

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

DESARROLLO DE UNA MÁQUINA EXPENDEDORA DE DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS PARA LA ESFOT

TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

JOSÉ ANDRÉS INSUASTI LÓPEZ

jose.insuasti01@epn.edu.ec

LAURA VALERIA TANDAZO GALLEGOS

laura.tandazo@epn.edu.ec

DIRECTORA: ING. FANNY FLORES ESTÉVEZ

fanny.flores@epn.edu.ec

CODIRECTORA: ING. MÓNICA VINUEZA RHOR

monica.vinueza@epn.edu.ec

QUITO, JUNIO 2019

DECLARACIÓN

Nosotros, José Andrés Insuasti López y Laura Valeria Tandazo Gallegos declaramos bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de nuestra autoría; y que nos hemos basado en referencias bibliográficas, las cuales se adjuntan en este documento.

Mediante la presente declaración concedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

José Andrés Insuasti López

Laura Valeria Tandazo Gallegos

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por José Andrés Insuasti López y Laura Valeria Tandazo Gallegos, bajo nuestra supervisión.

Ing. Fanny Flores Estévez MSc.

DIRECTORA DE PROYECTO

Ing. Mónica Vinueza Rhor MSc.

CODIRECTORA DE PROYECTO

AGRADECIMIENTO

La vida es hermosa, pese a los tropiezos turbulentos que se presentan a lo largo de ella, esto es lo que nos ayuda a sobresalir, a ser mejores y nos permite cumplir con nuestros máximos logros, es por ello que quiero agradecer a todas las personas que forman parte de mi vida, las cuales me han permitido cumplir con esta etapa muy importante.

Entre ellas están las personas más especiales mis padres Guber y Marina que han estado conmigo desde siempre, entregándome su amor eterno e inquebrantable, su apoyo incondicional, guiándome por el buen camino, les agradezco por la compañía en las noches largas de estudio, porque cuando ya no quería seguir, solo quería lamentarme por los problemas, estuvieron ahí dándome ánimos y siempre disponibles para mí. Las palabras son muy cortas para describir todo el amor que siento por ustedes y todo lo agradecida que estoy.

Quiero manifestarles mis agradecimientos a mis hermanos Daniel y Rebeca, que han llenado de cariño mi vida, que han compartido los mejores momentos, gracias por creer en mí, por ser mi soporte, gracias por la comprensión, los quiero demasiado.

Agradezco a mis amigos por los buenos momentos, por las risas compartidas, por el apoyo incondicional gracias por estar presentes en esta etapa muy importante de mi vida.

Un agradecimiento especial para mi compañero de proyecto Andrés por su compañerismo y por su entusiasmo puesto en este proyecto y a mi directora de proyecto Ing. Fanny Flores, por la colaboración prestada, por guiarme acertadamente en este proyecto.

Laura Valeria Tandazo Gallegos

AGRADECIMIENTO

A mi madre, una luchadora insaciable, gracias por las palabras de aliento, por estar siempre presente cuando más le necesité y siempre recordándome lo importante de la vida: la dedicación y la humildad. La persona más importante en mi vida y la única que me motiva a seguir adelante.

Quiero agradecer a otras dos mujeres pilares fundamentales en mi familia, mis hermanas Gabriela y Diana por haberme apoyado en todas las cosas que tenía en mente realizar, sin ellas este proyecto no habría sido posible. Para toda mi familia un sentimiento de gratitud por los consejos y las llamadas de atención, sepan que siempre los tengo presentes como mensajes de conciencia en cada una de mis acciones.

He conocido a muchas personas y las he llamado amigas, pero quién realmente se merece ese título es quién está ahí en los buenos y malos momentos, por ello quiero agradecer a Valeria mi compañera de tesis. Le considero una de las mejores personas que he conocido a lo largo de mi vida, con espíritu valiente y decidida a alcanzar lo que se propone.

Por último, un agradecimiento a nuestra directora de tesis la Ing. Fanny Flores MSc. por la paciencia y por el tiempo invertido. Así también por la gestión de este proyecto ya que, sin sus ideas, este proyecto habría sido inconcebible e inviable. Además, debo agradecer a nuestra codirectora de tesis la Ing. Mónica Vinueza MSc. quién me ha enseñado que no existe característica más grande que el ser perseverante y responsable; además, que todo lo que parece imposible no lo es si se trabaja duro para conseguirlo.

José Andrés Insuasti López

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Marco teórico	3
2. METODOLOGÍA	10
2.1. Guía de construcción	11
2.2. Aplicación de la técnica.....	12
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	13
3.1. Requerimientos.....	13
3.2. Diseño.....	20
3.3. Implementación.....	39
3.4. Pruebas de funcionamiento.....	58
3.5. Costos de fabricación y mantenimiento.....	65
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	67
4.1. Conclusiones	67
4.2. Recomendaciones	69
ANEXOS	¡Error! Marcador no definido.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Arduino Mega 2560.	4
Figura 1.2. Selector de monedas electrónico.	5
Figura 1.3. <i>Display</i> LCD 16x2.	6
Figura 1.4. Esquemático de teclado matricial.	7
Figura 1.5. Módulo de 8 relés.	7
Figura 1.6. Motor 12VDC para máquina expendedora.	8
Figura 1.7. Vistas frontal y trasera del módulo RTC DS1307.	9
Figura 1.8. Módulo Zumbador.	10
Figura 3.1. Resultados primera pregunta de la encuesta.	14
Figura 3.2. Resultados segunda pregunta de la encuesta.	15
Figura 3.3. Resultados tercera pregunta de la encuesta.	16
Figura 3.4. Resultados cuarta pregunta de la encuesta.	17
Figura 3.5. Resultados quinta pregunta de la encuesta.	17
Figura 3.6. Motores DC con espirales.	19
Figura 3.7. Vista Frontal del diseño.	21
Figura 3.8. Vista Lateral del diseño.	21
Figura 3.9. Vista Trasera del diseño.	22
Figura 3.10. Vista interna y lateral del diseño.	22
Figura 3.11. Vista interna y superior del diseño.	23
Figura 3.12. Vista en tres dimensiones del diseño.	23
Figura 3.13. Circuito adaptador para LCD.	24
Figura 3.14. Circuito adaptador para el módulo de 8 relés.	25
Figura 3.15. Simulación con Arduino MEGA 2560 y sus periféricos.	26
Figura 3.16. Circuito <i>shield</i> con conectores Arduino MEGA 2560.	27

Figura 3.17. Circuito de acoplamiento señal selector hacia Arduino.....	28
Figura 3.18. Circuito matriz de motores DC y relés.	30
Figura 3.19. Circuito de control para sensores.	31
Figura 3.20. LED SMD5050.	32
Figura 3.21. Cinta LED con adaptador de 120V a 240V.	32
Figura 3.22. Diagrama general de la máquina expendedora.	34
Figura 3.23. Diagrama del proceso de máquina expendedora.	35
Figura 3.24. Diagrama de flujo del proceso de selección.	36
Figura 3.25. Diagrama de flujo del proceso de cobro.	37
Figura 3.26. Diagrama de flujo del proceso de Activación.	38
Figura 3.27. Diagrama de flujo del subproceso de selección errónea.	39
Figura 3.28. Impresión en papel termotransferible amarillo.	40
Figura 3.29. Transferencia de tóner en la placa mediante planchado.	40
Figura 3.30. Placa sumergida en una solución de Cloruro Férrico y agua.	41
Figura 3.31. Placa con serigrafía y perforada.	41
Figura 3.32. Montaje de los dispositivos en la placa.	42
Figura 3.33. Circuito impreso de <i>shield</i> con conectores Arduino MEGA 2560.	42
Figura 3.34. Circuito impreso adaptador para LCD.	42
Figura 3.35. Matriz de motores DC y relés.	43
Figura 3.36. Circuito impreso adaptador para el módulo de 8 relés.	43
Figura 3.37. Circuito impreso de control de sensores y monedero.	43
Figura 3.38. Vista frontal de la estructura.	44
Figura 3.39. Vista posterior de la estructura.	45
Figura 3.40. Vista lateral de la estructura.	45
Figura 3.41. Vista interna de la estructura.	46

Figura 3.42. Bandejas de la estructura.....	46
Figura 3.43. Estructura finalizada.....	47
Figura 3.44. Estructura con los dispositivos electrónicos a dispensar.	47
Figura 3.45. Trama de envío de datos del esclavo al maestro.	48
Figura 3.46. Mapa de direcciones de memoria.....	49
Figura 3.47. Trama de recepción de peticiones del maestro al esclavo.	49
Figura 3.48. Detalle del contenido en bits de las direcciones de memoria.....	50
Figura 3.49. Señal <i>Scoin</i> generada por moneda de 1 centavo.	54
Figura 3.50. Señal <i>Scoin</i> generada por moneda de 5 centavos.	54
Figura 3.51. Señal <i>Scoin</i> generada por moneda de 10 centavos.	55
Figura 3.52. Señal <i>Scoin</i> generada por moneda de 25 centavos.	55
Figura 3.53. Señal <i>Scoin</i> generada por moneda de 1 dólar	56
Figura 3.54. Análisis métrico de la señal <i>Scoin</i> de la Figura 59.....	57
Figura 3.55. <i>Display</i> con fecha y hora.	58
Figura 3.56. Mensaje de saludo y selección.....	58
Figura 3.57. Selección realizada.	59
Figura 3.58. Mensaje de selección errónea.....	59
Figura 3.59. Selección que se realizó.	59
Figura 3.60. Mensaje de costo y valor pagado.	59
Figura 3.61. Mensaje de valor pagado aumentando.	60
Figura 3.62. Mensaje en etapa de dispensación.	60
Figura 3.63. Mensaje final de producto expendido.	60
Figura 3.64. Procedimiento completo: expender <i>stand A4</i>	61
Figura 3.65. Expendier <i>stand C1</i>	62
Figura 3.66. Introducción de monedas y letreros con valores en LCD.....	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Características del módulo Arduino Mega.	4
Tabla 3.1. Cantidad de pulsos de acuerdo al valor de las monedas.	58
Tabla 3.2. Pruebas de funcionamiento del sistema mecánico.	64
Tabla 3.3. Pruebas de funcionamiento del sistema electrónico.	65
Tabla 3.4. Presupuesto del costo de fabricación.	66
Tabla 3.5. Presupuesto de mantenimiento.	66

RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo el desarrollo de una máquina expendedora de dispositivos electrónicos para la ESFOT. La cual utiliza un sistema embebido e *Internet of Things* que se encuentra conformado por un Módulo Arduino Mega, un selector de múltiples monedas, un LCD, un teclado matricial, un módulo de 8 relés, motores DC de 12V y varios circuitos impresos.

Los datos de la selección del producto se dirigen hacia el módulo Arduino Mega, se procede al cobro del producto, y a expender el mismo. El Arduino obedecerá las señales de sensores en los motores para saber que se expendió un único producto. Si este tipo de sensores no existiera, se corre el riesgo de que no se expendiera correctamente.

En este trabajo se describen las características de cada dispositivo utilizado para el desarrollo de la máquina dispensadora de dispositivos electrónicos. Además, se definen las herramientas adecuadas tanto de *hardware* como *software* que permitieron la construcción de la máquina dispensadora de dispositivos electrónicos, como también de la respectiva programación.

También se desarrollan las pruebas de funcionamiento de la máquina dispensadora de dispositivos electrónicos. Finalmente se presenta las conclusiones y recomendaciones que fueron abstraídas a lo largo del desarrollo del proyecto.

Palabras claves: Máquina expendedora, Arduino, selector monedas, multiplexor.

ABSTRACT

The current project objective is the development of an electronic device vending machine for ESFOT. This machine uses an embedded system and IoT, an Arduino Mega module, a multi-coin selector, a LCD, a matrix keyboard, an 8 relays module, 12VDC engines and some printed circuit boards, makes it.

Product selection data goes to the Arduino Mega, the machine will receive the customer's payment and after that, it will vend the product. Arduino will check the motor's sensors in order to know if they have vended. If the sensors do not exist or have worked in a wrong way, it is not possible to vend correctly.

This work describes the characteristics of each device used for the development of the electronic device vending machine. In addition, it defines the correct tools of both hardware and software that allow the building of this machine, and besides the respective programming.

Moreover, operational tests are performed. Finally, conclusions and recommendations are included in the last section, which are abstracted from the experience of building the machine.

Key words: Vending machine, Arduino, multi coin selector, mux.

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, los estudiantes de la Escuela de Formación de Tecnólogos no cuentan con un proveedor cercano de dispositivos electrónicos, necesario para la implementación de los circuitos que los alumnos deben implementar en los laboratorios impartidos. Adicionalmente, en el caso de requerir dichos dispositivos en las primeras horas de la mañana o al finalizar la jornada, se presenta el caso de que los locales más cercanos ya no se encuentran atendiendo al público.

