden obtener buenos resultados a menores costos gracias a microcontroladores que han desarrollado librerías de trabajo para poder gestionar datos de forma precisa como es el caso de Arduino permitiendo que esta tecnología sea accesible para todos los usuarios y lanzando incluso servicios de gestión de datos en la nube de una forma muy confiable y fácil de entender.

Por otra parte, se debe considerar que las soluciones IoT requieren necesariamente de una conexión a internet, por lo que, existe cierta limitación para algunas aplicaciones

específicas pero que con la globalización para ciertos mercados es simplemente un aspecto que no se toma en cuenta.

IoT es una serie de soluciones presentada por diferentes fabricantes que ha permitido mejorar procesos y llevar la comunicación a un grado mucho más alto dando la posibilidad de controlar de forma remota máquinas, llevar un control de mantenimiento, acceder a datos en tiempo real sin necesidad de estar presente en el proceso y poder gestionar esos datos para poder llevar a cabo actividades de mejora y control (Gracia, s.f.).

Smart Vending, incorporación del IoT en máquinas expendedoras

Las máquinas expendedoras vending también se han favorecido del avance tecnológico alrededor del mundo principalmente de la conectividad IoT, convirtiéndose en máquinas inteligentes que aparte de comercializar un producto ofrecen una experiencia personalizada de compra y superior a la que los usuarios están acostumbrados con las máquinas expendedoras convencionales (Solano Tarroc, 2011).

El término Smart Vending o Venta Inteligente hace referencia a máquinas expendedoras inteligentes, las cuales, no son otra cosa que máquinas con conectividad a internet y que se favorecen del IoT, incorporando sensores, micrófonos, cámaras, pantallas táctiles, gestión de datos en la nube, entre otros, que permiten brindar una mejor experiencia al usuario y un servicio personalizado a sus gustos y preferencias (CCV, 2022).

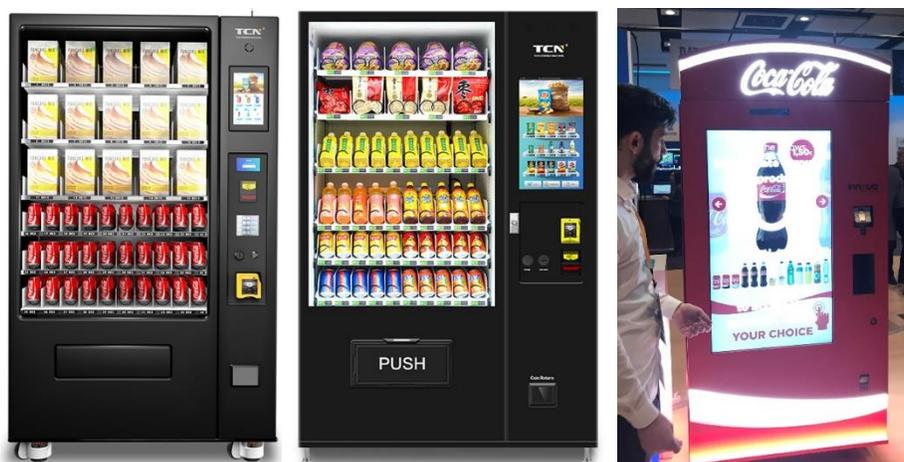
Con la conectividad a internet se abre un nuevo mundo de posibilidades en cuanto a los sistemas de cobro, seguridad, publicidad y comunicación, gracias al manejo y procesamiento inteligente de datos en la nube. Con la conectividad a internet, es posible implementar nuevos métodos de pago sin efectivo como el pago mediante códigos QR o mediante NFC. Por otro lado, los propietarios de las máquinas también pueden ofrecer publicidad que se adapte a la hora del día o época del año para mejorar así sus ventas (Intel technologies, 2016).

La experiencia del consumidor se ve mejorada enormemente, gracias a la incorporación de nuevos elementos como las pantallas táctiles a color que permiten interactuar de mejor

manera con la máquina y consultar el catálogo de productos accediendo a una mayor cantidad de información (CCV, 2022). En la figura 37, se muestran algunas máquinas comerciales que incorporan una pantalla táctil a color.

Figura 37

Ejemplos de máquinas expendedoras inteligentes con pantalla táctil a color.



Nota. Tomado de SMART Vending, *De la máquina expendedora tradicional a un Punto de Venta*, por InnovaPOS, s.f.

En cuanto al monitoreo y configuración de la máquina, la incorporación de las nuevas tecnologías y la conectividad de la máquina al IoT, facilita el proceso de mantenimiento, gestión de inventarios, configuración de precios, reabastecimiento de productos, entre otras operaciones críticas que el propietario debe llevar a cabo para tener rentabilidad con el negocio. Estas operaciones se pueden realizar de manera remota o mediante la pantalla táctil, de cualquier forma, las máquinas inteligentes son más amigable con el usuario que las convencionales (InnovaPOS, s.f.).

Aplicaciones del IoT en máquinas expendedoras

Las máquinas expendedoras han presentado una evolución notable a lo largo de los años, pasaron de ser frías cajas en la que los clientes debían buscar el efectivo exacto para tener acceso a un limitado tipo de productos, a incorporar tecnologías amigables que

convierten su uso en toda una experiencia reconfortante. Las aplicaciones IoT desarrolladas para máquinas expendedoras no solo están orientadas al cliente, sino también al propietario, permitiéndole gestionar el negocio vending de forma fácil y remota. Las ventajas más destacadas de las aplicaciones IoT para máquinas expendedoras se resumen a continuación:

Control de inventarios. El control de inventarios es un sistema que permite llevar a cabo una gestión de las existencias dentro de cierto espacio físico. En el caso de las máquinas expendedoras, esta función nos permite conocer la cantidad de producto existente en tiempo real luego de que se realizan las compras; esto es muy útil para los dueños de las máquinas ya que no necesitan programar visitas periódicas a las máquinas para reabastecerlas, sino que pueden ver la cantidad de producto y programar el reabastecimiento conforme se requiera.

Notificaciones de estado. El IoT también permite enviar notificaciones del estado de la máquina expendedora en caso de que ocurran eventos que requieran atención inmediata o que necesiten ser de conocimiento del dueño de la máquina. Estas notificaciones se pueden dar mediante mensajes de texto, correo electrónico o enviadas directamente a una página web y deben contener información relevante para el dueño como lo es el fallo en el despacho de un producto, una alerta de que cierto producto está próximo a agotarse, o el fallo de cualquier sistema que comprometa el funcionamiento de la máquina que pueda ocasionar una pérdida monetaria.

Históricos de ventas. Los históricos han sido siempre el punto de partida para el crecimiento en muchos mercados, ya que han permitido generar una proyección de las ventas, obtener la rentabilidad y calcular el punto de equilibrio; para máquinas expendedoras el IoT ha permitido traer estas herramientas a su funcionamiento, ya que tener un historial de los productos vendidos, la hora en la que se venden, entre otros datos relevantes, permite generar un estudio económico sobre los productos a colocarse en las máquinas conforme su ubicación, ventas dadas y proyectadas.

Mejores métodos de pago. Las máquinas expendedoras actuales al tener una conectividad a internet permiten utilizar métodos de pago que antiguamente no se creían posibles, realizar un pago mediante un código QR, tarjetas de crédito/débito o mediante NFC ahora es posible gracias a la implementación de la tecnología IoT en el vending, esto ha permitido generar mayores ganancias y reducir el uso de efectivo en general.

Una mejor experiencia. La tecnología IoT ha permitido el uso de mejores adecuaciones para máquinas expendedoras como pantallas táctiles que ayudan a tener una mejor experiencia al cliente cambiando las rudimentarias teclas físicas que limitan su uso a únicamente seleccionar un producto, ahora es posible mostrar una interfaz amigable en donde el cliente puede sumergirse en toda una experiencia a la hora de realizar una compra y hasta tener mayor información del producto como los valores nutricionales, acceder a promociones y poder dejar sugerencias de forma directa que pueden llegar al fabricante en tiempo real; además que permiten generar mayores ganancias al incluir publicidad de otras empresas en la pantalla táctil en los tiempos en que la pantalla se encuentra suspendida o al finalizar una compra (Telit, 2022).

Capítulo III: Diseño Mecatrónico y Construcción

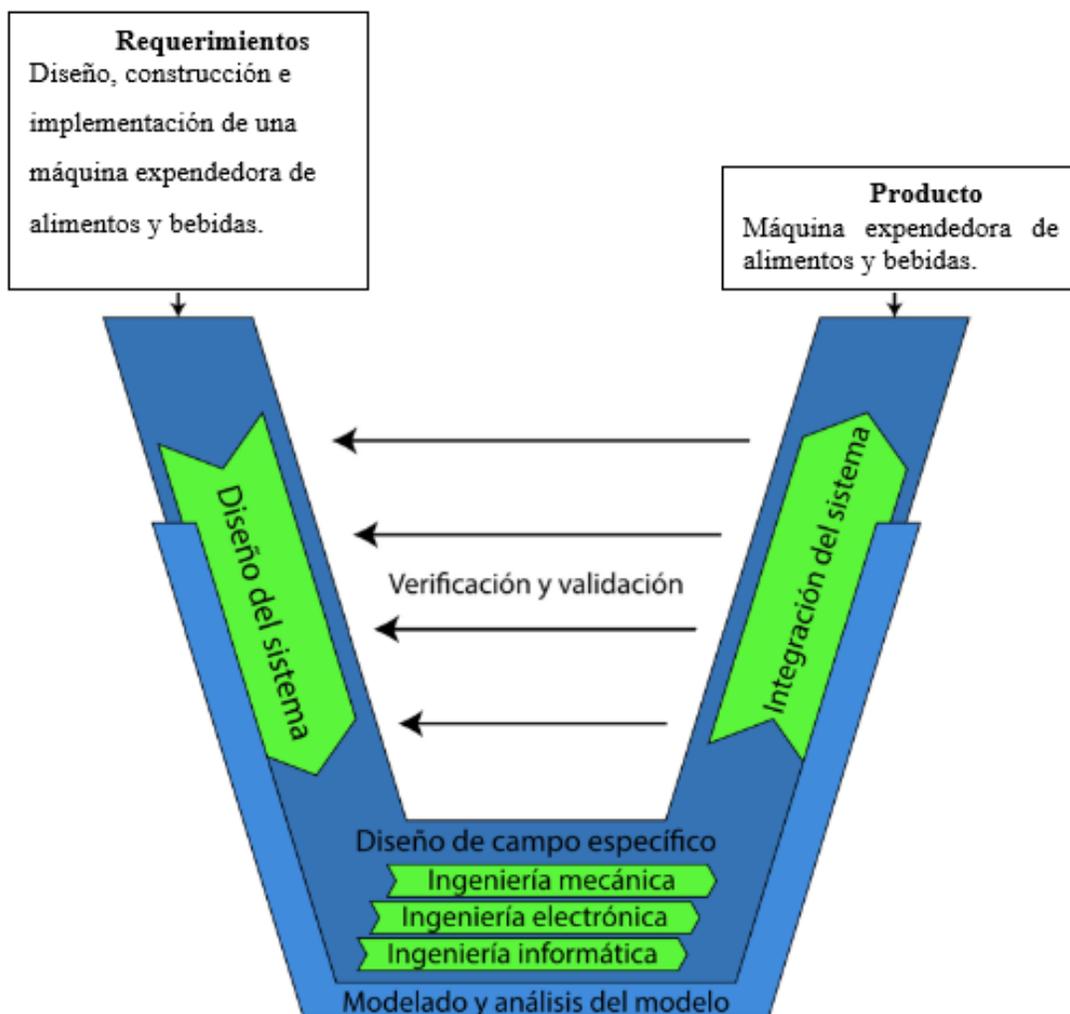
Metodología para el diseño

Norma VDI 2206

Para el diseño de la máquina expendedora, al tratarse de un producto mecatrónico, se plantea el uso de la metodología descrita en la norma VDI 2206 que nos entrega en lugar de un proceso lineal, un flujo de trabajo manejado mediante ciclos concurrentes, como se muestra en la figura 38, asegurando así productos con más sinergia respecto a las diferentes ramas de la ingeniería que implica la mecatrónica.

Figura 38

Proceso de desarrollo concurrente según la norma VDI 2206.



Conforme nos muestra la norma VDI 2206 existen 6 pasos a seguir dentro de la metodología que ayudan a un mejor desarrollo de productos mecatrónicos, los cuales de forma aplicativa al proyecto planteado se describen de la siguiente manera:

Definición de requisitos. En esta fase se describen de manera detallada los requisitos funcionales solicitados por la empresa auspiciante SERMEC para la máquina dispensadora y se realizará una descripción de los productos que se van a comercializar para identificar algunas de sus características como: tamaño, peso, manejo adecuado del producto, condiciones adecuadas para almacenamiento, entre otros.

Esta información es muy importante y servirá como punto de partida para poder generar las especificaciones técnicas preliminares, seleccionar el concepto que mejor se adapte con las necesidades del proyecto y poder diseñar la máquina.

Diseño preliminar del sistema. En esta etapa se define un primer diseño del sistema, el cual, puede ser sujeto a cambios conforme se vaya desarrollando el proyecto. Este primer diseño preliminar se realiza en base a una investigación exhaustiva con el objetivo de encontrar alternativas para diferentes tipos de subsistemas que posea la máquina a desarrollar, de esta manera se debe analizar diferentes caminos que puede tomar el proyecto con el fin de seleccionar el que se acople de manera óptima a las necesidades, objetivos y alcance del proyecto.

Con esta primera selección de conceptos se obtiene como resultado una máquina que cumpla con los requerimientos generales, con subsistemas ya definidos y con medios de trabajo concretos; el diseño preliminar de la máquina estará dado tanto en forma como en funcionalidad y alcance tecnológico. Con el diseño preliminar se tiene un concepto que sirve de base para el diseño específico de cada elemento que conforma la máquina.

Diseño específico de cada disciplina. En esta etapa se realiza el diseño específico de cada componente que conforma la máquina según las ramas de estudio de la mecatrónica, dichos componentes se describen a continuación:

Diseño mecánico:

- Identificación de los productos que se van a comercializar en la máquina con sus respectivas características en cuanto a peso neto y tamaño.
- Identificación de cargas de trabajo para la máquina según los pesos establecidos por producto.
- Determinación de la geometría final, selección de materiales y dimensionamiento para cada componente mecánico (estructura interna y externa, bandejas, resortes, puertas, etc.) en base a los requerimientos establecidos y las características de los productos que se van a comercializar.
- Modelado CAD de los elementos mecánicos diseñados y verificación de esfuerzos soportados mediante elementos finitos.
- Proceso de manufactura de los componentes mecánicos mediante manufactura tradicional y soldadura.
- Ensamble mecánico de los componentes manufacturados.
- Redacción de la guía de mantenimiento y ensamblaje para los elementos mecánicos.

Diseño electrónico:

- Identificación de los equipos electrónicos necesarios para la dispensadora.
- Selección del controlador que mejor se adapte con las necesidades del proyecto.
- Dimensionamiento y selección de los elementos de protección eléctrica para la máquina.
- Dimensionamiento y selección de los diversos módulos electrónicos: módulo de cobro, gestor de cambio e interfaz de usuario.
- Dimensionamiento y selección de actuadores según las cargas que se deberán transportar.

- Selección de sensores según la función a realizar dentro del proceso y conforme las características del controlador.
- Diseño y construcción de la red cableada para sensores y actuadores según la normativa internacional.
- Diseño y construcción del tablero eléctrico de control para la máquina siguiendo normativa internacional.
- Interconexión entre los módulos electrónicos y selección de protocolos de comunicación óptimos para el proceso.
- Selección de otros elementos necesarios como la fuente voltaje, elevadores o reductores DC/DC, interfaces de comunicación MDB, entre otros.
- Realización de planos y esquemas eléctricos que faciliten el mantenimiento, reparación y reemplazo de los componentes eléctricos/electrónicos.

Diseño de control:

- Identificación del proceso que debe seguir la máquina expendedora.
- Programación del controlador de la máquina mediante lenguajes de programación compatibles con el controlador a emplear.
- Programación del sistema para control de inventarios mediante IoT.
- Programación y configuración de los diversos módulos electrónicos empleados.
- Programación de la secuencia de control conforme el proceso establecido en la máquina expendedora.
- Programación de la interfaz gráfica de usuario a utilizar buscando un funcionamiento amigable con el usuario.

Integración del Sistema. Una vez finalizado el diseño de los componentes mecánicos, electrónicos y de control en esta etapa se busca realizar una sinergia entre cada disciplina para verificar el correcto funcionamiento en conjunto de cada parte de la máquina expendedora. En

esta etapa se evalúa el grado de integración y en caso de ser necesario se realizarán cambios pertinentes en algún componente o elemento que lo requiera para alcanzar los requerimientos planteados. Como resultado de esta etapa se obtendrán la integración de todas las partes mecánicas construidas y ensambladas, circuitos eléctricos armados y ensamblados en el tablero de control y la programación del controlador con la interfaz de usuario finalizada y funcional.

Comprobación de las propiedades. Una vez que se haya realizado una correcta integración de cada uno de los subsistemas se verificará que se hayan alcanzado los requerimientos planteados. Todas las pruebas realizadas tendrán la finalidad de verificar el funcionamiento de los subsistemas que conforman la máquina de manera individual e integral, de tal forma, que se pueda alcanzar la confiabilidad necesaria para el uso de la máquina expendedora en un ambiente comercial, los subsistemas mencionados son:

- Sistema de almacenamiento y dispensado
- Sistema de cobro y cambio
- Interfaz de usuario
- Control de inventario

Todos los subsistemas antes mencionados serán comprobados en base a un análisis experimental haciendo uso de productos comerciales que en un futuro se expendrán en la máquina y en caso de algún tipo de funcionamiento anormal se realizarán las correcciones pertinentes (regresando a la etapa del diseño) hasta que la máquina pase todas las pruebas de funcionamiento de manera satisfactoria.

Modelado y análisis del modelo. Cada una de las partes mecánicas a diseñar se desarrollarán en base a modelos informáticos que permitirán una previsualización de la máquina y el uso de análisis asistidos por computador. Este modelado se lo realiza empleando

programas CAD/CAM/CAE y software especializado para programación del controlador y la pantalla con el fin de poder realizar un análisis del funcionamiento de la máquina.

Generalmente un producto mecatrónico complejo no se produce en un solo ciclo de diseño, sino que se requieren varios. El producto es el resultado de varios ciclos de diseño, no tiene por qué ser el producto final, sino versiones previas que hayan sido necesarias para su desarrollo, como un prototipo de laboratorio, un prototipo funcional, un producto piloto, etc. (Ansoategui Belategui, 2017).

Definición de requisitos de la máquina

Identificación de requisitos

Con la máquina se busca comercializar alimentos fríos empacados y bebidas embotelladas personales, además de que se incluyen funciones de uso, por lo que es necesario dividir los requisitos de la máquina en físicos y funcionales para poder abarcar de mejor manera todos los requerimientos presentes en la máquina.

Físicos. Los requisitos físicos que debe cumplir la máquina son basados en las necesidades presentadas por parte del cliente, además de los requerimientos de espacio, cantidad de producto, tipo de producto y peso de producto; los requisitos físicos que se plantean para la máquina son:

- Carcaza robusta que brinde seguridad a los productos.
- Diseño modular de la máquina, que permita el intercambio rápido y fácil de elementos en el caso de que lleguen a averiarse.
- 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.
- Tamaño suficiente para la integración futura de un sistema de refrigeración en la parte inferior de la máquina.
- Estructura rígida, resistente a la corrosión y capaz de soportar cargas durante el uso y durante el transporte.

Funcionales. Las características funcionales de la máquina incluyen todas las propiedades a nivel operativo que tendrá la máquina facilitando el uso tanto para el cliente como para el dueño de la máquina; dichas características son:

- Entrega del producto seleccionado al cliente de forma automática, rápida y segura, sin obstrucción con los demás componentes de la máquina.
- Implementación de un interfaz de usuario fácil de utilizar e intuitiva, que sea clara y presente la información necesaria para el cliente (de preferencia pantalla táctil).
- Configuración de precios de forma directa desde la interfaz de usuario.
- Sistema gestor de datos de forma remota, en específico, control de inventario y manejo de notificaciones por correo electrónico.
- Sistema de iluminación amplio capaz de dar buena visualización de todos los productos y permitir el uso nocturno de la máquina.
- Flexibilidad para la recarga de productos orientada a la facilidad de uso por parte del trabajador encargado.
- Facilidad de uso por parte del consumidor.
- Sistema de cobro con reconocimiento de cada denominación monetaria (5 ctvs., 10 ctvs., 25 ctvs., 50 ctvs. y de 1 dólar).
- Sistema de entrega de cambio conforme el valor del producto y el dinero introducido.

Descripción de los productos a comercializar

Con la máquina expendedora se busca comercializar productos alimenticios fríos empaquetados y bebidas frías embotelladas, los productos mencionados son previamente preparados y procesados, es decir, la máquina expendedora no los preparará en el momento de la venta.

Los productos alimenticios fríos mencionados son de tipo snacks, por lo tanto, son alimentos en pequeñas porciones que pueden ser consumidos en cualquier momento para satisfacer un poco de hambre o algún antojo. Al tratarse de pequeñas porciones de comida, cada empaque suele tener un peso neto que puede ir entre los 10 a los 300 gramos dependiendo de la clase del alimento. En máquinas expendedoras es común encontrar las siguientes clases de alimentos tipo snacks: frituras, frutos secos, galletas y golosinas, como se muestra en la figura 39.

Figura 39

Productos alimenticios fríos tipo Snacks comercializados en una máquina expendedora.



Nota. Tomado de *Empresa de vending de la zona sur de Madrid*, por BB-Vending, s.f.

Las bebidas frías embotelladas que se busca comercializar son de tamaño personal, es decir, su cantidad es ideal para ser consumidas por una sola persona. Las bebidas permiten

satisfacer la sed o refrescar a la persona que las consume y al ser personales su cantidad de líquido por botella varía entre los 250 hasta los 600 ml en algunos casos como las aguas embotelladas. Los tipos de bebidas embotelladas más comunes en máquinas expendedoras son los siguientes: gaseosas, jugos, agua embotellada y energizantes, como se muestra en la figura 40.

Figura 40

Bebidas embotelladas personales comercializadas en una máquina expendedora.



Nota. Tomado de *Empresa de vending de la zona sur de Madrid*, por BB-Vending, s.f.

A continuación, se describe las características más importantes de los productos, las cuales se deben tener en cuenta para el diseño de la máquina:

- Los alimentos y bebidas se encuentran empaquetados o embotellados, no están en contacto directamente con los elementos de la máquina expendedora.
- Los productos, por lo general, tienen un precio bajo para la venta al público variando desde los 10 centavos hasta los dos dólares, en ciertos casos.
- Los paquetes y botellas no pueden ser aplastados ni abiertos accidentalmente mientras se encuentran dentro de la máquina expendedora.

- La temperatura ideal para el almacenamiento de productos alimenticios empacados y bebidas embotelladas que no han sido abiertos es de 10°C, no obstante, se pueden almacenar hasta una temperatura máxima de 20°C (Restauración Colectiva, 2020).
- Los productos alimenticios y bebidas, incluido sus respectivos envases o botellas, no sufren daño con la caída.
- En el caso de los alimentos, el peso neto por bolsa varía entre los 10 a los 300 gramos y en el caso de las bebidas, la cantidad neta por botella varía entre los 300 a los 600 ml.
- Los productos son de diferente tipo, por lo que, su tamaño es muy variado, el largo puede ir desde los 100 hasta los 200 mm, el ancho desde los 50 hasta los 130 mm y el grosor desde los 10 hasta los 70 mm.

Especificaciones técnicas preliminares

Las especificaciones técnicas preliminares serán los objetivos de diseño propuestos inicialmente para la máquina de forma que todo el diseño se orientará a cumplir con estas metas. Estas especificaciones se muestran en la tabla 6.

Tabla 6

Especificaciones técnicas preliminares de la máquina expendedora.

Especificaciones Técnicas	Valores
Altura	Entre 1600 y 2000 mm
Ancho	Entre 800 y 1200 mm
Profundidad	Entre 800 y 1200 mm
Peso	Máximo 200 kg
Variedad de productos	Mínimo 28 tipos diferentes
Capacidad de productos pequeños	Mínimo 75 productos
Capacidad de productos medianos	Mínimo 40 productos
Capacidad de productos grandes	Mínimo 30 productos
Capacidad total de productos	Mínimo 145 productos
Peso neto por producto	Entre 10 y 300 gr para alimentos

Especificaciones Técnicas	Valores
	Entre 300 y 600 ml para bebidas
Altura de productos	Entre 100 y 200 mm
Ancho de productos	Entre 50 y 130 mm
Espesor de productos	Entre 10 y 70 mm
Tensión de alimentación	120 VAC
Frecuencia de alimentación	60 Hz
Consumo de energía (diario)	Máximo 15 kWh
Tiempo de venta	Máximo 1 minuto
Tiempo de dispensado	Máximo 10 segundos
Capacidad del Monedero	Mínimo 5 denominaciones monetarias diferentes
Conectividad a internet	Inalámbrica

Diseño preliminar del sistema

El diseño preliminar del sistema se establecerá en base a una selección y validación de conceptos, con lo cual, se analizará diferentes alternativas para llegar a los resultados que satisfagan los objetivos de la máquina. Para el proyecto será necesario descomponer la máquina en diferentes elementos y analizar características como:

- **Estructura:** definir qué tipo de estructura llevará la máquina conforme las necesidades de cargas que requiera, los elementos a soportar y garantizar estabilidad.
- **Almacenamiento y dispensado:** es primordial poder llegar a obtener un sistema de almacenado idóneo para los productos que se van a comercializar, así como la forma en que estos serán entregados al cliente.
- **Sistema de cobro:** se requiere analizar hasta que grado de sofisticación llegará el sistema de cobro, es decir, si será netamente mecánico o si tendrá un controlador propio que trabaje con protocolos de comunicación conforme las necesidades de la máquina y garantizando la confiabilidad del cobro.

- **Hardware de control:** el controlador que gobernará toda la máquina debe ser robusto y no presentar fallos en ningún momento crítico del proceso de trabajo, deberá trabajar conforme los elementos seleccionados y tener la cantidad de entrada, salidas, canales de comunicación e interrupciones necesarios que permitan el uso de un solo controlador.
- **Interfaz de usuario:** seleccionar una interfaz de usuario idónea permitirá mejorar la experiencia de compra del cliente y conocer el alcance tecnológico de la máquina.

Geometría y forma de la máquina expendedora

Este sistema es el encargado de entregar una forma física a la máquina, además de darle estabilidad mecánica y optimizar el espacio de la mejor manera conforme la necesidad de dispensado de productos. La opción seleccionada debe ser capaz de tener una estabilidad muy alta, lograr almacenar la cantidad planteada de productos en las divisiones necesarias e incluir los módulos de trabajo de forma idónea.

Opción 1: Forma prismática rectangular: Este sistema es uno de los más comunes utilizados para el dispensado de snacks y bebidas embotelladas en máquinas expendedoras; consiste en un prisma rectangular con los lados completamente cerrados, como se muestra en la figura 41, donde los productos se ubican en la parte frontal de la máquina y son dispensados hacia el frente de forma directa al consumidor. Normalmente se utilizan tuberías que permitan cerrar el cuerpo de la máquina con chapa metálica y colocar un cristal al frente para poder visualizar la cantidad y tipo de producto por parte del consumidor.

Figura 41

Máquina expendedora con forma prismática rectangular.



Nota. Tomado de *Diseño y construcción del prototipo de una máquina expendedora de pastelillos de la marca The Cupcake Factory para la empresa Publicidad* (p. 29), por Freire Mendieta & Places Villacis, 2014, [Tesis de pregrado, Universidad de las Fuerzas Armadas].

Ventajas:

- Permite optimizar el espacio al tener esquinas a 90°, por lo que es óptima para colocar una mayor cantidad de productos.
- Consigue una distribución organizada de módulos ya que, al tener un área frontal para colocar productos, los compartimentos inferiores y laterales permiten organizar módulos de cobro como monederos, billeteros y un sistema de refrigeración.
- Permite tener una división de ambiente entre productos y sistema electrónico ya que, al estar distribuido de forma modular, todo el instrumental electrónico se separa de los productos y por ende del sistema de refrigeración.
- El cableado se torna más sencillo de realizar ya que todos los cables salen de un solo punto hacia el sistema de dispensado y el cálculo de distancia para la flexibilidad de cables se torna más simple.

Desventajas:

- El transporte de la máquina es complicado ya que al ser lisa por los lados no existen punto de agarre que permitan transportar la máquina de forma sencilla.
- La recarga de la máquina se puede realizar únicamente por el frente de la máquina ya que, los laterales emplean circuitos electrónicos y cableado.
- Dificultad para visualizar productos ya que los productos se colocan al frente hasta el tope de la máquina y personas de baja estatura no pueden visualizar las bandejas superiores.

Opción 2: Forma cilíndrica recta: Esta forma de máquinas expendedoras consisten en un cilindro recto donde se incluyen los productos y estos son mostrados al cliente de forma constante a través de vidrios individuales que funcionan al mismo tiempo como compuertas y se desbloquean luego de haber realizado el pago para que el cliente recoja el producto. Los productos son recargados únicamente con la máquina apagada y con la posición frontal ya que la manecilla de acceso solo tiene un punto de entrada. En la figura 42, se muestra una máquina expendedora con forma cilíndrica.

Figura 42

Máquina expendedora de forma cilíndrica.



Nota. Tomado de *Crane Shopper 432G vending machine*, por BVA auctions, 2022.

Ventajas:

- Permite colocar productos de un mayor tamaño ya que las bandejas dispensadoras son mucho más grandes.
- El cliente es capaz de tener una visión 360° del producto que va a adquirir ya que las bandejas se encuentran en constante movimiento.
- Permite tener una mayor individualidad entre productos.
- La recarga es muy simple ya que se recargan pocos productos.
- La forma de la máquina permite mantener la integridad del producto ya que el dispensado es directo sin tener que pasar por un proceso de caída hacia una bandeja de recepción.

Desventajas:

- La recarga se da con mucha más frecuencia que otras máquinas.
- No se pueden colocar tantos productos como en el caso de otras geometrías de máquinas expendedoras.
- El costo unitario de producto es más elevado ya que es necesario tener una rentabilidad mayor con una cantidad menor de productos.
- No es óptima para la venta de snacks.
- La refrigeración es independiente y más compleja por lo que los costos de dicho sistema se elevan demasiado.
- Tiene un mayor consumo energético ya que los productos se encuentran constantemente en movimiento.

Selección de la geometría y forma de la máquina. Conforme los requerimientos planteados y las alternativas encontradas en el mercado, la selección de la geometría y forma de la máquina se realiza en la tabla 7. La calificación se realizará del 1 al 5, siendo 1 la peor calificación y 5 la mejor calificación.

Tabla 7

Tabla de selección de la geometría y forma de la máquina.

	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

La geometría seleccionada para la máquina expendedora es una geometría prismática rectangular debido a que nos permite cumplir con los requerimientos de cantidad de productos totales en la máquina utilizando el menor espacio posible, además de que el consumo eléctrico es relativamente bajo comparado a la opción 2.

Sistema de almacenamiento y dispensado

Este sistema permite almacenar los productos dentro de la máquina y entregarlos durante una venta. Según las características descritas de los productos, se sabe que estos no se dañan por caída, por lo que, se puede implementar un sistema que permita que el producto se desplaza hasta el borde de una bandeja horizontal y llegue a la zona de recogida mediante una caída. La opción seleccionada debe permitir almacenar varios productos sin dañar su integridad física, entregar un solo producto por cada venta, ser modular y de fácil montaje o desmontaje para trabajos de mantenimiento, sencillo de construir e implementar, ser robusto, confiable y emplear de manera óptima el espacio disponible.

Opción 1: Bandeja horizontal con resortes o espirales. Este sistema es el más común en máquinas expendedoras de alimentos fríos tipo snacks, consisten en una bandeja

horizontal donde reposan unos resortes o espirales impulsados por un motor situado en la parte posterior de la bandeja, como se muestra en la figura 43. Los productos se colocan entre cada abertura de los resortes y descansan sobre las bandejas hasta que son entregados al consumidor. En una venta los resortes impulsados por el motor desplazan linealmente a los productos hasta el borde de la bandeja lo que permite que uno de los productos caiga hasta la zona de recogida del producto.

Figura 43

Bandeja horizontal con resortes.



Nota. Tomado de *Charola De Botana Snacks Para Maquina Vending*, por Mercado Libre, 2022.

Ventajas:

- Este sistema permite almacenar un gran número de productos.
- Ofrece una buena sujeción del producto.
- Fácil montaje o desmontaje de los elementos, lo que facilita el mantenimiento.
- No requiere de mantenimiento periódicos o continuos.
- Buena precisión en el dispensado de un producto, debido a que, es fácil de detectar cuando el resorte ha dado una revolución completa.
- El acoplamiento de los resortes con el motor es sencillo y requiere de pocas herramientas.
- Al ubicar el motor en la parte posterior de la bandeja, se puede acoplar directamente con el resorte haciéndolo girar para que este sea capaz de desplazar linealmente los productos sin requerir de elementos adicionales.
- Los resortes son fáciles de conseguir y reemplazar en el caso de daños.

- El sistema tiene un menor número de piezas móviles y los mecanismos de movimiento ocupan poco espacio.

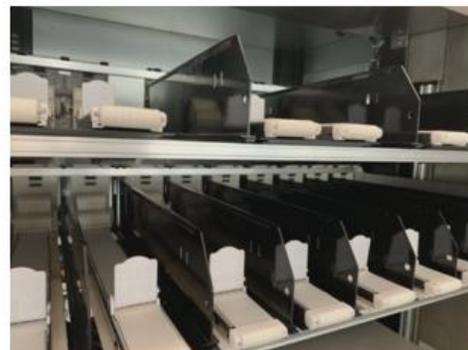
Desventajas:

- Si no está bien posicionado el resorte puede desgastar y dañar la bandeja.
- Al colocar un producto entre la abertura de los resortes, una parte del envoltorio queda cubierto.
- Los productos pueden quedar atrapados por el extremo del resorte lo que impida su caída y entrega al cliente.

Opción 2: Bandeja horizontal con bandas transportadoras. Este tipo de sistema no es muy común en máquinas expendedoras, no obstante, también se lo suele ocupar principalmente con productos que vienen en tarrinas. Consiste en una bandeja horizontal en donde se colocan unas bandas transportadoras impulsadas por un motor, como se muestra en la figura 44. Sobre las bandas se colocan los productos donde reposan hasta que son entregados al consumidor. En una venta la banda transportadora impulsada por el motor desplaza linealmente los productos hasta el borde de la bandeja lo que permite que uno de los productos caiga hasta la zona de recogida.

Figura 44

Bandeja horizontal con banda transportadora.



Nota. Tomado de *Bandeja de cinta transportadora para máquina expendedora*, por Made in China, 2022.

Ventajas:

- Debido a su longitud y forma sin divisiones, puede almacenar una gran cantidad de productos.
- No hay riesgo de que el producto quede atrapado con algún elemento de la banda transportadora durante su traslado y caída.
- Únicamente la base del producto está en contacto con la banda transportadora, por lo que, la probabilidad de que sufra algún daño en su envoltura es mínima.

Desventajas:

- El sistema tiene un mayor número de piezas móviles y los mecanismos de movimiento ocupan bastante espacio.
- Requiere de mantenimientos periódicos y continuos.
- Los productos que vienen en bolsas como frituras pueden caerse.
- Algunos elementos de la banda transportadora son difíciles de conseguir y cambiar en el caso de algún daño.
- Al ubicar el motor en la parte posterior de la bandeja, se debe emplear mecanismos de transmisión adicionales para impulsar la banda transportadora, lo que requiere de un mayor número de elementos.
- El costo de este sistema es más elevado en comparación a otros mecanismos de dispensado.
- El sistema de dispensado requiere de instrumentación adicional para poder funcionar de manera confiable ya que los productos no se ubican de forma equidistante.

Selección del Sistema de Almacenamiento y Dispensado. Para la selección se realizará una comparación de las dos opciones descritas y se evaluará los parámetros considerados más relevantes. La calificación se realizará del 1 al 5, siendo 1 la peor calificación y 5 la mejor calificación. Los resultados de la comparación se muestran en la tabla 8.

Tabla 8

Tabla de selección para Hardware de control.

	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
Confiabilidad en el dispensado	3	4
Menor costo	4	2
Total	38	27

La mejor opción para el sistema de almacenamiento y dispensado es la bandeja horizontal con resortes, debido a que, es fácil de construir y dar mantenimiento, optimiza de mejor manera el espacio disponible y maneja de forma adecuada los productos almacenados. Por otro lado, existe el riesgo de que un producto vendido se quede atrapado en el resorte, sin embargo, la probabilidad de que esto ocurra es baja.

Sistemas de cobro

Un análisis del sistema de cobro para su selección se debe basar en el tipo de máquina expendedora que se busca diseñar conforme los requerimientos iniciales dados, inicialmente se plantea el uso de las tres categorías de máquinas expendedoras posibles como lo son: mecánicas, electrónicas y mecatrónicas; por lo tanto, de forma inicial se descarta la alternativa de un sistema de cobro mecánico debido a la limitación de funciones, modificación de precios.

El sistema de cobro que se busca seleccionar para el uso en la máquina expendedora es el sistema que permita realizar la recepción de efectivo del cliente hacia la máquina, para ello es necesario que el sistema de cobro sea confiable, rápido y capaz de discriminar entre

monedas reales y falsificaciones. De esta forma se pueden obtener dos alternativas de uso para el sistema de cobro.

Opción 1: Sistema de cobro electrónico. Se entiende como un sistema de cobro electrónico al sistema que funcionan con un discriminador magnético que permite diferenciar las monedas y su validez gracias al uso de campos magnéticos y la capacidad ferromagnética de los materiales utilizados en monedas actuales, estos tipos de sistemas de cobro no funcionan con protocolos de comunicación definidos ya que únicamente funcionan con la generación de señales digitales TTL o trenes de pulsos que deben ser leídos por el controlador, además de que estos sistemas son muy propensos al ruido externo y dependiendo de la longitud de los cables también pueden verse las señales afectadas por la interferencia electromagnética generando un efecto antena. El sistema de cobro descrito se muestra en la figura 45.

Figura 45

Sistema de cobro electrónico.



Nota. Tomado de *Desarrollo de una máquina expendedora de dispositivos electrónicos para la ESFOT* (p. 5), por Insuasti López & Tandazo Gallegos, 2019, [Tesis de pregrado, Escuela Politécnica Nacional].

Ventajas:

- Este sistema de cobro tiene un precio bajo.

- Es muy sencillo de instalar.
- Tiene un bajo consumo de potencia.
- La configuración del módulo es muy simple.

Desventajas:

- Es propenso que el módulo se vea afectado por ruido electromagnético.
- No trabaja con un protocolo de comunicación, esto hace que los datos puedan presentar modificaciones por el efecto de ruido y no ser confiables.
- Su diseño está hecho para el uso de fichas metálicas y no para el uso de monedas en general.
- No es capaz de entregar cambio.

Opción 2. Sistema de cobro mecatrónico. El sistema de cobro mecatrónico es un sistema de cobro diseñado de forma integral, es decir, consiste en un módulo que emplea una parte mecánica, electrónica, de control y de un sistema computacional, de esta manera se consiguen características muy relevantes que diferencian a máquinas de un grado más alto de ingeniería con respecto a otras de un grado menor. Estos sistemas de cobro son desarrollados por compañías especializadas y presentan características como el uso de un protocolo de comunicación que mejora en gran medida la confiabilidad del sistema y la transmisión de datos, dando una robustez más alta. Las principales características de estos sistemas de cobro son: sistema de discriminación de efectivo, sistema operativo propio, protección eléctrica interna, integración de conectividad internet, capacidad de entregar el cambio exacto y llevar un control del efectivo interno para no agotar el dinero destinado para dar cambio. El sistema de cobro descrito se muestra en la figura 46.

Figura 46

Sistema de cobro mecatrónico.



Nota. Tomado de *Gestor de cambio MEI CASHFLOW Serie 7000 Manual Técnico* (p. 1), por MEI Group, 2006.

Ventajas:

- Es un módulo completo con una alta seguridad.
- Posee un sistema de clasificación de efectivo.
- Es capaz de llevar una contabilidad interna de la cantidad de efectivo y a su vez extraer esa información del módulo.
- Es posible realizar una conectividad vía internet del módulo.
- El sistema de discriminación de efectivo es sumamente confiable ya que el dinero pasa por varios filtros.
- Trabaja con un protocolo de comunicación especializado que garantiza que la transmisión de datos al controlador no se vea afectado a los ruidos eléctricos y magnéticos.

Desventajas:

- El costo del sistema de cobro es más elevado.

- Al trabajar con un protocolo de comunicación propio es complicado realizar la comunicación con otros componentes que no trabajen bajo ese protocolo.

Selección del sistema de cobro. El sistema de cobro se selecciona en base a los requerimientos planteados inicialmente para la máquina y las características observadas en las opciones planteadas anteriormente. La calificación se realizará del 1 al 5, siendo 1 la peor calificación y 5 la mejor calificación. La selección del sistema de cobro se ve compilada en la tabla 9 de selección.

Tabla 9

Tabla de selección para el sistema 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

Considerando la tabla anterior se selecciona un sistema de cobro mecatrónico debido a sus características y especialmente porque se requiere entregar cambio al cliente, además de que las características de seguridad y del uso de un protocolo de comunicación son prescindibles para garantizar la confiabilidad y robustez de la máquina.

Hardware de Control

En esta parte se analizará y seleccionará el controlador que mejor se adapte a las necesidades del proyecto. El controlador debe permitir la integración y control de los elementos

electrónicos ya disponibles como los motores a paso, ofrecer la cantidad suficiente de entradas y salidas digitales, ser capaz de controlar y comunicarse con los módulos de cobro, ofrecer confiabilidad durante el control de la máquina, tener una buena relación entre calidad-precio y ser fácil de conseguir en el caso que se lo requiera intercambiar si se llegará a dañar.

Opción 1: IVMC-60HM (VMC). Los controladores VMC (Vending Machine Controller) son lo más empleados en máquinas vending comerciales. El modelo IVMC-60HM que se muestra en la figura 47, tiene las siguientes características principales:

- Maneja protocolo MDB / DEX y RS232.
- Funciona con diferentes módulos de cobro que manejen protocolo MDB.
- Capacidad para controlar hasta 60 motores DC.
- Configuración de precios, contraseña, inventarios, entre otros.
- Puertos para conexión de pantalla LCD y Keyboard.
- Puede funcionar con GSM para envío de notificación vía SMS.
- Voltaje de funcionamiento de 24V.

Figura 47

Controlador VMC modelo IVMC-60HM.



Nota. Tomado de *Placa de Control de máquina expendedora IVMC 60HM*, por BESTZONE, 2022.

Ventajas:

- Permite la rápida integración de módulos vending.

- Maneja protocolos de comunicación propio de los sistemas de cobro.
- Permite controlar un gran número de motores.
- Fácil y rápida implementación ya que no requiere ser programado, solo configurado y conectado.

Desventajas:

- No permite integrar otros elementos que no sean propios del vending o que el controlador no soporte como motores a pasos, fines de carrera, pantalla táctil, entre otros que se tienen disponibles.
- No se puede modificar el código base programado en el controlador, lo que dificulta hacer modificaciones en el proceso o añadir nuevas funcionalidades.
- Su precio es elevado y no es fácil de conseguir, debido a que se requiere traerlo de otro país.
- No admite conexión a internet.

Opción 2: Arduino Mega 2560. Las placas de la plataforma Arduino son una buena opción para el desarrollo de múltiples proyectos de bajo costo donde se requiera el control de elementos de diferente tipo. El modelo Mega 2560 de Arduino que se muestra en la figura 48, tiene las siguientes características principales:

- Su funcionamiento se basa en el microcontrolador ATmega2560 con una velocidad de reloj de 16MHz.
- Maneja protocolos seriales UART, I2C y SPI.
- Posee 54 pines de entradas/salidas digitales, en donde 14 pueden ser utilizadas como PWM.
- Posee 4 puertos para comunicación UART, 1 puerto para comunicación I2C y 1 puerto para comunicación SPI.
- Voltaje de alimentación de 7 a 12V.

Figura 48

Placa Arduino Mega 2560.



Nota. Tomado de *Desarrollo de una máquina expendedora de dispositivos electrónicos para la ESFOT* (p. 4), por Insuasti López & Tandazo Gallegos, 2019, [Tesis de pregrado, Escuela Politécnica Nacional].

Ventajas:

- Permite integrar diferentes tipos de elementos entre actuadores, sensores, drivers, pantallas LCD o táctiles, teclados, entre otros.
- Al ser una plataforma de código abierto se tiene acceso a mucha información, librerías y códigos que ayudan el desarrollo de una aplicación.
- Se tiene libertad en el desarrollo de la secuencia de control y la programación.
- Tiene un bajo costo y es fácil de conseguir en el mercado.
- La placa está basada en un microcontrolador, por lo que, al energizarlo se ejecuta el programa sin que se requiera realizar alguna acción adicional.
- Posee un gran número de entradas y salidas digitales.

Desventajas:

- No maneja protocolos de comunicación de los sistemas de cobro como el MDB.
- Para que pueda controlar módulos de cobro MDB se debe adquirir hardware adicional, lo que se traduce a un aumento del costo.

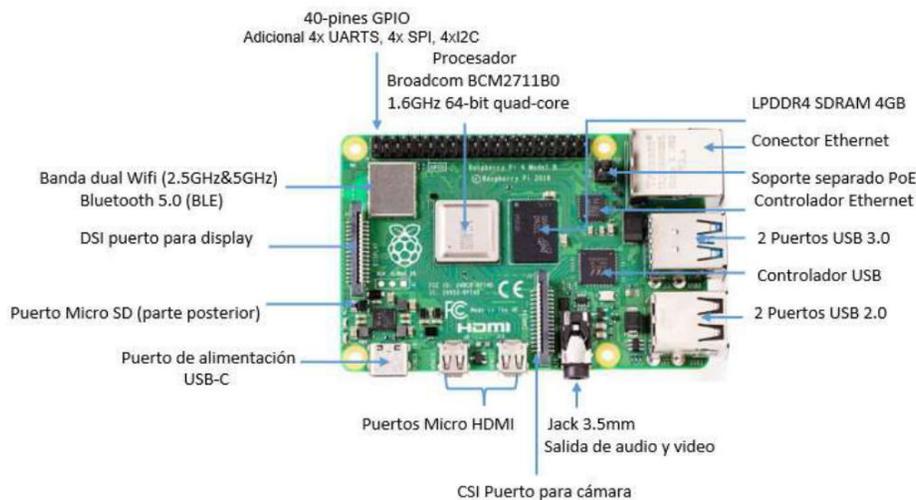
- No admite conexión a internet, no obstante, se puede adquirir hardware adicional para subir datos a la nube.

Opción 3: Raspberry Pi 4. La Raspberry Pi 4 que se muestra en la figura 49, se emplea en proyectos donde sea requerido el procesamiento de una gran cantidad de información con una interacción con elementos físicos como actuadores, sensores, botones, etc., es decir, funciona como una microcomputadora. Las características más importantes de este modelo son:

- Su funcionamiento se basa en el microprocesador Broadcom BCM2711 de 4 núcleos a 1,5 GHz.
- Maneja protocolos seriales UART, I2C, SPI y TCP/IP.
- Posee 40 pines de entradas/salidas digitales.
- Posee 2 puertos USB 3.0, 2 puertos USB 2.0, 2 puertos Micro HDMI, entre otros.
- Voltaje de alimentación de 5V.
- Incorpora conectividad Wi-Fi y Bluetooth.

Figura 49

Placa Raspberry Pi 4.



Nota. Tomado de *Implementación de una máquina expendedora para mascarillas artesanales (etapa 2)* (p. 13), por Espinosa Ortega, 2021, [Tesis de pregrado, Escuela Politécnica Nacional].

Ventajas:

- Permite el procesamiento de una gran cantidad de datos lo que ayuda con la gestión de inventarios.
- Posee conectividad a internet lo que facilita el desarrollo de aplicaciones IoT.
- Permite integrar diferentes tipos de elementos entre actuadores, sensores, drivers, pantallas LCD o táctiles, teclados, entre otros.
- Al ser una plataforma de código abierto se tiene acceso a mucha información, librerías y códigos que ayudan el desarrollo de una aplicación.
- Se tiene libertad en el desarrollo de la secuencia de control y la programación.
- Posee un gran número de entradas y salidas digitales.

Desventajas:

- La placa está basada en un microprocesador, por lo que, tiene un sistema operativo que si colapsa no se ejecuta el programa de control.
- No maneja protocolos de comunicación de los sistemas de cobro como el MDB.
- Para que pueda controlar módulos de cobro MDB se debe adquirir hardware adicional, lo que se traduce a un aumento del costo.
- Aunque la placa es fácil de conseguir en el mercado, su costo es elevado.

Selección del Hardware de control. Para la selección se realizará una comparación de las tres opciones descritas y se evaluará los parámetros considerados más relevantes. La calificación se realizará del 1 al 5, siendo 1 la peor calificación y 5 la mejor calificación. Los resultados de la comparación se muestran en la tabla 10.

Tabla 10

Tabla de selección para 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

El hardware de control seleccionado es el Arduino Mega 2560, debido a que es el más económico, fácil de conseguir, con suficiente información para el desarrollo de aplicaciones y capaz de integrar varios elementos electrónicos de diferente tipo lo que permite la utilización de elementos disponibles. La velocidad de procesamiento no es la mejor, pero es suficiente para la aplicación ya que el objetivo del controlador es gobernar el funcionamiento de la máquina, mas no realizar el procesamiento de una gran cantidad de información. En cuanto a la capacidad de comunicación con módulos de cobro, el Arduino no maneja protocolo MDB siendo esta una importante desventaja, no obstante, es posible encontrar convertidores MDB a un protocolo que maneje el Arduino.

Interfaz con el usuario

La interfaz de usuario es el sistema que nos permite interactuar directamente con la máquina ya sea el cliente o el dueño para realizar las configuraciones necesarias, de esta manera la experiencia de compra se vuelve mejor o peor para el consumidor final. Las

alternativas que se analizan en este apartado son tomadas en base a modelos comerciales que se han visto en funcionamiento.

Opción 1: Teclado + LCD. Esta es la alternativa más común en máquinas expendedoras ubicadas en Ecuador ya que es una tecnología antigua, confiable y que se ha empleado durante los últimos 20 años, consiste en un teclado matricial por donde el cliente ingresa la codificación del producto, el precio se observa directamente en la máquina porque se suele colocar una etiqueta marcada en cada fila y el saldo introducido se va mostrando en la pantalla LCD. Este tipo de interfaz de usuario se muestra en la figura 50.

Figura 50

Interfaz de usuario conformada por un teclado matricial + LCD.



Nota. Tomado de *Placa de Control de máquina expendedora IVMC 60HM*, por BESTZONE, 2022.

Ventajas:

- Es un sistema muy robusto de utilizar en la presentación integrada ya que posee una carcasa metálica protectora.
- Funcionamiento sencillo.
- Puesta en marca simple y programación relativamente simple.

Desventajas:

- Necesita mínimo 8 pines de conexión al controlador.

- Las funciones como cambio de precios son muy complicadas de realizar debido a la complejidad de programación de dichas funciones.
- No presenta innovación.
- Poco atractivo de utilizar para los consumidores.

Opción 2: Pantalla táctil. Esta es la alternativa más innovadora debido a que nos plantea el uso de una tecnología ampliamente empleada y de un costo bajo comparado a las características que nos ofrece, consiste en una pantalla touch como se muestra en la figura 51, por donde el cliente realizaría el pedido de su producto, en la misma pantalla se observaría el precio y cualquier información relevante respecto al producto; de igual manera el dueño utilizaría la pantalla para el ingreso al sistema de cambio de precios y de configuraciones generales de la máquina para que de esta manera su uso sea mucho más sencillo y dinámico.

Figura 51

Máquina expendedora empleando una pantalla táctil como interfaz.



Nota. Tomado de “Crane Merchant Media Touch” por Jaski Automaten, s.f.

Ventajas:

- Dependiendo el protocolo de comunicación que utilice es posible realizar la conexión con un menor cableado comparado a otras interfaces gráficas.

- Es posible generar una mejor experiencia para el cliente mediante el uso de pantallas creativas y mostrar una información más relevante al cliente como puede ser la información nutricional.
- Las funciones son muchos más diversas, desde una pantalla táctil se puede programar el cambio de precios de una forma más sencilla para el dueño de la máquina, lo que hace que la funcionalidad sea más amena.
- Se puede alcanzar una robustez muy alta debido a que ciertos modelos de pantallas touch se venden junto a un case protector.
- Presenta una mayor innovación en el mercado al utilizar este tipo de tecnología contrastando al uso de teclado matriciales junto a LCD.
- El ruido no afecta a la comunicación como es el caso de interfaces que trabajen de forma digital ya que todas operan con un protocolo de comunicación que evita errores en los datos enviados.
- La conexión a nivel de hardware es más sencilla debido a la cantidad reducida de cables.
- Permite la interconexión de otros módulos para agregar funcionalidad a la máquina directamente a la pantalla sin sobrecargar el microcontrolador.

Desventajas:

- El precio es mayor que el de un teclado matriciales junto a LCD.
- Su programación es más compleja dependiendo el tipo de pantalla a utilizar.
- Las fallas son más cruciales ya que al dañarse el touch la máquina queda completamente inutilizable.

Selección de la interfaz de usuario. Considerando los requerimientos necesarios de la máquina y las características dadas para las opciones descritas anteriormente se genera una tabla de selección que permita evaluar las necesidades de la interfaz. La calificación se

realizará del 1 al 5, siendo 1 la peor calificación y 5 la mejor calificación. Los resultados de la selección se muestran en la tabla 11.

Tabla 11

Tabla de selección para la interfaz de 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

En base a los resultados obtenidos en la tabla de comparación anterior la mejor opción para incorporar a la máquina expendedora es el uso de una pantalla táctil debido a que las funcionalidades que se pueden incorporar son sumamente importantes y necesarias para poder diseñar una máquina que sea competitiva en el mercado actual.

Concepto final de la máquina

La máquina expendedora tiene una forma que se asemeja a un prisma rectangular, posee dos compuertas una frontal que permita acceder a las bandejas para reabastecer los productos y una posterior que permita acceder a los actuadores, sensores y elementos eléctricos de la máquina para mantenimiento. En la parte interna de la máquina, se tiene repisas ubicadas verticalmente donde se colocan las bandejas horizontales de almacenamiento una encima de otra.

Como sistema de almacenamiento y dispensado se tiene bandejas horizontales, cada bandeja tiene divisiones y en cada división se tiene un resorte el cual se acopla a un motor

ubicado en la parte posterior de la bandeja. En una venta, el motor se acciona impulsando al resorte, el cual, al girar desplaza linealmente los productos de una división haciendo que uno de estos llegue al filo de la bandeja y caiga a la zona de recogida de producto. Para conseguir dispensar un solo producto el resorte debe dar una revolución completa.

En la parte frontal de la máquina se tiene una zona para la recogida del producto, la cual consiste en una bandeja que al abrirla permita al consumidor recoger el producto e impide que pueda acceder a la máquina y tomar otros productos que no han sido pagados. En una sección de la puerta frontal se tiene una ventana con iluminación que permite al consumidor visualizar los productos almacenados y en otra sección se tiene las ranuras para insertar monedas, recoger vuelto e interactuar con la máquina mediante la interfaz de usuario.

La interfaz de usuario se compone de una pantalla táctil que permite al consumidor seleccionar el producto, consultar precios, observar su crédito actual, pedir devolución, entre otras opciones, mientras que al propietario de la máquina la pantalla le permite modificar precios, realizar configuraciones, revisar la gestión de inventario, etc. La máquina acepta pagos únicamente en efectivo con monedas de diferentes denominaciones. El sistema de cobro trabaja mediante protocolo MDB y permite discriminar el tipo de moneda, realizar el pago y entregar cambio.

En la parte electrónica, la máquina tiene como controlador la placa Arduino Mega 2560, además cuenta con un motor para cada resorte, preactuadores para la activación de los motores, elementos de protección eléctrica, fuentes de alimentación y diferentes sensores. Todos los elementos eléctricos y electrónicos se encuentran almacenados y protegidos dentro de un tablero eléctrico instalado en la parte posterior externa de la máquina. El módulo de cobro se conecta al controlador empleando un convertidor MDB.

El proceso que ejecutará la máquina inicia cuando el usuario selecciona el producto para consultar su precio e ingresa el dinero requerido, si el dinero ingresado es igual o mayor al precio del producto seleccionado la máquina entregará el producto, pasado un tiempo definido

para que el consumidor recoja el producto, la máquina entregará el vuelto en el caso de ser requerido, finalizando así un ciclo de venta.

Diseño Mecánico

El diseño mecánico de la máquina será el conjunto de cálculos, selección, parámetros de construcción y ensamblado para poder cumplir con los requerimientos planteados inicialmente.

Diseño de la estructura de la máquina

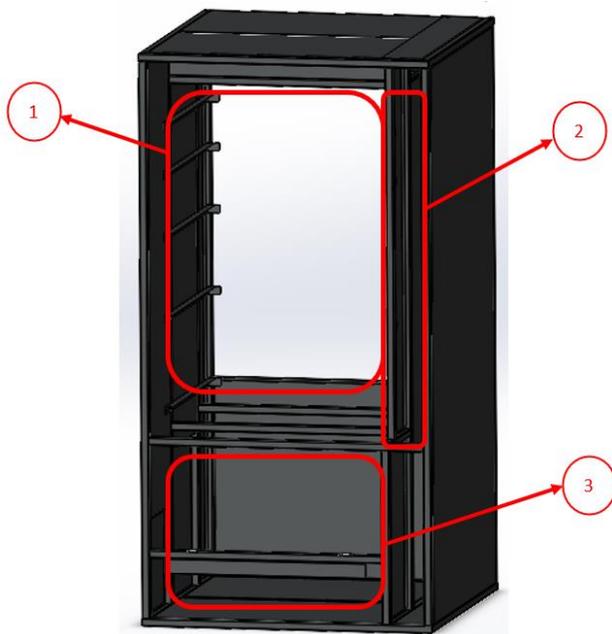
La estructura de la máquina es la que dará forma al cuerpo de la máquina, conforme se planteó en la selección de geometría y forma se utilizará una forma prismática rectangular donde se incluirán todos los componentes.

El diseño de la estructura se basa principalmente en los parámetros que hacen que una máquina expendedora tenga éxito comercial: ergonomía y uso general. Esto nos quiere decir que la máquina expendedora debe adaptarse a las características anatómicas y fisiológicas del hombre para poder trabajar generando un esfuerzo mínimo; a la vez que debe ser orientada a un uso general para la población, es decir, que pueda ser usada por niños, adultos y personas de la tercera edad con la misma facilidad.

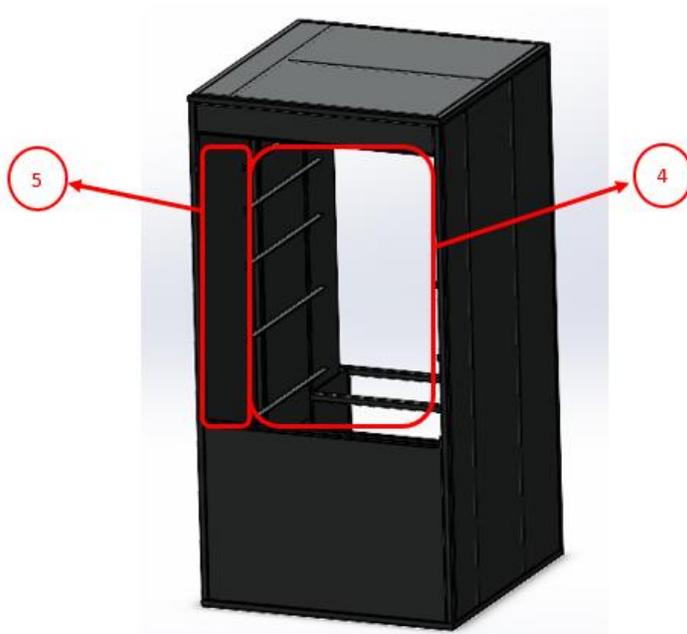
Diseño geométrico. Dentro del diseño geométrico de la estructura se presenta la siguiente propuesta, la cual, se puede observar en la figura 52 y en la figura 53, en base a los requerimientos de tamaño por productos, separación de bandejas, compartimentos de almacenamiento para subsistemas y espacio para cableado y componentes adicionales.

Figura 52

Distribución geométrica parte frontal de la máquina expendedora.

**Figura 53**

Distribución geométrica parte trasera de la máquina expendedora.



La distribución geométrica de la máquina quedaría denotada conforme la tabla 12.

Tabla 12

Descripción del espacio geométrico empleado en la estructura de la máquina expendedora.

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.

Dada la distribución geométrica de la máquina las medidas finales para la estructura de la máquina son las siguientes: 1755mm (altura), 900mm (ancho) y 900mm (profundidad) alcanzando los requerimientos de tamaño planteados en las especificaciones técnicas.

Con estos materiales planteados la estructura de la máquina tiene un peso total de 180 kg, lo cual es inferior al límite planteado en las especificaciones técnicas de 200 kg.

Selección de material. Para la selección del material hay que tomar en consideración los siguientes aspectos relevantes tanto en uso como en funcionalidad y cumplimiento de normativas del buen manejo de alimentos en la industria vending:

- 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.

Teniendo en consideración los requerimientos descritos se seleccionan los materiales mencionados en la tabla 13 para la construcción de la estructura de la máquina, los mismos que junto al modelado CAD tendrán que superar un análisis de elementos finitos para garantizar su correcto funcionamiento ante las cargas de trabajo.

Tabla 13

Materiales planteados para el diseño de la estructura.

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.

Diseño de los resortes de almacenamiento y dispensado

Los resortes de almacenamiento y dispensando cumplen con la función de contener a todos los productos internos en la máquina y a su vez de transportarlos hasta el final del recorrido para que caigan en la bandeja de caída y el cliente los pueda tomar directamente, pese a ello su diseño no se basa en el de un resorte ya que no almacena energía y tampoco trabaja sometido a una carga, es decir, su funcionalidad es netamente de transporte; para ello su diseño se realiza como el de un transportador helicoidal.

Conforme los requerimientos iniciales para cada tipo y tamaño de producto a expender será necesario diseñar cuatro tipos diferentes de resortes distribuidos en las bandejas conforme la tabla 14.

Tabla 14

Almacenamiento de productos en los diferentes resortes a diseñar.

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

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

Conforme las medidas obtenidas en el apartado anterior y con el fin de satisfacer los requerimientos presentados de forma inicial, se dispone de un tamaño de 600 mm para todos los resortes ya que las bandejas en las que estos reposarán darán el espacio suficiente para poder colocar los motores en la parte trasera y dejar espacio para la caída del producto hasta el receptáculo sin interferir con las demás bandejas; además, no tienen un tamaño mayor ya que la recarga sería demasiado complicada para el operador.

Para obtener el paso de cada resorte es necesario dividir el largo total del resorte entre la cantidad de compartimentos que este tendrá, siguiendo la siguiente formulación.

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

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

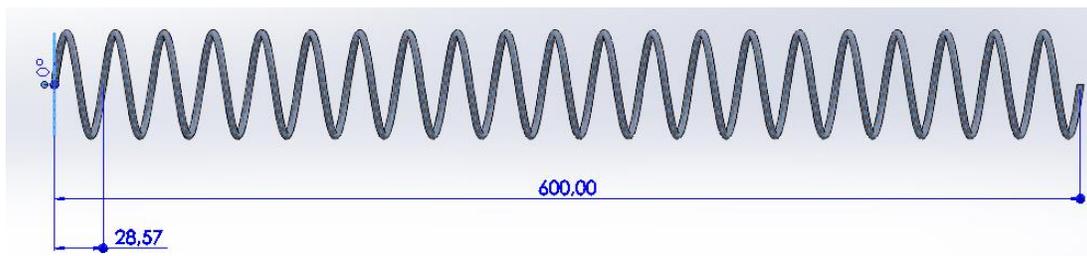
$$Paso = 28.57\ mm$$

Tomando en cuenta los tamaños mínimos de los productos que se van a comercializar esta es la cantidad idónea de compartimentos para poder diseñar este resorte con el objetivo

de optimizar el espacio dentro de la máquina y reducir las recargas de la máquina en su operación normal. Como resultado final se tiene el resorte mostrado en la figura 54:

Figura 54

Geometría del resorte para productos muy pequeños.



En primer lugar, se calcula el área de relleno del canalón, que se definiría como el área ocupada por el material que transportaría el resorte, que en este caso sería utilizado por los productos.

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

Donde:

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

En la tabla 15 se muestran los valores del coeficiente de relleno según el tipo de material a transportar.

Tabla 15

Valor del coeficiente de relleno según el material.

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

Nota. Tomado de *Cálculo de Transportadores de Tornillo Sin Fin*, por Rodríguez Galbarro, s.f.

Como se puede observar, el coeficiente para una carga ligera y no abrasiva es de 0.4 por lo que se utiliza este valor para el cálculo.

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

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

El siguiente paso es calcular la velocidad de desplazamiento del transportador de manera que el producto se pueda desplazar de forma libre.

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

Donde:

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

Para calcular la velocidad del motor a pasos es necesario obtener los datos específicos del motor NEMA 17 que se está usando y aplicar la siguiente fórmula para obtener el tiempo que tarda el motor en dar un paso.

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

Donde:

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

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

$$Tiempo\ por\ paso = 0.833 ms$$

Como la programación del motor está dada en que se generen 200 pasos por revolución se tiene la siguiente velocidad de rotación en RPM.

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

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

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

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

Conociendo la velocidad en la que trabajará el resorte de transporte es necesario calcular el flujo de material dado dentro del resorte para poder obtener la potencia de accionamiento.

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

Donde:

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

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

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

Entonces la potencia de accionamiento sería:

$$P = P_H + P_N$$

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.

$$P_H = C_0 \frac{Q * L}{367}$$

Donde:

- C_0 : es el coeficiente de resistencia del material.
- L : es la longitud del resorte.

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

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

$$P_N = \frac{D * L}{20}$$

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

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

$$P = 4.567 + 1.8$$

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

De igual manera se obtienen los valores de potencia para los demás tipos de resortes, los que se resumen en la tabla 16.

Tabla 16

Potencia necesaria para el accionamiento de cada resorte.

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 y embotellados	80 mm	600 mm	85.71 mm	10.518 W

Diseño de las bandejas de almacenamiento

Las bandejas de almacenamiento son las encargadas de soportar todos los resortes, motores y productos además de su propio peso durante la operación de la máquina. La

bandeja se encuentra empotrada en los dos extremos de las vigas en L que se mostraron en el diseño de la estructura, las bandejas son construidas del mismo material que el resto de la estructura (acero negro).

La bandeja diseñada tiene una geometría específica y el objetivo de los cálculos será obtener las reacciones en los apoyos para que el análisis de elementos finitos permita visualizar si existirá deformación en la estructura de la máquina.

Existen dos tipos de bandejas conforme los requerimientos establecidos para la cantidad de productos, un tipo de bandeja será destinado para la fila A que contiene productos de bajo tamaño y otro tipo de bandeja para las filas B, C, D y F que contienen productos de tamaño mediano, grande y bebidas embotelladas. Las medidas de la bandeja tipo 1 se muestra en la figura 55, mientras que las medidas de la bandeja tipo 2 se muestran en la figura 56.

Figura 55

Medidas de la bandeja tipo 1.