Por otra parte, incluso en casos en que los estudiantes cuentan con antelación con todos los elementos necesarios obtenidos mediante el diseño, es durante la práctica que se puede constatar que el cambio de valor de determinado dispositivo optimizaría el funcionamiento del circuito; haciendo necesario que el estudiante requiera adquirir el elemento inmediatamente. Además, por efectos propios de laboratorio, es común que los dispositivos se deterioren y requieran ser reemplazados.

Por lo mencionado anteriormente, los estudiantes se ven expuestos a una serie de problemas como no obtener los resultados esperados en los laboratorios por no contar con los dispositivos electrónicos necesarios, no terminar las prácticas de laboratorio por falta de tiempo como consecuencia de salir a adquirir de manera emergente algún elemento, entre otros.

Es por ello que el presente proyecto surge por la necesidad de dar solución a los problemas antes mencionados. Este proyecto se basa en el desarrollo de una máquina expendedora de dispositivos electrónicos en el campus de la EPN, exclusivamente en el área de la ESFOT; beneficiando a los estudiantes de manera

directa, y a los maestros o ingenieros de manera indirecta, debido a que permite adquirir elementos para el desarrollo e implementación de circuitos, sin restricción de horario.

Actualmente, la tecnología de sistemas embebidos y IoT (*Internet of Things*) han permitido desarrollar soluciones de alta adaptabilidad y grandes prestaciones, que han hecho posible la automatización de procesos: “Un sistema embebido ayuda en la realización de tareas, tales como el procesamiento de información generada por sensores, el control de determinados actuadores, etc. [...]” [1]. Es así que para el desarrollo de la máquina expendedora de dispositivos electrónicos se hará uso de módulos de última tecnología, como Arduino.

Para el desarrollo de este proyecto se utilizan varias herramientas como el *software* AutoCAD, permitiendo realizar el diseño de la máquina expendedora. Otra herramienta que se considera es el mecanismo que recepta las monedas, el cual permite el cobro de los dispositivos requeridos. Con respecto a la programación, se utiliza un módulo Arduino Mega para el control de la máquina expendedora, siendo esta la parte principal mediante el *software* de programación nativo; es decir, un entorno de desarrollo integrado de Arduino (Arduino IDE).

Este proyecto también necesita de una inversión económica que sustente los costos del proyecto, por lo cual es importante definir los costos de implementación que incluyen todos los mecanismos necesarios para que la máquina funcione correctamente. Así se estima un costo de implementación, tomando en cuenta principalmente la fabricación del chasis de la máquina y los motores que se van a emplear para expender dispositivos electrónicos, añadiendo el costo de los demás elementos. Estos presupuestos serán establecidos en base a los precios más

convenientes que se encuentre en el mercado, aunque no se escatimarán gastos si algún material, elemento o mecanismo es de calidad apreciable.

1.1. Marco teórico

- **Tecnología Arduino**

Conocida como tecnología para todos, se basa en una plataforma de prototipos electrónicos, la cual utiliza código abierto; cuenta con *hardware* y *software* flexibles. Arduino consiste de una placa principal de componentes eléctricos o electrónicos, donde se encuentran conectados los controladores principales que gestionan los demás complementos y circuitos ensamblados en la misma; además, necesita de un lenguaje de programación para poder ser utilizado.

Arduino simplifica el proceso de trabajo con microcontroladores, ya que está fabricada de tal manera que viene “pre ensamblada” y lista con los controladores necesarios para poder operar con ella una vez que sea sacada de su caja, ofreciendo una ventaja muy grande para profesores, estudiantes y aficionados interesados en el desarrollo de tecnologías, las posibilidades de realizar proyectos basados en esta plataforma tienen como límite la imaginación de quien opera esta herramienta. [2]

- **Módulo Arduino Mega**

El módulo Arduino Mega 2560 de la figura 1.1 incorpora un microcontrolador Atmega 2560 de la marca ATMEL. Este módulo cuenta con 54 pines de entrada y salida digitales; de estos pines se puede utilizar 15 como salidas PWM, 16 entradas analógicas, 4 UART los cuales son puertos seriales de *hardware*, un oscilador de

cristal de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un cabezal ICSP y un botón de reinicio, cuenta con más características como se puede apreciar en la tabla 1.1. Contiene todo lo necesario para soportar el microcontrolador; basta con conectarlo a una computadora mediante un cable USB o encenderlo con un adaptador de CA a CC o una batería para comenzar. [3]



Figura 1.1. Arduino Mega 2560. [3]

Tabla 1.1. Características del módulo Arduino Mega.

Características	
Voltaje de funcionamiento	5V
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12V
Voltaje de entrada (límite)	6-20V
Pines digitales E/S	54 (de los cuales 15 proporcionan salida PWM)
Pines de entrada analógicos	16
Corriente DC por Pin de E / S	40 mA
Corriente DC para 3.3V Pin	50 mA
Memoria Flash	256 KB de los cuales 8 KB usado por el gestor de arranque
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Velocidad de reloj	16 MHz
Chip de host USB	MAX3421E
Longitud	101.52 mm
Anchura	53.3 mm
Peso	36 g

- **Selector de múltiples monedas**

Es un monedero electrónico (figura 1.2), que se programa haciendo que reconozca las diferentes monedas que va a aceptar, de acuerdo con la cantidad de pulsos que se le asigne en la programación manual para cada tipo de moneda. Si se inserta una moneda para la cual no está programado, la rechazará y el cliente la recuperará.

Como parte del proyecto, se ha programado el monedero para que acepte monedas de 1, 5, 10, 25, 50 centavos y 1 dólar, pero en cualquier momento se puede reprogramar. Se alimenta de 12V DC; por lo tanto, es fácil conectarlo a una fuente que proporcione ese voltaje. La carátula es metálica, cromada. Envía pulsos a un contador o a otro dispositivo. Tiene un cable para comunicación con un contador de pulsos para saber la cantidad de dinero que en determinado tiempo ha ingresado. Además, revisa el peso, grosor, tamaño y forma de las monedas programadas, así como la dirección y velocidad de caída. Cuenta con un botón para presionarlo en caso de que se atasque alguna moneda. [4]



Figura 1.2. Selector de monedas electrónico. [4]

- **LCD**

Por sus siglas en inglés, *Liquid Crystal Display* se visualiza en la figura 1.3 y es una pantalla delgada y plana, formada por un número de píxeles en color o monocromos colocados delante de una fuente de luz o reflectora. La utilización de estas pantallas está tan extendida en prácticamente todos los aparatos electrónicos para el mejor uso y facilidad de interacción. Por lo cual, existen muchos tipos de LCD, variando en forma, tamaño, número de píxeles y color. Los LCD están diseñados para interactuar con circuitos integrados. Se caracterizan principalmente por el número de caracteres que son capaces de representar; en este caso, se utiliza un LCD 16x2, siendo capaz de representar 2 filas de 16 caracteres. [5]

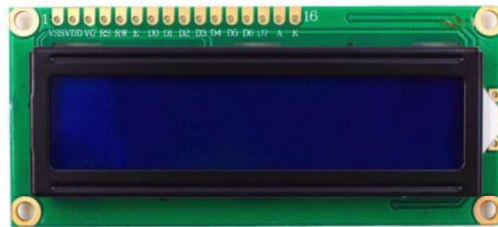


Figura 1.3. *Display LCD 16x2.* [5]

- **Teclado matricial**

El teclado matricial proporciona una interfaz sencilla de entrada de datos. En este caso se utiliza para permitir insertar datos mediante los pulsos de los botones necesarios, de acuerdo al producto que se requiera adquirir.

Esencialmente está constituido por 4 filas y 4 columnas conductoras, como se puede apreciar en la figura 1.4. En el cruce entre filas y columnas se encuentra un pulsador mecánico o de membrana que, al ser pulsado, establece el contacto eléctrico entre la fila y la columna correspondiente. [6]

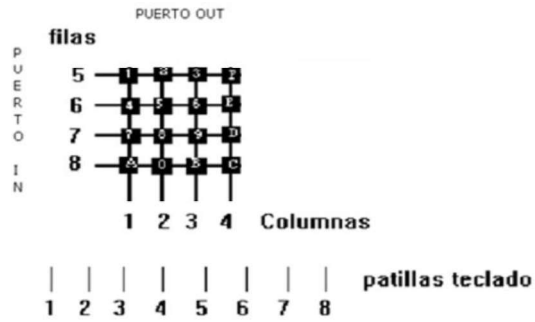


Figura 1.4. Esquemático de teclado matricial. [6]

- **Módulo de 8 relés**

En la figura 1.5 se observa el módulo de 8 relevadores con optoacoplador, más conocido como relés para conmutación de cargas de potencia. Los contactos de los relevadores están diseñados para conmutar cargas de hasta 10 A y 250VAC (30VDC). Las entradas de control se encuentran aisladas con optoacopladores para minimizar el ruido percibido por el circuito de control, mientras se realiza la conmutación de la carga. La señal de control puede provenir de cualquier circuito de control como un microcontrolador. [7]

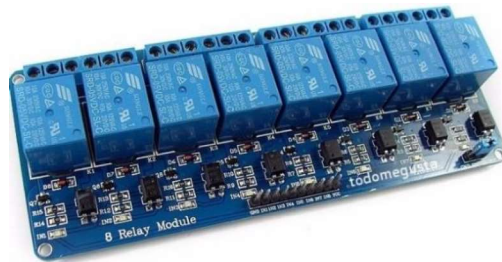


Figura 1.5. Módulo de 8 relés. [7]

Características del módulo de 8 relevadores con optoacoplador:

- 8 canales independientes protegidos con optoacopladores
- 8 relevadores (relés) de 1 polo 2 tiros
- El voltaje de la bobina del relé es de 5 VDC

- Led indicador para cada canal (enciende cuando la bobina del relé está activa)
- Activado mediante corriente: el circuito de control debe proveer una corriente de 15 a 20 mA
- Puede ser controlado directamente por circuitos lógicos
- Terminales de conexión de tornillo (clemas)
- Terminales de entrada de señal lógica con espadines macho de 0.1"

- **Motores DC de 12V**

La única característica singular de estos motores respecto a otros es que el eje posee un acople para espiral, propiedad exclusiva para máquinas expendedoras. Otra característica es que los motores poseen caja reductora para cambiar velocidad por fuerza y un sensor de fin de carrera. Este sensor se encarga de enviar una señal de 12 voltios, mientras no se haya finalizado una vuelta completa. Un sensor de fin de carrera es un simple interruptor y, en el caso de los motores, es activado por una muesca en el eje. Este elemento se visualiza en la figura 1.6.

El voltaje de operación es de 12VDC y la corriente es de 1500 [mA].



Figura 1.6. Motor 12VDC para máquina expendedora. [8]

- **Módulo RTC**

Sus siglas en inglés significan Reloj en Tiempo Real y en la figura 1.7 se visualiza que es un módulo compuesto por un circuito integrado DS1307, el cual tiene memorias NVRAM para almacenamiento de datos. Si se acompaña de un cristal oscilador a una frecuencia exacta, genera datos temporales exactos y completos.

[9]

Además, existe una única forma de comunicación con este módulo y es mediante el protocolo I2C que se logra conectando una línea de datos (SDA) y otra de señal de reloj (SCL). Lo que hace atractivo al protocolo es que se tienen solo dos líneas a las cuales se pueden conectar varios módulos en paralelo que deben ser compatibles con el protocolo I2C.

Se podría obtener hora y fecha mediante programación en el Arduino; aunque lo que vuelve al módulo RTC necesario, es que éste cuenta con un socket para batería tipo botón, por lo que, si se apaga la máquina, el módulo mantiene la información almacenada en su memoria.

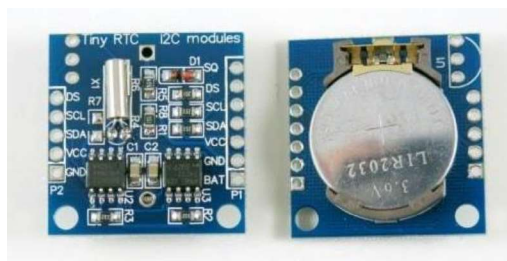


Figura 1.7. Vistas frontal y trasera del módulo RTC DS1307. [9]

- **Módulo zumbador**

Se ha pensado en la incertidumbre del usuario al momento de presionar los botones del teclado matricial. Para lo cual se han empleado dos métodos de aviso, el

primero es usar las propiedades del LCD para mostrar la acción realizada, el segundo método o solución fue emitir un sonido al momento de presionar una tecla. Un módulo zumbador es un timbre que se activa con una señal de 5VDC, se observa en la figura 1.8. Lo único que se genera con este módulo es una señal sonora que le avisa al usuario que ha presionado un botón del teclado matricial; aunque, el resto dependerá de si se presionó el botón correcto o no, para lo cual deberá observar el LCD.