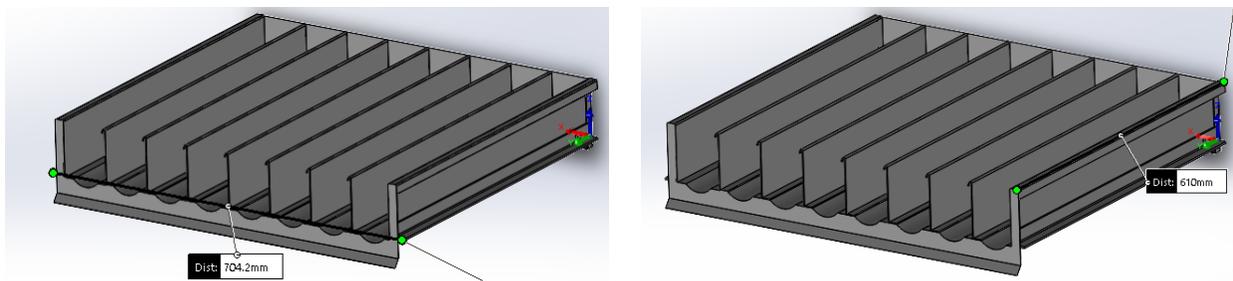
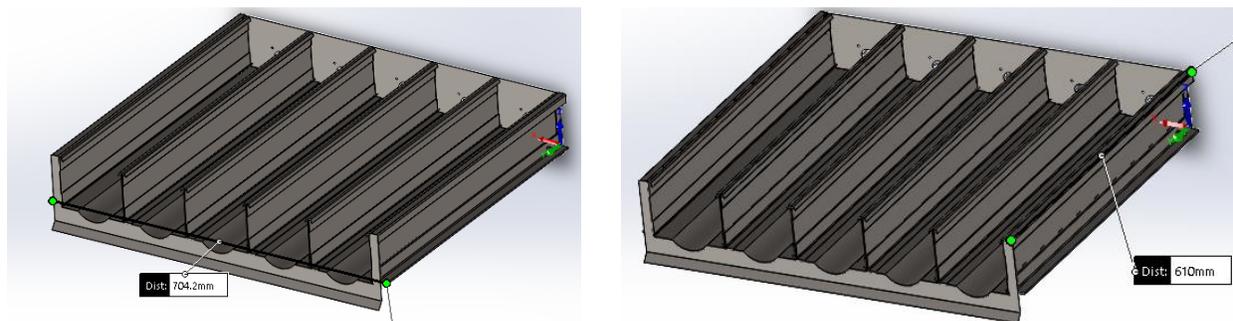


Figura 56

Medidas de la bandeja tipo 2.

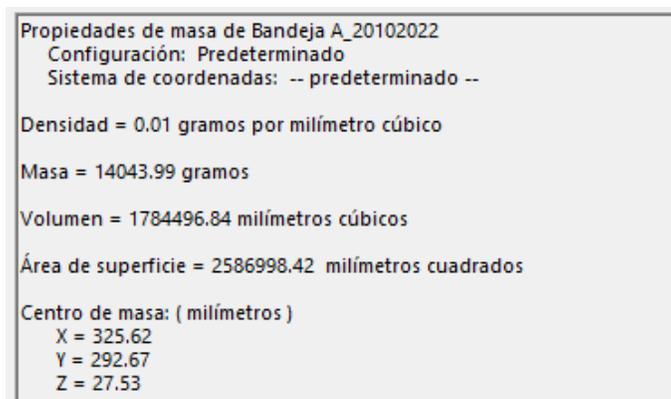


Dadas las medidas de la máquina se considera a la bandeja como una viga con dos apoyos fijos en los ejes X y Y, para esto es necesario obtener la carga distribuida como la suma de las cargas distribuidas de todos los elementos.

1. Peso de la bandeja: el peso de la bandeja se obtiene directamente del programa SolidWorks.
 - a. Para la bandeja de la fila A, las propiedades físicas se muestran en la figura 57.

Figura 57

Propiedades físicas de la bandeja tipo 1.

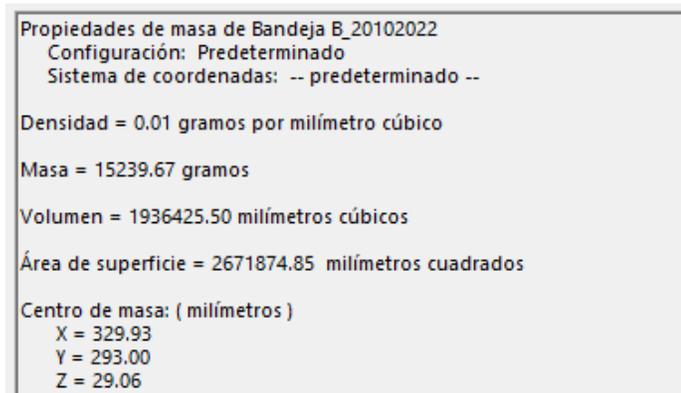


$$Peso_{bandeja} = 15.2397 \text{ kg}$$

- b. Para la bandeja de las filas B, C, D y E, las propiedades físicas se muestran en la figura 58.

Figura 58

Propiedades físicas de la bandeja tipo 2.



$$Peso_{bandeja} = 15.2397 \text{ kg}$$

2. Peso de los resortes: el peso de los resortes se obtiene directamente del programa SolidWorks, los resortes están fabricados con acero SAE 1070 y para tener mayor seguridad se realiza el cálculo con los resortes más pesados.
- a. Para los resortes de la bandeja de la fila A, las propiedades físicas se muestran en la figura 59.

Figura 59

Propiedades físicas de los resortes de la fila A.

Propiedades de masa de Resorte Bandeja A1A4 Configuración: Predeterminado Sistema de coordenadas: -- predeterminado -- Densidad = 0.00 gramos por milímetro cúbico Masa = 50.44 gramos Volumen = 50439.16 milímetros cúbicos Área de superficie = 50753.00 milímetros cuadrados Centro de masa: (milímetros) X = 295.74 Y = 0.02 Z = 0.01	Propiedades de masa de Resorte Bandeja A5A8 Configuración: Predeterminado Sistema de coordenadas: -- predeterminado -- Densidad = 0.00 gramos por milímetro cúbico Masa = 24.39 gramos Volumen = 24392.35 milímetros cúbicos Área de superficie = 25011.08 milímetros cuadrados Centro de masa: (milímetros) X = 291.34 Y = 0.00 Z = 0.02
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

$$Masa = Volumen \times Densidad$$

$$Densidad_{SAE1070} = 7.8 \frac{g}{cm^3}$$

$$Masa_{A1} = 50.439 * \frac{7.8}{1000} = 0.3934 \text{ kg}$$

$$Masa_{A2} = 24.392 * \frac{7.8}{1000} = 0.1903 \text{ kg}$$

$$Masa_{totalFA} = 0.3934 * 4 + 0.1903 * 4 = 2.3348 \text{ kg}$$

- b. Para los resortes de la bandeja de la fila B y C, las propiedades físicas se muestran en la figura 60.

Figura 60

Propiedades físicas de los resortes de las filas B y C.

Propiedades de masa de Resorte Bandeja BC Configuración: Predeterminado Sistema de coordenadas: -- predeterminado -- Densidad = 0.00 gramos por milímetro cúbico Masa = 29.35 gramos Volumen = 29345.49 milímetros cúbicos Área de superficie = 29888.24 milímetros cuadrados Centro de masa: (milímetros) X = 290.91 Y = -0.04 Z = -0.16

$$Masa = Volumen \times Densidad$$

$$Masa_{BC} = 29.345 * \frac{7.8}{1000} = 0.2289 \text{ kg}$$

$$Masa_{totalFBC} = 0.2289 * 5 = 1.1445 \text{ kg}$$

- c. Para los resortes de la bandeja de la fila D y E, las propiedades físicas se muestran en la figura 61.

Figura 61

Propiedades físicas de los resortes de las filas D y E.

Propiedades de masa de Resorte Bandeja DE Configuración: Predeterminado Sistema de coordenadas: -- predeterminado -- Densidad = 0.00 gramos por milímetro cúbico Masa = 23.07 gramos Volumen = 23069.87 milímetros cúbicos Área de superficie = 23722.51 milímetros cuadrados Centro de masa: (milímetros) X = 287.55 Y = 0.00 Z = 0.03

$$Masa = Volumen \times Densidad$$

$$Masa_{DE} = 23.069 * \frac{7.8}{1000} = 0.18 \text{ kg}$$

$$Masa_{totalFDE} = 0.18 * 5 = 0.9 \text{ kg}$$

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, el cual, se muestra en la figura 62.

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

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

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

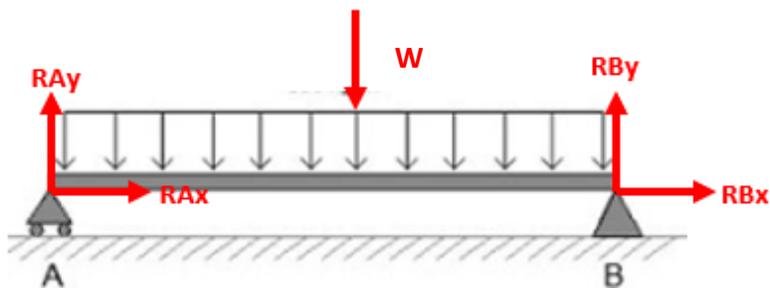
$$W_{FBC} = 53.5842 * 9.81 = 525.66 \text{ N}$$

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

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

Figura 62

Diagrama de cuerpo libre de las bandejas.



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

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

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

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

Diseño del receptáculo o bandeja de caída

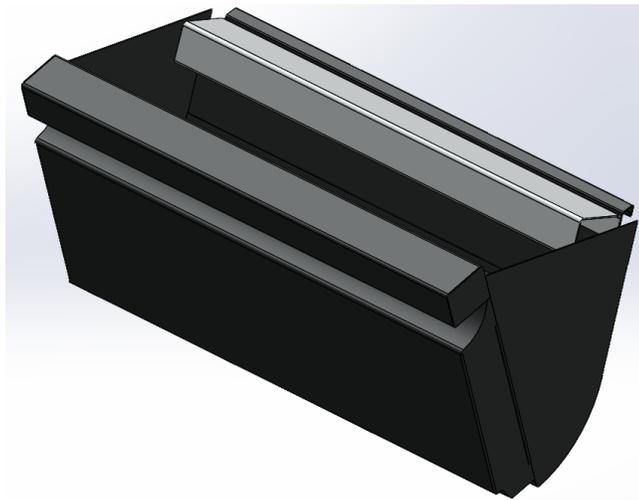
El receptáculo es el elemento encargado de recibir el producto dispensado para que el cliente lo tome de forma manual, presenta las características:

- 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.

La parte diseñada debe tener una geometría muy exacta para poder cumplir con los requerimientos establecidos. Para ello se ha diseñado la siguiente parte que se muestra en la figura 63.

Figura 63

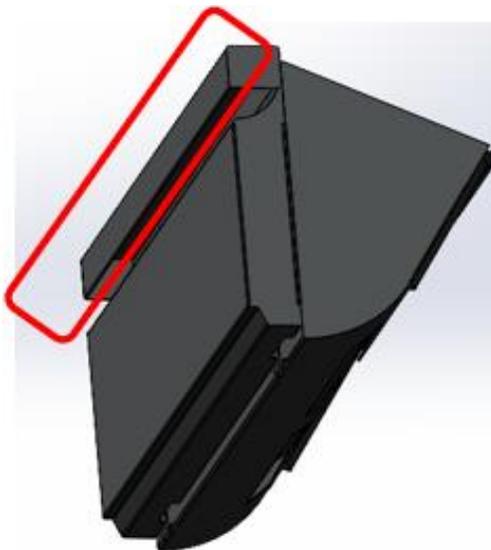
Bandeja de caída diseñada.



Como se puede observar en la figura 62, la bandeja de caída tiene un ángulo de inclinación hacia un fondo curvo, esto permite que los productos no se dañen durante la caída ya que se amortigua la caída con la forma de la bandeja. Por otro lado, la bandeja posee una agarradera suave, como se muestra en la figura 64, para que el cliente pueda tirar de ella y tomar el producto con un mecanismo conformado por dos bisagras que generan un movimiento rotativo.

Figura 64

Agarradera de la bandeja de caída.



Para cumplir con el requerimiento de que la bandeja permita separar el inventario interno del producto que el cliente va a tomar, se diseñó la geometría de forma que cuando el cliente gire el mecanismo para tomar el producto se bloqueé el acceso al interior de la máquina mediante una plancha que hace el trabajo de cerradura, como se muestra en la figura 65. La geometría debe ser exacta para que no sea posible ingresar ningún objeto ni la mano de una persona.

Figura 65

Mecanismo con bisagras para retirar producto de la máquina.

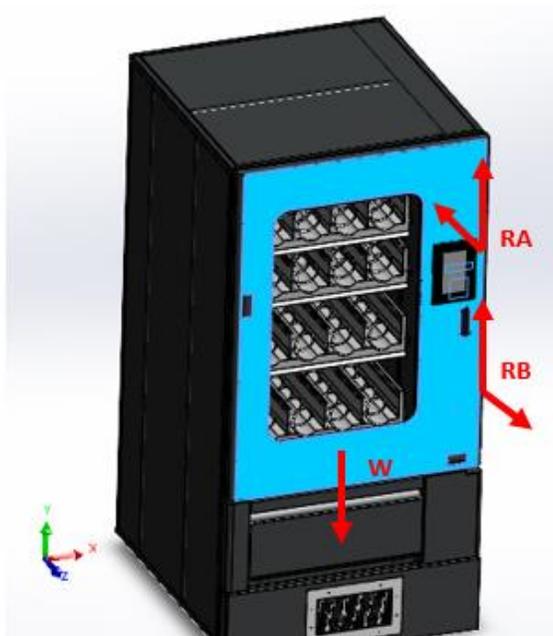


Diseño de la puerta frontal

La puerta de la máquina expendedora está sujeta por dos bisagras que deben ser capaces de soportar el peso de la puerta junto con el vidrio. Para ello tenemos la siguiente denotación de la puerta que se muestra e la figura 66.

Figura 66

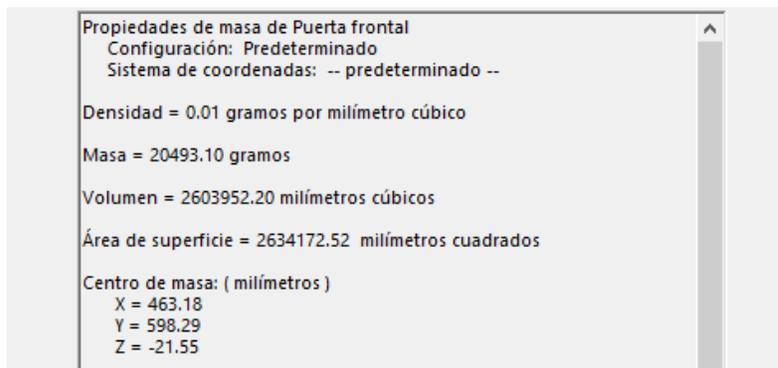
Diagrama de cuerpo libre de la puerta frontal.



La puerta está manufacturada con acero negro, para lo cual se tomará el peso que nos entrega el programa SolidWorks y se muestra en la figura 67.

Figura 67

Propiedades físicas de la puerta frontal diseñada.



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

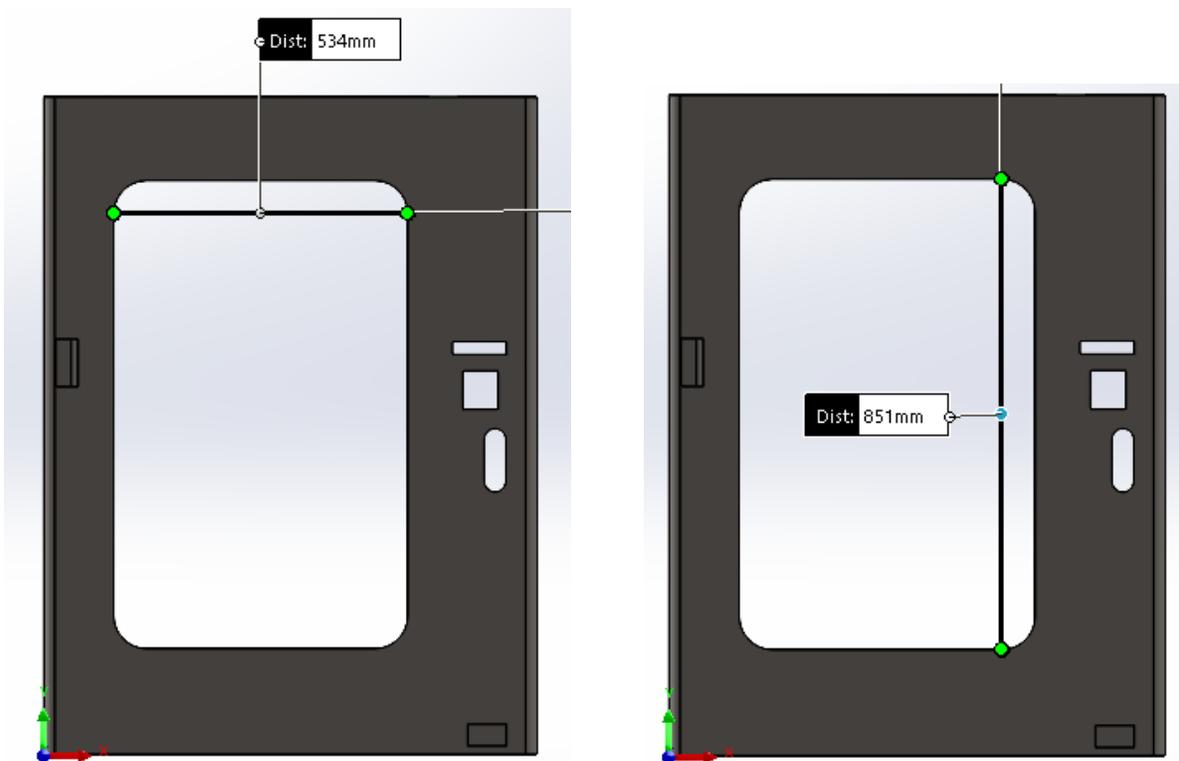
Necesitamos considerar el peso que ejerce el vidrio sobre la puerta ya que es de tamaño considerable como se muestra en la figura 68, para lo cual se tiene:

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

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

Figura 68

Dimensiones del vidrio colocado en la puerta frontal.



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

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

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

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

Entonces la masa total que soportan las bisagras es:

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

$$Peso_{total} = Masa_{total} * gravedad$$

$$Peso_{total} = 27.3115 * 9.81 = 267.926 N$$

Reacciones en el eje Y:

$$\sum F_y = 0$$

$$2R - W = 0$$

$$R = \frac{W}{2}$$

$$R = 133.963 N$$

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

Reacciones en el eje X:

$$\sum MA = 0$$

$$-R_{Bx} * 0.995 + W * (0.893 - 0.59829) = 0$$

$$R_{Bx} = \frac{W * (0.893 - 0.59829)}{0.995} = 79.357 N$$

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

Verificación de los esfuerzos soportados mediante elementos finitos

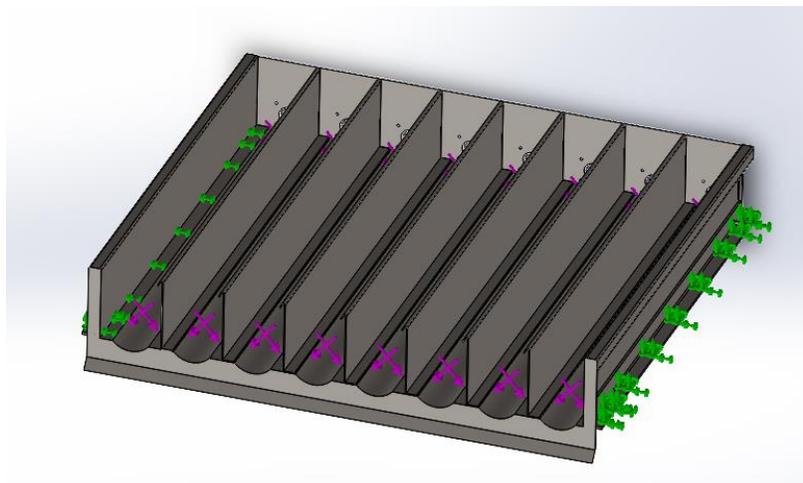
Verificar los esfuerzos de la máquina mediante elementos finitos nos permitirá comprobar la resistencia mecánica de las partes diseñadas con el fin de garantizar que no existirán fallas mecánicas durante su funcionamiento, la verificación se hará de forma específica a elementos que soportan cargas de forma directa como lo son las bandejas y la estructura.

Esfuerzos en Bandejas. Los esfuerzos para la bandeja de la fila A se calculan en base al diseño de Bandejas, el cual, nos permitió conocer la carga total en la bandeja (537.33 N) para poder realizar la simulación de la bandeja y comprobar su resistencia.

Como se puede observar en la figura 69, la bandeja presenta una sujeción en la parte inferior donde reposa la bandeja dentro de la estructura de la máquina y una fuerza distribuida correspondiente a los cálculos realizados durante el diseño de la bandeja.

Figura 69

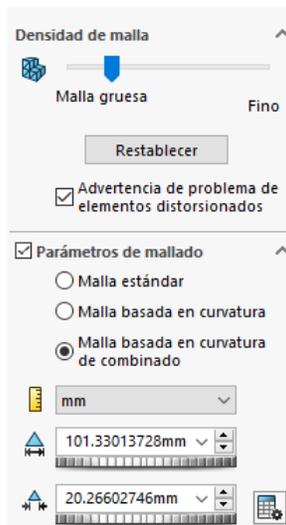
Diagrama de cuerpo libre para la bandeja de la fila A en SolidWorks.



Como se observar notar en la figura 70, se realiza un mallado al 25% de finura y se utiliza un mallado basado en curvatura combinada ya que la pieza contiene curvaturas pronunciadas y elementos rectos dentro de su estructura.

Figura 70

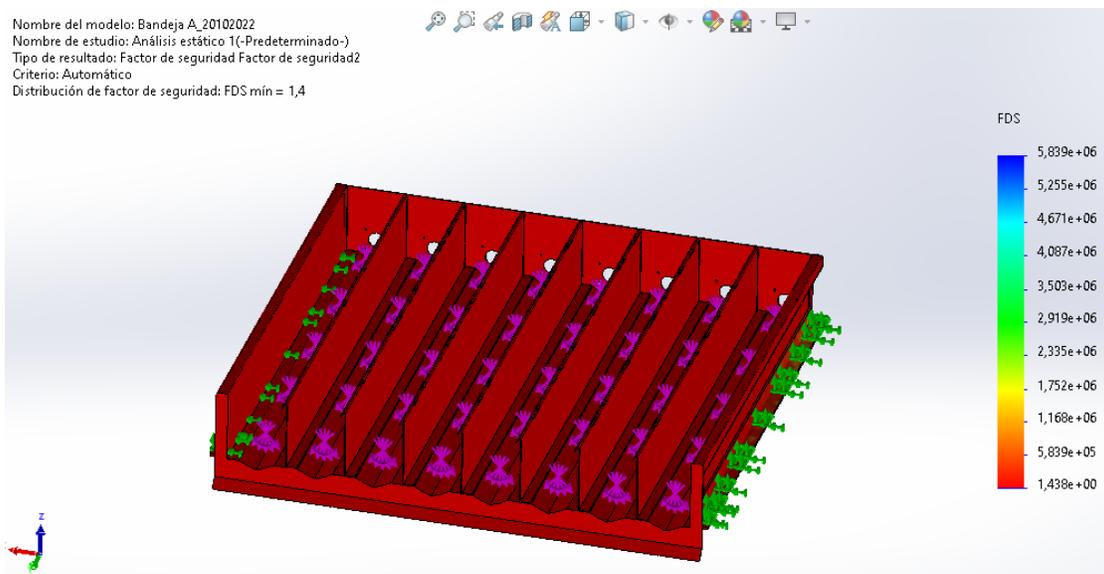
Parámetros de mallado para el análisis estático.



Como se puede observar en la figura 71, la bandeja presenta un factor de seguridad de 1.4, el que nos asegura que la bandeja es capaz de soportar la carga máxima que se detalla en el cálculo del diseño de las bandejas.

Figura 71

Resultados del análisis estático para la bandeja de la fila A.



El detalle de las simulaciones realizadas en el resto de las bandejas con las mismas configuraciones y la carga correspondiente se detalla en la tabla 17.

Tabla 17

Resultados del análisis estático para las bandejas (Factores de seguridad).

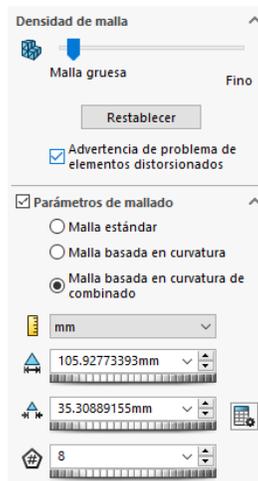
Bandeja	Factor de seguridad
Fila A	1.4
Fila B, C	2.3
Fila D y E	1.7

Esfuerzos en la estructura. El análisis por elementos finitos de la estructura se realiza con el fin de comprobar que las cargas aplicadas en la estructura, donde se encuentran las bandejas, sea capaz de soportar todo el peso y operación de la bandeja cargada con productos, resortes y motores.

Los parámetros de mallado que se han manejado es un mallado basado en curvatura combinado debido a que existen partes curvas en las que nos interesa generar un mallado más preciso, dichos parámetros se muestran en la figura 72.

Figura 72

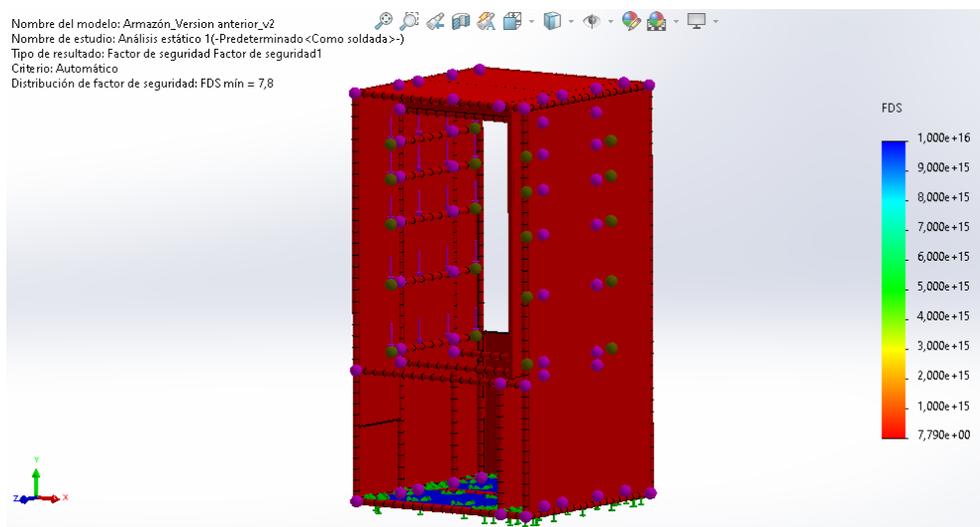
Parámetros de mallado para la estructura.



El análisis que se realiza busca obtener un factor de seguridad mayor a 1 para garantizar que la estructura será capaz de soportar todas las cargas, los resultados del análisis estático se pueden observar en la figura 73.

Figura 73

Resultados del análisis estático para la estructura.



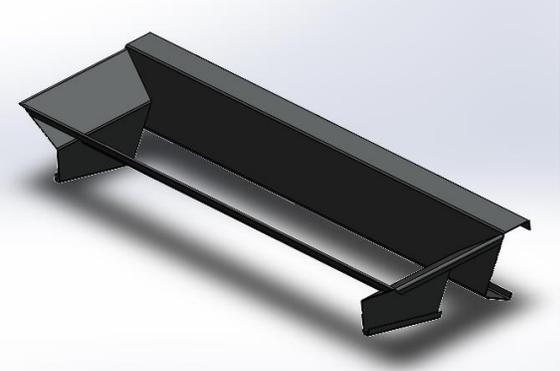
Como se puede notar el factor de seguridad de la estructura sometida a las cargas es de 7.8, esto nos indica que la estructura no tendrá ningún problema durante su operabilidad.

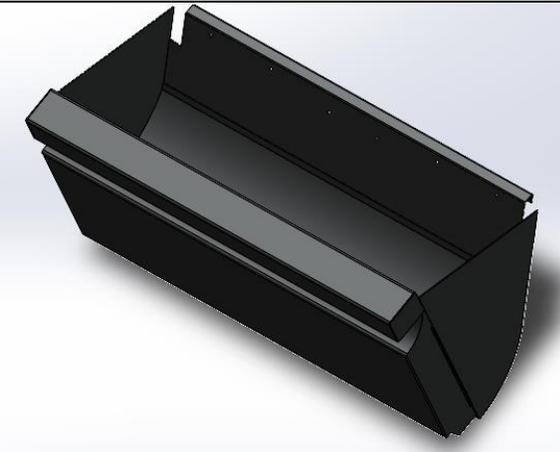
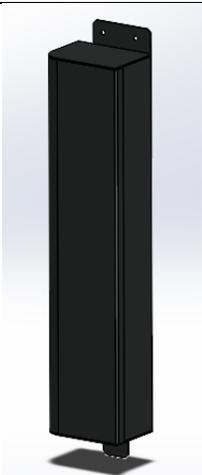
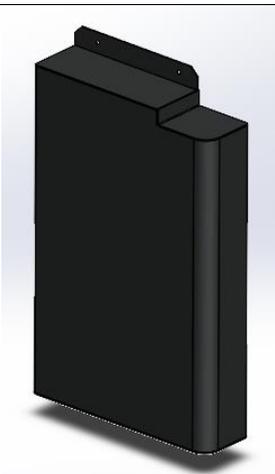
Modelado CAD de la máquina expendedora diseñada

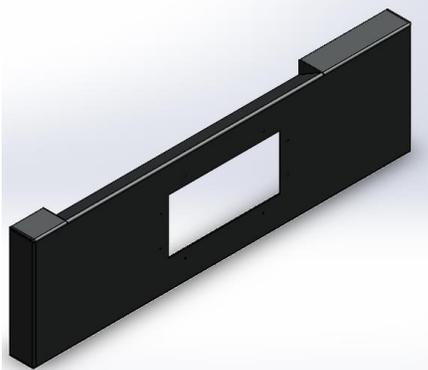
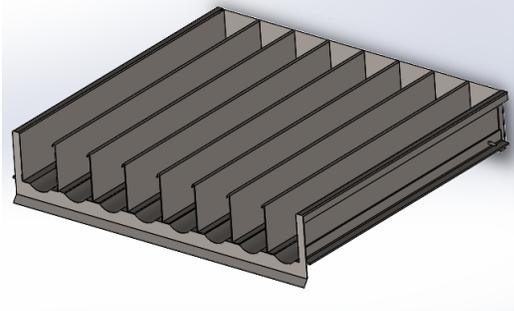
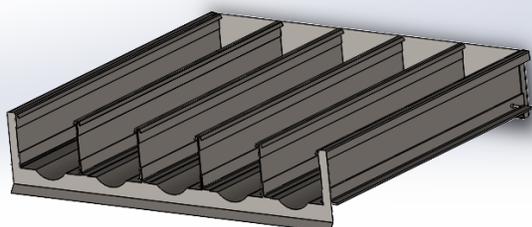
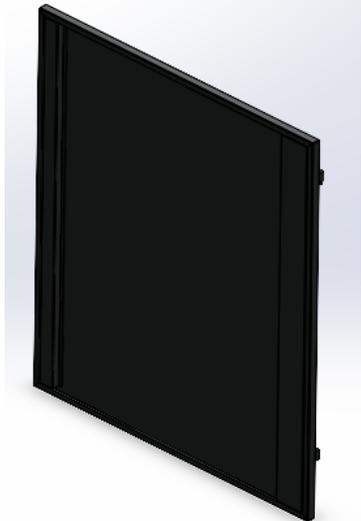
El modelado CAD de la máquina se realiza en el programa SolidWorks, para lo cual se toma en consideración todas las especificaciones preliminares, las partes de la máquina se pueden observar en la tabla 18.

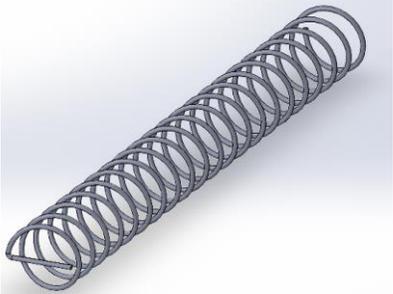
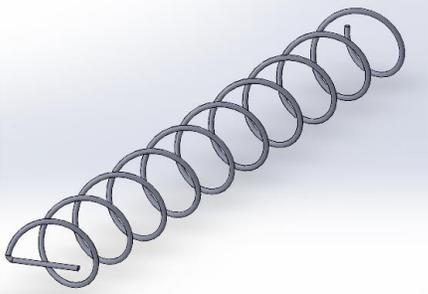
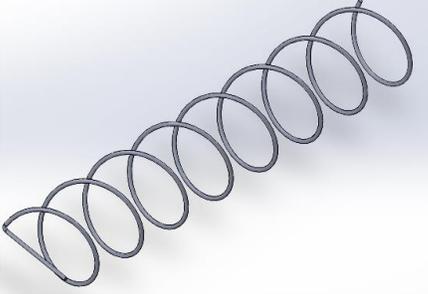
Tabla 18

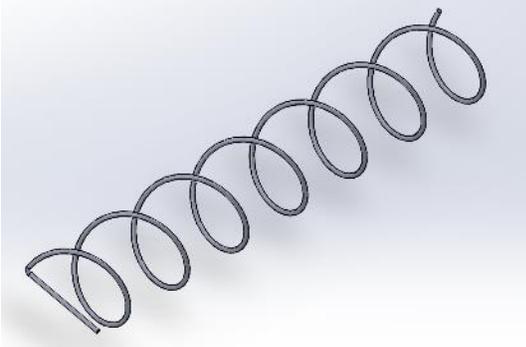
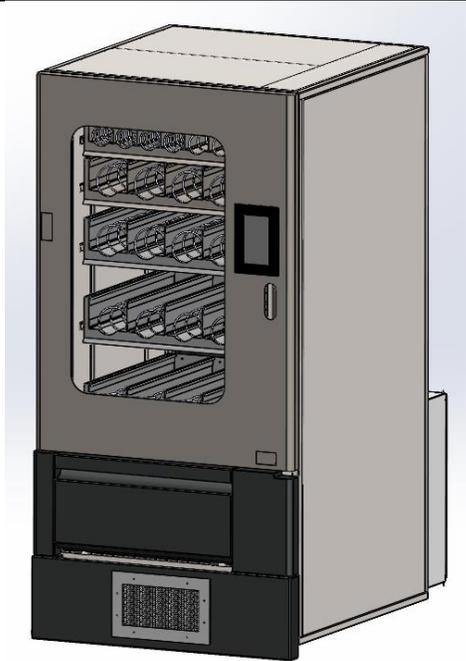
Piezas mecánicas de la máquina expendedora diseñada.

Parte	Diseño CAD
Estructura	
Bandeja caída	

Parte	Diseño CAD
Receptáculo	
Cubierta inferior izquierda	
Cubierta inferior derecha	

Parte	Diseño CAD
Cubierta inferior frontal	
Bandeja Fila A	
Bandeja Fila B, C, D y E	
Puerta posterior	

Parte	Diseño CAD
Puerta frontal	
Resorte productos muy pequeños	
Resorte productos pequeños	
Resorte productos medianos	

Parte	Diseño CAD
Resorte productos grandes y bebidas embotelladas	
Máquina expendedora Ensamblada	

Manufactura y ensamblaje de los elementos mecánicos

La manufactura y ensamblaje de los elementos mecánicos se realizó pieza por pieza conforme los diseños planteados, cada parte fue realizada en los materiales especificados y conjuntamente se ensamblaron para poder obtener la composición mecánica necesaria, en la tabla 19 se puede observar cada pieza por separado.

Tabla 19*Partes manufacturadas y ensambladas en máquina*

Parte Manufacturada	Imagen
Estructura interna	
Limitador de receptáculo	

Parte Manufacturada	Imagen
Bandeja de almacenamiento	
Cubierta lateral izquierda	
Cubierta lateral derecha	
Cofre	

Parte Manufacturada	Imagen
Receptáculo	
Bandeja de caída	
Estructura para entrega de cambio	
Bandejas montadas en la estructura	

Parte Manufacturada	Imagen
Ensamblaje de motores a bandejas	
Ensamblaje de bandejas con resortes en estructura	

Diseño electrónico

Identificación de componentes electrónicos disponibles

Para el diseño de la máquina expendedora se utilizó elementos ya existentes entregados por parte de la empresa patrocinadora, dichos elementos, aunque no son los utilizados a nivel global para la construcción de este tipo de máquina pueden ser adaptados para que funcionen de forma correcta dentro del sistema, los elementos ya existentes permitieron orientar la

selección de los diferentes elementos de control como sensores y drivers que permiten que la máquina tenga un funcionamiento idóneo.

Los componentes electrónicos ya disponibles para el diseño de la máquina expendedora se detallan en la tabla 20.

Tabla 20

Identificación de elementos disponibles para la construcción de la máquina expendedora.

Elemento	Imagen
Arduino Mega	 A blue Arduino Mega microcontroller board with various components like a USB Type-B port, a DC power jack, and several integrated circuits.
Motor a pasos NEMA 17	 A silver NEMA 17 stepper motor with a central shaft and four colored wires (red, green, blue, yellow) connected to a small black connector.
Motor AC	 A photograph of an AC motor assembly, showing a black cylindrical motor mounted on a metal base with a green terminal block.
Monedero MEI CF700	 A MEI CF700 coin changer, a vertical machine with a coin slot at the top, a coin tray, and a coin return mechanism.

Elemento	Imagen
Monedero Wei-YA	 A black coin acceptor device with a pink coin slot on the left and a coin return mechanism on the right. A yellow label with 'HI-09FCS' and 'Multi coin acceptor' is visible on the front panel.
Pantalla LCD 16x2	 A 16x2 character LCD display module with a green PCB and a blue screen.
Teclado matricial 4x4	 A 4x4 matrix keypad with a black PCB and a white ribbon cable. The keypad has 16 buttons arranged in a 4x4 grid, with numbers 1-9, 0, and letters A, B, C, D.

De los elementos electrónicos disponibles y otorgados por parte de la empresa patrocinadora no todos serán destinados para la construcción de la máquina puesto que se sometieron a pruebas de funcionamiento y se descartaron elementos como el monedero Wei-YA y también buscando un alto alcance tecnológico y escalabilidad alta por lo que también se descarta el uso de la pantalla LCD y teclado matricial para cambiarlo por el uso de una pantalla táctil que brindará una mejor experiencia al cliente.

Dimensionamiento y selección de motores

Los motores que se van a utilizar deben ser capaces de mover los resortes junto con los productos de forma eficiente, en el cálculo de resortes se determinó la potencia necesaria para poder accionar los resortes junto con los productos, es necesario seleccionar un motor que sea capaz de entregar la potencia necesaria para dichas cargas.

$$P = V * I$$

Donde:

- P: potencia.
- V: voltaje.
- I: corriente.

El detalle de los cálculos se muestra en la tabla 21.

Tabla 21

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

Como se puede observar en la tabla 21, la corriente más alta es la de los productos medianos que tiene un valor de 1.08 A, por lo que el motor que se seleccione debe ser capaz de soportar esta corriente de operación y a su vez entregar la potencia necesaria. El valor del voltaje se mantiene constante ya que la fuente de alimentación entrega este valor rectificado y sin ruido.

Los motores proporcionados por la empresa auspiciante fueron motores NEMA 17, es importante poder verificar que dichos motores sean capaces de soportar las cargas a las cuales se ha diseñado la máquina, para ello se detallan las especificaciones en la tabla 22.

Tabla 22

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

Se toma en consideración que la corriente de trabajo en la cual opera el motor NEMA 17 proporcionado entra dentro de los parámetros necesarios, de esta manera se confirma que el motor es idóneo para el funcionamiento de la máquina expendedora.

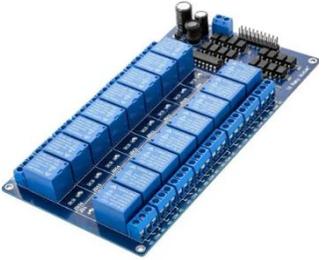
Selección de elementos para la activación y control de motores

Los motores a pasos y los motorreductores AC empleados para impulsar los resortes en la máquina, requieren de elementos adicionales que permitan su activación y control mediante señales digitales manejadas por el Arduino Mega.

Elementos para el control de motorreductores AC. Para la activación de cada motorreductor AC se requiere de un interruptor automático controlado por el Arduino, este interruptor debe ser capaz de abrir y cerrar el circuito para permitir la circulación de energía y por ende la activación del motor. Cada motorreductor que se emplea en la máquina es monofásico, la tensión nominal es de 115V AC a una frecuencia de 60Hz, tiene una corriente nominal de 2.4 A con un pico máximo de corriente de hasta 4 A en el arranque y su potencia es menor a los 300 W. En base a las especificaciones descritas se selecciona un módulo de 16 relés empleados generalmente para la activación de cargas de alto voltaje y baja potencia, de los 16 relés disponibles únicamente se ocuparán 10 de ellos, debido a que, solo se tendrá 10 motorreductores AC instalados. Las especificaciones de este módulo se detallan en la tabla 23.

Tabla 23

Especificaciones del módulo seleccionado para la activación de los motorreductores AC.

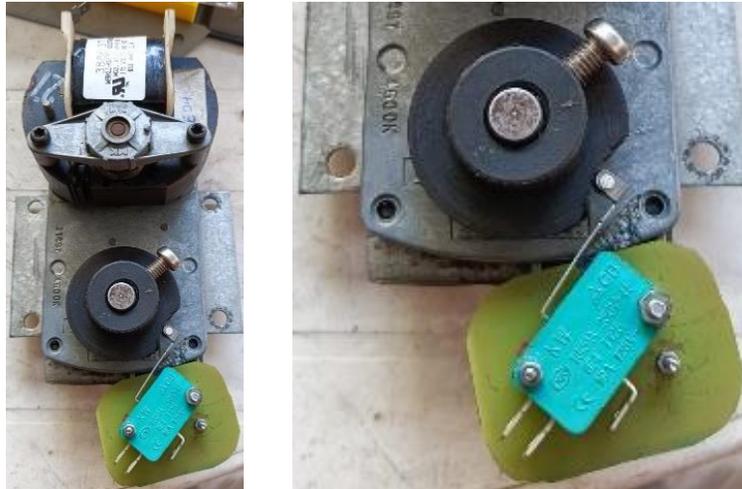
Nombre del componente	Componente	Especificaciones
Módulo de Relé 16 canales		<ul style="list-style-type: none"> • Voltaje de operación: 12V DC • Señal de control: 3.3 o 5 V (TTL) • N° de canales: 16 • Carga soportada por los contactos: 125 VAC a 10A • Tiempo de acción: 5 a 10 ms • Activación de relé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

En una venta, el motor será activado para impulsar el resorte que entregará el producto seleccionado al comprador, una vez entregado el producto el motor debe ser desactivado. Además, se necesita que el resorte de un giro completo para dispensar un producto. Para conocer si el resorte ha dado un giro completo en el caso de los motorreductores AC, se requiere de un sensor que envíe una señal al controlador indicándole que el motor debe ser desactivado ya que el producto ya ha sido dispensado.

Debido a las características geométricas del motorreductor, se ha decidido emplear un fin de carrera en conjunto con una leva acoplados en la parte posterior del motorreductor, de tal forma, que el fin de carrera se mantenga presionado durante el giro del resorte y cambie de posición cuando el resorte ha dado una revolución completa. El sistema descrito se muestra en la figura 74.

Figura 74

Motorreductor AC con el sistema compuesto por un fin de carrera y una leva para detectar su posición.



Elementos para el control de motores a pasos. Por el principio de funcionamiento de un motor a pasos se quiere de elementos diferentes a los seleccionados anteriormente para su activación y control. Cada motor a pasos requiere un circuito adicional compuesto de transistores de potencia que permita aplicar tensión a las bobinas del motor en la secuencia adecuada para que el rotor gire, esta red de transistores requiere de señales de control emitidas por un microcontrolador para realizar la activación y control del motor a pasos.

Cada motor a pasos que se emplea en la máquina es un Nema 17, su tensión nominal es de 12V DC y tiene una corriente nominal de 2 A con un pico máximo de corriente de hasta 2.4 A. Para el control de este tipo de motores se ha seleccionado el drive L298N, el cual es un doble puente H empleado generalmente para el control de dos motores DC o de un motor a pasos y la activación del motor puede ser controlado desde el Arduino a través de señales digitales. Las especificaciones de este driver se muestran en la tabla 24.

Tabla 24

Especificaciones del driver seleccionado para la activación de los motores a paso.

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

Al igual que los motorreductores AC, los motores a pasos deben detenerse en el momento que el resorte haya dado un giro completo, no obstante, en este tipo de motores el desplazamiento angular se puede controlar sin necesidad de un elemento adicional como un sensor, ya que al conocer el número de pasos requeridos por el motor para dar una revolución completa se lo puede detener el momento exacto en el que el resorte ha entregado un producto. Además, si se conoce también la velocidad de rotación del motor se puede realizar un control del giro por tiempo.

Selección de elementos para el sistema de cobro

Los elementos del sistema de cobro permitirán receiptar el pago del comprador y entregar cambio en el caso de ser requerido. Por el momento, se habilitará únicamente un método de pago por monedas, debido a que los productos que se van a comercializar son de bajo costo y no tiene sentido que la máquina acepte billetes de un valor mayor a los cinco dólares, por lo tanto, se implementará el monedero MEI CF7000 que permite identificar 5

denominaciones monetarias diferentes y entregar cambio. Este monedero se comunica con el controlador por medio del protocolo de comunicación MDB y al emplear este protocolo de comunicación se deja abierta la posibilidad de incluir diferentes módulos de pago en el futuro como billetteros o cashless, debido a que cualquier módulo que maneje protocolo MDB puede conectarse a la red sin necesidad de realizar cambios significativos en la conexión.

El Arduino Mega empleado como controlador principal de la máquina no maneja el protocolo de comunicación MDB de los módulos de cobro, por lo que, se requiere emplear otros elementos que también formarán parte del sistema de cobro. El primer elemento necesario es un convertidor MDB a RS232 que se emplea principalmente para conectar un módulo de cobro a un computador o dispositivo que maneje RS232, pero como no es el caso del Arduino se requiere además un módulo convertidor RS232 a serial TTL para adaptar los niveles de voltaje del RS232 ($\pm 12V$) a un nivel de voltaje TTL para el microcontrolador (5V). Las especificaciones de los elementos seleccionados para el sistema de cobro se mencionan en la tabla 25:

Tabla 25

Elementos seleccionados para el sistema de cobro con sus respectivas especificaciones.

Nombre del componente	Componente	Especificaciones
Módulo de cobro tipo monedero		<ul style="list-style-type: none"> • Fabricante: MEI – Modelo: CF 7000 • Voltaje de alimentación: 24 a 34 V DC • Potencia: 12 W • Protocolo de comunicación: MDB • Diámetro de monedas: 15 a 28.5 mm • Grosor de las monedas: 1.5 a 3.3 mm • Velocidad de entrega: 2 monedas/s • Capacidad de entregar cambio de acuerdo con las monedas disponibles. • Posee 5 tubos para almacenamiento de monedas.

Nombre del componente	Componente	Especificaciones
Convertidor MDB a RS232		<ul style="list-style-type: none"> • Adaptador MDB para PC convierte protocolo MDB a RS232. • Puede utilizarse para cualquier placa que maneje RS232. • Voltaje de alimentación: 24V DC • Material de la carcasa: plástico ABS • Se puede conectar hasta 8 módulo de cobro que manejen protocolo MDB. • Conector para RS232: DB9 macho • Longitud cable RS232: 400 mm • Longitud cable MDB: 600 mm
Convertidor RS232 a TTL		<ul style="list-style-type: none"> • Modelo del módulo: MAX232 • Voltaje de alimentación: 3.3 a 5V DC • Corriente de operación: 6 mA • Conector para RS232: DB9 hembra • Comunicación: UART • Convierte RS232 a TTL

Selección de la pantalla táctil

Para el desarrollo de la interfaz de usuario se empleará una pantalla táctil, la cual debe ser compatible con el controlador Arduino Mega 2560, con una buena resolución y a color, con un tamaño adecuado para facilitar el uso por parte del consumidor o propietario. Y tenga una buena relación entre calidad y costo. Por estas razones se ha decidido emplear la pantalla Nextion de 7 pulgadas, la cual, se puede programar desde su software de desarrollo llamado Nextion Editor, lo que facilita el desarrollo e implementación de una interfaz gráfica. Las especificaciones más importantes de la pantalla se muestran en la tabla 26:

Tabla 26

Especificaciones de la pantalla seleccionada.

Nombre del Componente	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 • Pines de propósito general: 8 GPIO

Hardware para la aplicación IoT relacionada al control de inventario

El control de inventario es una función de la máquina expendedora establecida con la finalidad de notificar al propietario por medio de correo electrónico si algún producto se ha terminado o está próximo a terminarse para que se pueda reabastecer de manera oportuna y evitar pérdidas de ventas por falta de stock.

Esta función requiere de conexión a internet y de un manejo de datos con respecto al número de productos vendidos y disponibles por compartimiento. La conexión a internet se ha decidido realizarla de manera inalámbrica y para esto se empleará el módulo ESP32 el cual posee tecnología Wi-Fi y es muy utilizado para el desarrollo de proyectos relacionadas al IoT y para el almacenamiento de datos se emplea una tarjeta microSD con su respectivo módulo. En la tabla 27, se presentan las especificaciones técnicas de estos dispositivos:

Tabla 27

Especificaciones técnicas de los dispositivos que se emplearán como Hardware para la aplicación IoT.

Nombre del Componente	Componente	Especificaciones
Módulo ESP32		<ul style="list-style-type: none"> • Modelo de la placa: ESP32 DEVKIT V1 • CPU: Dual-Core Tensilica (32 bits) • Frecuencia: 240 Mhz • Voltaje de alimentación: 5V DC • Corriente de operación: 20 mA • N° de pines: 30 pines (24 I/O) • Conexión inalámbrica: Wi-Fi: 802.11 b/g/n/e (Hasta 150 Mbit/s) y Bluetooth v4.2. • Puertos de comunicación serial: 2 UART, 1 I2C y 2 SPI • Tipo de memorias y capacidad: 448 KB ROM, 520 KB SRAM, 16KB SRAM en RTC y 4MB Flash/SRAM.
Módulo lector MicroSD		<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: MicroSD Card Adapter Module • Voltaje de alimentación: 4.5 a 5 V DC • Corriente de operación: 200 mA • Tipo de Comunicación: SPI

Especificaciones y distribución de pines del controlador

Como ya se ha mencionado en los apartados anteriores, se ha seleccionado como controlador de la máquina la placa Arduino Mega 2560, el cual, se muestra en la figura 75. Las especificaciones de este controlador se resumen en la tabla 28.

Tabla 28

Especificaciones del controlador seleccionado.

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

Figura 75

Estructura y componentes del Arduino Mega 2560.

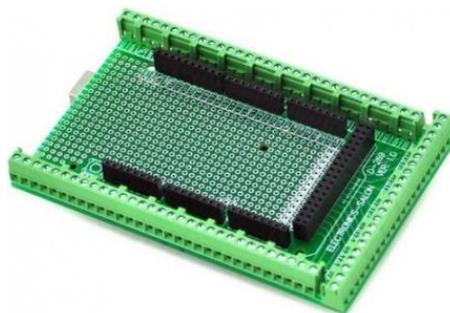


Nota. Tomado de *Diseño y construcción de un sistema de control domótico basado en microcontrolador ATMEGA 2560 para dispositivos móviles* (p.20), por Correa Toloza et al., 2018, [Tesis de pregrado, Universidad del Bío-Bío].

El Arduino Mega funcionará como el controlador principal de la máquina expendedora, por lo que en él estarán conectados la mayoría de los elementos empleados entre actuadores, pre actuadores, sensores, drivers, módulos, pantallas, etc. Para facilitar la conexión e instalación del Arduino en el tablero de control se ha decidido emplear un shield con borneras que se coloca en la parte superior del Arduino, este shield se puede observar en la figura 76.

Figura 76

Shield con borneras para Arduino Mega.



Nota. Tomado de *Mega2560 Shield Para Arduino*, por Megatrónica, s.f.

Los pines de entradas analógicas y las salidas PWM del Arduino pueden funcionar también como entradas o salidas digitales, por lo que, estos serán ocupados para emitir o recibir señales digitales debido al gran número de componentes que se deben conectar al controlador. La distribución de los elementos conectados a los pines del Arduino, se enlistan en la tabla 29, tabla 30 y tabla 31.

Tabla 29

Pines del controlador configurados como entradas.

Pin del Arduino	Tipo de Entrada	Elemento conectado
A0	Digital	Fin de carrera (motorreductor D1)
A1	Digital	Fin de carrera (motorreductor D2)
A2	Digital	Fin de carrera (motorreductor D3)
A3	Digital	Fin de carrera (motorreductor D4)
A4	Digital	Fin de carrera (motorreductor D5)

Pin del Arduino	Tipo de Entrada	Elemento conectado
A5	Digital	Fin de carrera (motorreductor E1)
A6	Digital	Fin de carrera (motorreductor E2)
A7	Digital	Fin de carrera (motorreductor E3)
A8	Digital	Fin de carrera (motorreductor E4)
A9	Digital	Fin de carrera (motorreductor E5)

Tabla 30

Pines del controlador configurados como salidas.

Pin del Arduino	Tipo de Salida	Elemento conectado
3	Digital	Modulo Relés canal 3 (motorreductor D1)
4	Digital	Modulo Relés canal 4 (motorreductor D2)
5	Digital	Modulo Relés canal 5 (motorreductor D3)
6	Digital	Modulo Relés canal 6 (motorreductor D4)
7	Digital	Modulo Relés canal 7 (motorreductor D5)
8	Digital	Modulo Relés canal 8 (motorreductor E1)
9	Digital	Modulo Relés canal 9 (motorreductor E2)
10	Digital	Modulo Relés canal 10 (motorreductor E3)
11	Digital	Modulo Relés canal 11 (motorreductor E4)
12	Digital	Modulo Relés canal 12 (motorreductor E5)
22	Digital	Driver L298N Enable (motor a pasos A1)
23	Digital	Driver L298N Enable (motor a pasos A2)
24	Digital	Driver L298N Enable (motor a pasos A3)
25	Digital	Driver L298N Enable (motor a pasos A4)
26	Digital	Driver L298N Enable (motor a pasos A5)
27	Digital	Driver L298N Enable (motor a pasos A6)
28	Digital	Driver L298N Enable (motor a pasos A7)
29	Digital	Driver L298N Enable (motor a pasos A8)
30	Digital	Driver L298N Enable (motor a pasos B1)
31	Digital	Driver L298N Enable (motor a pasos B2)
32	Digital	Driver L298N Enable (motor a pasos B3)

Pin del Arduino	Tipo de Salida	Elemento conectado
33	Digital	Driver L298N Enable (motor a pasos B4)
34	Digital	Driver L298N Enable (motor a pasos B5)
35	Digital	Driver L298N Enable (motor a pasos C1)
36	Digital	Driver L298N Enable (motor a pasos C2)
37	Digital	Driver L298N Enable (motor a pasos C3)
38	Digital	Driver L298N Enable (motor a pasos C4)
39	Digital	Driver L298N Enable (motor a pasos C5)
40	Digital	Driver L298N IN1 (motores a pasos fila A)
41	Digital	Driver L298N IN2 (motores a pasos fila A)
42	Digital	Driver L298N IN3 (motores a pasos fila A)
43	Digital	Driver L298N IN4 (motores a pasos fila A)
44	Digital	Driver L298N IN1 (motores a pasos fila B)
45	Digital	Driver L298N IN2 (motores a pasos fila B)
46	Digital	Driver L298N IN3 (motores a pasos fila B)
47	Digital	Driver L298N IN4 (motores a pasos fila B)
48	Digital	Driver L298N IN1 (motores a pasos fila C)
49	Digital	Driver L298N IN2 (motores a pasos fila C)
50	Digital	Driver L298N IN3 (motores a pasos fila C)
51	Digital	Driver L298N IN4 (motores a pasos fila C)

Tabla 31

Pines del controlador destinadas para comunicación serial.

Pin del Arduino	Tipo de Comunicación	Elemento conectado
14 (TX3)	UART	ESP32 RX2
15 (RX3)	UART	ESP32 TX2
16 (TX2)	UART	Pantalla Nextion RX
17 (RX2)	UART	Pantalla Nextion TX
18 (TX1)	UART	MAX232 TXD (Sistema de cobro)
19 (RX1)	UART	MAX232 RXD (Sistema de cobro)

Dimensionamiento y selección de la fuente de alimentación DC

La máquina expendedora se alimentará con una tensión de 110V AC a una frecuencia de 60 Hz debido a que estos valores son los que entregan la red eléctrica nacional, no obstante, la mayoría de los elementos electrónicos que se emplearán en el circuito eléctrico funcionan con voltaje de alimentación DC con valores que van entre los 5 y 24V, por lo que, es necesario emplear una fuente de alimentación que tenga como entrada los 110V AC y entregue en la salida un valor de voltaje DC. Para dimensionar y seleccionar la fuente de alimentación se requiere conocer las cargas que esta alimentará y la corriente que cada una de ellas consumen, con esto se conoce la corriente que la fuente debe ser capaz de entregar. En la tabla 32, se enumeran los elementos que se alimentan con voltaje DC junto con la corriente que consumen según su fabricante y la potencia calculada:

$$P = V \cdot I$$

Donde:

- P: Potencia consumida [W]
- V: Voltaje de alimentación [V]
- I: Corriente de Consumo [A]

Tabla 32

Componentes electrónicos que funcionan con voltaje DC y su consumo de potencia.

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

Como se puede observar, la potencia total que debe ser capaz de suministrar la fuente es mínimo de 79 W, este valor se ha obtenido considerando un extra de 36 W para elementos que pueden ser instalados en el futuro como otros módulos de cobro. Es importante mencionar que en el caso de los motores a paso nema 17, se ha considerado únicamente la potencia consumida de uno de ellos, debido a que en las máquinas expendedoras no es común que varios motores se enciendan a la vez en la misma venta, por lo general, se enciende únicamente el que tiene que impulsar al resorte que se encarga de entregar el producto seleccionado. El mismo razonamiento aplica para los relés que activan los motorreductores AC.

Por otro lado, los voltajes de alimentación varían entre los elementos que se instalarán, por este motivo, se va a utilizar dos convertidores de voltaje DC/DC junto con la fuente para poder conseguir los tres valores diferentes de voltaje requeridos 5, 12 y 24V. De todos los elementos electrónicos que funcionan con voltaje DC, dos componentes funcionan con 24V y consumen una corriente total de 546 mA (13.1 W), 20 componentes funcionan con 12V (de los cuales 18 son motores a pasos) y consumen una corriente total de 2.2 A (26.4 W) y tres componentes funcionan con 5V y consumen una corriente total de 730 mA (3.65 W).

En base a estos valores, se puede concluir que la mayoría de los componentes electrónicos funcionan a 12V y en total consumen una mayor potencia que los componentes que funcionan a 5V y 24V, por lo tanto, se selecciona una fuente de alimentación de 12V DC a 10A (120 W de potencia) y dos convertidores de voltaje DC/DC a 3A, de los cuales, uno será elevador para alcanzar los 24V y el otro será reductor para llegar a los 5V. En la tabla 33, se detallan las especificaciones de la fuente de alimentación y convertidores DC/DC seleccionados:

Tabla 33

Componentes seleccionados para la alimentación DC con sus respectivas especificaciones.

Nombre del componente	Componente	Especificaciones
<p>Fuente de Alimentación DC</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Fuente industrial marca Q&W. • Modelo: DR-120-12 • Voltaje de Entrada: 100 – 120 VAC o 200 -240 VAC • Corriente de Entrada: 3.3 A (con alimentación de 100 – 120 VAC) • Voltaje de Salida: 12 VDC • Corriente de Salida: 10 A • Potencia de Salida: 120 W • Protección contra sobrecargas y sobretensiones
<p>Convertidor de voltaje DC/DC (Reductor)</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Módulo Convertidor DC/DC Buck • Modelo: LM2596 • Voltaje de Entrada: 4.5 – 40 VDC • Voltaje de Salida: 1.23 – 37 VDC Ajustable • Corriente máxima de salida: 3A (recomendable hasta 2.5A) • Potencia de salida: 25W
<p>Convertidor de voltaje DC/DC (Elevador)</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Módulo Convertidor DC/DC Boost • Modelo: XL6009 • Voltaje de Entrada: 5 – 32 VDC • Voltaje de Salida: 5 – 35 VDC Ajustable • Corriente máxima de salida: 3A (recomendable hasta 2.5A) • Potencia de salida: 10W

Dimensionamiento y selección de las protecciones eléctricas

Los circuitos eléctricos deben ser protegidos ante condiciones anormales durante la operación, estas condiciones pueden ser sobrecargas y cortocircuitos. Los elementos de protección eléctrica permiten aislar de forma rápida y automática la sección de la instalación eléctrica afectada para evitar daños en los equipos eléctricos y en los demás sistemas que componen la máquina, de tal forma que se pueda continuar con la operación normal una vez que se haya corregido la falla y eliminado la condición anormal presentada (Enriquez Harper, 2003).

Los interruptores termomagnéticos son elementos que permiten proteger al sistema contra sobrecargas mediante su operación térmica y cortocircuitos mediante su operación magnética, por esta razón se emplearán como elementos de protección para la máquina. Para realizar el correcto dimensionamiento y selección de los termomagnéticos se requiere conocer la tensión de la red (U) con la que se alimentará la máquina, la corriente máxima de trabajo (I_B) que circulará por los termomagnéticos y en algunos casos, la corriente en situación de cortocircuito (I_{cc}) (CPI, s.f.).

Es recomendable que cada motor tenga su propio elemento de protección, sin embargo, para el caso particular de la máquina expendedora, en ningún momento de la operación normal de la máquina se encenderán los 28 motores a la vez, ya que en cada ciclo de venta se enciende únicamente el motor encargado de impulsar el resorte para entregar el producto vendido, por tal motivo, se considera emplear dos interruptores termomagnéticos, uno de ellos para proteger a las cargas que funcionen con alimentación AC, mientras que el otro sirva para proteger a la fuente de alimentación DC y por ende a todos los elementos que está energiza. Para el dimensionamiento de los dos interruptores termomagnético se conocen los siguientes datos mostrados en la tabla 34.

Tabla 34

Datos conocidos para el dimensionamiento de los interruptores termomagnéticos.

	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

Según la National Electrical Code (NEC), se recomienda dimensionar las protecciones al 125% de la corriente máxima de trabajo, es decir, multiplicar esta corriente por un factor de 1.25 y con este valor calculado seleccionar la protección más adecuada. Esto se debe a que, por lo general, las curvas de disparo de los elementos de protección no toman en cuenta la acumulación de calor en los conductores, generada por la circulación de corriente durante un funcionamiento continuo y prolongado de la máquina, lo que puede ocasionar que el disyuntor se dispare por su acción térmica a un valor de corriente normal (Electricaplicada, 2017).

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

1. La tensión nominal del termomagnético (V_n) debe ser mayor o igual a la tensión del circuito (U) donde se instalará.

$$V_n \geq U$$

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

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

2. La corriente nominal del termomagnético (I_n) debe ser mayor o igual a la corriente máxima de trabajo (I_B) multiplicado por 1.25.

$$I_n \geq IB \times 1.25$$

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

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

3. La corriente de corte o poder de corte (I_{pc}) debe ser mayor a la corriente en condición de cortocircuito (I_{cc}) del sistema.

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

La corriente nominal para el primer termomagnético debe ser mayor o igual a 6.25A, mientras que para el segundo termomagnético la corriente nominal debe ser mayor o igual 4.125 A. En la tabla 35 se muestran las especificaciones de los elementos de protección seleccionados:

Tabla 35

Elementos de protección seleccionados con sus respectivas especificaciones.

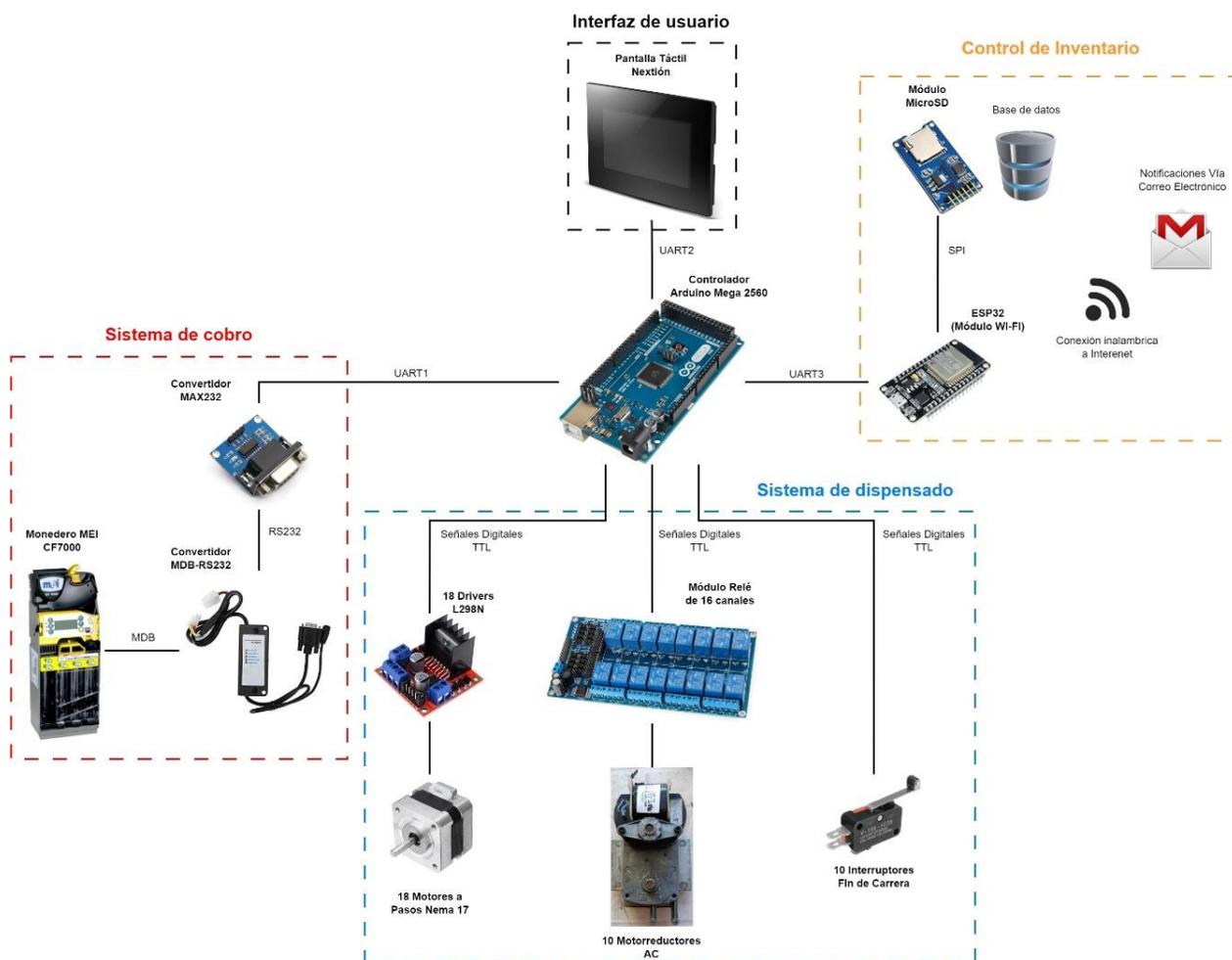
Nombre del componente	Especificaciones
Termomagnético 1	<ul style="list-style-type: none"> • Marca: EBASEE - Modelo: EBS6BN • Corriente nominal $I_n = 10 \text{ A}$ • Tensión nominal $V_n = 415 \text{ VAC}$ • Polos = 2 • Capacidad de corte = 6000 A • Curva tipo C
Termomagnético 2	<ul style="list-style-type: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

Diseño de la arquitectura de red y del circuito eléctrico

En este proyecto, el Arduino Mega 2560 es el controlador central de la máquina expendedora, por tal motivo, se comunica con la mayoría de elementos electrónicos y controla diferentes subsistemas como son: el sistema de cobro, control de inventario, interfaz de usuario y el sistema de dispensado. En la figura 77 se puede observar la red eléctrica que se implementa en la máquina expendedora donde se especifica los elementos conectados junto al tipo de señales y protocolos de comunicación que se manejan en cada caso.