Figura 1.8. Módulo zumbador. [10]

2. METODOLOGÍA

El presente proyecto está basado en la investigación aplicada y exploratoria. Aplicativa porque busca la generación de conocimiento mediante la aplicación directa a los problemas de adquisición de dispositivos electrónicos en la ESFOT. Se basa fundamentalmente en buscar una solución al problema de la falta de dispositivos electrónicos para los estudiantes de la ESFOT, desarrollando una máquina expendedora de dispositivos electrónicos en base a los conocimientos que se han adquirido a lo largo de la carrera.

Además, es exploratoria porque permite formular el problema que existe en la actualidad en la ESFOT acerca de la difícil adquisición de dispositivos electrónicos

y el cuál es el tema central en el que se tiene que enfocar. La investigación exploratoria permite desenvolverse en un tema que ha sido poco estudiado como es el control mediante módulos Arduino. Estos módulos fortalecen la formación profesional y se expande el conocimiento, realizando consultas y analizando ejemplos de uso de estos módulos. La investigación exploratoria permite familiarizarse con el módulo Arduino, y así obtener más información sobre este para llevar a cabo los objetivos.

2.1. Guía de construcción

Debido a los diversos problemas tratados en la primera sección, se requiere realizar este proyecto para así dar una solución definitiva. Este proyecto consiste en el desarrollo de una máquina expendedora de dispositivos electrónicos, la cual esté disponible en la ESFOT en cualquier momento y que cuente con los dispositivos necesarios para la adquisición de los estudiantes.

Este proyecto consiste en realizar el control mediante un Arduino Mega 2560, el cual direccionará las indicaciones a las diferentes partes que componen la máquina expendedora de dispositivos electrónicos con el fin de expender el producto requerido por el estudiante. Para poder cumplir con las expectativas de este proyecto, es necesario cumplir con cinco etapas:

- Determinación de los requerimientos de la máquina expendedora de dispositivos electrónicos.
- Establecimiento del diseño de la máquina expendedora de dispositivos electrónicos.
- Determinación de costos de implementación y mantenimiento.

- Implementación de la máquina expendedora de dispositivos electrónicos.
- Pruebas de la funcionalidad de la máquina expendedora.

2.2. Aplicación de la técnica

Existen muchas variantes de códigos de control, de uso de dispositivos, e incluso de uso de herramientas. Algunos métodos se detallan a continuación y están relacionados con el uso de *software* y *hardware*, adaptándolos para dar solución a un problema planteado.

Respecto a la programación, se utiliza pseudocódigo C, que es un lenguaje adaptado a los entornos de nueva generación con los sistemas embebidos Arduino y Raspberry. Se habla de dos tipos de programación: alto nivel y bajo nivel, siendo el de alto nivel mucho más entendible para el programador. En este caso, pseudocódigo C, es un lenguaje del más alto nivel. Volviendo este tipo de programación prácticamente ordenes textuales del programador a los dispositivos, por supuesto que está en el idioma inglés en el cual fue desarrollado.

En el caso de dispositivos, estos pueden servir para distintos propósitos; pero en el proyecto en cuestión, se puede resaltar la interacción con el cliente, logrado por un teclado matricial, un *display* LCD y un selector de múltiples monedas. Además, el procesamiento de las órdenes generadas por el cliente y las acciones que se deben llevar a cabo por parte del módulo Arduino. Por último, los actuadores o expendedores, que en este caso son los motores DC, acompañados del módulo de relés para su activación y los sensores de fin de carrera para saber que el producto fue expendido.

Para el desarrollo del PCB o circuitos impresos es imprescindible contar con los materiales correctos y la experiencia necesaria. Algunos ejemplos de estos métodos son el uso de percloruro férrico para atacado de PCBs, cautín con punta fina para la soldadura de elementos, además estaño y crema para soldar. En cuestión de cableado, por otro lado, y a manera de ejemplo, se han tomado en cuenta las corrientes a circular por cada uno de los conductores. Se ha empleado cable número 18 AWG para la conexión de los motores debido a que la corriente que soporta este conductor es de 2,5 amperios y las corrientes que van a circular serán alrededor de 1,5 amperios. [11] De esta manera se otorga escalabilidad y resistencia a los conductores en lugar de estimar exactamente y que si ocurre algún pico de corriente estos se averíen.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Requerimientos

Esta es la primera etapa en la cual se establecen los requerimientos adecuados para la máquina, siendo estos:

- **Dispositivos a ser expendidos**

Se han realizado encuestas para conocer qué productos son de interés o de mayor demanda. Los encuestados, en este caso, han sido los estudiantes de la Escuela de Formación de Tecnólogos de la Escuela Politécnica Nacional. El número de encuestas ha sido alto si se compara con la población total de estudiantes de la ESFOT. Con 51 encuestas realizadas, se afirma que es una muestra significativa respecto a los 630 estudiantes que necesitan los productos a expender.

Los usuarios fueron estudiantes de niveles superiores y que cursen las carreras de Electrónica y Telecomunicaciones, Electromecánica e incluso Análisis de Sistemas Informáticos. La primera pregunta indica “¿Qué semestre se encuentra cursando actualmente? “. Los resultados se presentan en la figura 3.1. Pese a la información presentada, se recalca la incertidumbre de los estudiantes en esta pregunta. La pregunta sería más sencilla para ellos si no estuvieran cursando dos niveles o tres al mismo tiempo. Es algo inevitable y que se podría tomar en consideración para realizar un análisis más detallado del grado de preparación al responder las encuestas.

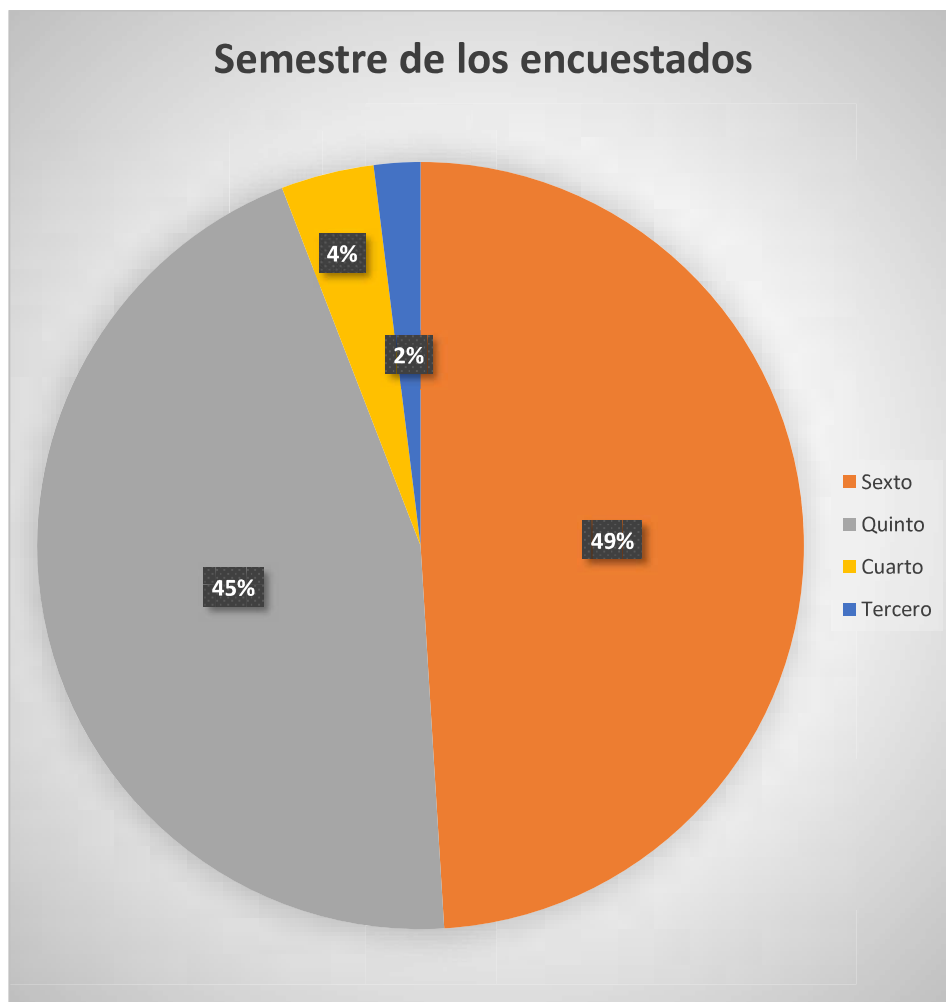


Figura 3.1. Resultados primera pregunta de la encuesta.

Se concluye que, dentro de la muestra de 51 estudiantes encuestados, hay una mayoría que están cursando los últimos niveles de su carrera. Aunque se ha considerado la opinión de un grupo pequeño de estudiantes de niveles inferiores.

La siguiente pregunta es abierta y de opción múltiple, indica “Marque con una x los dispositivos que utiliza con mayor frecuencia en sus prácticas de laboratorio”. Es una de las preguntas de mayor interés ya que contiene la información necesaria respecto a productos que deberán ir ubicados en la máquina. En la figura 3.2 se muestra la tendencia a ciertos elementos.

Se han tomado en consideración los productos que superan el 50% en la selección por parte de los estudiantes.

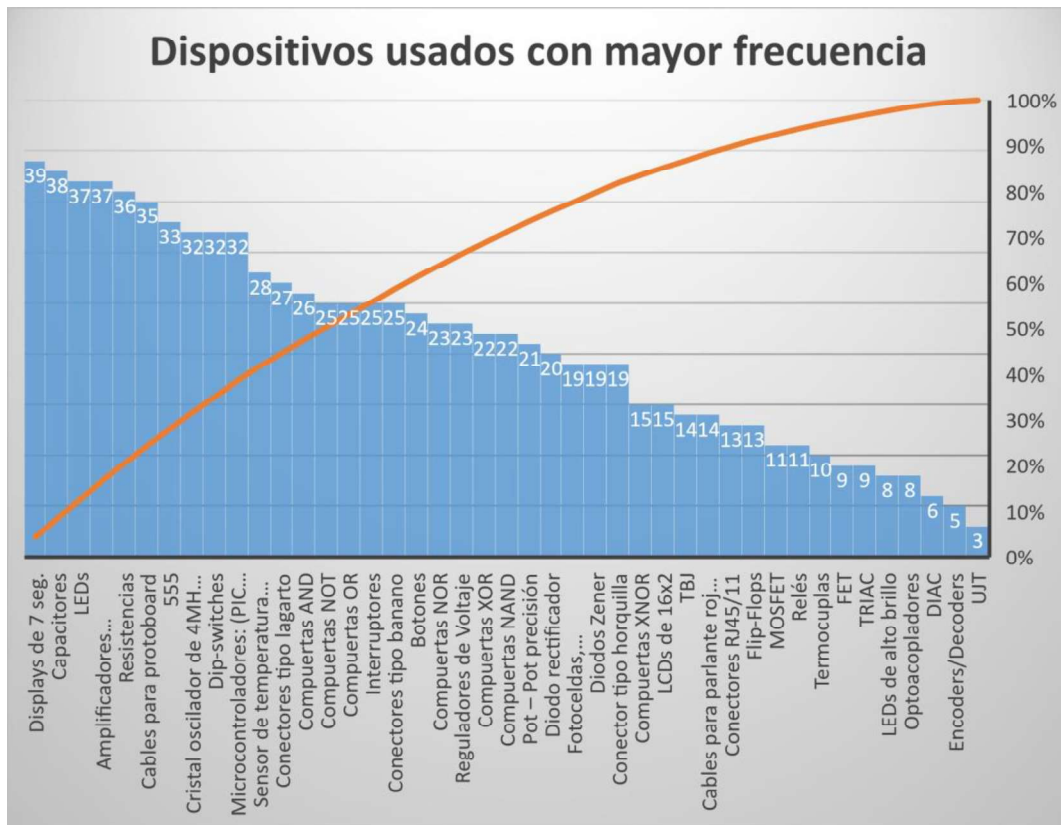


Figura 3.2. Resultados segunda pregunta de la encuesta.

La tercera pregunta indica “¿Qué elementos considera que se averían o necesitan ser reemplazados con mayor frecuencia durante las prácticas de laboratorio?” En la figura 3.3 se presentan los resultados correspondientes.