Figura 77

Arquitectura de red diseñada para la máquina expendedora.



Conexiones del sistema de dispensado. Para el sistema de dispensado se maneja dos tipos de actuadores: 18 motores a pasos cada uno con un driver L298N y 10 motorreductores AC cada uno con un relé y un fin de carrera.

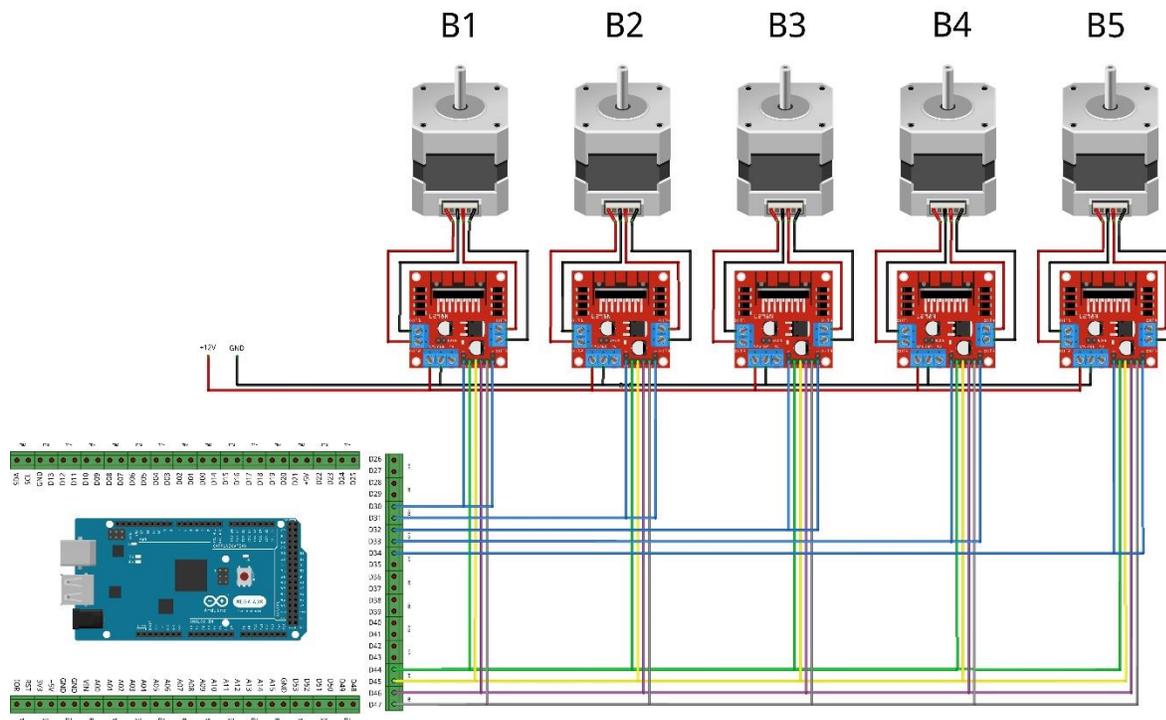
Los drivers L298N se alimentan a 12V DC y con cada driver se puede controlar y accionar un solo motor a pasos debido a que posee dos salidas para motor: la salida A (empleada para alimentar la bobina 1 del motor) y la salida B (empleada para alimentar la bobina 2 del motor). Este driver posee 4 entradas digitales y dos enables o habilitadores uno para cada salida, por lo que, para accionar un motor a pasos no basta solo con enviar la secuencia correcta de señales a las entradas digitales sino también deben estar activados los dos enables del driver.

Esta característica permitirá reducir el número de salidas digitales requeridas del controlador, ya que por cada bandeja en donde se ocupan los motores a pasos (bandeja A, B y C) se requieren únicamente 4 salidas para el control de todos los motores de la fila y una salida para el Enable de cada driver, por lo tanto, si se envían señales digitales a todos los drivers de la fila, el driver que tenga activado los dos enables será el único que accione el motor a pasos conectado a él.

En resumen, con esta configuración se requiere 12 salidas digitales para la fila A, 9 salidas digitales para la fila B y 9 salidas digitales para la fila C. En la figura 78 se muestra la conexión explicada tomando como ejemplo la fila B.

Figura 78

Diagrama esquemático de la conexión de los drivers L298N para el control y accionamiento de los motores a pasos de la fila B.

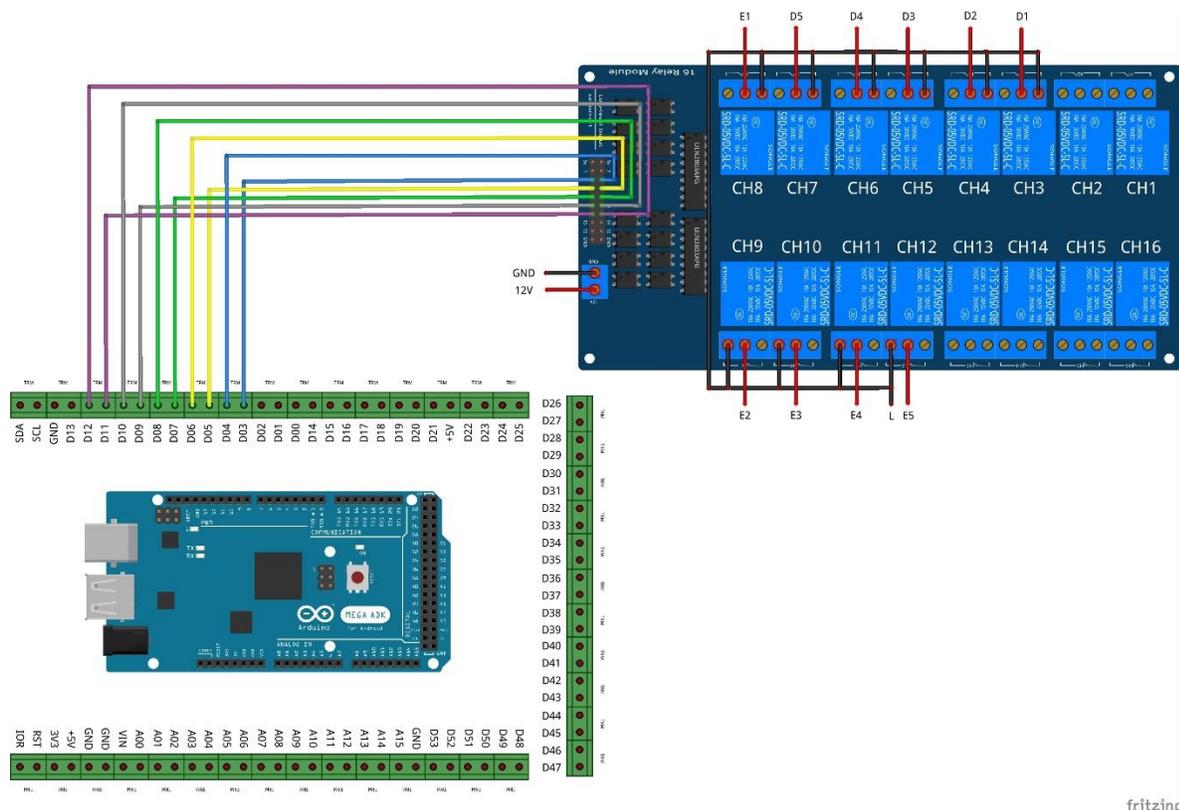


El módulo relé de 16 canales se alimenta con 12V DC y cada relé servirá para accionar un motorreductor AC. Este módulo posee 16 entradas digitales, donde cada una permitirá activar la bobina de un relé y accionar un motor. En este caso, se tienen únicamente 10 motorreductores AC, por lo que, se emplearán únicamente 10 relés y se requerirá 10 salidas digitales desde el controlador para activarlos.

Por otro lado, se conecta la línea L en los contactos NA de cada relé que se ocupará mientras que en el contacto común se conecta un extremo de la bobina de cada motorreductor (ubicados en la bandeja D y E) y al otro extremo de la bobina del motor se conecta el cable de neutro con lo cual se cierra el circuito a 110 V AC. En la figura 79 se muestra la conexión explicada del módulo relé.

Figura 79

Diagrama esquemático de la conexión del módulo relé de 16 canales para el control y accionamiento de los motorreductores AC de la fila D y E.

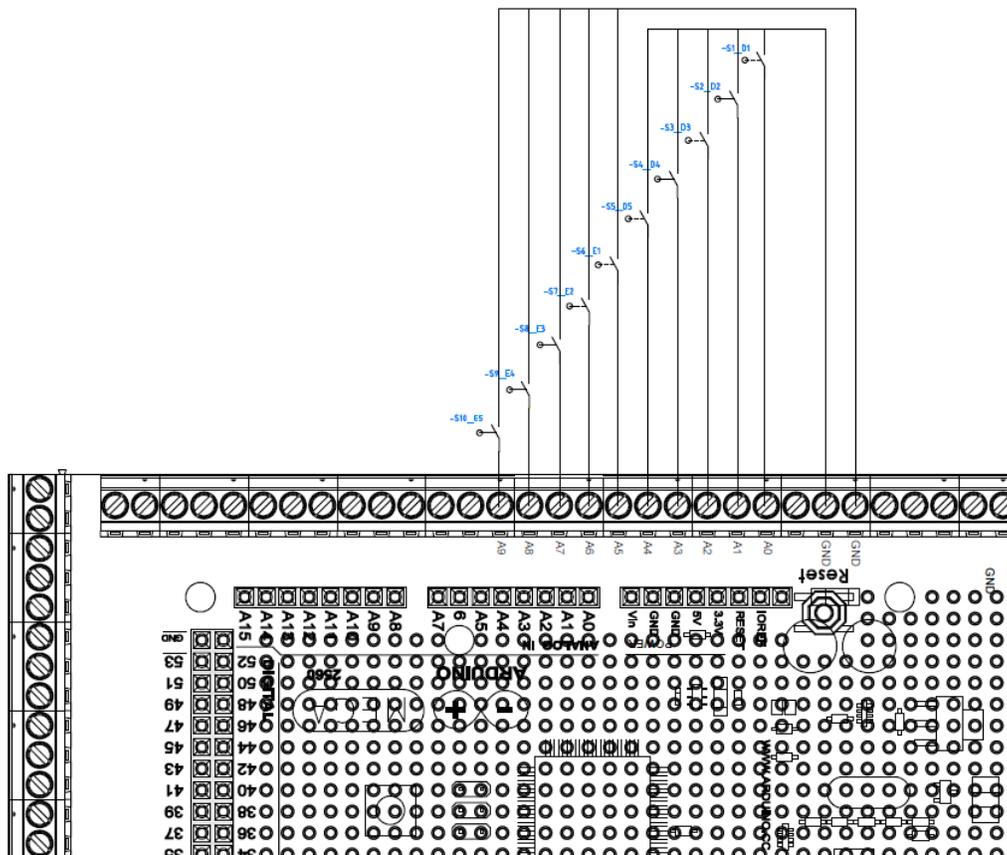


Los fines de carrera instalados permiten determinar si los resortes impulsados por los motorreductores han dado una revolución completa, por lo tanto, se requieren diez fines de carreras uno para cada motorreductor. El contacto NA de cada fin de carrera se conecta desde el pin A0 (para el motorreductor D1) hasta el pin A9 (para el motorreductor E5) del Arduino, mientras que el contacto COM de todos los fines de carrera se conectan al GND.

Esta conexión se puede utilizar únicamente si los pines mencionados se configuran con el argumento `INPUT_PULLUP` en el programa, este argumento habilita la resistencia interna de pull up del Arduino. En la figura 80 se muestra la conexión explicada de los fines de carrera.

Figura 80

Diagrama esquemático de la conexión de los fines de carrera de las bandejas D y E al controlador.

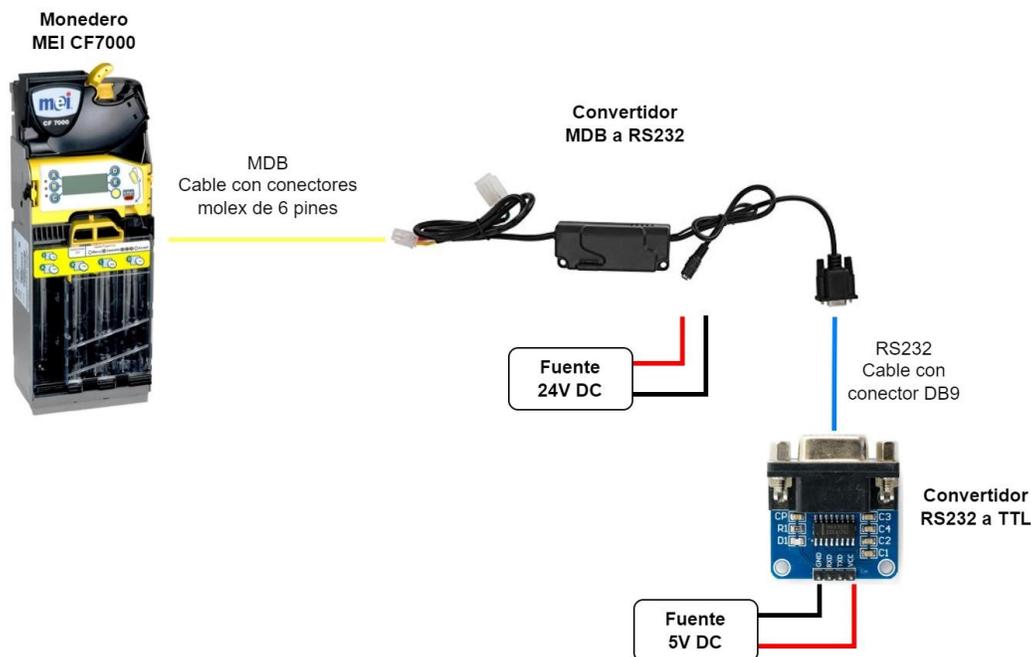


Conexión de los elementos del sistema de cobro. El monedero MEI CF7000 emplea el protocolo MDB para comunicarse con otros elementos electrónicos y se alimenta con 24V DC. Para que el controlador Arduino pueda intercambiar información con el monedero se requiere dos convertidores, el convertidor MDB a RS232 que se alimenta con 24V DC y el convertidor RS232 a TTL (MAX232) que se alimenta con 5V DC.

Por lo tanto, el monedero se conecta con al convertidor MDB, este a su vez se conecta al módulo MAX232 y este último se conecta al Arduino. En la figura 81 se muestra la conexión explicada para el sistema de cobro.

Figura 81

Diagrama esquemático de la conexión de los elementos para el sistema de cobro.

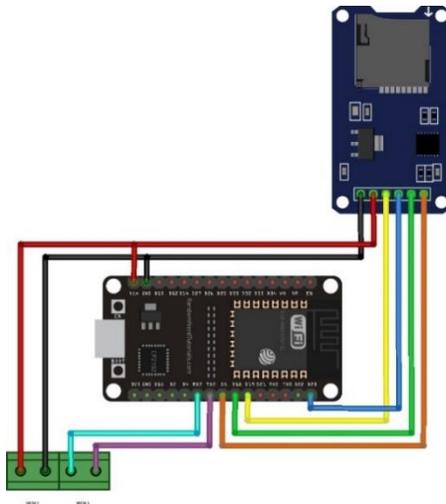


Hardware para el control de inventario. Como se ha explicado anteriormente, se emplea el módulo ESP32 para la conexión a internet y un módulo lector microSD para el almacenamiento y manejo de datos relacionados a las credenciales de red, direcciones de correo para las notificaciones y número de productos disponibles por compartimiento.

El ESP32 es el único elemento que requiere comunicarse con el módulo para leer o escribir datos en la memoria microSD, la comunicación se realiza por medio del protocolo SPI empleando los pines D5 (VSPI CS0), D18 (VSPI CLK), D19 (VSPI MISO) y D23 (VSPI MOSI) del ESP32, además, los dos elementos se alimentan de 5V DC. La conexión explicada se muestra en la figura 82.

Figura 82

Diagrama esquemático de la conexión del ESP32 con el módulo lector microSD (Hardware para el control de inventario).



Debido a que el módulo lector microSD no se comunica ni conecta con otro elemento de la máquina, se ha decidido realizar una PCB para implementar este elemento junto al módulo ESP32 y sus conexiones, empleando únicamente dos pares de borneras, en donde, el primer par de borneras permitirá energizar los dos elementos y el segundo par de borneras permitirá conectar el puerto UART del ESP32 con el puerto UART del controlador Arduino para habilitar la comunicación entre estos módulos. En la figura 83 y figura 84, se muestra el diseño de la PCB y en la figura 85 se muestra el resultado obtenido después de su elaboración y conexión.

Figura 83

Diseño de la PCB para la implementación del circuito para el control de inventario.

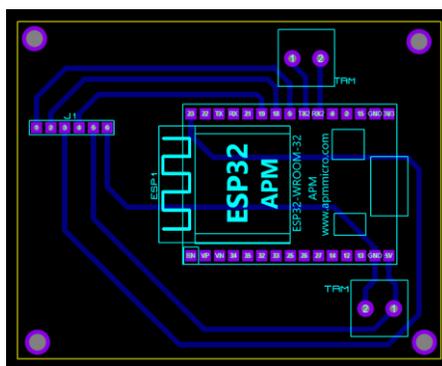
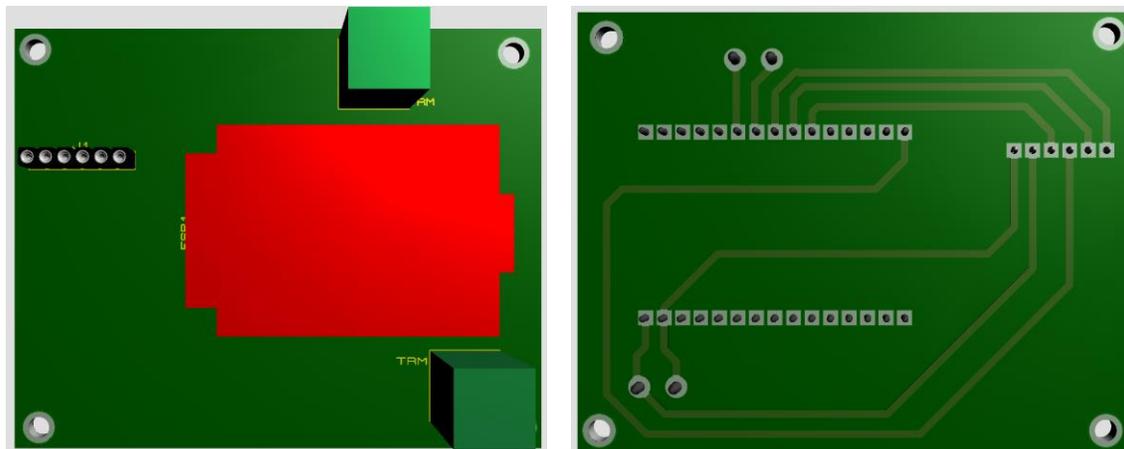
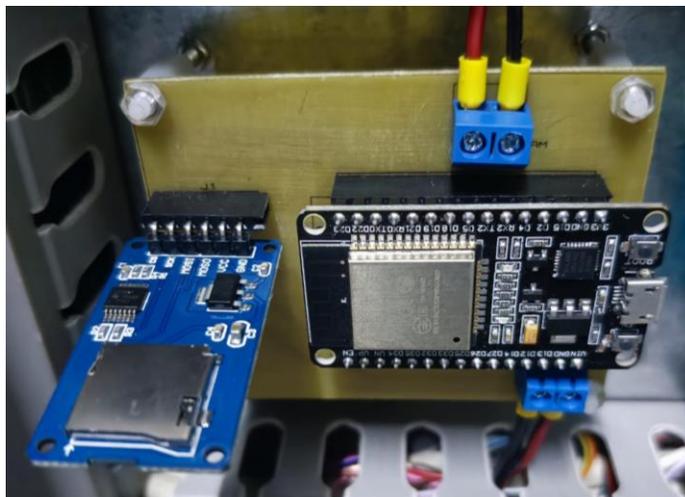


Figura 84

Modelo 3D de la PCB diseñada para la implementación del circuito, vista frontal (izquierda) y vista posterior (derecha).

**Figura 85**

PCB construida donde se implementa el hardware para el control de inventario junto con sus conexiones.

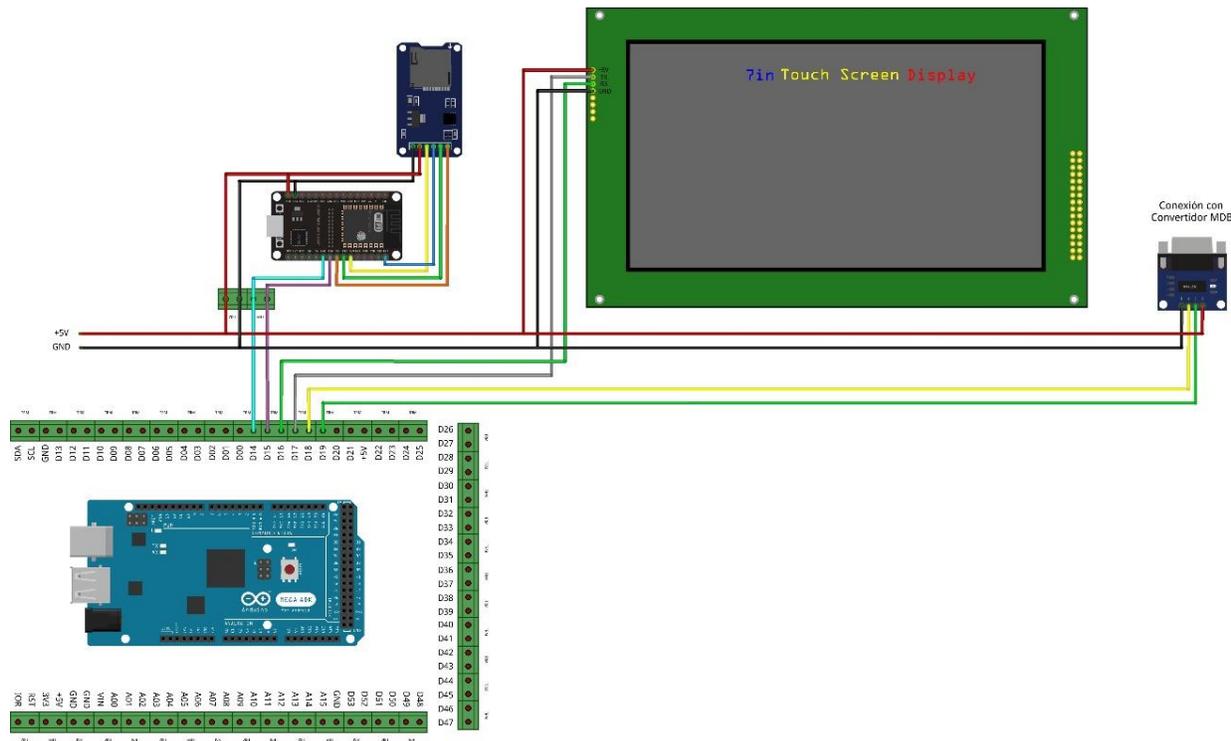


Conexión para la comunicación de subsistemas. Los sistemas de cobro, interfaz de usuario y control de inventario se comunican con el controlador mediante comunicación serial y protocolo UART (RX y TX). El Arduino Mega posee 4 puertos para comunicación UART de los cuales únicamente 3 son ocupados. El puerto UART1 es ocupado para comunicación con el

sistema de cobro mediante el driver MAX232 (convertidor RS232 a TTL), el puerto UART2 es ocupado para comunicación con el interfaz de usuario mediante la pantalla táctil Nextion y el puerto UART3 es empleado para comunicación con el control de inventario mediante la tarjeta ESP32 (módulo Wi-Fi). Además, el módulo MAX232, la pantalla táctil y la tarjeta ESP32 se alimentan con 5V DC. En la figura 86 se muestra la conexión explicada para la comunicación de los subsistemas mencionados.

Figura 86

Diagrama esquemático de la comunicación para la conexión del sistema de cobro, interfaz de usuario y control de inventario.



fritzing

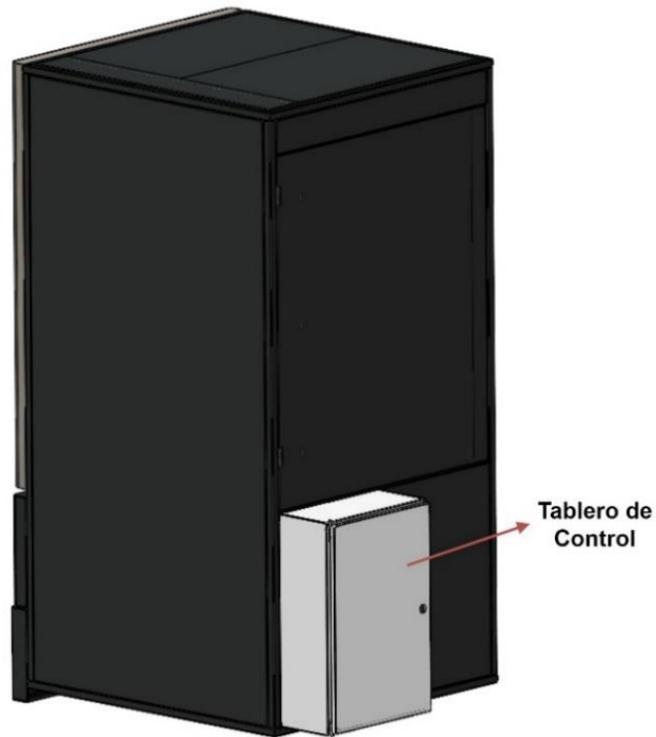
Diseño y armado del tablero de control

Los elementos eléctricos y electrónicos de control, maniobra y alimentación seleccionados se instalarán dentro de un gabinete eléctrico montado en la pared posterior de la máquina como se muestra en la figura 87. El gabinete permitirá proteger a estos elementos y facilitar su montaje, desmontaje, conexión, mantenimiento e intercambio en caso de daños

(Securitech, 2021). Al colocar el tablero en la parte posterior de la máquina se facilita la accesibilidad a los elementos eléctricos y al cableado para la realización de inspecciones y mantenimientos preventivos o correctivos.

Figura 87

Ubicación prevista para el tablero eléctrico en la máquina expendedora.



Para la selección del gabinete eléctrico se debe tener en cuenta ciertas recomendaciones que permitan brindar seguridad a los usuarios y proteger a los equipos, las cuales se mencionan a continuación (Rodríguez, 2012):

- El material de fabricación del tablero debe ser resistente a la corrosión, al fuego y a impactos mecánicos.
- El gabinete debe contar con una puerta exterior fijada con bisagras y con cerradura que permita aislar y encerrar los elementos eléctricos para evitar el contacto de objetos extraños con las partes energizadas.

- El tamaño del gabinete debe ser suficiente para almacenar a todos los elementos eléctricos y permitir la instalación de canaletas para el paso de cables.
- El montaje de los equipos se debe realizar sobre una placa independiente al gabinete o doble fondo, que debe ser instalada mediante pernos u otros elementos que faciliten su fácil montaje y desmontaje.
- El tablero debe tener agujeros con un diámetro adecuado para que los cables puedan entrar o salir libremente, de preferencia estos agujeros deben ubicarse en la parte inferior del tablero para impedir la filtración de líquidos u objetos extraños.
- El gabinete eléctrico debe tener un grado de protección mínimo de IP41 si este se ubicará en interiores y de IP44 si se ubicará en exteriores.

Para el paso de cables dentro del tablero eléctrico se empleará canaletas ranuradas de 25 x 40 mm, para el montaje de algunos elementos eléctricos se empleará Riel Din mientras que para otros como los módulos electrónicos se empleará pernos con elevadores de plástico. Considerando el tamaño de todos los elementos eléctricos, canaletas y borneras de distribución, se selecciona un tablero metálico de 600 x 400 x 200 mm que incluye un doble fondo de 560 x 360 mm.

Con respecto a la distribución de los elementos, en la parte superior del tablero se ubicarán los interruptores termomagnéticos de las dos líneas del circuito eléctrico acompañados de borneras de distribución de energía para alimentar las cargas que funcionan con AC. La fuente de alimentación DC también se ubicará en la parte superior del tablero en la parte derecha y contará con borneras para la distribución de energía DC.

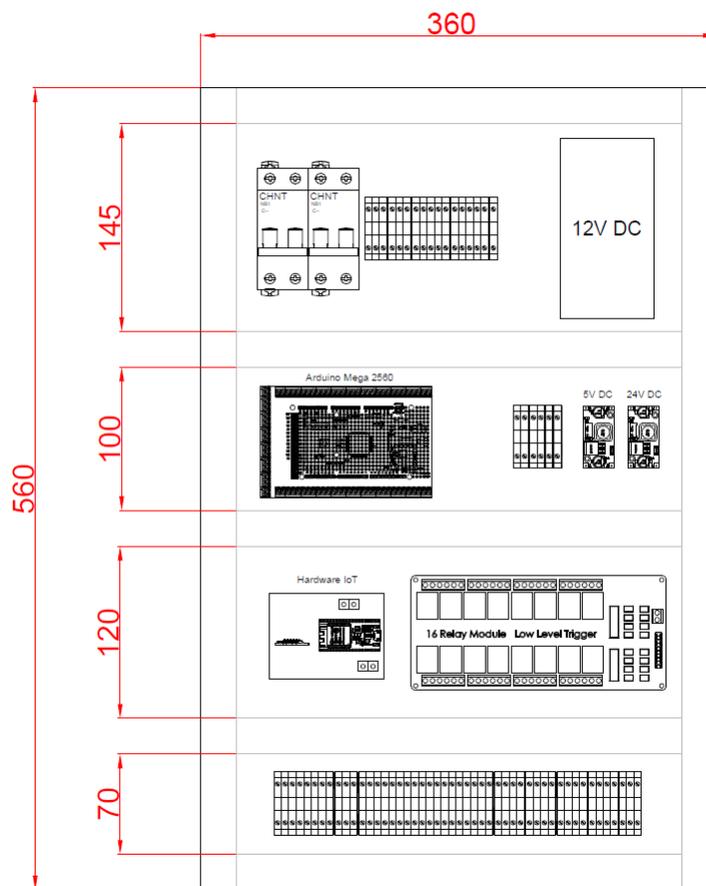
En la parte media del tablero se ubicará el controlador Arduino con los demás módulos electrónicos como convertidores DC/DC y módulo de relés. El controlador se colocará en la parte izquierda mientras que los elementos de mando y alimentación en la parte derecha. En la

parte inferior del tablero se tendrá únicamente borneras que facilitarán la conexión de los actuadores, sensores y demás módulos ubicados fuera del tablero de control.

Para el diseño de la distribución de los elementos dentro del gabinete de control que se muestra en la figura 88 se empleó el software AutoCad Electrical.

Figura 88

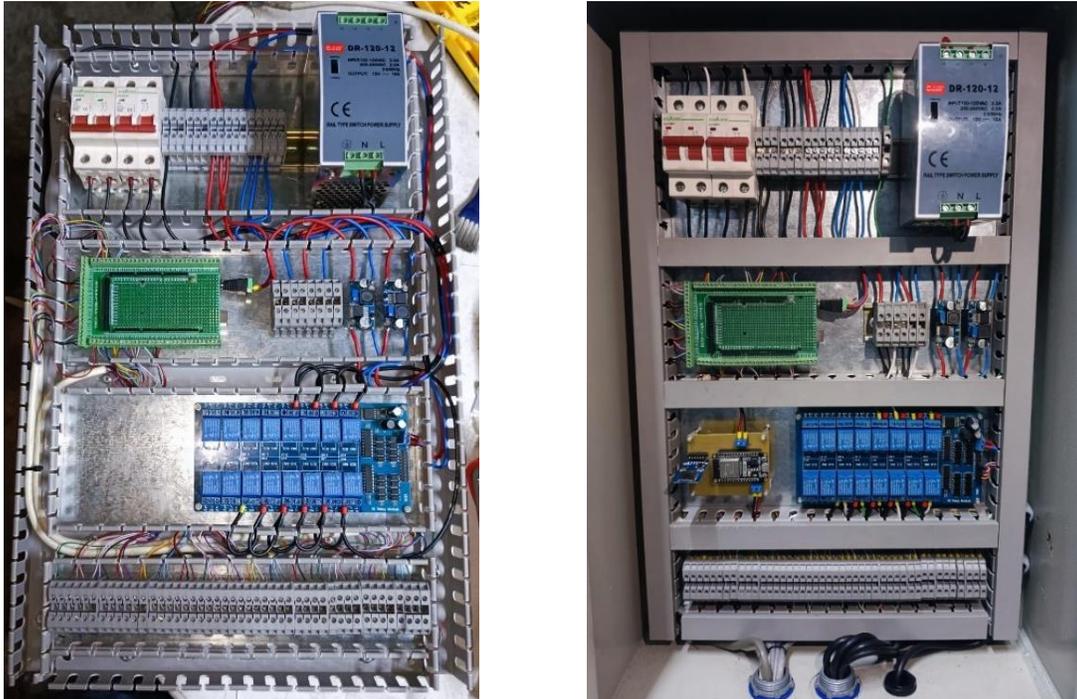
Diseño de la distribución de los elementos, software empleado: AutoCad Electrical.



Con el diseño obtenido se procedió al armado del tablero y montaje de los equipos. El tablero armado se muestra en la figura 89.

Figura 89

Elementos instalados, conectados y montados en el doble fondo y en el gabinete eléctrico.



Diseño de Control

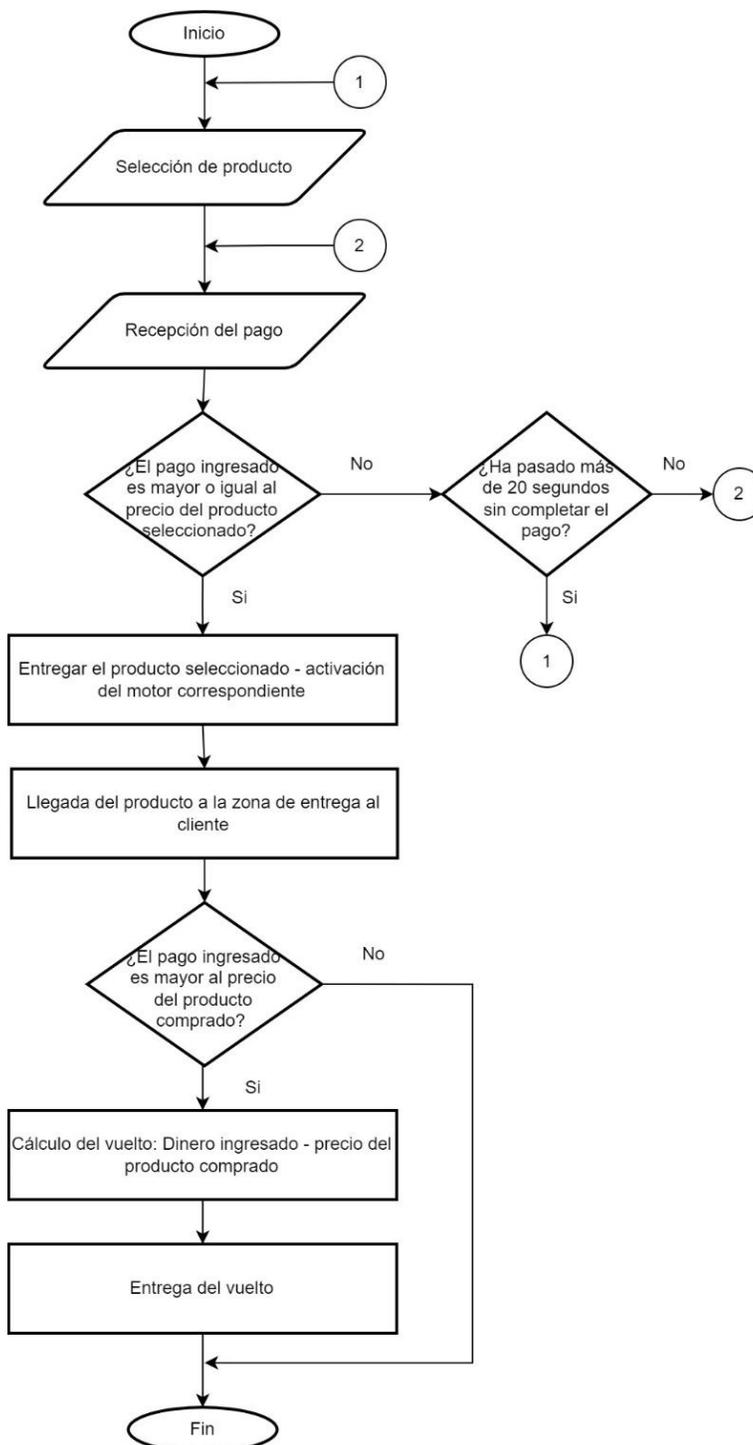
Definición de la secuencia de control

El proceso de venta inicia cuando el consumidor decide comprar un producto, para lo cual, debe seleccionar el producto a través de la pantalla táctil y mediante esta se mostrará su precio. A continuación, la máquina verificará si las monedas ingresadas por el comprador son necesarias para igualar o superar el precio del producto seleccionado, cabe mencionar que el usuario es libre de ingresar su pago antes de seleccionar el producto o después, no obstante, la máquina no lo entregará hasta que se cumpla la condición mencionada. Una vez introducido el pago necesario, la máquina comenzará a dispensar el producto, para lo cual, enciende el actuador correspondiente. Después de algunos segundos, la máquina entregará el vuelto en el caso de que el dinero ingresado sea mayor al precio del producto y, por último, se desplegará un mensaje de agradecimiento al consumidor, finalizando un ciclo de venta. La máquina no debe receptor ningún pago desde el momento que comienza a dispensar el producto

seleccionado hasta el final del ciclo de venta. El diagrama de flujo del proceso explicado se muestra en la figura 90.

Figura 90

Diagrama de flujo de la secuencia de control que debe seguir la máquina en una venta.



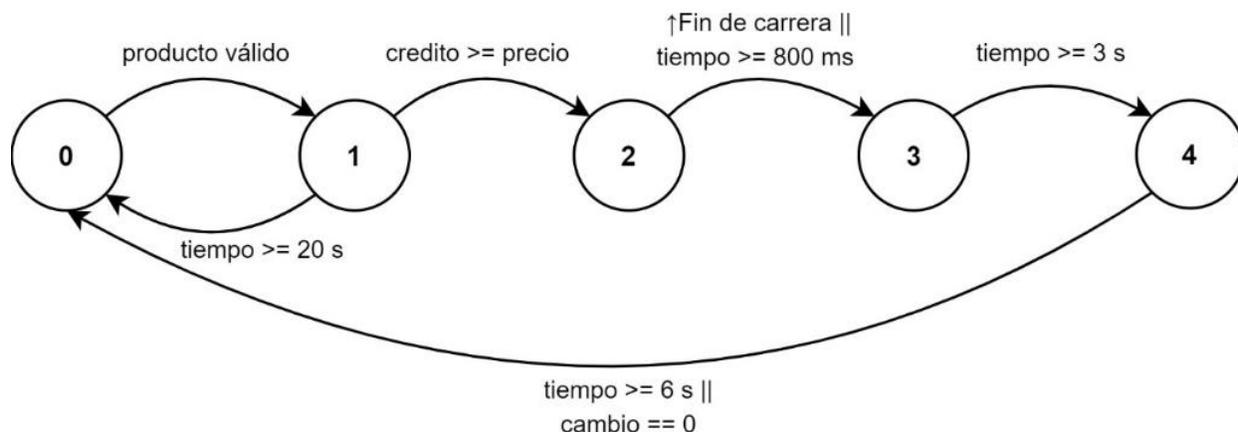
Programación de la secuencia de control y del controlador Arduino

La programación y codificación de la secuencia de control descrita en el diagrama de flujo se realiza mediante el modelo de una máquina de estados finitos, mediante este modelo se puede realizar una representación del proceso automático que la máquina debe seguir y para ello es importante definir estados finitos, transiciones, entradas y salidas.

Los estados representan cada una de las etapas o pasos que se debe seguir para completar un ciclo automático, para la máquina expendedora se definen cinco estados que permitirán realizar una venta. Las transiciones son condiciones que deben cumplirse para pasar de un estado a otro, estas condiciones pueden ser definidas en base al estado actual de las entradas (como sensores) o de otras variables como puede ser el tiempo. Por último, en cada estado se ejecutan ciertas acciones denominadas salidas que pueden ser: imprimir mensajes en pantalla, habilitar un módulo o activar una salida (como actuadores). La máquina de estados que representa el comportamiento automático de la máquina expendedora se detalla en la figura 91.

Figura 91

Máquina de estados que modela el proceso automático que debe seguir la máquina expendedora.



- 0. Selección del producto:** El estado inicial corresponde a la etapa del proceso en donde el comprador selecciona el producto deseado a través de la pantalla táctil. En este estado se habilita el cobro, la selección del producto y se imprime en pantalla el mensaje "Seleccione un producto", no se activa ninguna salida.

Transición: Para avanzar al estado "1" se tiene como condición de transición que el usuario haya seleccionado un producto válido.

- 1. Verificación del pago:** El estado "1" corresponde a la etapa en donde se solicita al consumidor que ingrese el pago y se comprueba si el pago es suficiente para comprar el producto seleccionado. En este estado se habilita el cobro y se imprime en pantalla el mensaje "Ingrese su dinero", no se activa ninguna salida. Desde este estado se puede pasar a la etapa "2" o a la etapa "0".

Transición: Para pasar a la etapa "2" se debe cumplir como condición de transición que el pago ingresado sea mayor o igual al precio del producto seleccionado y para pasar a la etapa "0" se debe cumplir como condición de transición que el tiempo desde que se alcanzó la etapa "1" hasta el momento actual ha superado los 15 segundos, al pasar a la etapa "0" se reinicia el ciclo automático de venta.

- 2. Entrega del producto:** El estado "2" corresponde a la etapa en donde la máquina entrega el producto seleccionado. En este estado se deshabilita el cobro, se activa la salida requerida para activar el motor del producto seleccionado y se imprime en pantalla el mensaje "Entregando producto".

Transición: Para pasar a la etapa "3" se puede cumplir dos condiciones de transición dependiendo que tipo de motor se activó, en el caso de los motores a paso se debe cumplir como condición de transición que el tiempo desde que se encendió el motor hasta el momento actual sea igual o mayor a los 800 ms (tiempo suficiente para que el resorte de una revolución completa), en el caso de los motorreductores AC se debe

cumplir como condición de transición que la entrada donde está conectado el fin de carrera correspondiente tenga un flanco de subida.

- 3. Recogida del producto:** El estado “3” corresponde a la etapa en donde el usuario puede abrir la bandeja de recolección de forma segura para retirar su producto. En este estado se deshabilita el cobro y se imprime en pantalla el mensaje “Puede recoger su producto”, no se activa ninguna salida.

Transición: Para pasar a la etapa “4” se debe cumplir como con condición de transición que el tiempo desde que se alcanzó la etapa “3” hasta el momento actual sea mayor a 3 segundos.

- 4. Entrega de vuelto:** El estado final corresponde a la etapa en donde la máquina entrega vuelto al usuario en el caso de ser requerido. En este estado se deshabilita el cobro, se habilita la entrega de vuelto y se imprime en pantalla el mensaje “Retire su cambio”, no se activa ninguna salida.

Transición: Para pasar a la etapa “4” se debe cumplir como con condición de transición que el tiempo desde que se alcanzó la etapa “3” hasta el momento actual sea mayor a 6 segundos o no se requiera dar cambio.

Al definir el proceso como una máquina de estados finitos se facilita la programación del controlador Arduino. En el programa se requiere de una variable entera que se denominará “estados” y mediante los valores asignados permitirá distinguir el estado actual en el que se encuentre la máquina, esta variable se inicializará en 0 para habilitar el primer estado al encender el controlador. Con una sentencia “Switch case” se determina el estado actual de la máquina y por ende las acciones que se deben realizar o las salidas que se deben activar. Con una secuencia condicional “if” se verifica si se cumple las condiciones de transición definidas tomando en cuenta el valor actual de las entradas u otras variables como el tiempo, si se cumple la transición se asigna el valor del siguiente estado a la variable entera “estados” y de

esta manera se avanza de un estado a otro hasta terminar un ciclo. Al final se retorna al estado inicial con el objetivo de repetir la secuencia automática definida.

Como parte de la programación del controlador también es importante definir como se realizará la configuración y almacenamiento de precios. Tomando en cuenta que el precio de un determinado producto puede cambiar con el tiempo, no es recomendable definirlo como constantes dentro de la programación del controlador, ya que la modificación de precios debe ser fácil de realizar por parte del propietario sin requerir de modificaciones al código del controlador. Por otro lado, una vez configurados los precios de los productos, estos deben cargarse cada vez que la máquina se encienda sin requerir que nuevamente el propietario los configure. Por tales motivos, se habilitará la opción de configurar y cambiar los precios desde la pantalla táctil y se empleará la memoria EEPROM del Arduino para guardar estos precios con el objetivo de leerlos cada que la máquina se encienda.

Programación para el control y comunicación del monedero

El sistema de pago está conformado por un módulo monedero MEI CF7000, el cual, para comunicarse con otros elementos como el controlador emplea el protocolo de comunicación MDB descrito en los apartados anteriores. Para que el controlador Arduino se pueda comunicar con el módulo se requiere de dos elementos adicionales: un convertidor RS232 a TTL y un convertidor MDB a RS232.

En el programa del Arduino se debe incluir los comandos especificados por el protocolo MDB para habilitar o deshabilitar el monedero y realizar algunas acciones adicionales como discriminar las monedas o entregar vueltos, estos comandos son definidos por un conjunto de bytes expresados en valores hexadecimal. De todos los comandos definidos por el protocolo MDB se muestran en la tabla 36 los más importantes que serán necesarios para el control del monedero por parte del Arduino:

Tabla 36

Comandos necesarios para el control del monedero por parte del Arduino.

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 recepta 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.

Después de cada comando, el monedero responde con un ACK (00H) o con los datos solicitados por el controlador. Para los comandos que permiten habilitar y deshabilitar el monedero, el controlador recibirá únicamente un ACK, no obstante, para el comando que permite entregar vuelto, el controlador recibe dos bytes (08 02 H) que indica que se entregó una moneda.

Cada vez que el monedero es encendido, el cobro inicia deshabilitado, por lo que, es importante enviar el comando para habilitar monedero en la parte de setup() del programa del Arduino y verificar que el módulo haya respondido con un ACK indicando que el comando fue recibido y ejecutado. En el caso del vuelto, el comando enviado se compone de tres bytes en donde el tercer byte corresponde al valor que se debe entregar como vuelto, este valor debe ser calculado en base al factor de escala configurado en el monedero. El factor de escala es el mínimo valor de moneda que se puede ingresar y todos los valores monetarios deben ser divisibles por este número. En este caso el factor de escala mínimo es de 5 centavos, por lo que, el tercer byte corresponde a un valor que multiplicado por el factor de escala de como

resultado el valor que se debe entregar de vuelta, por ejemplo, si se requiere dar de vuelta 65 centavos el tercer byte del comando tendrá el valor de 0DH (13 decimal).

El convertidor MDB a RS232 se encarga de sondear continuamente el estado del monedero para identificar si ha ocurrido un evento que debe ser comunicado al controlador como el ingreso de una moneda. En el caso de que se ingrese una moneda el monedero enviará la información y estos datos se almacenarán en el buffer del controlador hasta que este pueda leerla, una vez leída se eliminarán los datos del buffer. La información enviada por el monedero cuando se ingresa una moneda se compone de tres bytes en hexadecimal, para explicar que indica cada byte se empleará como ejemplo el mensaje 08 42 01 H:

- El primer byte 08H indica la dirección del módulo que envía el mensaje, según el protocolo MDB la dirección 08H corresponde a un módulo monedero.
- Para el análisis del segundo byte se debe descomponerlo en bits, 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 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, en este caso indica que hay una moneda del tipo 2 almacenada en el monedero.

Para saber si la información enviada corresponde a un ingreso de monedas se requiere verificar si los dos bits más significativos del segundo byte son 01 y para identificar el tipo de la moneda ingresada desde el controlador únicamente se requiere los cuatro bits menos significativos del segundo byte, es decir, del mensaje 08 42 01H se requiere únicamente el valor 2H (0010 binario) ya que este indica que se ha ingresado una moneda de tipo 2 que correspondería a una moneda de 10 centavos de acuerdo con la configuración realizada en el monedero.

Tabla 37

Tipos de monedas configuradas en el monedero.

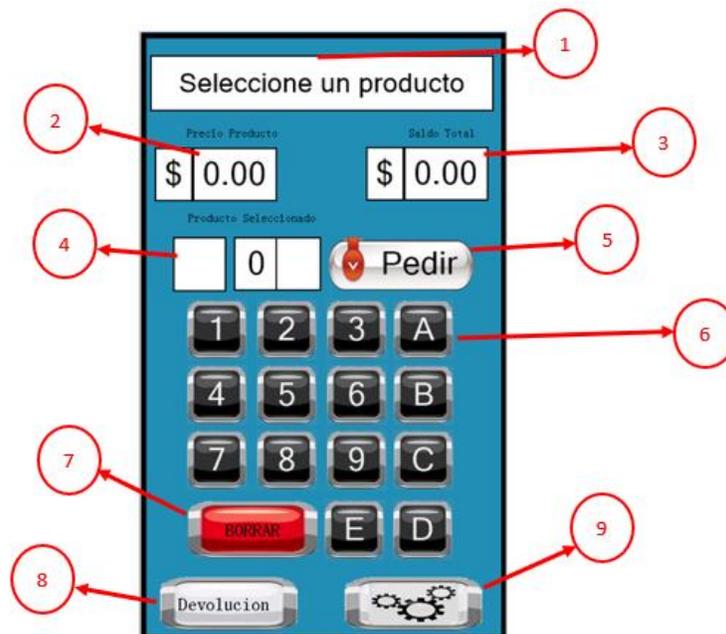
Tipo de Moneda	Valor	Denominación
Tipo 0	\$ 0.05	Moneda de 5 centavos estadounidense
Tipo 1	\$ 0.05	Moneda de 5 centavos nacional
Tipo 2	\$ 0.10	Moneda de 10 centavos estadounidense
Tipo 3	\$ 0.10	Moneda de 10 centavos nacional
Tipo 4	\$ 0.25	Moneda de 25 centavos estadounidense
Tipo 5	\$ 0.25	Moneda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

Programación de la pantalla HMI

Seleccionada la pantalla HMI y definida la secuencia de control junto con los pines asignados para cada elemento la pantalla de interfaz con el usuario debe ser capaz de satisfacer las necesidades de funcionamiento cotidiano de la máquina y las necesidades de configuración del dueño de la máquina en cuanto a todas las configuraciones que permitan que la máquina funcione de forma correcta.

Para ello se han diseñado cinco pantallas que permiten que la máquina tenga un óptimo desempeño tanto para el cliente como para el dueño.

Pantalla de inicio. La pantalla de inicio es aquella que será mostrada al cliente y le permitirá seleccionar un producto y visualizar su precio, observar el estado de su compra, solicitar una devolución, observar el dinero ingresado, entre otros. El diseño de esta pantalla se muestra en la figura 92 y sus funcionalidades se describen en la tabla 38:

Figura 92*Pantalla de inicio.***Tabla 38***Elementos de la 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.

N°	Nombre	Descripción
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. La pantalla de acceso es la encargada de permitir al dueño de la máquina acceder a las funcionalidades de configuración de forma correcta mediante un usuario y contraseña única. El diseño de esta pantalla se muestra en la figura 93.

Figura 93

Pantalla de acceso.



Pantalla de configuración. La pantalla de configuración permite seleccionar si se va a realizar una configuración en los precios o en el inventario interno de la máquina puesto que si los productos cambian es necesario modificar los precios y si la máquina se rellena es necesario modificar el inventario interno para poder generar las notificaciones de productos escasos vía correo electrónico. El diseño de esta pantalla se muestra en la figura 94.

Figura 94*Pantalla de configuración.*

Pantalla de cambio de precios. La pantalla de cambio de precios permite modificar los precios en el caso de ser necesario, los precios de los productos actuales se cargan directamente de la memoria EEPROM del controlador y cuando son cambiados igualmente se guardan en dicha memoria; el cambio de precios presenta un teclado amigable para poder modificarlos. El diseño de esta pantalla se muestra en la figura 95.

Figura 95*Pantalla de cambio de precios.*

Pantalla de llenar inventario. La pantalla de llenar inventario permite que el operador encargado de abastecer la máquina coloque la cantidad de cada producto ya que esto es de gran utilidad para las funcionalidades del IOT que permiten que el dueño conozca los productos cuando están próximos a agotarse y hasta poder generar un plan de abastecimiento mensual conforme los productos más solicitados. El diseño de esta pantalla se muestra en la figura 96.

Figura 96

Pantalla de llenar inventario

Inventario interno							
A01	A02	A03	A04	A05	A06	A07	A08
0	0	0	0	0	0	0	0
B01	B02	B03	B04	B05			
0	0	0	0	0			
C01	C02	C03	C04	C05			
0	0	0	0	0			
D01	D02	D03	D04	D05			
0	0	0	0	0			
E01	E02	E03	E04	E05			
0	0	0	0	0			
Salir				Aceptar			

Programación de la aplicación IoT para el control de inventario

Se emplea el módulo ESP32 para el desarrollo de la aplicación IoT relacionada al control de inventario, la cual, consiste en el envío de notificaciones por correo electrónico al propietario en el momento que un producto se haya agotado o este próximo a agotarse. Para el desarrollo y programación de esta función se debe tener en cuenta los siguientes puntos:

- La aplicación IoT para el control de inventario debe funcionar de manera independiente al proceso general de la máquina expendedora, por lo que, si esta función tiene alguna falla o no existe conexión a internet, la máquina debe seguir comercializando productos de forma normal.

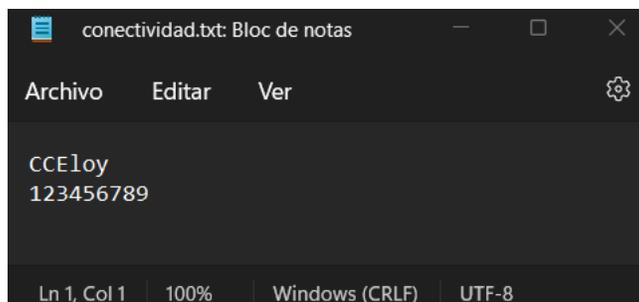
- El módulo ESP32 debe conocer las credenciales de la red y las direcciones de correo electrónico para que pueda conectarse a internet y enviar notificaciones, además estas deben ser fácilmente configurables por el usuario sin que se requiera cambiar la programación del módulo.
- La información de los productos vendidos será enviada por el controlador principal de la máquina (Arduino Mega) al ESP32 y este se va a encargar de almacenar estos datos y verificar si es necesario enviar una notificación. El ESP32 no interfiere en el proceso principal de venta ejecutado 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. La tarjeta microSD servirá no solo para el almacenamiento de los datos correspondientes al inventario de la máquina, sino también para guardar los datos necesarios para que el módulo ESP32 pueda conectarse a internet y enviar notificaciones, con esto el propietario puede modificar las configuraciones conectando la tarjeta microSD en cualquier computador o celular. En la microSD se realiza la creación de cuatro archivos de texto que tendrán las siguientes funciones:

1. **conectividad.txt:** archivo donde se guardan las credenciales para el acceso a la red, es decir, el nombre de la red y su contraseña. El contenido de este archivo se muestra en la figura 97.

Figura 97

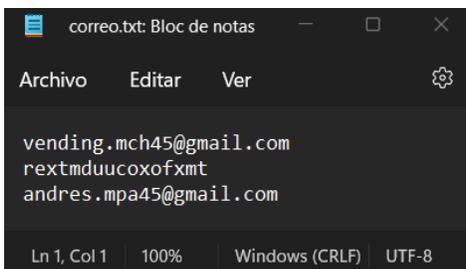
Archivo conectividad.txt donde se guarda el nombre de la red y la contraseña.



2. **correo.txt:** archivo donde se guarda la dirección de correo electrónico del remitente junto a la contraseña y la dirección del destinatario. El contenido de este archivo se muestra en la figura 98.

Figura 98

Archivo correo.txt donde se guarda los datos necesarios para el envío de las notificaciones.



3. **inventario.txt:** archivo donde se almacena el número de productos disponibles actualmente en la máquina por compartimientos.
4. **vendidos.txt:** archivo donde se almacena el número de productos vendidos por compartimientos.

Tipo de notificaciones a enviar. El objetivo del control de inventario es notificar al propietario si un producto está próximo a terminarse o ya se ha terminado, no obstante, también se notificará el momento que la máquina fue energizada y se conectó a internet. Por lo tanto, se define tres tipos de notificaciones a enviar, los cuales se muestran en la tabla 39.

Tabla 39

Tipo de notificaciones que se pueden enviar con su condición, asunto y mensaje para cada caso.

Tipo de notificación	Condición para el envío de la notificación	Asunto	Mensaje
Informativa	Al encenderse la máquina y conectarse a internet	Notificación de Máquina Expendedora	ESP32 conectado a internet - Máquina encendida Información del Inventario: (Se despliega una lista con el número de productos disponibles)

Tipo de notificación	Condición para el envío de la notificación	Asunto	Mensaje
Advertencia	Cuando existe menos de tres artículos de un tipo de producto	Notificación de Máquina Expendedora	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	Notificación de Máquina Expendedora	El siguiente producto se ha terminado: D3 (nombre del producto mencionado)

Comunicación con el controlador principal. El ESP32 no influye en ningún paso del proceso de venta controlado por el Arduino Mega, no obstante, requiere conocer el producto vendido para poder almacenarlo en la tarjeta microSD y enviar notificaciones si se requiere. Por lo tanto, es importante que el controlador principal pueda comunicarse con el ESP32 y para ello se emplea comunicación serial UART. Para que no exista ocasiones en la que los dispositivos envían información por el puerto serie, se define al controlador principal (Arduino Mega) como maestro y al ESP32 como esclavo, de tal forma que, si el Arduino no le solicita información al ESP32, este no envía nada por el puerto serial. Para la programación, se define tres casos diferentes que se detallan en la tabla 40, en el que se requiere el envío de información:

Tabla 40

Casos en los que se requiere el envío de información entre el Arduino Mega y el módulo ESP32.

N° de caso	Datos enviados	Explicación
1	Arduino: Producto vendido	Después de concretar una venta, el Arduino Mega envía al ESP32 la identificación del producto vendido. El ESP32 no responde nada.

N° de caso	Datos enviados	Explicación
2	Arduino: Actualización de la cantidad de productos disponibles por compartimiento	En este caso, el Arduino envía la cantidad de productos disponibles por cada compartimiento los cuales fueron ingresados por el encargado desde pantalla. El ESP32 no responde nada.
3	ESP32: Información del inventario	En este caso, el Arduino solicita cuantos productos por compartimiento quedan disponibles para presentarlos en pantalla, por lo tanto, el ESP32 responde con la información del inventario.

Configuración del inventario por pantalla. Cada vez que se rellene la máquina con nuevos productos, es importante que el encargado actualice la información del inventario para que el controlador principal y el módulo ESP32 tengan conocimiento del número actual de productos disponibles por compartimiento. Para esto se tiene dos opciones, la primera consiste en modificar el archivo “inventario.txt” guardado en la memoria microSD, lo cual implica conectar la memoria en una computadora lo que dificulta el trabajo, y la segunda consiste en modificar el inventario desde la pantalla táctil ingresando al menú de configuraciones, lo cual es más fácil y rápido de realizar, ya que no requiere de dispositivos adicionales.

Al momento que el propietario o encargado de la máquina ingresan a la pantalla de “Llenar inventario”, el Arduino envía una solicitud al ESP32 para que este le envíe la información del inventario (caso 3) y poder mostrar esta información en pantalla. Si el usuario modifica la cantidad de productos disponibles de algún compartimiento y presiona “Aceptar”, el Arduino envía la información del inventario actualizada al ESP32 (caso 2) para que este pueda almacenarla en la microSD y la tome en cuenta al momento de decidir si se requiere enviar una notificación.

Secuencia de control. El módulo ESP32 funciona de forma independiente al controlador principal, por lo tanto, es necesario definir la secuencia que debe seguir para poder programar la aplicación IoT para el control de inventario:

1. Detección de la tarjeta microSD, si el ESP32 no detecta la tarjeta no debe continuar el programa, ya que toda la información necesaria para trabajar se encuentra en la microSD.
2. Lectura de las credenciales de red, direcciones de correo electrónico, datos relacionados con la cantidad de productos disponibles y la cantidad de productos vendidos por compartimiento.
3. Conexión del módulo ESP32 al internet empleando la información leída de la microSD relacionada a las credenciales de red.
4. Módulo en reposo hasta recibir una orden del controlador principal, si se recibe la identificación de un producto vendido, el ESP32 verifica cuantos productos quedan y guarda el nuevo resultado en la tarjeta microSD en los archivos correspondientes.
5. Si en el compartimiento quedan menos de tres productos envía una notificación de advertencia, mientras que, si ya se ha terminado el producto, envía una notificación de alerta indicando esta situación. La notificación es enviada al correo leído de la microSD del archivo "correo.txt".

Integración y montaje de sistemas

Actuadores, sensores y drivers

Los actuadores como motores a paso o motorreductores AC se ubican en la parte posterior de las bandejas de almacenamiento y son fijados a estas por medio de tornillos, pernos y tuercas en algunos casos. Cada resorte requiere de un motor para ser impulsado y para conectar el motor con el resorte se emplea un acople rígido como se muestra en la figura 99:

Figura 99

Conexión del motor con el resorte por medio de un acople rígido.



Para la activación de los motores a pasos se requiere los drivers L298N (puente H), uno por cada motor. Estos drivers deben situarse cerca de los motores, por lo que, también serán montados en la parte posterior de las bandejas de almacenamiento mediante tornillos, tuercas y elevadores plásticos. Para los motores a pasos no se tienen sensores o algún otro módulo adicional. Los motores a pasos se emplean para impulsar los resortes de las filas A, B y C. El montaje de estos motores en las bandejas correspondientes se muestra en la figura 100.

Figura 100

Integración y montaje de los motores a paso junto con el driver L298N en las bandejas.



En el caso de los motorreductores AC, estos se controlan con un módulo de relés que se ubican en el tablero de control y para detectar su posición se emplea fines de carrera, los

cuales se montan sobre una placa que forma parte del mismo motor. Los motorreductores AC se emplean para impulsar los resortes de las filas D y E. El montaje de estos motores en las bandejas correspondientes se muestra en la figura 101.

Figura 101

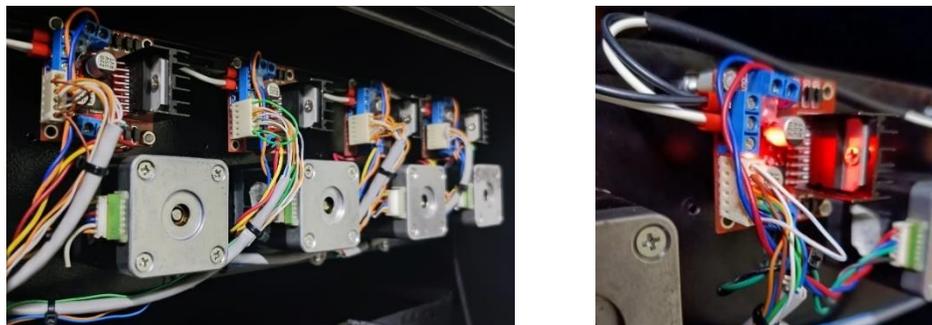
Integración y montaje de los motorreductores AC en las bandejas.



Con respecto al cableado, cada motor a pasos junto con su respectivo driver L298N requieren de alimentación de 12V DC y 6 cables para su control (sin contar la conexión del driver al motor). Para la alimentación se emplea cable AWG 2x18 con terminales tipo puntera y para las señales de control se emplea cable de red UTP CAT5e con un conector molex de 6 pines para cada driver. El cableado descrito para los motores a pasos se muestra en la figura 102.

Figura 102

Cableado requerido para los motores a pasos y los drivers L298N.



Por otro lado, cada motorreductor AC requiere de alimentación de 110V AC y dos cables para señales de control que se conectan a los fines de carrera. Para la alimentación se

emplea cable AWG16 con terminales planos y para las señales de control se emplea cable AWG 12x24 con terminales planos. El cableado realizado para los motorreductores AC se muestra en la figura 103.

Figura 103

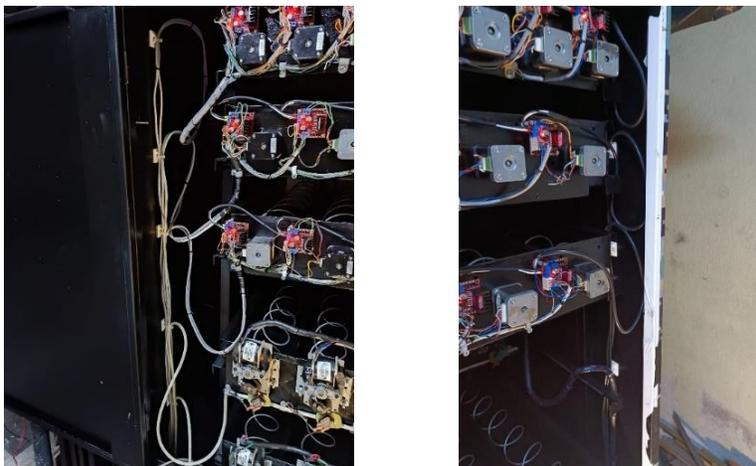
Cableado requerido para los motorreductores AC y los fines de carrera.



El paso del cableado dentro de la máquina se lo realiza por la pared derecha para los cables de potencia y por la pared izquierda para los cables de control como se muestra en la figura 104. Para que estos cables no queden sueltos se sujetan con amarras plásticas y bases adhesivas pegadas a las paredes de la máquina. Por otro lado, es importante dejar una longitud de cable adecuada para que cada bandeja pueda salir por la puerta frontal sin que exista alguna desconexión de los elementos.

Figura 104

Paso del cableado dentro de la máquina, control (izquierda) y potencia (derecha).



La instalación de los motores y los acoples rígidos permiten el montaje de los resortes en cada división de las bandejas, con lo cual, el sistema de dispensado queda completo como se muestra en la figura 105.

Figura 105

Montaje de resorte en cada bandeja, vista frontal (izquierda) y vista posterior (derecha).