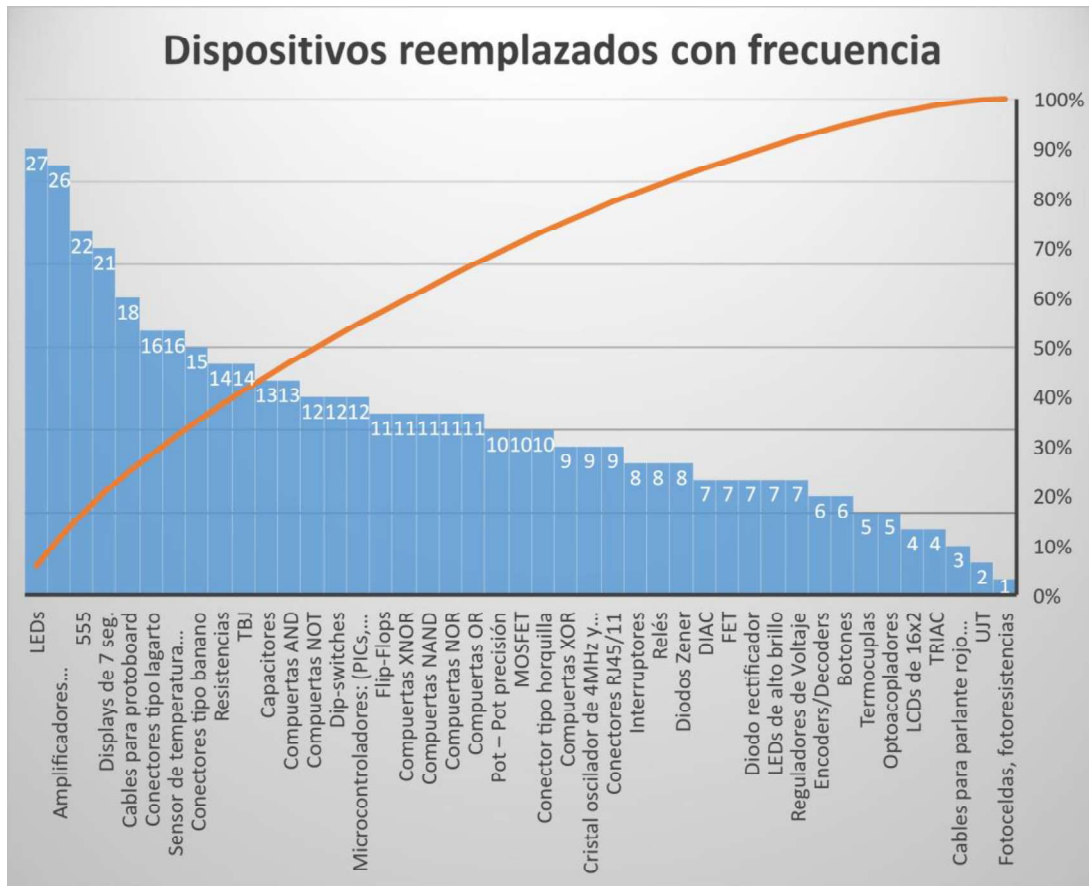


Figura 3.3. Resultados tercera pregunta de la encuesta.

En este caso, se han tomado en consideración para sumar a los dispositivos de la segunda pregunta, los dispositivos que se hayan elegido con más del 40% de aceptación.

La cuarta y quinta preguntas, cuyos resultados se presentan en las figuras 3.4 y 3.5, respectivamente, se usaron para ultimar detalles sobre la presentación del producto y la ubicación de la máquina expendedora. La cuarta pregunta indica “¿Le agrada la idea de comprar los elementos por paquetes de varias unidades?” y la

quinta pregunta indica “¿Compraría los dispositivos que requeriría para sus prácticas o proyectos si los mismos estuviesen disponibles en la ESFOT?”

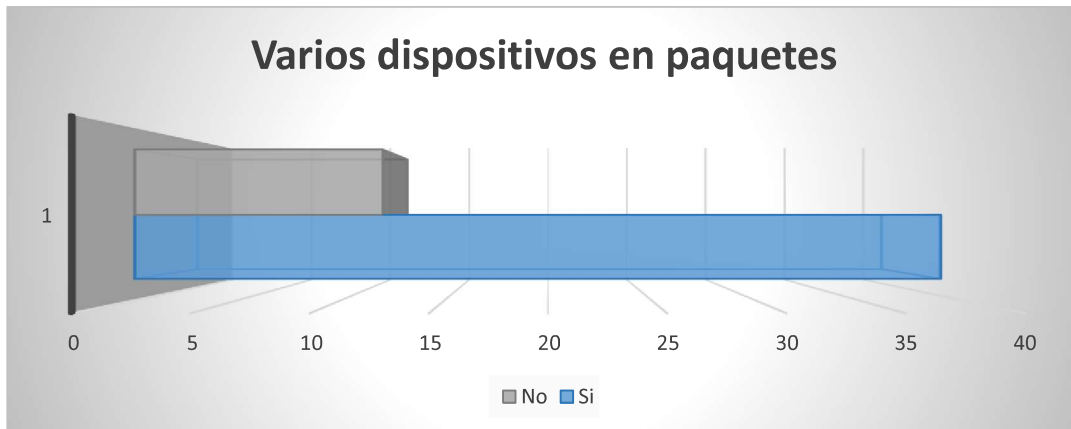


Figura 3.4. Resultados cuarta pregunta de la encuesta.

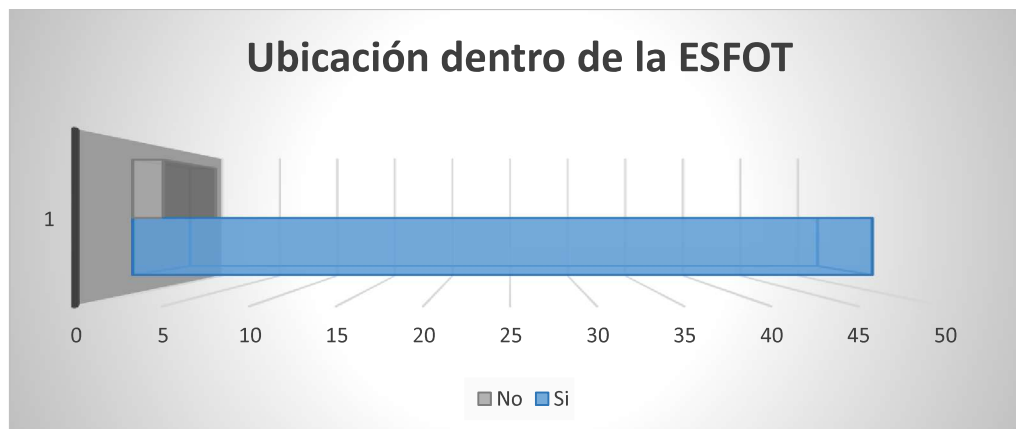


Figura 3.5. Resultados quinta pregunta de la encuesta.

Además de las encuestas, se han realizado reuniones con profesores y se suma nuestra experiencia como estudiantes de la ESFOT para la selección de los dispositivos. Se procede a realizar la selección y distribución del producto.

Mediante el código que se muestra en la tabla 3.1, se podrá elegir el producto deseado, este código se ingresará en el teclado matricial, el cual emitirá señales hacia la placa de control Arduino Mega 2560, y a su vez esta placa enviará señales para obtener el producto expendido.

Tabla 3.1. Productos seleccionados con sus respectivos códigos.

PRODUCTO	CÓDIGO	PRODUCTO	CÓDIGO
<i>Dip-switches</i> y Pulsadores	A1	Resistencias	C1
Compuertas AON	A2	Cables para <i>proto</i> board	C2
PIC16F870	A3	Integrado 555	C3
ATMEGA164P	A4	Cristales Osciladores	C4
Leds	B1	Conectores	D1
<i>Displays</i>	B2	Potenciómetros	D2
Capacitores	B3	Transistores	D3
Amplificadores Operacionales	B4	Reguladores de Voltaje	D4

- **Utilización de mecanismos para expender**

El sistema mecánico que se utiliza para expender los dispositivos electrónicos, es utilizado en la mayoría de máquinas expendedoras. Es denominado como un sistema de espirales que se observa en la figura 3.6, el cual se basa en un mecanismo que permite que cada vez que el usuario utilice la máquina expendedora de dispositivos electrónicos, y este elija el producto deseado de acuerdo al código, el mecanismo de control de la máquina expendedora debido a la señal recibida en el Arduino MEGA 2560, activará el motor adecuado, el cual realizará el movimiento de 360 grados del espiral colocado en el motor, el mismo que contiene el producto.

Este movimiento permite que el producto se precipite hacia la zona en donde el usuario retirará el producto. Además, que permite que los artículos que se encuentran en la misma fila de productos se adelanten en una posición.

Este sistema es muy óptimo debido a su reducido costo y también, en caso de presentarse un fallo en un motor, existe la facilidad de realizar un cambio de forma sencilla y rápida.

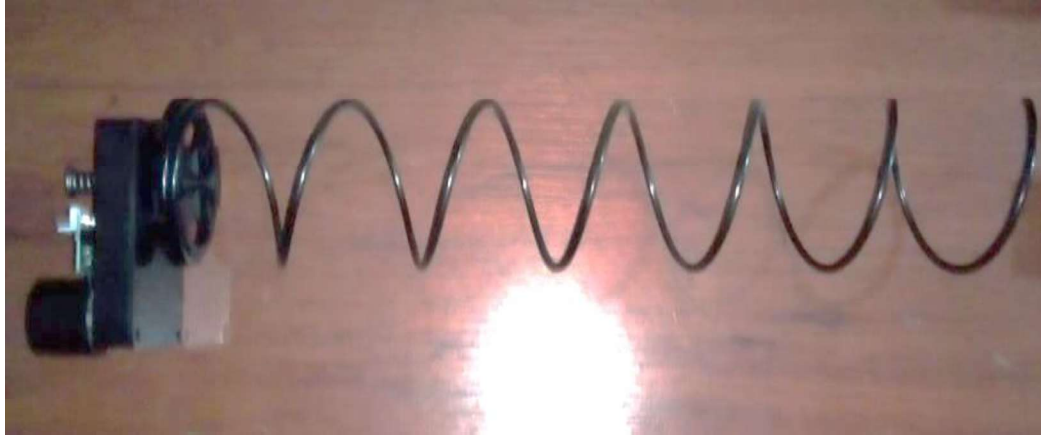


Figura 3.6. Motor DC con espiral.

- **Empleo de dispositivos que le permitan recibir el dinero e identificarlo**

Tras analizar diferentes opciones, se elige como sistema de identificación de dinero un monedero electrónico multimoneda. Se escoge este dispositivo debido a que integra todos los componentes necesarios en una única pieza para la identificación y aceptación de monedas. Este sistema se basa en la identificación de monedas mediante pulsos de acuerdo con el valor de cada moneda, se emite cierta cantidad de pulsos.

Esto se realiza mediante programación manual del monedero haciendo que reconozca las diferentes monedas. Si se inserta una moneda para la cual no está programado, simplemente la rechazará y el cliente podrá retirarla de la bandeja de la ranura de salida. Otro caso común es que se intente introducir monedas en mal estado o deterioradas, para lo cual el monedero se encargará de devolver automáticamente las monedas, por no haberlas reconocido.

- **Interfaz de interacción con el usuario**

Como parte de los requerimientos de la máquina expendedora, es necesario tener una interfaz que sea un medio de interacción con el usuario. Debe ser fácil de

manejar y comprender. En este caso, la interfaz de interacción con el usuario es el LCD y teclado matricial. Para permitir la comunicación del usuario con la máquina y cumplir con el objetivo de obtener el producto deseado, el usuario principalmente observará el LCD, el cual emite instrucciones.

Una parte importante de la interfaz es proporcionar la hora y fecha; además el saludo que se genera en base a la hora. Para obtener estos datos, se ha usado un módulo que nunca se apaga; esto debido a que, si se apaga la máquina, se borrarían la hora y fecha configuradas.

3.2. Diseño

- **Chasis**

El diseño de la máquina expendedora es fundamental porque permite realizar un bosquejo de cómo finalmente se observará. Es por ello que se hace el uso del *software* AutoCAD el cual es un programa que permite crear planos en 2 y 3 dimensiones permitiendo obtener vistas desde diferentes puntos. Debido a la facilidad que otorga, se realiza el diseño de la máquina expendedora con las medidas adecuadas con las que se presenta en las figuras 3.7 a la 3.12.

Todas las medidas están en centímetros en una escala real 1:1. Se ha tomado la decisión de que las medidas deben ser pequeñas para que la máquina sea minimalista. Esto debido a que el costo de fabricación sería menor y, además, para la cantidad de *stands* que se tiene las medidas son adecuadas.