Periféricos y módulos

Sistema de pago. Los elementos que componen el sistema de pago se ubicarán en el compartimiento mostrado en la figura 106, ubicado junto al espacio donde se encuentran las bandejas de almacenamiento en la parte interna de la máquina.

Figura 106

Vista frontal de la máquina donde se indica el compartimiento para el sistema de pago.



El monedero MEI CF7000 tiene en la parte posterior tres agujeros de montaje como se muestra en la figura 107, que permiten colgar al módulo sobre una superficie vertical, esto facilita el montaje y desmontaje del monedero. Para instalarlo en la máquina se emplea una placa de acero que es sujeta mediante tornillos a la pared de la máquina y en la parte central posee pernos soldados que permiten el montaje del monedero sobre ellos.

Figura 107

Parte posterior del monedero (izquierda) y placa para el montaje del monedero en la máquina (derecha).

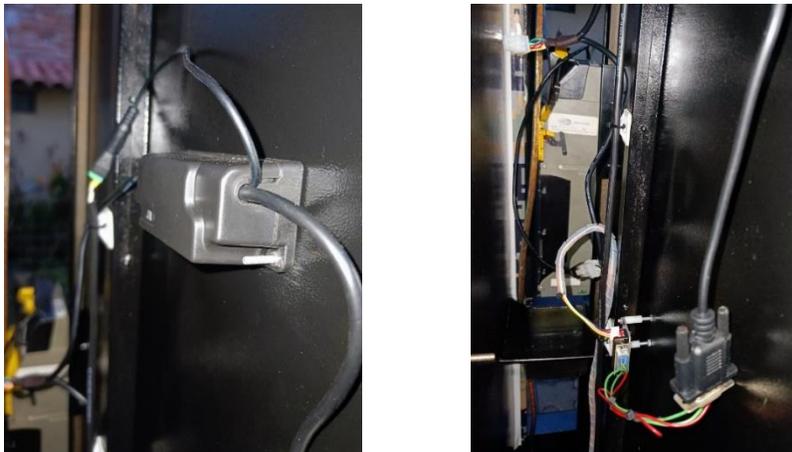


Nota. Tomado de *Gestor de cambio MEI CASHFLOW Serie 7000 Manual Técnico* (p. 10), por MEI Group, 2016.

El convertidor MDB a RS232 y el convertidor RS232 a TTL (módulo MAX232) también se instalan sobre la misma pared de la máquina en donde se monta el monedero y se ubican lo más cercano a este como se muestra en la figura 108. El monedero se conecta al convertidor MDB a RS232 y este a su vez se conecta con el convertidor RS232 a TTL. El convertidor MDB y el monedero requieren de alimentación a 24 VDC, mientras que el convertidor MAX232 requiere de alimentación a 5 VDC y dos cables para la comunicación con el controlador Arduino (RX/TX). Para la alimentación de los elementos se emplea cable AWG 2x18 y para la transmisión de información entre el módulo MAX232 y el controlador Arduino se emplea cable de red UTP CAT5e. El sistema de pago instalado se muestra en la figura 109.

Figura 108

Montaje y conexión del sistema de pago en la máquina expendedora, convertidor MDB – RS232 (izquierda) y convertidor RS232 – TTL (derecha).

**Figura 109**

Vista frontal de la máquina donde se puede observar el sistema de pago instalado.



El monedero MEI CF7000 almacena únicamente las monedas de 5, 10 y 25 centavos para poder dar vuelto de cualquier valor, las monedas de otro valor son contabilizadas por el monedero, pero liberadas por la parte posterior hacia un cofre, el cual, debe construirse e incluirse en la estructura de la máquina. Este cofre permitirá almacenar las monedas que no

almacene el monedero, es decir, monedas de 50 centavos y un dólar o de otras denominaciones únicamente si los tubos del monedero están completamente llenos. El cofre debe ser ubicado debajo del conducto por donde las monedas no almacenadas son arrojadas y su capacidad debe ser suficiente para almacenar una gran cantidad de monedas. El cofre diseñado y construido para la recolección de monedas se muestra en la figura 110.

Figura 110

Cofre diseñado y construido para el almacenamiento de monedas (izquierda) y montaje del cofre en la máquina (derecha).



Por otro lado, también se debe construir e incluir una estructura que funcione como un camino para dirigir hacia el usuario las monedas entregadas por el monedero como parte del vuelto. Esta estructura se ubica debajo de los conductos del monedero por donde se dispensan las monedas para el vuelto y debe garantizar que estas monedas lleguen hacia el usuario y no se desvíen a otro lado de la máquina o queden obstruidas en el camino. La estructura diseñada y construida para dirigir las monedas entregadas al cliente se muestra en la figura 111 y su instalación en la puerta frontal de la máquina se muestra en la figura 112.

Figura 111

Estructura diseñada y construida para conducir las monedas que son parte del vuelto hacia el usuario, vista frontal (izquierda) y vista posterior (derecha).

**Figura 112**

Estructura para la entrega del vuelto montada en la puerta frontal de la máquina, vista frontal (izquierda) y vista posterior (derecha).



Interfaz de usuario. La interfaz de usuario hace referencia a la pantalla táctil que permite al usuario interactuar con la máquina. La pantalla debe ubicarse en la puerta frontal en la parte derecha a una altura adecuada para que sea visible y de fácil accesibilidad para diferentes personas. La altura promedio de las personas va entre 1.5 y 1.8 metros, por lo que, la pantalla se ubicará a 1.4 metros del suelo aproximadamente. En la figura 113 se muestra la pantalla instalada en la puerta frontal.

Figura 113

Ubicación de la pantalla táctil en la puerta frontal (vista frontal).



La pantalla requiere de alimentación a 5V DC y dos cables para la comunicación con el controlador, para la alimentación se emplea cable AWG 2x18 y para la transmisión de información con el controlador se emplea cable de red UTP CAT5e. El montaje y conexión de la pantalla se muestra en la figura 114.

Figura 114

Montaje y conexión de la pantalla táctil en la puerta frontal (vista posterior).



Tablero de control y paso del cableado

El tablero de control es montado en la parte posterior de la máquina debajo de la compuerta trasera como se muestra en la figura 115, esta ubicación facilita el acceso a los elementos eléctricos de protección, control y alimentación para acciones de mantenimiento o intercambio de elementos. El tablero es sujetado por medio de pernos y tuercas que facilitan su montaje y desmontaje.

Figura 115

Ubicación del tablero en la parte posterior de la máquina.



Para el paso seguro del cableado desde la máquina al tablero de control se emplea tubería BX de 1 pulgada con recubrimiento de PVC y acoples curvos a 90° instalados en la parte inferior del tablero y de la máquina como se muestra en la figura 116, esto con el objetivo de proteger los cables y disminuir los riesgos ocasionados por la manipulación indebida de estos. El paso del cableado se realiza por dos caminos diferentes, por el primero se realiza el paso de todos los cables que manejan señales de control y por el segundo se realiza el paso de todos los cables de potencia encargados de alimentar a los motores. Además, para el ingreso del cable de alimentación al tablero se emplea una prensaestopa PG13.5 instalada en la parte inferior de este.

Figura 116

Paso del cableado desde la máquina al tablero de control por medio de manguera BX.



Capítulo IV: Pruebas de Funcionamiento y Resultados

La máquina expendedora diseñada y construida debe ser probada con el objetivo de verificar el correcto funcionamiento de los diferentes subsistemas que la conforman, evaluar el grado en el que fueron alcanzados los requisitos y especificaciones previamente establecidas y garantizar al consumidor y propietario de la máquina una buena experiencia al utilizar la máquina.

Pruebas de energización

Con estas pruebas se evalúa el circuito eléctrico diseñado e implementado en la máquina y el estado de los elementos eléctricos y las conexiones realizadas.

Energización y activación de los elementos

Para verificar el voltaje de entrada de cada elemento y su correcta activación, se energiza la máquina con 110 VAC tomados desde la red eléctrica y se activan las protecciones termomagnéticas instaladas. Una vez energizado todos los elementos se procede a calibrar la fuente de voltaje a 12V y los convertidores de voltaje a 5V y a 24V. Con la máquina energizada se obtiene los resultados mostrados en la tabla 41, en cuanto al voltaje de alimentación que le llega a cada elemento y su estado:

Tabla 41

Resultados obtenidos de la prueba de energización y activación de los componentes eléctricos de la máquina.

Componente eléctrico/electrónico	Voltaje de alimentación	Estado
Controlador Arduino Mega 2560	12.09 V	Encendido – Funcionando
Módulo de Relés	12.1 V	Encendido – Funcionando
Drivers L298N	12.07 V	Encendido – Funcionando
Motores a pasos	12.1 V	Encendido – Funcionando
Motorreductores AC	123 V	Encendido – Funcionando
Monedero y convertidor MDB	24.0 V	Encendido – Funcionando

Componente eléctrico/electrónico	Voltaje de alimentación	Estado
Convertidor MAX232	4.95 V	Encendido – Funcionando
Pantalla Táctil	4.9 V	Encendido – Funcionando
Hardware IoT	5.04 V	Encendido – Funcionando

La tensión de alimentación que llega a cada uno de los elementos electrónicos es adecuada para que puedan encenderse y funcionar, además se encuentra dentro del rango de voltaje especificado por cada fabricante. Por otro lado, no se ha presentado ninguna condición anormal como cortocircuitos en la instalación eléctrica y las conexiones no interfieren con el movimiento de algunos elementos o partes de la máquina reduciendo el riesgo de una desconexión o dañado del cableado.

Potencia eléctrica consumida por la máquina

La potencia eléctrica real consumida por la máquina se determina midiendo la corriente consumida por la máquina y la tensión de alimentación en tres condiciones diferentes:

- **Máquina en reposo:** cuando la máquina está encendida sin recibir ninguna solicitud de compra y sin realizar alguna acción de dispensado. En esta condición la mayoría de elementos electrónicos se encuentran encendidos a excepción de los motores.
- **Activación de un motor a pasos:** cuando en un ciclo de venta se activa un único actuador que corresponde a un motor a pasos.
- **Activación de un motorreductor AC:** cuando en un ciclo de venta se activa un único actuador que corresponde a un motorreductor AC.

Con la corriente consumida y la tensión de alimentación es posible calcular la potencia real consumida por la máquina, los datos obtenidos para cada caso se resumen en la tabla 42:

Tabla 42

Potencia eléctrica 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

Los motores se activan durante un tiempo menor a los 10 segundos para dispensar un producto en un ciclo de venta. Si en un solo día se venden todos los productos de la máquina (246 productos), los actuadores estarían encendidos alrededor de 41 minutos, lo cual es insignificante comparado con el tiempo que este tipo de máquinas pasan encendidas en reposo, en algunos casos las 24 horas.

Por estos motivos, el consumo energético diario se calculará considerando que la máquina está encendida las 24 horas y que en el mismo día se ha vendido todos los productos que se pueden almacenar, en la tabla 43 se resumen el consumo de energético de la máquina calculado a partir de la potencia consumida y el tiempo de consumo.

Tabla 43

Consumo energético de la máquina en 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

El consumo energético obtenido para un día de trabajo (24 horas) es de 0.82 kWh, por lo que, al mes la máquina consume alrededor de 24.6 kWh, lo que indica que la máquina diseñada es de bajo consumo energético.

Tiempo de encendido de la máquina

Al energizar la máquina se energizan también los diferentes componentes eléctricos que están instalados, no obstante, algunos se demoran más que otros para entrar en modo de funcionamiento normal, por lo tanto, el tiempo de encendido de la máquina es el tiempo que la máquina demora desde que es energizada hasta que esta lista para comenzar a trabajar y vender productos, este tiempo se determina en base al elemento que más se demora en estar listo para trabajar.

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, el tiempo aproximado que se demora es de, por lo tanto, el tiempo de encendido de la máquina también es de 12 segundos.

Pruebas funcionales de los subsistemas

Con estas pruebas se busca verificar el correcto funcionamiento de cada uno de los subsistemas diseñados que conforman la máquina expendedora. En este apartado, cada subsistema se probará individualmente y su evaluación no dependerá del funcionamiento de otros subsistemas.

Sistema de dispensado y almacenamiento

Con las pruebas del sistema de dispensado y almacenamiento se busca verificar el número y tamaño de productos que pueden ser almacenados en la máquina, evaluar la confiabilidad en el dispensado de productos, comprobar que los productos no queden atascados y no sufran de algún daño durante su entrega, determinar la facilidad en la recarga de productos y medir la duración promedio del dispensado.

Capacidad de almacenamiento. La máquina expendedora cuenta con cinco bandejas identificadas con una letra mayúscula de la “A” a la “E”, en donde la bandeja A está ubicada arriba de las demás. Todas las bandejas tienen cinco compartimientos a excepción de la bandeja A que tiene ocho compartimientos, cada compartimiento se representa por un número y en cada uno se puede tener un tipo de producto, por lo que, la máquina es capaz de almacenar 28 tipos diferentes de productos en total. En la tabla 44 se presenta la capacidad total de almacenamiento por bandeja y para determinar el tamaño adecuado de los productos que pueden ser colocados por compartimiento se procede a poner diferentes tipos de productos en donde varíe la forma y las dimensiones de estos.

Tabla 44

Capacidad total de almacenamiento de la máquina diseñada.

	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		

La bandeja A es la única que tiene dividido los ocho compartimientos en dos grupos, cuatro compartimientos para productos pequeños con un grosor de mm y cuatro compartimientos para productos pequeños con un grosor de mm. Los compartimientos de las bandejas B y C están destinados para productos medianos, mientras que los compartimientos de las bandejas D y E están destinados para productos grandes.

Proceso de recarga de productos. De forma periódica se debe realizar el reabastecimiento de productos, para lo cual el encargado de esta tarea debe abrir la compuerta frontal para tener acceso a las bandejas de almacenamiento y poder sacarlas para colocar los nuevos productos en los espacios vacíos de los resortes, este proceso se muestra en la figura 117. Las pruebas realizadas en este parte tienen el objetivo de verificar si no existe alguna colisión o evento, entre las piezas mecánicas y elementos eléctricos de la máquina, que pueda dañarlas y afectar su correcto funcionamiento, obteniendo así los siguientes resultados mostrados en la tabla 45.

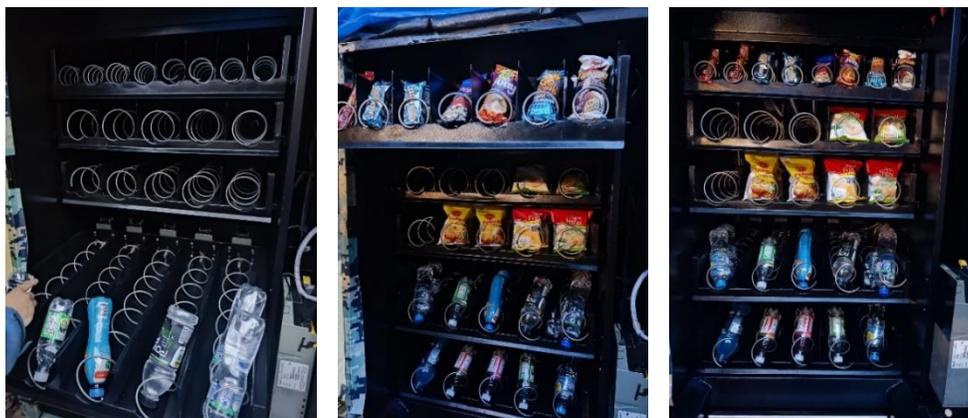
Tabla 45

Resultados de las pruebas realizadas para verificar el proceso de recarga de productos.

Prueba	Resultado de la Prueba	Observación
Entrada y salida de bandejas	Aprobado	Las bandejas se deslizan sobre los rieles instalados de forma que no se atascan y no se requiere de mucha fuerza para sacarlas o meterlas.
Daños al circuito eléctrico en el reabastecimiento	Aprobado	Al sacar y meter las bandejas no se desconectan los elementos eléctricos sujetos en la parte posterior y el cableado tampoco se ve afectado.
Colocación de productos en las bandejas	Aprobado	Los productos son colocados fácilmente en los resortes, no se requiere de acciones incómodas y herramientas adicionales.
Calibración de resortes	Aprobado	Los resortes de las bandejas A, B y C son fáciles de girar y calibrar a la posición requerida, los resortes de las bandejas D y E conectados a los motorreductores, presentan mayor dificultad para girarlos de forma manual aun así es posible su calibración.

Figura 117

Proceso de colocación de productos en la máquina expendedora.



Dispensado de productos. El dispensado de un producto comprende el proceso que realiza la máquina para transportar el producto desde la bandeja de almacenamiento hacia el receptáculo en un ciclo de venta, por lo tanto, las pruebas realizadas tienen la finalidad de evaluar la confiabilidad del sistema de dispensado y verificar que el producto seleccionado sea entregado al consumidor sin sufrir daños en el camino ni quedar atrapado entre los elementos de la máquina. Para las pruebas de dispensado, se solicita a la máquina 20 productos de cada bandeja en orden aleatorio, por lo que, en total se realizan 100 pruebas del sistema de dispensado, obteniendo así los siguientes resultados mostrados en la tabla 46.

Tabla 46

Resultados obtenidos de las pruebas de dispensado por bandejas.

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%

En las pruebas realizadas por bandeja se puede observar que el máximo error en la entrega del producto obtenido es del 15%, el cual corresponde a la bandeja B, en donde tres productos de los solicitados no llegaron al cliente. Dentro de los 100 productos solicitados únicamente 7 no llegaron al cliente obteniendo un 7% de error en la entrega de productos. Por otro lado, la integridad física de los productos no se ve afectada por la caída y este llega sin daños a las manos del cliente. En la tabla 47 se resumen los problemas presentados durante las 100 pruebas realizadas:

Tabla 47

Problemas presentados en las pruebas de dispensado.

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 %

En el caso del descarrilamiento de los resortes, este no supone un problema que interrumpa la venta o dañe a los productos, no obstante, para solucionarlo se realizaron cambios en la ubicación del motor en la bandeja y en la unión del motor con el resorte. Por otro lado, los dos casos en los que el producto se quedó atrapado si representa un problema ya que interrumpe el proceso de venta.

En tres ocasiones el producto se quedó atrapado en el resorte lo que evito su caída a la bandeja de recepción y en dos ocasiones el producto se quedó atrapado justo antes de llegar a la bandeja de caída. Las principales razones de que estos problemas se presenten se deben a una mala colocación de los productos en los resortes (lo que produce que en la caída estos se

volteen y queden atrapados) y una falta de calibración en la posición de los resortes (lo que produce que al activarse el resorte una parte del envoltorio del producto se quede atascada en el extremo de este). Para minimizar la probabilidad de que se presente estos problemas se debe tener precaución en la colocación de los productos en las bandejas, verificando que el producto quede de manera diagonal en el resorte y que todos los resortes estén calibrados de forma correcta según la geometría y tipo de producto como se muestra en la figura 118.

Figura 118

Forma correcta de colocar diferentes tipos de productos y calibrar los resortes (Izquierda: Alimentos tipo snacks y Derecha: Bebidas embotelladas).



Tiempo de dispensado de productos. El tiempo de dispensado de productos comprende el tiempo que la máquina tarda en dispensar el producto, es decir, desde que el motor correcto se enciende hasta que el producto llega a la bandeja de entrega. Este tiempo es diferente para las filas que emplean motores a pasos (bandejas A, B y C) y para las filas que emplean motorreductores AC (bandejas D y E), en la tabla 48 se detalla los tiempos de dispensado para cada bandeja:

Tabla 48

Tiempo aproximado de dispensado por bandeja.

Bandejas	Tiempo de dispensado
Bandeja A	3.2 segundos
Bandeja B	3 segundos
Bandeja C	2.9 segundos

Bandejas	Tiempo de dispensado
Bandeja D	8.1 segundos
Bandeja E	8 segundos

Como se puede observar, los tiempos de dispensado son diferentes de acuerdo con el tipo de motor que se utilice en cada bandeja, para bandejas con motores a pasos el tiempo de dispensado es de 3 segundos aproximadamente, mientras que para bandejas con motorreductores AC el tiempo aumenta a 8 segundos. En ambos casos, el tiempo de dispensado es menor a 10 segundos, lo cual, cumple con los requerimientos iniciales.

Sistema de cobro y cambio

Al probar el sistema de cobro se evaluará el algoritmo programado y la comunicación entre el controlador y el monedero, de tal forma, que se verifique si los datos transmitidos son recibidos e interpretados de forma correcta tanto en el cobro y la identificación de monedas como en la entrega del cambio y la devolución del dinero.

Cobro e identificación de monedas. El monedero de fabrica viene configurado para aceptar monedas de 5 ctvs., 10 ctvs., 25 ctvs. y un dólar estadounidense, por lo tanto, no acepta monedas nacionales, no obstante, estas monedas nacionales pueden guardarse en la memoria del monedero como “fichas con valor” y de esta manera habilitar su recepción. En resumen, el monedero y por ende la máquina expendedora diseñada y construida, acepta monedas de 5 ctvs., 10 ctvs., 25 ctvs. y un dólar estadounidenses y nacionales, el monedero no acepta monedas de 50 ctvs. porque el diámetro de la moneda es mayor al diámetro de los conductos del monedero y se queda atascada.

Para evaluar el grado de confiabilidad en el cobro, calcular el porcentaje de error en el reconocimiento de una moneda y verificar el algoritmo encargado de calcular el dinero total ingresado por el cliente, se ingresan 20 monedas por cada denominación monetario (entre monedas estadounidenses y nacionales) y 20 monedas internacionales diferentes al dólar

estadounidense. En la prueba funcional, las 100 monedas se ingresan de manera aleatoria obteniendo así los siguientes resultados mostrados en la tabla 49.

Tabla 49

Resultados obtenidos en las pruebas de 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 %

De las 100 monedas ingresadas las 80 que tenían valor fueron aceptadas y reconocidas de forma correcta tanto por el monedero como por la máquina expendedora, mientras que las 20 monedas que son de otros países fueron rechazadas como se esperaba. Por lo tanto, la máquina construida es capaz de aceptar monedas estadounidenses y nacionales y las identifica sin ningún problema con un error en el reconocimiento del 0%, siendo un sistema de cobro con alta confiabilidad.

Entrega de cambio y devolución de dinero. El monedero posee cinco tubos para almacenar monedas de 5, 10 y 25 centavos, las cuales, son ocupadas para dar al cliente cuando se requiera entregar vuelto o cuando se solicite una devolución de dinero por pantalla. El controlador indica al monedero el valor que debe entregar al usuario y el monedero selecciona la combinación de monedas más adecuada para alcanzar este valor. En el caso que la máquina deba entregar cambio al final de una venta, el controlador es el encargado de calcular el valor del vuelto e indicar al monedero para que lo entregue, por otro lado, en el caso que se solicite una devolución por pantalla, el controlador verifica si esta solicitud se realiza

antes de la entrega del producto y si es así habilita el monedero para entregar el dinero, si ya se está dispensando el producto el controlador rechaza la solicitud de devolución y no habilita al monedero.

Para evaluar el grado de confiabilidad en la entrega de cambio y devolución de dinero, verificar el algoritmo programado para estas funciones y calcular el porcentaje de error en la entrega de dinero y el porcentaje de error en el valor entregado, se realizan 40 compras diferentes, en 20 de estas compras la máquina debe entregar vuelto mientras que en las 20 compras restantes la máquina no debe entregar vuelto, puesto que el dinero ingresado será igual al precio del producto solicitado. Por otro lado, se solicitará en 20 ocasiones la devolución del dinero con diferentes valores antes de la entrega del producto y en 20 ocasiones más la devolución del dinero durante la entrega del producto, en este último caso la máquina no debe devolver el dinero puesto que la compra ya se efectuó. En la tabla 50 y tabla 51 se indican los resultados obtenidos:

Tabla 50

Resultados obtenidos que permiten calcular el 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%

Tabla 51

Resultados obtenidos que permiten calcular el porcentaje de error en el valor 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%

En las 20 compras que se debe entregar cambio y en las 20 solicitudes de devolución de dinero realizadas antes del dispensado del producto, la máquina entregó la cantidad correcta de dinero para cada caso variando únicamente la combinación de monedas. En las 20 compras que no se debe entregar cambio y en las 20 solicitudes de devolución de dinero realizadas durante el dispensado del producto, la máquina no entregó dinero, lo cual es lo correcto. En resumen, la máquina expendedora es capaz de entregar vueltos y realizar devoluciones de dinero de cualquier valor con un error en la entrega del dinero y en el valor entregado del 0%, lo que indica que la función de la máquina correspondiente a la entrega de dinero tiene una alta confiabilidad.

Cabe mencionar que la única razón por la que la máquina no entregue dinero o el valor entregado sea incorrecto es cuando los tubos de almacenamiento del monedero estén vacíos o sin la cantidad adecuada de monedas para dar vueltos, por lo que, es responsabilidad del propietario de la máquina asegurarse de recargar los tubos del monedero para no tener problemas con la entrega de vueltos o la devolución de dinero.

Interfaz de usuario

La interfaz de usuario comprende el medio de comunicación entre los requerimientos de los clientes y la máquina, esta interfaz contiene una serie de funcionalidades que permiten

garantizar la confiabilidad de la máquina. La interfaz de usuario tiene una comunicación serial con el controlador de la máquina y es importante evaluar el funcionamiento para determinar posibles fallos que se puedan presentar durante su funcionamiento. Para ello en la tabla 52 se describen las diferentes pruebas realizadas en la interfaz de usuario para gratificar su uso confiable, dichas pruebas buscan un resultado cualitativo puesto que las características de funcionamiento deben ir de acuerdo con las necesidades de uso de los clientes y del dueño de la máquina para diferentes campos como lo son la compra y las configuraciones de usuario junto con un nivel de acceso seguro.

Tabla 52

Resultados obtenidos en las pruebas realizadas a la interfaz HMI.

Prueba	Resultado de la Prueba	Observación
Solicitud de precio de producto	Aprobado	La interfaz HMI permite de forma sencilla solicitar el precio del producto con un simple botón.
Ingreso correcto de monedas y adición al saldo	Aprobado	La adición de saldo se realizó de forma correcta sin importar el monto o velocidad en el ingreso de las monedas.
Funcionamiento del botón borrar para cancelar pedidos	Aprobado	El botón de borrar tiene un funcionamiento óptimo, ya que elimina los campos de forma directa sin guardar ningún producto no deseado en la memoria.
Funcionamiento del botón de devolución de dinero	Aprobado	El botón de devolución tiene una ubicación idónea y un funcionamiento correcto, sin importar el monto de dinero.

Prueba	Resultado de la Prueba	Observación
Ingreso correcto con usuario y contraseña	Aprobado	Ingresar a la pantalla de configuración es sencillo, aunque presenta la dificultad de que el teclado es relativamente pequeño para la pantalla, pero no es un parámetro que sea editable.
Lectura y actualización de precios	Aprobado	La lectura de los precios tiene un periodo de espera de aproximadamente de 3 segundos para que la pantalla cargue, pero todos los precios se cargan de manera correcta.
Lectura y actualización de valores de inventario	Aprobado	La actualización de los valores de inventario tiene un periodo de espera de 5 segundos hasta que se actualice la pantalla debido a la comunicación con el módulo ESP32, pero todos los valores se cargan de manera correcta.
Muestra de mensajes durante la venta para ayuda del cliente	Aprobado	En la pantalla se muestran mensajes oportunos durante la venta de un producto, que le permiten al cliente conocer en que etapa de la venta se encuentra y que debe realizar para culminar su compra de manera exitosa.

En la figura 119 se muestra la pantalla HMI implementada en el proyecto para denotar que su uso se gratifica conjuntamente a las simulaciones realizadas en cada una de sus pantallas.

Figura 119

Pantallas de la HMI diseñadas e implementadas de forma física en la máquina.



Control de inventario

El control de inventario es una función de la máquina que consiste en el envío de notificaciones por medio de correo electrónico en diferentes ocasiones para comunicar de forma oportuna al propietario la terminación de algún producto en específico, para habilitar esta función se requiere conexión a internet, por lo tanto, las pruebas estarán dirigidas a verificar la conexión a internet de la máquina a través del módulo Wi-Fi (ESP32), evaluar la facilidad de configurar los datos relacionados a las credenciales de red y direcciones de correo, comprobar que el envío de notificaciones se realice de forma correcta y medir el alcance de la cobertura Wi-Fi de la máquina.

Configuración de credenciales de red y direcciones de correo. Los datos requeridos por el ESP32 para conectarse a internet y enviar notificaciones, se guardan en la memoria microSD, por lo tanto, para modificarlas se requiere editar los archivos "conectividad.txt" y "correo.txt" desde otro dispositivo como una computadora o un celular. Una vez que se configuraran las credenciales de red y direcciones de correo, el ESP32 debe ser capaz de leerlas para utilizarlas en el resto de la aplicación. Las pruebas en esta sección estarán

orientadas a verificar si es posible modificar los datos mencionados y comprobar si el ESP32 puede leerlos correctamente para conectarse a internet y enviar notificaciones. Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 53.

Tabla 53

Pruebas realizadas en torno al proceso de configuración de credenciales de red y direcciones de correo.

Prueba	Resultado de la Prueba	Observación
Modificación de credenciales de red	Aprobado	Las credenciales de red pueden modificarse fácilmente en el archivo “conectividad.txt” guardado en la microSD, no obstante, este proceso puede llevar un tiempo, ya que, al requerir de un dispositivo externo a la máquina, se debe desconectar la microSD de la máquina, realizar las modificaciones y volver a conectarla para de ahí reiniciar la máquina.
Modificación de las direcciones de correo	Aprobado	Las direcciones de correo pueden modificarse fácilmente en el archivo “correo.txt” pero al igual que con las modificaciones a las credenciales de red, este proceso puede llevar un tiempo.
Lectura de los datos por el ESP32	Aprobado	El ESP32 es capaz de leer los datos de la memoria microSD, siempre y cuando, esta se encuentre conectada, si no está conectada el módulo no continúa con el programa. Los datos son almacenados en variables del ESP32 y empleados oportunamente.

En la figura 120 se muestra los datos leídos por el ESP32 de la memoria microSD, como parte de las pruebas realizadas.

Figura 120

Monitor del puerto serial donde se encuentra conectado el ESP32 a la computadora, en donde se puede observar los datos leídos de la memoria microSD.

```

COM6

11:58:53.823 -> Intento: 7
11:58:54.614 -> Intento: 8
11:58:55.402 -> Intento: 9
11:58:56.238 -> Intento: 10
11:58:56.516 -> Inicialización completa
11:58:56.516 -> usuario= CCEloy
11:58:56.516 -> contraseña= 123456789
11:58:56.516 -> remitente= vending.mch45@gmail.com
11:58:56.516 -> destinatario= andres.mpa45@gmail.com
11:58:56.516 -> contraseña= rextmduucoxofxmt
11:58:56.516 -> Inventario= 1 2 4 4 0 1 0 2 0 0 0 0 0 4 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
11:58:56.516 -> Productos vendidos= 2 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 1 2 2 2 2 3 2 2 1 7 1 2 1 1 1 1
11:58:56.516 -> Intentando conectarse

```

Conexión a internet. Con los datos leídos de la microSD relacionados a las credenciales de red (nombre de la red y contraseña), el ESP32 debe ser capaz de conectarse a internet de forma inalámbrica, para comprobar esta conexión el ESP32 envía una notificación al correo electrónico informando que se ha podido conectar a internet y la cantidad de productos disponibles por compartimiento como se muestra en la figura 121.

Figura 121

Notificación informativa enviada por correo electrónico indicando que el ESP32 se ha conectado a internet y que la máquina ha sido encendida.



Siempre que exista una red, la tarjeta microSD esté conectada y las credenciales de red sean correcta, el módulo ESP32 debe poder conectarse a internet y enviar la notificación mostrada cada que la máquina se encienda. Para verificar la conexión a internet se realizan 20 pruebas considerando que la tarjeta microSD está conectada, las credenciales de red son correctas y el módem se encuentra a 15 metros de distancia de la máquina, obteniendo así los siguientes resultados mostrados en la tabla 54.

Tabla 54

Resultados obtenidos de las pruebas realizadas de conexión a la red mediante Wi-Fi.

Prueba	N° de pruebas de conexión realizadas	N° de veces que la máquina se conectó a internet	% Error en funcionamiento
Conexión a red inalámbrica mediante Wi-Fi al encender la máquina	20	20	0%

En todas las pruebas realizadas el ESP32 se conectó a internet, por lo que, se recibió al correo electrónico la notificación donde se indica que la máquina fue encendida. Además, las razones por las cuales puede fallar la conexión del módulo son: nombre o contraseña de red incorrectas, mala señal de Wi-Fi en el lugar donde se encuentra la máquina y error en la lectura de la memoria microSD.

Envío de notificaciones. El módulo ESP32 puede enviar tres tipos diferentes de notificaciones dependiendo de la situación actual de la máquina:

- Notificaciones informativas al momento que la máquina se enciende, como la que se muestra en la figura 121.
- Notificaciones de advertencia si un tipo de producto está próximo a terminarse (menos de tres productos en stock), como la que se muestra en la figura 122.

Figura 122

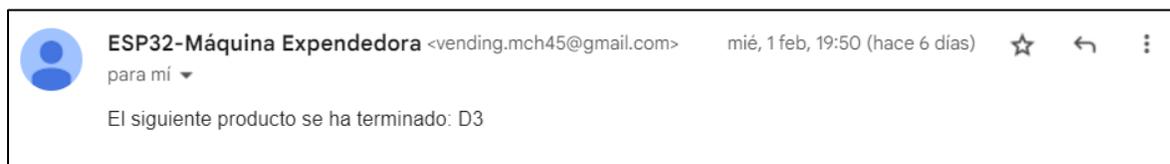
Notificación de advertencia enviada al correo electrónico indicando que un producto está próximo a terminarse, en este caso el producto es el D3.



- Notificaciones de alerta cuando un tipo de producto se ha terminado, como la que se muestra en la figura 123.

Figura 123

Notificación de alerta enviada al correo electrónico indicando que un producto se ha terminado, en este caso el producto es el D3.