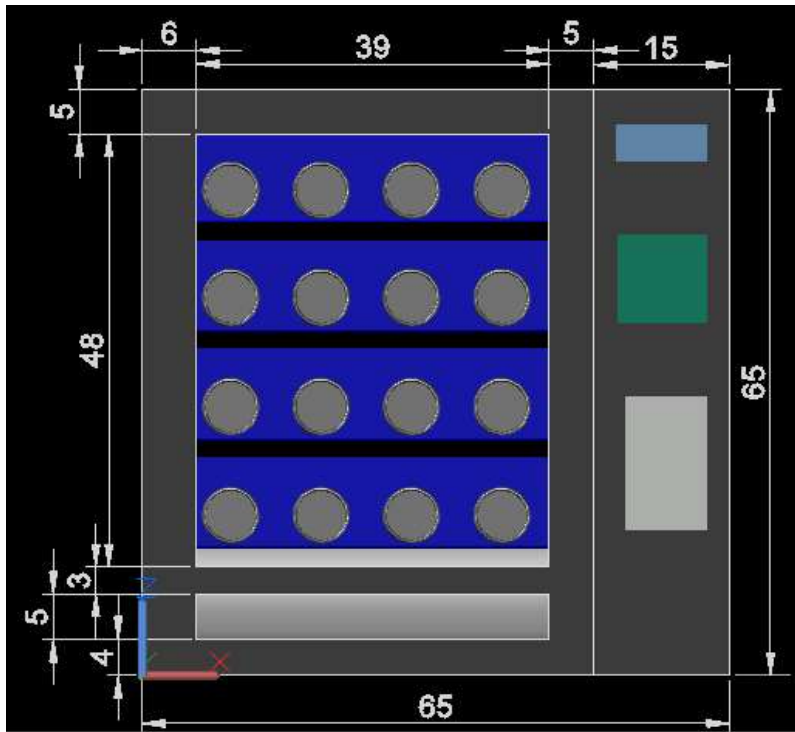


Figura 3.7. Vista frontal del diseño.

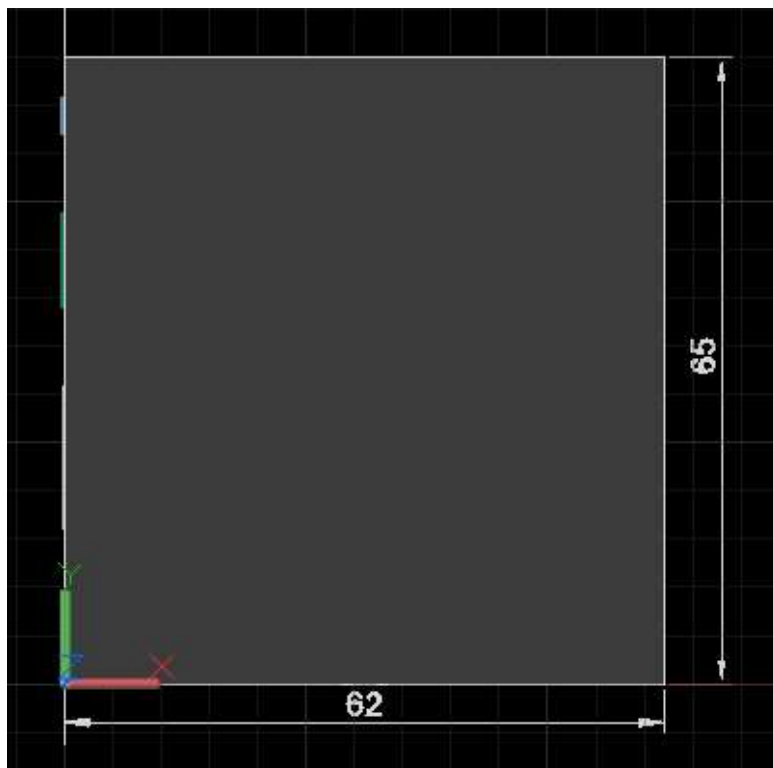


Figura 3.8. Vista lateral del diseño.

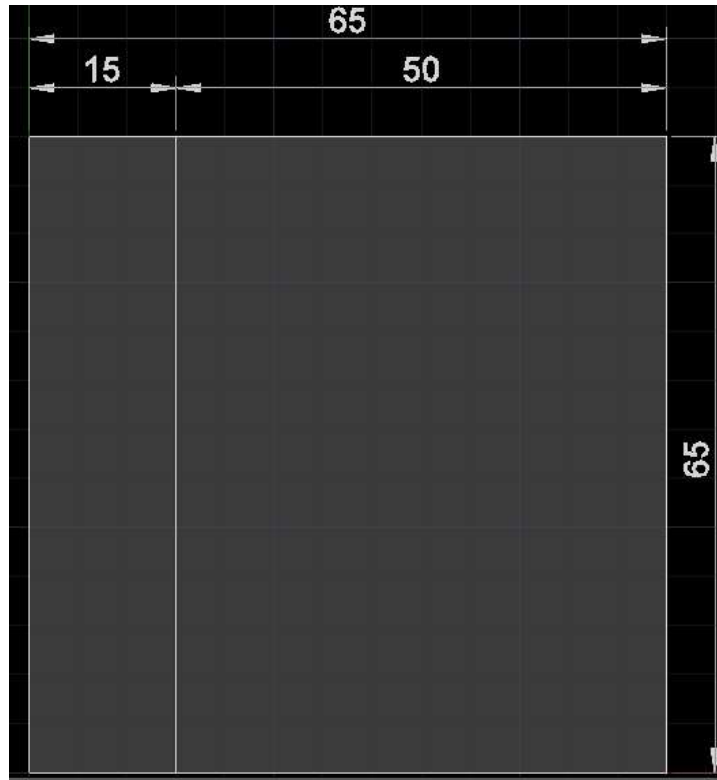


Figura 3.9. Vista trasera del diseño.

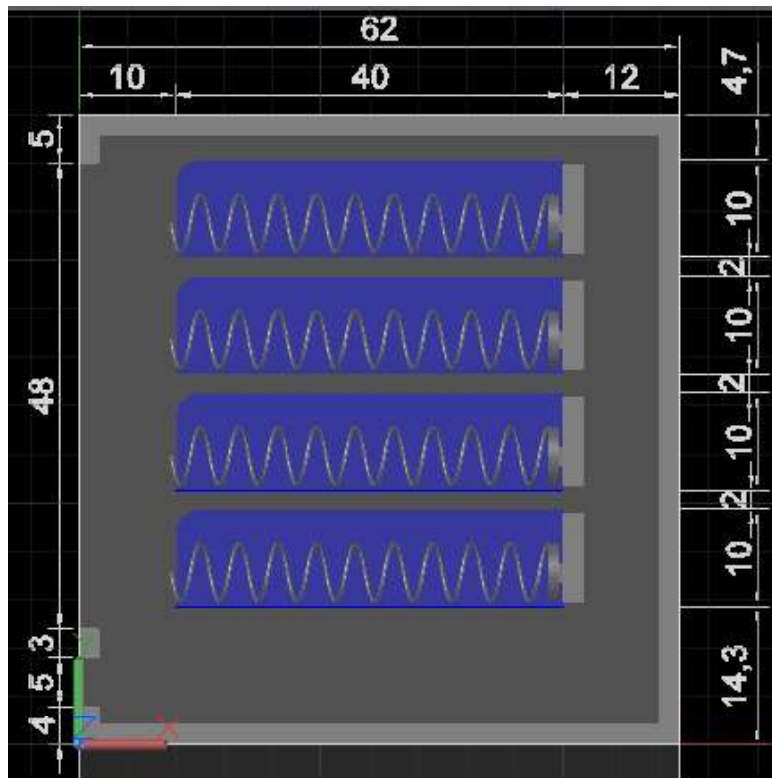


Figura 3.10. Vista interna y lateral del diseño.

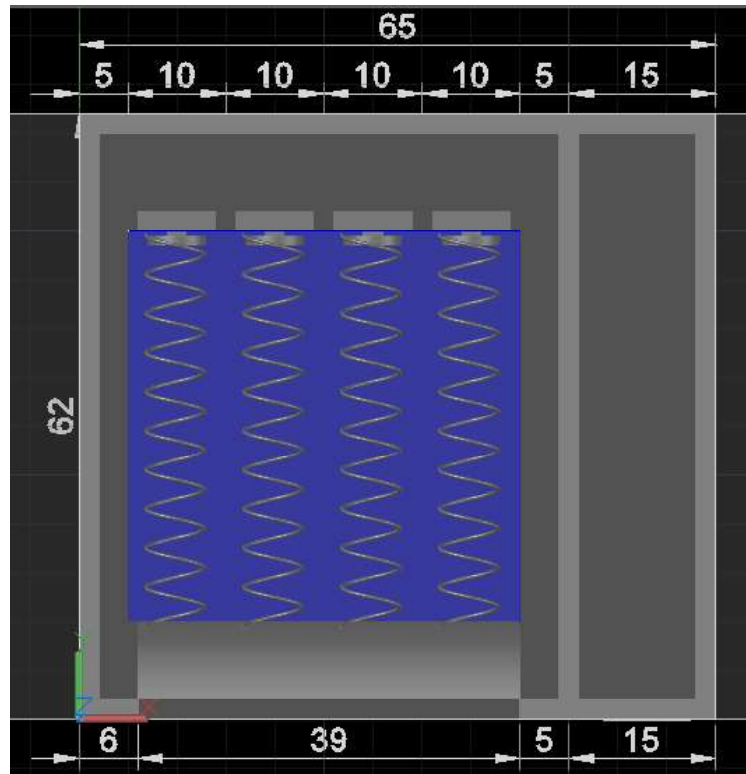


Figura 3.11. Vista interna y superior del diseño.

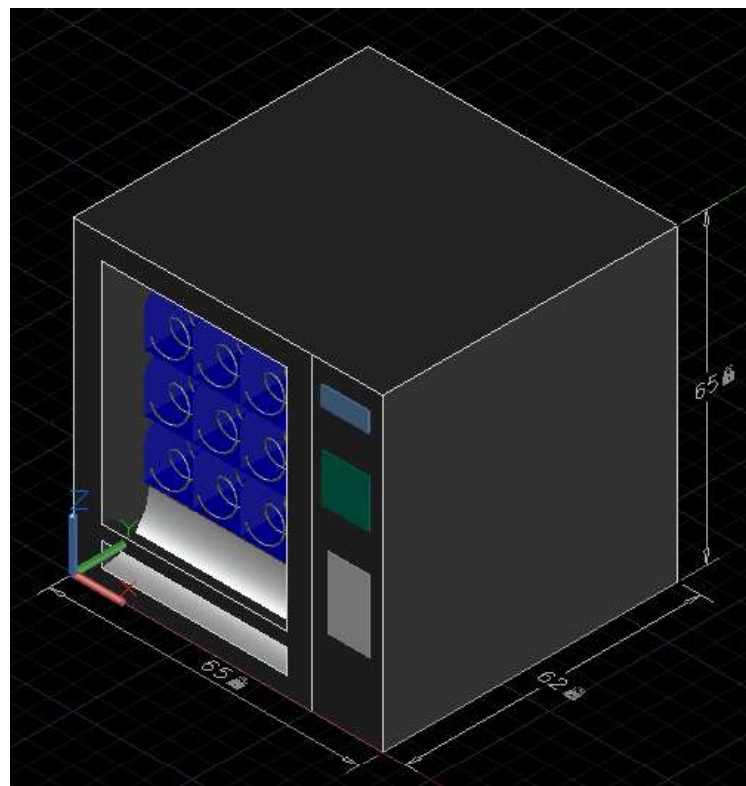


Figura 3.12. Vista en tres dimensiones del diseño.

- **Diagramas de circuitos electrónicos**

Previo a la implementación, es necesario diseñar los circuitos electrónicos que en conjunto con sistemas microcontrolados, gobiernen sobre todos los mecanismos. Para permitir el funcionamiento adecuado de la máquina expendedora, no solo basta con tener un dispositivo de control como es el Arduino Mega 2560, sino tener un sistema que integre diferentes circuitos y permita realizar el control total de la máquina.

En la figura 3.13 se aprecia el circuito adaptador para LCD que permite la conexión del LCD hacia el Arduino Mega 2560. Se realiza la conexión de alimentación en donde los pines VSS (-) y VDD (+) se conectan a la alimentación a 5 voltios de la máquina.

Después, se realiza la conexión del cursor del potenciómetro hacia el pin VEE del LCD, el cual permite el ajuste del contraste de la pantalla, los extremos del potenciómetro se alimentan positiva y negativamente. Se conectan los pines de datos D4, D5, D6, D7 del LCD para operar la pantalla en modo de 4 bits. Se realiza la conexión de los pines de control RS, E, RW.

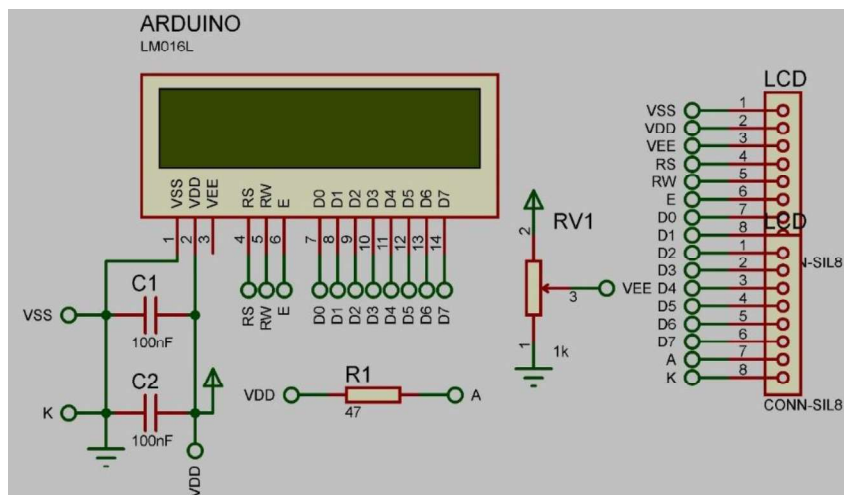


Figura 3.13. Circuito adaptador para LCD.

Como se puede apreciar en la figura 3.14, se adaptan los pines de entrada del módulo de 8 relés para que las señales puedan ser enviadas mediante un cable plano de 10 hilos.

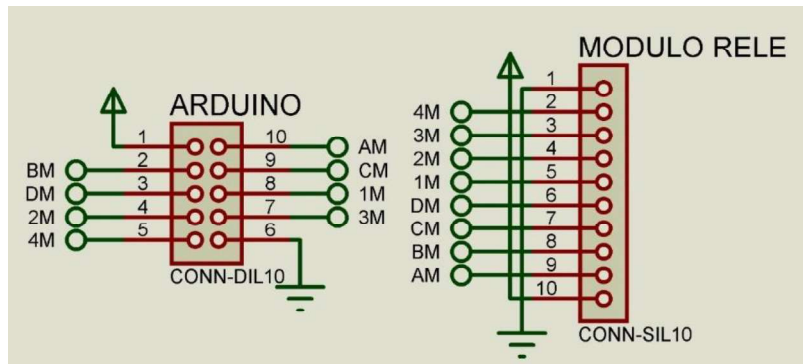


Figura 3.14. Circuito adaptador para el módulo de 8 relés.

En la figura 3.15 se puede observar que las conexiones del LCD se dirigen hacia los pines digitales del Arduino MEGA 2560, mientras que los pines A, B, C, D, 1, 2, 3, 4, del teclado matricial se dirigen hacia los pines 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, respectivamente. Además, las distintas conexiones para la matriz de motores que van primero a los relés y las conexiones hacia la tarjeta de multiplexación para las señales de control. Para terminar, se detalla en la parte inferior izquierda de la imagen el circuito del módulo zumbador.

En la figura 3.16 se puede observar el circuito principal de la máquina expendedora. Aquí se integran las conexiones de las diferentes partes que la conforman como es el Arduino MEGA 2560, que permite el control de toda la máquina expendedora, el cual se conecta al teclado matricial, al *display*, a los motores, al zumbador, al RTC, los multiplexores los cuales reciben la señal de los sensores fin de carrera EOS de los motores. Las señales de los sensores EOS son importantes a la hora de expender, para que la máquina realice la dispensación de únicamente un solo producto.

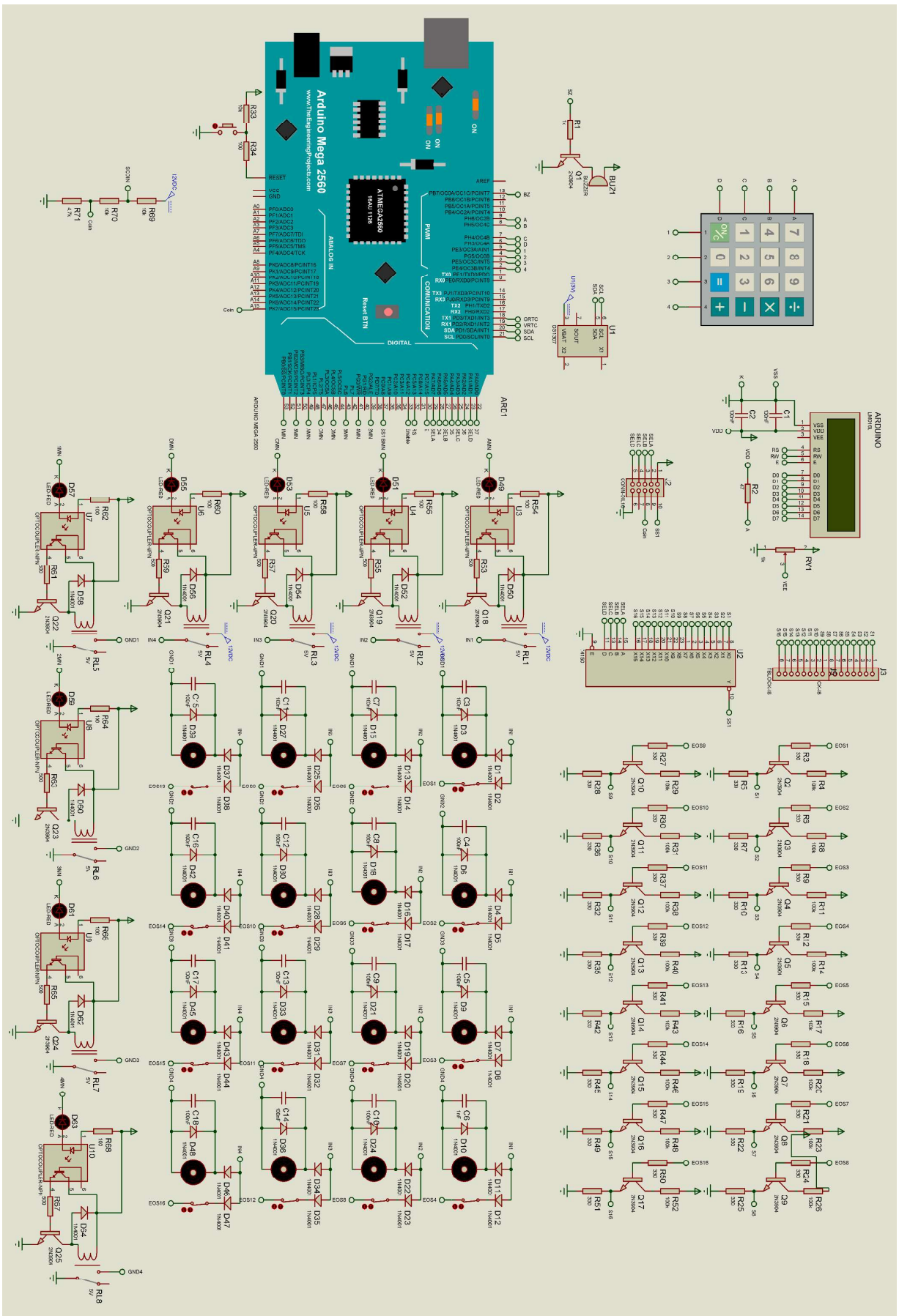


Figura 3.15. Simulación con ArduinoMEGA2560y sus periféricos.

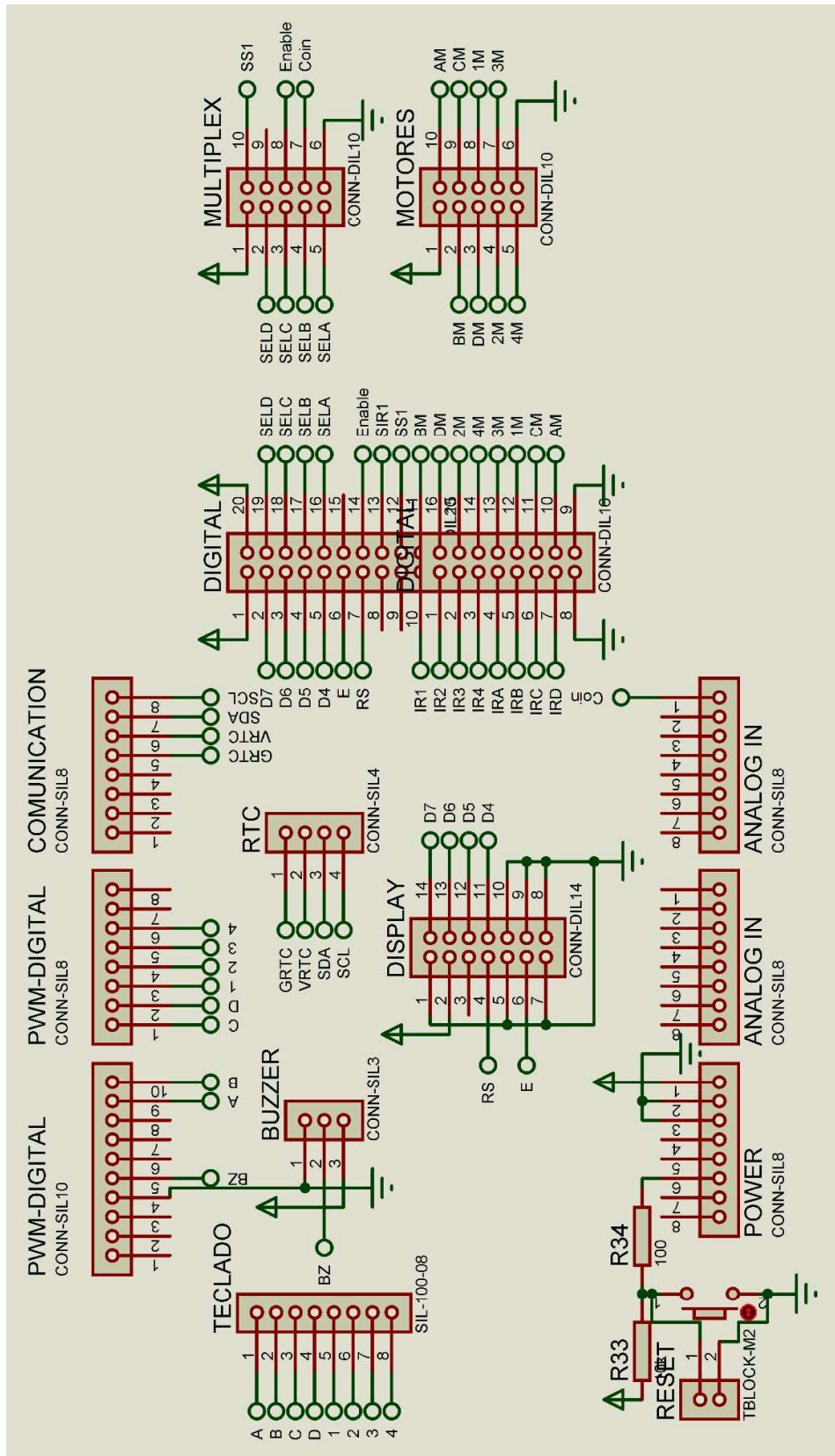


Figura 3.16. Circuito *shield* con conectores Arduino MEGA 2560.

Se debe realizar un circuito de acoplamiento para la señal de salida del selector hacia el Arduino, debido a que la salida está en colector abierto y necesita una resistencia conectada a voltaje VDD o VCC para poder tener niveles de voltaje coherentes. Tomando en cuenta el contexto, se diseñó el siguiente circuito de acoplamiento el cual se presenta en la figura 3.17.

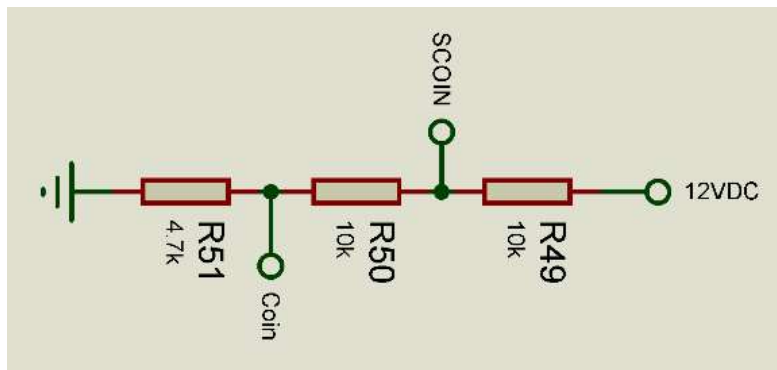


Figura 3.17. Circuito de acoplamiento señal selector hacia Arduino.