Las pruebas en esta sección se realizan con la finalidad de verificar que el ESP32 envíe la notificación correcta dependiendo de la situación que se presente, para lo cual, se realizarán 20 pruebas para cada tipo de notificación de forma aleatoria. Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 55.

Tabla 55

Resultados obtenidos de las pruebas de 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%

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

Según los resultados obtenidos, todas las notificaciones se enviaron al correo electrónico de forma correcta de acuerdo con la situación presentada, lo que indica que la aplicación IoT para el control de inventario tiene una alta confiabilidad y funciona de forma correcta. Además, las razones por las cuales el envío de notificaciones puede fallar son: direcciones de correo electrónico incorrectas o mal escritas, fallo en la lectura de la memoria microSD y error en la actualización del inventario por pantalla cuando se reabastecen los productos.

Cabe mencionar que, cada que la máquina es reabastecida de productos el encargado debe actualizar el número de productos disponibles por compartimiento desde la pantalla táctil en el menú de configuraciones. Si esta acción no es realizada, la máquina no sabrá cuándo los productos tiene en stock y enviará notificaciones erróneas.

Cobertura de la conexión inalámbrica. Conforme las pruebas realizadas se determinaron que la distancia a la que la máquina puede ubicarse del módem de internet es de 10 a 15 metros sin comprometer el correcto funcionamiento de la aplicación IoT.

Prueba integral del funcionamiento de la máquina

Estas pruebas tienen la finalidad de verificar el correcto funcionamiento de la máquina con todos los subsistemas integrados, cabe mencionar que para estas pruebas ya se llevaron a cabo acciones correctivas para solucionar los problemas encontrados de algunos subsistemas como en el caso del sistema de dispensado.

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. Dentro de este proceso de venta interactúan todos los subsistemas probados individualmente, realizando diferentes funciones que forman parte del proceso como el cobro, dispensado del producto, entrega de vuelto, interacción con el usuario, envío de notificaciones al correo, entre otros previamente mencionados.

Para las pruebas se realizará 100 compras de diferentes productos al azar, ingresando diferente cantidad de dinero y se considerará una venta completada de forma correcta si el producto seleccionado es entregado sin daños, si se recibe la cantidad adecuada del vuelto, si el tiempo de venta es el esperado, si se recibe la notificación correspondiente, entre otras situaciones en donde se verifique que los subsistemas se integraron de forma correcta. Los resultados obtenidos de estas pruebas se muestran en la tabla 56.

Tabla 56

Resultados obtenidos de las pruebas de venta realizadas a la máquina expendedora.

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%

Según los resultados obtenidos, de las 100 ventas realizadas por la máquina únicamente 4 ventas fallaron debido a que el producto no llegó al cliente por quedarse atrapado en alguna parte de la máquina, aparte de este inconveniente, todos los subsistemas funcionaron de manera correcta y no se presentó ningún problema adicional, por lo que, el porcentaje de error obtenido en el proceso de venta es del 4%, concluyendo así que la máquina tiene una alta confiabilidad en la comercialización y venta de productos de forma automática.

En la figura 124 se muestra el proceso de venta que lleva a cabo la máquina expendedora diseñada y construida.

Figura 124

Proceso de venta ejecutado por la máquina expendedora diseñada y construida.



Análisis de resultados

Una vez finalizado el proceso de diseño, construcción y pruebas, se ha obtenido una máquina expendedora funcional, capaz de comercializar productos alimenticios de manera automática con una alta confiabilidad y exactitud en el proceso, tiene un bajo consumo energético e incorpora una pantalla táctil con información y mensajes útiles que ayudaran al cliente en el proceso de compra. 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.

La máquina expendedora automática, diseñada y construida en este proyecto se muestra en la figura 125.

Figura 125

Máquina expendedora automática de alimentos y bebidas diseñada y construida, con adecuaciones estéticas finales.



Evaluación de cumplimiento de los requisitos

A continuación, se evaluará el grado en el que la máquina construida cumple los requisitos identificados al inicio del diseño:

- **Requisito:** Carcasa robusta que brinde seguridad a los productos, de tal forma, que la máquina pueda ser colocada en un espacio público o privado.

Evaluación: La geometría prismática de la carcasa y el material empleado para su construcción brinda suficiente robustez de tal forma que la máquina pueda ser instalada en cualquier lugar cerrado, sin embargo, no es recomendable en lugares abiertos por ciertos fenómenos atmosféricos como la lluvia que pueden dañar otros elementos como la pantalla táctil.

- **Requisito:** Diseño modular de la máquina, que permita el intercambio rápido y fácil de elementos en el caso de que lleguen a averiarse.

Evaluación: Todos los elementos electrónicos y piezas mecánicas están diseñadas y montadas de forma que sean fáciles de intercambiar y no requiere el desmontaje de varios elementos para acceder y cambiar uno en específico.

- **Requisito:** Entrega del producto seleccionado al cliente de forma automática, rápida y segura, sin obstrucción con los demás componentes de la máquina.

Evaluación: El sistema de dispensado de la máquina expendedora es capaz de entregar el producto en un tiempo menor a los 10 segundos sin que este se quede atrapado en alguna parte de la máquina y sin que presente daños en su envoltura.

- **Requisito:** La interfaz de usuario es clara y presenta la información necesaria para realizar la compra.

Evaluación: Como interfaz de usuario se implementa una pantalla táctil Nextion de 7 pulgadas, que gracias a su tamaño facilita su uso por parte del usuario para la solicitud de productos, además presenta mensajes oportunos que sirven de ayuda para el comprador.

- **Requisito:** Configuración de precios de forma directa desde la interfaz de usuario.

Evaluación: La pantalla táctil presenta un menú de configuraciones protegido por usuario y contraseña, desde el cual se puede configurar y guardar precios de forma rápida y fácil sin necesidad de cambiar el programa del controlador.

- **Requisito:** Al ingresar dinero en la máquina el sistema de cobro y el controlador son capaces de detectar y reflejar en el interfaz el monto total ingresado.

Evaluación: El monedero MEI CF7000 se comunica con el controlador Arduino mediante el convertidor MDB y el convertidor MAX232, lo que permite el reconocimiento de diferentes monedas y el cálculo del crédito total ingresado por el usuario, todos estos valores son reflejados en la pantalla con una alta confiabilidad y exactitud.

- **Requisito:** Sistema de entrega de cambio conforme el valor del producto y el dinero introducido.

Evaluación: El controlador Arduino es encargado de calcular el cambio que se debe entregar y el monedero MEI CF7000 es el encargado de entregarlo, la confiabilidad y exactitud en la entrega de dinero es alta.

- **Requisito:** La máquina es capaz de llevar un control de inventario que permita notificar al propietario de forma remota y en tiempo real la escasez de un producto.

Evaluación: Para el control de inventario se emplea un módulo Wi-Fi ESP32 con un módulo microSD. En la tarjeta microSD se almacena la información del inventario, es decir, la cantidad de productos disponibles y el número de productos vendidos, con lo cual, el ESP32 identifique el momento que un producto se termine para enviar una notificación vía correo electrónico. La configuración de red para la conexión del ESP32 a internet también es fácil de realizar, mediante la modificación de un archivo guardado en la microSD y no requiere modificar el programa del módulo.

- **Requisito:** Flexibilidad para la recarga de productos orientada a la facilidad de uso por parte del trabajador encargado.

Evaluación: Para reabastecer de productos a la máquina no se requiere de acciones incómodas, peligrosas o difíciles de realizar. En resumen, el trabajador debe abrir la compuerta delantera, sacar una bandeja y colocar los productos en los resortes de cada compartimiento, por lo tanto, el encargado puede llevar a cabo esta tarea de forma segura, rápida, fácil y sin mucho esfuerzo.

- **Requisito:** Facilidad de uso por parte del consumidor.

Evaluación: El proceso en una venta es muy intuitivo y fácil de ejecutar por el consumidor, una vez que el cliente solicite y pague el producto seleccionado, la máquina se encarga automáticamente de entregar el producto y el vuelto en caso de ser necesario.

- **Requisito:** El sistema de iluminación debe brindar buena visualización de todos los productos de la máquina.

Evaluación: Las luces instaladas en la puerta frontal ilumina completamente a todas las bandejas de la máquina y por ende a los productos con su respectiva identificación y precio. Además, el sistema de iluminación puede ser encendido o apagado por el encargado de la máquina de forma fácil a través de un interruptor instalado detrás de la puerta frontal al interior de la máquina.

Especificaciones técnicas finales

En la tabla 57 se muestran las especificaciones técnicas finales de la máquina expendedora construida, obtenidas a partir de las pruebas realizadas.

Tabla 57

Especificaciones técnicas finales de la máquina expendedora diseñada y construida.

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

Comparación con las especificaciones técnicas preliminares

Las especificaciones técnicas preliminares se establecieron al inicio del diseño y se plantearon en base a los requerimientos iniciales y con el objetivo de que la máquina diseñada sea competitiva en el mercado actual de máquinas vending nacionales. Además, estas especificaciones sirvieron como punto de partida y se convirtieron en metas que se buscaban alcanzar con la máquina diseñada.

En este apartado se comparará el valor de las especificaciones técnicas preliminares con las finales y se verificará si la máquina expendedora construida cumple con los valores esperados. La comparación realizada se detalla en la tabla 58.

Tabla 58

Comparación entre las especificaciones técnicas preliminares y las especificaciones técnicas finales.

Especificaciones Técnicas	Valores esperados	Valores finales	¿Cumple con lo esperado?
Altura	Entre 1600 y 2000 mm	1835 mm	Si cumple
Ancho	Entre 800 y 1200 mm	900 mm	Si cumple
Profundidad	Entre 800 y 1200 mm	990 mm	Si cumple
Peso	Máximo 120 Kg	180 kg aproximadamente	Si cumple
Variedad de productos	Mínimo 28 tipos diferentes	28 tipos diferentes	Si cumple
Capacidad de productos pequeños	Mínimo 75 productos	116 productos	Si cumple
Capacidad de productos medianos	Mínimo 40 productos	70 productos	Si cumple
Capacidad de productos grandes	Mínimo 30 productos	60 productos	Si cumple
Capacidad total de productos	Mínimo 145 productos	246 productos	Si cumple
Peso neto por producto	Entre 10 y 300 gr para alimentos Entre 300 y 600 ml para bebidas	Máximo 300 gramos para alimentos Máximo 700 ml para bebidas	Si cumple
Altura de productos	Entre 100 y 200 mm	Entre 80 y 240 mm	Si cumple
Ancho de productos	Entre 50 y 130 mm	Máximo 120 mm	Si cumple
Espesor de productos	Entre 10 y 80 mm	Máximo 80 mm	Si cumple
Tensión de alimentación	120 VAC	120 VAC	Si cumple
Frecuencia de alimentación	60 Hz	60 Hz	Si cumple

Especificaciones Técnicas	Valores esperados	Valores finales	¿Cumple con lo esperado?
Consumo de energía (diario)	Máximo 15 kWh	0.82 kWh	Si cumple
Tiempo de venta	Máximo 1 minuto	22 segundos	Si cumple
Tiempo de dispensado	Máximo 10 segundos	8 segundos	Si cumple
Capacidad del Monedero	Mínimo 5 denominaciones monetarias diferentes	4 denominaciones monetarias diferentes (nacionales y estadounidenses)	No cumple
Conectividad a internet	Inalámbrica	Wi-Fi	Si cumple

Se puede observar que en algunos casos se alcanzaron valores en las especificaciones técnicas mejores a los esperados como es el caso de la capacidad total de productos o el consumo de energía diario.

La única especificación técnica que no fue alcanzada es la “Capacidad del Monedero”, ya que se esperaba que la máquina pueda aceptar 5 denominaciones monetarias diferentes, sin embargo, la máquina final no acepta monedas de 50 centavos, por lo que, solo identifica 4 denominaciones monetarias diferentes. Este problema se debe a que el monedero MEI CF7000 acepta monedas cuyo diámetro sea máximo de 28.5 mm y las monedas de 50 centavos tienen un diámetro de 30.61 mm lo que hace que se quede atascada, por lo tanto, este problema depende del monedero y no de los subsistemas y partes diseñadas de la máquina.

Presentación de costos

En este apartado se denotan los costos que ha concebido la realización de este proyecto, de manera que se clasifican los costos como directos e indirecto para poder identificar todos aquellos gastos que concurren en la construcción de la máquina.

Costos directos. Son aquellos costos que se pueden cuantificar conforme el producto terminado, es decir, son los costos requeridos para poder obtener el resultado final del proyecto que es la máquina expendedora terminada y funcional, estos costos son materiales mecánicos, materiales electrónicos, mano de obra, tornillería. Para el proyecto desarrollado se presenta un desglose de los costos según el componente diseñado, es decir, los costos para la construcción mecánica, electrónica y de control.

Tabla 59

Detalle de costos directos en el proyecto.

Detalle	Cantidad	Costo Unitario		Total
		\$	\$	\$
Elementos Mecánicos				
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 Electrónicos 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

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

Costos indirectos. Son aquellos costos que no se pueden clasificar internamente como costos incurridos en el producto final, pero aportan al desarrollo del proyecto y el bien producido y tienen importancia dentro del proyecto.

Tabla 60*Detalle de costos indirectos en el proyecto.*

Detalle	Cantidad	Costo Unitario		Total	
			\$	\$	\$
Productos de pruebas	1	\$	15.00	\$	15.00
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

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

Capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

Se diseñó 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 al inicio del trabajo. 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. En el diseño y construcción de la máquina se destaca el empleo de materiales y elementos electrónicos de buena calidad que en su mayoría son de fácil adquisición en el mercado nacional.

Se empleó el Arduino Mega 2560 como controlador central de la máquina 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 EEPROM y la incorporación de una pantalla táctil como interfaz de usuario. La arquitectura de red y los circuitos eléctricos de control y potencia diseñados se implementaron en un tablero eléctrico siguiendo normativa nacional e internacional, obteniendo así una instalación eléctrica segura y fácil de dar mantenimiento.

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 y precisión. 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 implementó el protocolo de comunicación MDB para el intercambio de datos entre el monedero y el controlador empleando elementos adicionales. En

las pruebas realizadas, el sistema de cobro tuvo un porcentaje de error en la recepción e identificación del pago y en la entrega de dinero del 0%. Tomando en cuenta que este sistema es crítico en una máquina de este tipo, el porcentaje de error obtenido permite concluir que la máquina puede ser empleada de forma comercial sin perjudicar al consumidor o al propietario de la máquina.

Se diseñó un sistema de almacenamiento en el que se puede colocar hasta 28 tipos diferentes de productos y un total de 246 productos distribuidos en los diferentes compartimientos de cada bandeja, cumpliendo así con los requisitos iniciales de la empresa auspiciante. Por otro lado, 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 de dispensado. La probabilidad de que estos problemas se presenten puede reducirse si se realiza una correcta colocación de los productos en los resortes de cada compartimiento, por otro lado, la posición inicial del resorte también influye en la caída del producto y en la probabilidad de que este quede atrapado en la máquina o sea entregado al cliente.

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 que las máquinas expendedoras tradicionales no poseen. Con la conectividad a internet se logró implementar el envío de notificaciones por correo electrónico lo que permite informar al propietario, los datos actuales del inventario para apoyar con la planificación en torno al reabastecimiento de productos. 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, también facilita la configuración de precios e inventario al poder integrar diferentes

menús que son de fácil navegación y están protegidos con usuario y contraseña. Además, estos elementos integrados en la máquina que sirven como base para el desarrollo e implementación de nuevas funciones que forman parte del Smart Vending.

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. Al energizar la máquina, esta se demora alrededor de 12 segundos en estar lista para comenzar a vender los productos almacenados y no se necesita realizar configuraciones adicionales cada vez que la máquina se encienda, por lo que, esta comience a trabajar de forma normal y con la información de precios almacenada en su memoria.

Recomendaciones

La forma de utilizar la máquina expendedora es fácil e intuitiva, pensada principalmente para el usuario final, no obstante, se recomienda que antes de poner en operación la máquina se lea de forma detenida el manual de usuario para conocer los puntos de operabilidad de la máquina y no cometer errores en su puesta en marcha. El manual de usuario sirve como guía para que el usuario pueda emplear de forma correcta todas las funciones que incorpora la máquina.

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. Por otro lado, se recomienda no exceder los límites de peso

recomendados para los productos, ya que esto podría causar un sobreesfuerzo en los motores acortando su vida útil y generando un gasto futuro innecesario.

Para realizar cualquier trabajo de mantenimiento o inspección del tablero de control y de los elementos eléctricos de la máquina, se recomienda desconectar la alimentación 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, una mala calibración de dichas levas puede provocar que el producto no sea despachado completamente o que a su vez se entregue una cantidad mayor de productos en una venta unitaria. Para una correcta calibración de los resortes de los motores AC se recomienda trabajar por la parte trasera de la máquina ya los motores AC poseen un reductor mecánico que genera una oposición muy grande al movimiento y al tratar de calibrar desde la parte frontal se puede causar un daño al resorte.

La recarga de productos es un proceso que se llevará a cabo de forma periódica, por lo tanto, para garantizar la seguridad del encargado se recomienda que esta tarea se realice abriendo la puerta frontal de la máquina siguiendo las recomendaciones especificadas en el manual de usuario, en ningún caso se debe abrir la puerta posterior para realizar el reabastecimiento de productos, ya que al estar la máquina encendida el encargado puede tener contacto con los cables de potencia que alimentan los motores. En el caso que se requiera realizar alguna tarea que implique la apertura de la puerta posterior como la calibración de resortes, se recomienda desconectar la alimentación eléctrica para evitar accidentes hacia el operador encargado de la recarga.

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. Por otro lado, se recomienda que la pantalla táctil de la máquina siempre esté protegida con una mica ya que al ser de uso general para el público y al encontrar en lugares abiertos esta puede llegar a tener un deterioro mayor y causar un gasto futuro innecesario. Para limpiar la pantalla se debe pasar por su superficie un paño húmedo evitando que queden gotas de agua sobre ella ya que estas pueden dañarla.

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.

Bibliografía

- Albán Naranjo, R. E., & del Hierro Calvachi, P. A. (2013). *Diseño y construcción de un prototipo de máquina vending inversa para la aceptación, compactación y almacenamiento de botellas pet de 250 a 3000cm³ para SERPRA CÍA. LTDA.* [Tesis de pregrado, Escuela Politécnica del Ejercito].
<http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/6659>
- Alliance Vending. (2010). *Máquinas y servicio vending: la importancia de un servicio impecable.* Interempresas.
https://www.interempresas.net/Equipamiento_oficinas/Articulos/42385-Maquinas-y-servicio-vending-la-importancia-de-un-servicio-impecable.html
- ANSI/NFPA 70. (2016). *Standard for Vending Machines.* Standards & Engagement.
<https://www.shopulstandards.com/ProductDetail.aspx?UniqueKey=31365>
- Ansoategui Belategui, I. (2017). *Análisis mecatrónico de accionamientos de máquinas herramienta teniendo en cuenta la flexibilidad de la estructura* [Tesis de pregrado, Universidad del País Vasco]. <http://addi.ehu.es/handle/10810/25648>
- Arduino. (2018). *What is Arduino?* <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction#how-do-i-use-arduino>
- Arévalo Chalacán, E. G., & Bolaños Gaona, A. B. (2018). *Diseño y construcción de máquina dispensadora automática de materiales de escritorio mediante el uso de la plataforma Arduino* [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana].
<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/16062>
- Azueta, I. (s.f.). *El origen de las Máquinas Expendedoras.* Timetoast.
<https://www.timetoast.com/timelines/a6-el-origen-de-las-maquinas-expendedoras>

- Ballesteros, P. (2015). *Introducción a la especificación MDB/ICP*.
<https://patxiballesteros.wordpress.com/2015/09/29/introduccion-a-la-especificacion-mdbicp/>
- BB-Vending. (s.f.). *Empresa de vending de la zona sur de Madrid*. <https://bb-vending.com/nuestros-productos>
- Bestzone. (2022). *Placa de Control de máquina expendedora IVMC 60HM*. AliExpress.
<https://www.aliexpress.us/item/2251832469565682.html>
- Brown, E. (2018). *Vending machine boardset works with UP or UP Squared boards*. Linux Gizmos. <https://linuxgizmos.com/vending-machine-boardset-works-with-up-or-up-squared-boards/>
- BVA auctions. (2022). *Crane Shopper 432G vending machine*. <https://www.bva-auctions.com/nl/auction/lot/68627/20026300?pid=1>
- Calvo Díaz, I. (2013). *Diseño de una máquina de vending para suministrar productos de acceso general y otros de acceso restringido por medio de identificación digital* [Tesis de pregrado, Universidad Pública de Navarra]. <https://hdl.handle.net/2454/8485>
- Chérrez Yugcha, J. A. (2022). *Implementación de una máquina expendedora de mascarillas artesanales (etapa i)* [Tesis de pregrado, Escuela Politécnica Nacional].
<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/22046>
- Chimborazo Azogue, L. E., & Gavilanes Lascano, S. D. (2018). *Creación de una empresa de Vending para la venta de snacks a través de máquinas automáticas* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato].
<https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/27988>
- Colcha Llanga, A. R., & Pino Machado, R. D. (2018). *Desarrollo de una máquina expendedora autónoma de componentes electrónicos básicos con dos métodos de pago, monedas y dinero electrónico para los estudiantes de Ingeniería Electrónica*. [Tesis de pregrado,

- Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/9238>
- CCV. (2022). *The Rise of Smart Vending Machines*. <https://www.ccv.eu/en/2022/the-rise-of-smart-vending-machines/>
- Correa Toloza, J. M., Álvarez Ferrada, M. E., & Grandón Campos, D. A. (2018). *Diseño y construcción de un sistema de control domótico basado en microcontrolador ATMEGA 2560 para dispositivos móviles*. [Tesis de pregrado, Universidad del Bío-Bío].
<http://repobib.ubiobio.cl/jspui/handle/123456789/3486>
- CPI. (s.f.). *Conceptos claves para la elección de Protecciones Termomagnéticas*.
<https://www.cpi.com.ar/notas/conceptos-claves-para-la-eleccion-de-protecciones-termomagneticas/>
- Electricaplicada. (2017). *¿Por qué se calculan los breakers o disyuntores al 125% de la corriente?* <https://www.electricaplicada.com/porque-se-calculan-los-breakers-al-125-de-corriente/#porque-la-norma-nec-y-ntc2050-recomiendan-que-al-dimensionar-las-protecciones-electricas-estas-sean-125-de-corriente-continua-100-de-corriente-no-continua>
- Enríquez Harper, G. (2003). *Protección de Instalaciones eléctricas industriales y comerciales* (2.ª ed.). Editorial Limusa.
https://books.google.com/books/about/Proteccion_de_instalaciones_electricas_i.html?id=w7HcrKdI4wQC
- Espinosa Ortega, B. F. (2021). *Implementación de una máquina expendedora para mascarillas artesanales (etapa 2)* [Tesis de pregrado, Escuela Politécnica Nacional].
<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21805>
- Fernández, Y. (2018). *Arduino y Raspberry Pi: ¿qué son y cuáles son sus diferencias?* Xataka.
<https://www.xataka.com/basics/arduino-raspberry-pi-que-cuales-sus-diferencias>

- Fernández Álvarez, C. D., Pérez Trejo, O., & Torres Malagón, V. H. (2017). *Automatización del llenado de una máquina de helados VENDING* [Tesis de pregrado, Instituto Politécnico Nacional]. <http://tesis.ipn.mx:8080/xmlui/handle/123456789/24357>
- Figueroa Mármol, M. (2018). *El gran potencial de las máquinas vending: las medias a tu alcance* [Tesis de pregrado, Universidad Pompeu Fabra]. <http://repositori.upf.edu/handle/10230/35327>
- Flores-Cueto, J. J., Hernández, R. M., & Garay-Argandoña, R. (2020). Tecnologías de información: Acceso a internet y brecha digital en Perú. *Revista Venezolana de Gerencia*, 25(90), 504–527. <https://doi.org/10.37960/rvg.v25i90.32396>
- Freire Mendieta, E. K., & Places Villacis, V. E. (2014). *Diseño y construcción del prototipo de una máquina expendedora de pastelillos de la marca The Cupcake Factory para la empresa Publicidad* [Tesis de pregrado, Universidad de las Fuerzas Armadas]. <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/9740>
- Garfias, L. A. N., López, R. R., & Ramírez, A. B. (2022). Diseño de interfaz de usuario para máquina expendedora utilizando la metodología de administración temprana de equipos. *South Florida Journal of Development*, 3(5), 6005–6016. <https://doi.org/10.46932/sfjdv3n5-022>
- Gracia, M. (s.f.). *IoT - Internet Of Things*. Deloitte. <https://www2.deloitte.com/es/es/pages/technology/articles/loT-internet-of-things.html>
- Guarnieri, N. (2015). Pizza in 3 minuti, è boom mondiale. *L'Adige.it*. <https://www.ladige.it/territori/vallagarina/2015/03/17/pizza-in-3-minuti-e-boom-mondiale-1.2760932>
- Guevara Campos, M. L. (2020). *Estudio y propuesta de solución conceptual de una máquina vending ecológica de ensaladas y jugos de frutas personalizados* [Tesis de Pregrado,

Pontificia Universidad Católica del Perú].

<https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/16993>

Gutierrez Aldama, S. (2015). *Definiciones de automatización*.

<https://sites.google.com/site/sergioegtza21/1-definiciones-de-automatizacion/1-1-definiciones-de-automatizacion>

Hajdarbegovic, N. (2014). *6 Cool Machines that Accept Bitcoin*. CoinDesk.

<https://www.coindesk.com/markets/2014/08/24/6-cool-machines-that-accept-bitcoin/>

Herrera Saraguro, E. A. (2019). *Producción de postres saludables y comercialización con snacks provechosos a través de máquinas expendedoras en puntos de alto tráfico* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Machala].

<http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/14884>

Hidalgo Villareal, G. I. (2017). *Comercialización de máquinas dispensadoras de alimentos nutritivos en centros deportivos de la ciudad de Quito* [Tesis de pregrado, Universidad Internacional del Ecuador]. <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/1849>

HostelVending. (2020a). *El mercado mundial del Smart Vending, a pleno crecimiento*.

<https://www.hostelvending.com/noticias-vending/el-mercado-mundial-del-smart-vending-a-pleno-crecimiento>

HostelVending. (2020b). *La importancia de alcanzar un vending sostenible*.

<https://www.hostelvending.com/noticias-vending/la-importancia-de-alcanzar-un-vending-sostenible>

HostelVending. (2021). *Las primeras expendedoras de medicamentos ya funcionan en el Reino Unido*. <https://www.hostelvending.com/noticias-vending/las-primeras-expendedoras-de-medicamentos-ya-funcionan-en-el-reino-unido>

HostelVending. (2018). *App monedero vs tarjeta contactless en el vending, buscando la máxima eficacia para retener clientes*. <https://www.hostelvending.com/noticias->

vending/app-monedero-vs-tarjeta-contactless-en-el-vending-buscando-la-maxima-eficacia-para-

Ibañez Laruta, R. (2018). *Diseño y construcción de cinco expendedores electrónicos de preservativos para CIES Salud Sexual Salud Reproductiva* [Tesis de pregrado, Universidad Mayor de San Andrés].

<http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/18297>

InnovaPOS. (s.f.). *SMART VENDING, De la máquina expendedora tradicional a un Punto de Venta*. <http://www.innovapos.es/smart-vending.html>

Innovative Technology Limited. (2005). *Lector de Billetes NV9*. www.vendival.com

Insuasti López, J. A., & Tandazo Gallegos, L. V. (2019). *Desarrollo de una máquina expendedora de dispositivos electrónicos para la ESFOT* [Tesis de pregrado, Escuela Politécnica Nacional]. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20325>

Intel technologies. (2016). *Building smart vending into the heart of machines*.

<https://business.jtglobal.com/building-smart-vending-machines/>

Kelechava, B. (2021). *NSF/ANSI 25-2021: Vending Machines for Food and Beverages*. ANSI.

<https://blog.ansi.org/nsf-ansi-25-2021-vending-machines-food-beverages/#gref>

Lin, F.-C., Yu, H.-W., Hsu, C.-H., & Weng, T.-C. (2011). Recommendation system for localized products in vending machines. *Expert Systems with Applications*, 38(8), 9129–9138.

<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.01.051>

Made in China. (2022). *Bandeja de cinta transportadora para máquina expendedora*.

https://es.made-in-china.com/co_szprovending/product_Vending-Machine-Conveyor-Belt-Tray_rouiuyogg.html

Matute Pinos, V. O., & Uday Lupercio, S. M. (2013). *Diseño y desarrollo de un sistema de ubicación, monitoreo y control de una máquina vending dispensadora de bebidas*

- automática mediante un dispositivo AVL* [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/5564>
- Megatrónica. (s.f.). *Mega2560 Shield Para Arduino*.
<https://megatronica.cc/producto/mega2560-shield-para-arduino/>
- MEI Group. (2006). *Gestor de cambio MEI CASHFLOW Serie 7000 Manual Técnico*.
<http://www.meigroup.com>
- Mercado Libre. (2022a). *Charola De Botana Snacks Para Maquina Vending*.
https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-1468212245-charola-de-botana-snacks-para-maquina-vending-ams-39-_JM
- Mercado Libre. (2022b). *Maquina Dispensadora De Bebidas Y Snacks*.
https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-853033360-maquina-dispensadora-de-bebidas-y-snacks-negociable-_JM
- Muñoz Checa, M. D. (2015). *Construcción de una máquina automática expendedora de shots* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte].
<http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/4600>
- Murillo Ferrer, A. (2000). Máquinas expendedoras automáticas: El “vending”, la venta más directa. *Distribución y consumo*, 10(51), 59–66.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=228935>
- National Automatic Merchandising Association. (2019). *Multi-Drop Bus / Internal Communication Protocol MDB / ICP*. www.namanow.org
- Negocios y Empresa. (s.f.). *¿Cuál es el precio medio de las máquinas expendedoras?*
<https://negociosyempresa.com/precio-de-las-maquinas-expendedoras/>
- Normalización Española. (2012). *Compatibilidad electromagnética (CEM) UNE-EN 61000-6-3:2007/A1:2012*. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=norma-une-en-61000-6-3-2007-a1-2012-n0048748>

Oranfresh. (2022). *Hygiene and safety for vending machines*.

<https://www.oranfresh.com/en/hygiene-safety-vending-machines/>

PAYTEC Technologies. (2019). *Protocolos para máquinas expendedoras*.

<https://www.paytec.eu/es/protocolli-per-vending-machines/>

Pérez Rodríguez, R., Ahuett Garza, H., Molina Gutiérrez, A., & Rodríguez González, C. (2005).

El Diseño Modular en el contexto del desarrollo de Máquinas Herramienta

Reconfigurables. *Ingeniería Mecánica*, 8(2), 51-58.

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=225118187007>

RaspiLab. (2021). *¿Qué es ccTalk?* <https://somosraspilab.com/que-es-cctalk/>

Restauración Colectiva. (2020). *¿Cómo almacenar productos alimentarios secos de forma*

higiénica, eficiente y segura? [https://www.restauracioncolectiva.com/n/como-](https://www.restauracioncolectiva.com/n/como-almacenar-productos-alimentarios-secos-de-forma-higienica-y-eficiente)

[almacenar-productos-alimentarios-secos-de-forma-higienica-y-eficiente](https://www.restauracioncolectiva.com/n/como-almacenar-productos-alimentarios-secos-de-forma-higienica-y-eficiente)

Rodríguez, A. (2012). *Instrumentos para Tableros*.

https://unac.edu.pe/documentos/organizacion/vri/cdcitra/Informes_Finales_Investigacion/IF_DICIEMBRE_2012/IF_RODRIGUEZ%20ABURTO_FIEE/LIBRO%20INSTRUMENTOS%20PARA%20TABLEROS.pdf

Rodríguez Galbarro, H. (s.f.). *Cálculo de Transportadores de Tornillo Sin Fin*. Ingemecánica.

<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn143.html>

Securitech. (2021). *¿Por qué son importantes los tableros eléctricos?*

<https://securitechperu.com/2021/09/25/tableros-electricos/>

Serunion Vending. (s.f.). *Por qué necesitas una máquina expendedora*. [https://serunion-](https://serunion-vending.com/noticia/por-que-necesitas-una-maquina-expendedora)

[vending.com/noticia/por-que-necesitas-una-maquina-expendedora](https://serunion-vending.com/noticia/por-que-necesitas-una-maquina-expendedora)

Shanghai Wafer Microelectronics Co. (2021). *MDB Coin Changer and MDB Bill Acceptor to*

RS232 Interface. <http://www.waferlife.com>

- Sistiaga. (2018). *Sistemas de pago para Vending*. <https://sistiagalasa.com/index.php/sistemas-de-pago-vending/>
- Solano Tarroc, A. (2011). Smart Vending Machines: el papel activo de las Telcos en Vending. *Bit*, 187, 57-60. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3817055>
- Technavio. (2020). *Global Intelligent Vending Machine Market 2020-2024 | The Growing Demand for Cashless Vending Machines to Boost the Market Growth*. Businesswire. <https://www.businesswire.com/news/home/20200319005289/en/Global-Intelligent-Vending-Machine-Market-2020-2024-The-Growing-Demand-for-Cashless-Vending-Machines-to-Boost-the-Market-Growth-Technavio>
- Telit. (2022). *IoT Smart Vending and Automated Retail Solutions*. <https://www.telit.com/retail/vending-and-kiosk/>
- Torres, F., & Jara, C. A. (2011). *Introducción a la automatización y el control*. <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/18432>
- Vázquez Bautista, O. (2021). *Componentes de la Placa de Arduino*. <https://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/handle/123456789/19851>
- Vegas, E. (2020). *Placas de Arduino*. Draco-Robotic. <https://draco-robotic.com/placa-de-desarrollo-arduino/>
- Vending PASS. (2019). *Los números en el Negocio Vending*. <https://vendingpassec.com/inicio/conoce-negocio-vending/los-numeros-negocio-vending/>

Apéndices