Las resistencias han sido dispuestas de tal forma que la señal del selector o (*SCOIN*) disminuya su nivel de voltaje para hacerlo medible. A la salida del circuito (*Coin*) se tendrá lo siguiente:

$$Coin = 4,7[k\Omega] \left(\frac{12[V] - SCOIN[V]}{10[k\Omega]} \right)$$

simplificando:

$$Coin = 0,47(12V - SCOIN)[V]$$

Por ejemplo, si se tienen 12 Voltios como señal *SCOIN*, la salida será de 0V.

En la figura 3.18 se puede observar que se realiza una matriz de motores permitiendo la optimización de pines digitales del Arduino MEGA 2560 y así el control de ellos sea más fácil. La activación de ellos dependerá de la elección del usuario y se activarán de acuerdo a la fila y a la columna elegida por el mismo. Los

motores cuentan con 3 pines: 2 de alimentación positiva y negativa, y otro pin de fin de carrera (EOS). Se interconectan los pines de alimentación y se dirigen al módulo de 8 relés. Se maneja una matriz de 4 por 4, en la cual las filas interconectan la alimentación positiva de los motores y las columnas la negativa. Si se desea activar un motor se deberá activar el relé de la fila acompañado del relé de la columna, con esto se logra optimizar el uso de relés ya que, en lugar de usar 16 relés, se usan 8. Los pines de fin de carrera EOS se dirigen a los multiplexores y existe una ausencia de señal de 12 voltios cuando realiza una vuelta de 360 grados, esto permite el control de la vuelta, lo cual influye en la entrega del producto.

Por último, en la figura 3.19 se puede observar que las salidas de los sensores de fin de carrera se dirigen hacia los transistores 2N3904, debido a que las señales emitidas son de 12 voltios. Las señales llegan a la base del transistor haciendo que este se polarice y, dada su configuración, entregue una señal de 5 voltios en el emisor. Si se tienen 16 motores, habrá 16 señales hacia el multiplexor. En la programación, se usaron selectores que siguen un patrón binario de 0 a 15, de acuerdo al sensor del motor que se seleccionó.

Así, si por ejemplo se activó el motor B4, el patrón binario será 0111, o 7 en decimal y de esta manera se puede seleccionar en el multiplexor la señal del motor B4. Se podría haber empleado cuatro multiplexores de 8 a 1, pero esta solución ocupaba demasiado espacio dentro de la tarjeta de multiplexación, aumentaba el coste y complicaba aún más el código de programación. Como se observó previamente se elaboró un adaptador para el módulo de relés, esto es debido a la facilidad de conexión de los dispositivos con cable plano tipo bus. Para el circuito de control se pensó de la misma manera, por eso se incluyó este tipo de conector.

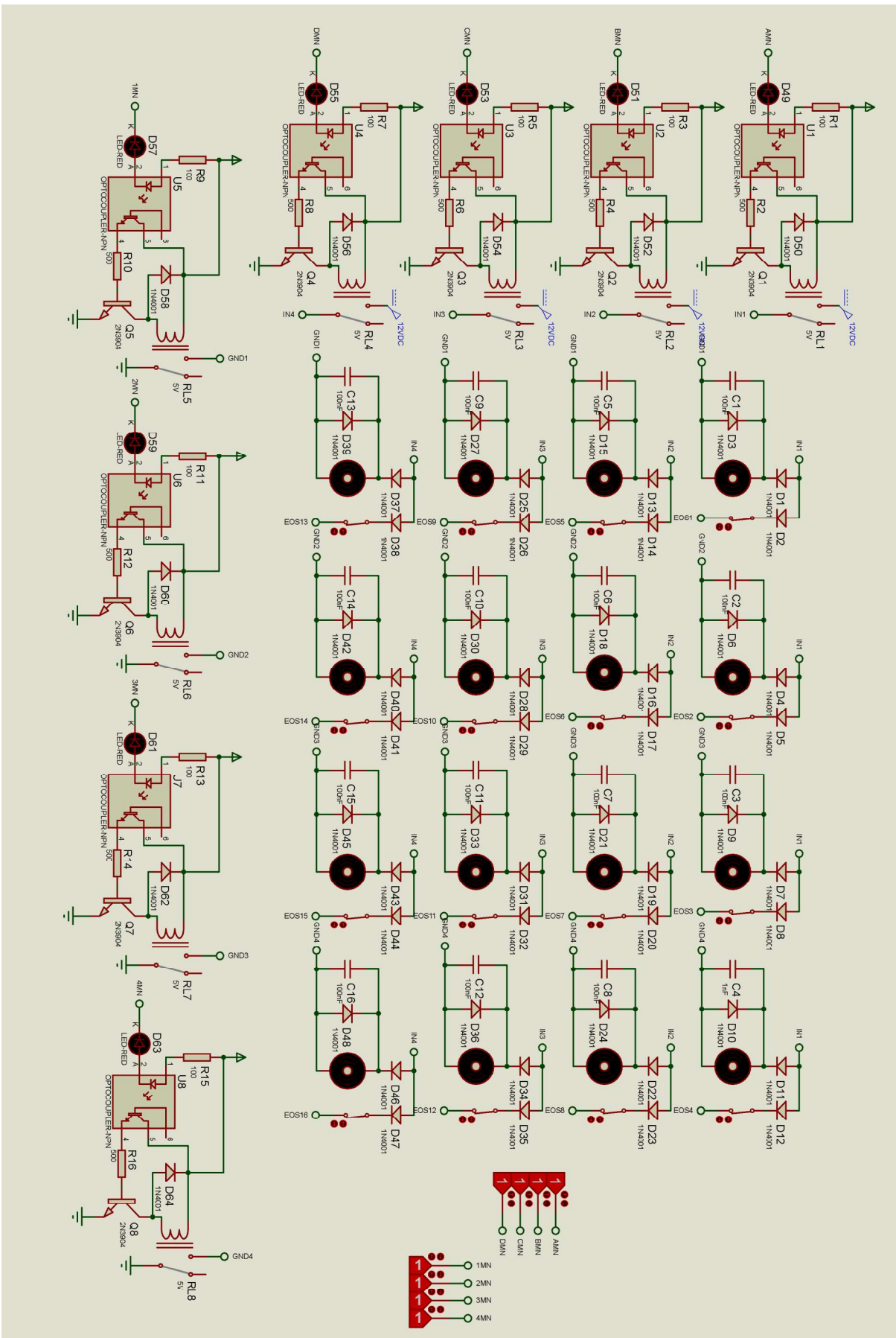


Figura 3.18. Circuito matriz de motores DC y relés.

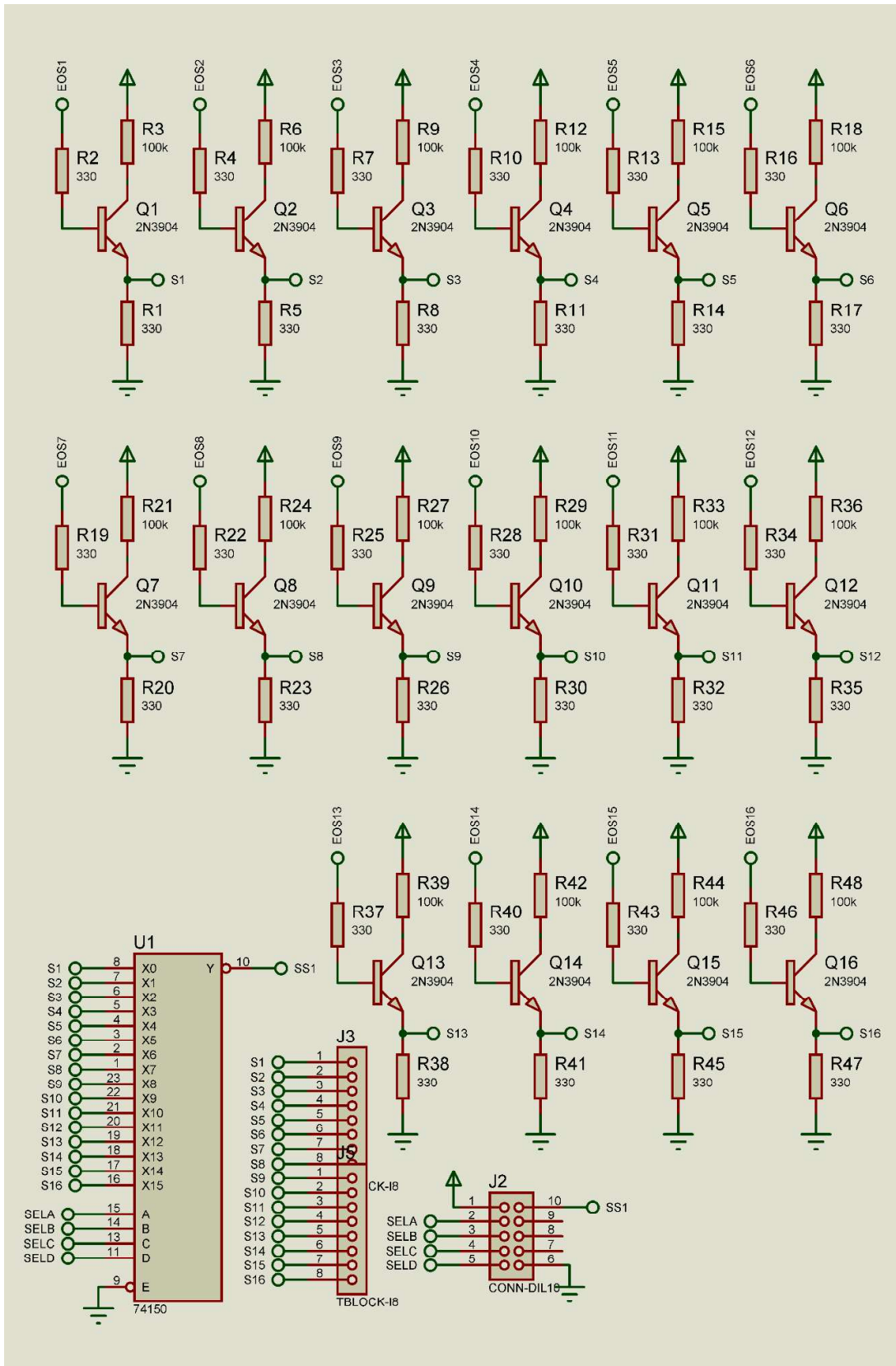


Figura 3.19. Circuito de control para sensores.

- **Iluminación interna**

Es necesario usar un sistema de iluminación que permita visualizar el producto en la máquina cuando exista presencia de luz natural, así como cuando no la haya. Para este propósito se usaron tiras o cintas LED que tengan un alto consumo energético, pero brinden iluminación incluso cuando hay luz del sol. Estas cintas manejan un voltaje de 220 a 240 Voltios en corriente continua, para lo cual usan un controlador o adaptador encargado de nivelar y rectificar el Voltaje. Como se presenta en la figura 3.20, los LEDs son de tecnología SMD del modelo 5050 los cuales tienen 3 núcleos para 3 colores distintos o en este caso un solo color. [12]



Figura 3.20. LED SMD5050. [12]

Otras características importantes son la protección IP que, en este caso al usar un tubo de silicona, es IP65 lo que lo hace resistente al polvo y a salpicaduras de agua. La cinta LED se aprecia en la figura 3.21. Se tiene protección contra polvo y sólidos diminutos, además de protección contra salpicaduras de cualquier líquido. [12]



Figura 3.21. Cinta LED con adaptador de 120V a 240V. [12]

- **Diagramas de flujo**

Como paso previo a la programación, se realizaron los diagramas de flujo mostrados en las figuras de la 3.22 a la 3.27, que especifican el funcionamiento de cada proceso. Primero, se realizó un diagrama de flujo global, del cual se derivan los demás diagramas de las etapas o estados que abarca el diagrama principal. Se manejó un esquema de programación modular, por lo que cada proceso es independiente del anterior, pero se complementan al mismo tiempo. Este tipo de programación se usa cuando hay varias personas trabajando en un equipo y se necesita dividir el código de programación, o cuando el programa es un problema y para resolverlo se lo divide para tener varios pequeños programas. [13]

En la figura 3.22 se presenta el diagrama de flujo general de la máquina expendedora, en el cual se incluyen las librerías, se declaran las variables y se especifican los procesos que componen el funcionamiento total del código. En este diagrama se integran todas las etapas que permiten el funcionamiento adecuado de la máquina expendedora.

En la figura 3.23 se encuentra el diagrama de flujo del proceso de máquina en espera, en este se establece la hora y fecha otorgada por el módulo RTC y dependiendo de esta mostrará un mensaje de saludo “Buenas Días”, “Buenos Tardes” o “Buenas noches”. La máquina estará atenta a la selección del usuario en todo momento en esta etapa.

En la figura 3.24 se muestra el diagrama de flujo del proceso de selección de la máquina expendedora en donde se valida los datos recibidos a través del teclado matricial. Primero se debe escoger una letra (A, B, C, D), seguido de esta se debe escoger un número (1, 2, 3, 4), si no es así la selección es errónea.

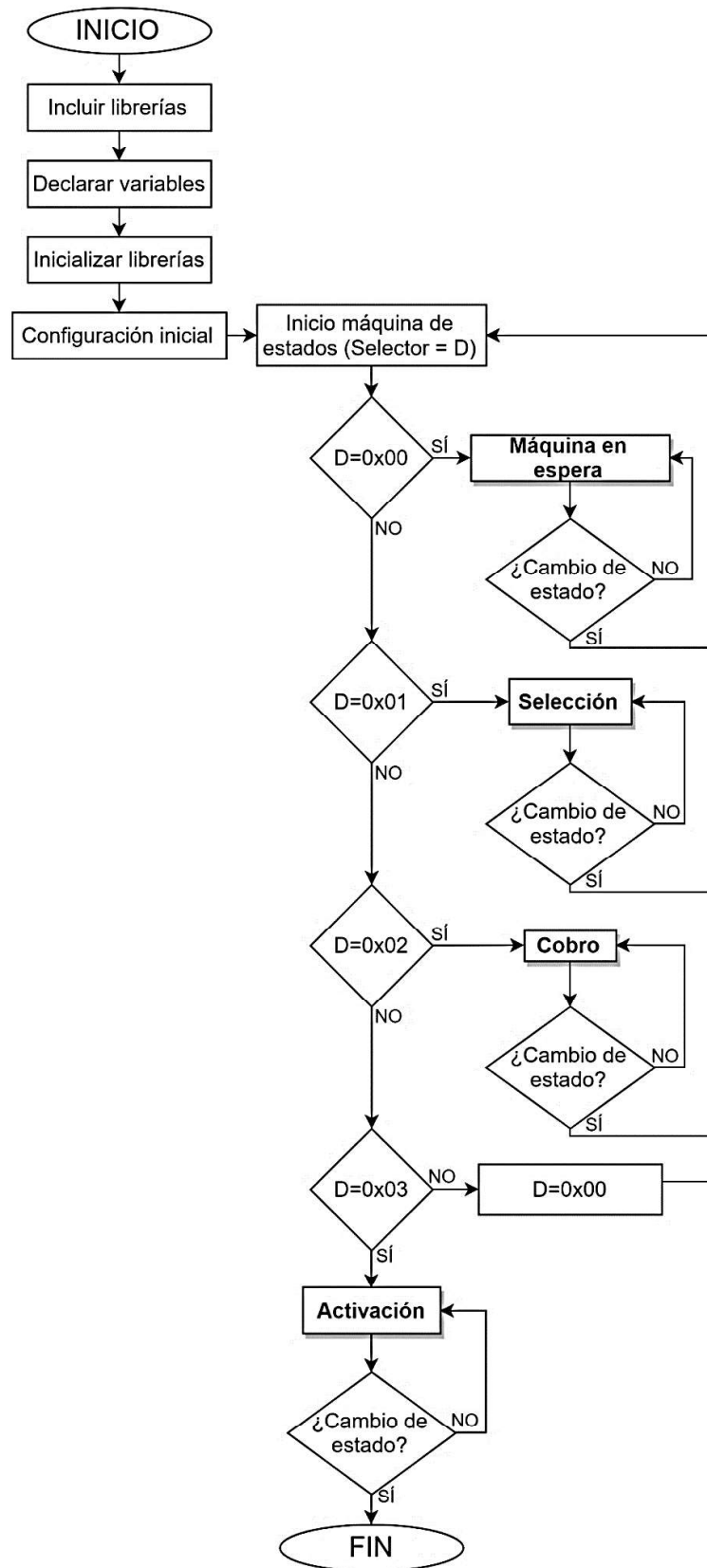


Figura 3.22. Diagrama general de la máquina expendedora.

Etapa: Máquina en espera.

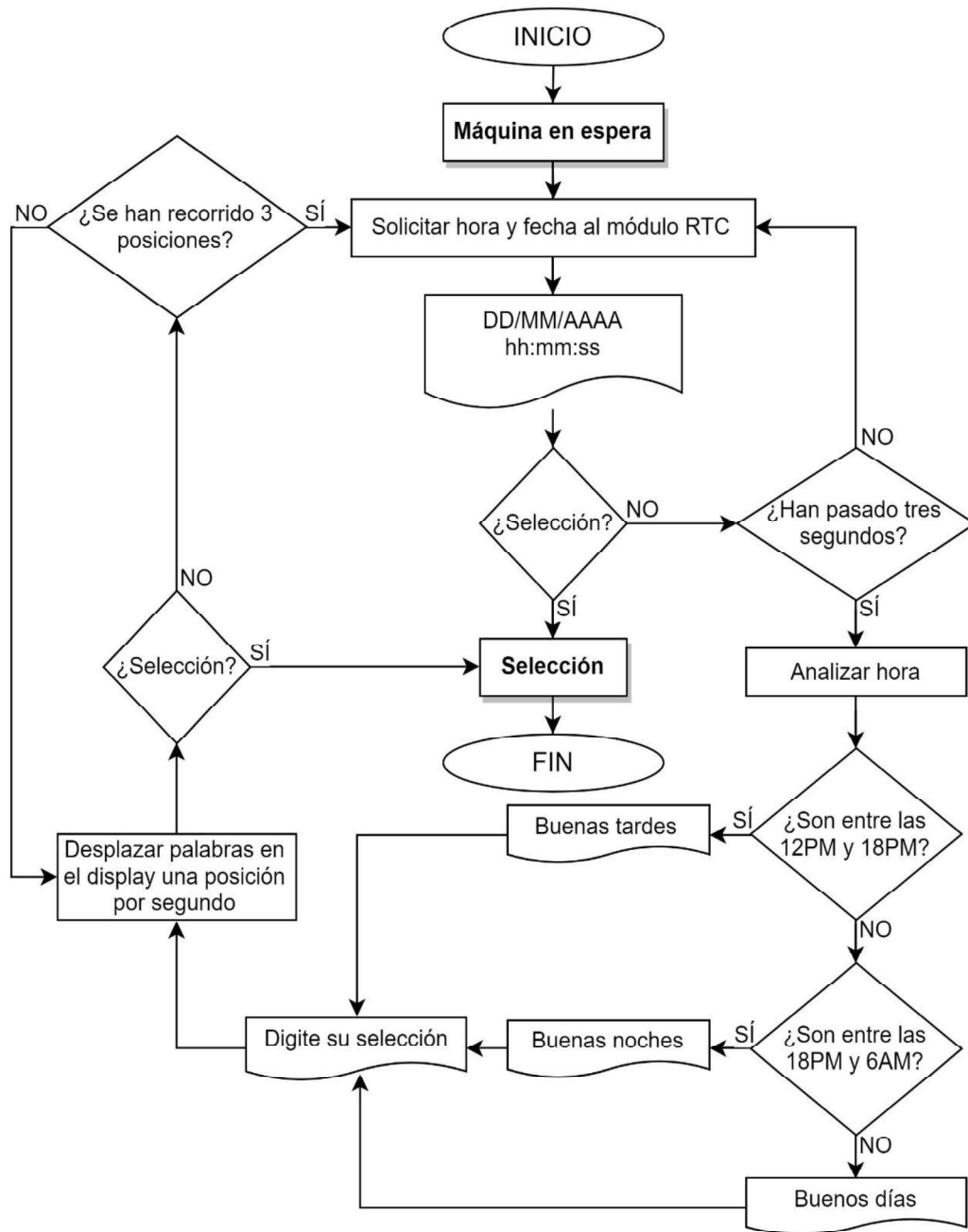


Figura 3.23. Diagrama del proceso de máquina expendedora.

Además de presentar información, cuando la máquina está en espera, está al tanto de que el usuario realice una selección. Si el usuario no ha realizado una selección, la máquina tiene retardos específicos para lo mostrado en el LCD.

Etapa: Selección.

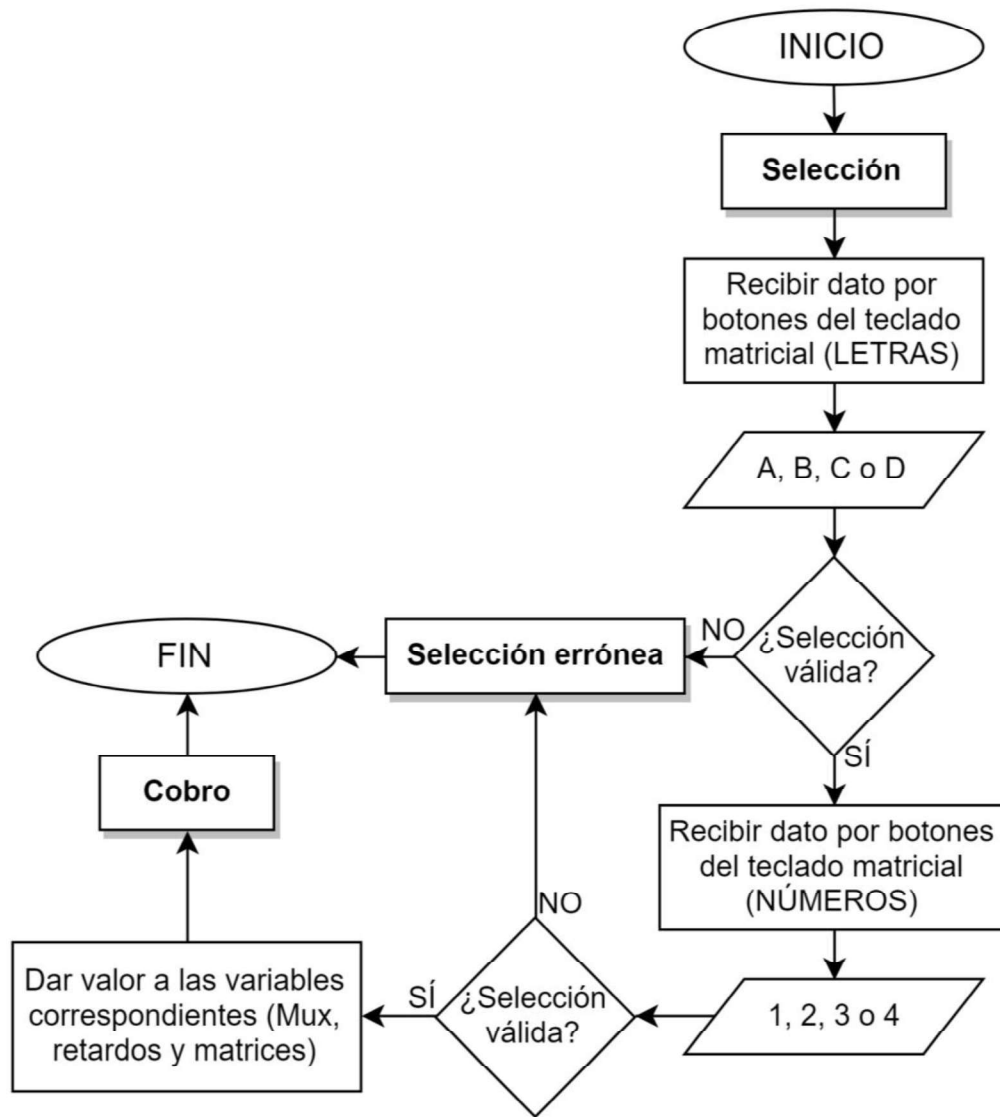


Figura 3.24. Diagrama de flujo del proceso de selección.

En la figura 3.25 se observa el diagrama de flujo de la etapa de cobro, en donde una vez que la selección del producto fue correcta, indica el producto que se ha seleccionado, muestra el valor del producto y se inicia la recepción de monedas, para ello debe atender señales del selector de monedas que indicarán si el pago ha sido completado, de ser así se dirige hacia el proceso de activación y si no lo es se dirige hacia el proceso de máquina en espera.

Etapa: Cobro.

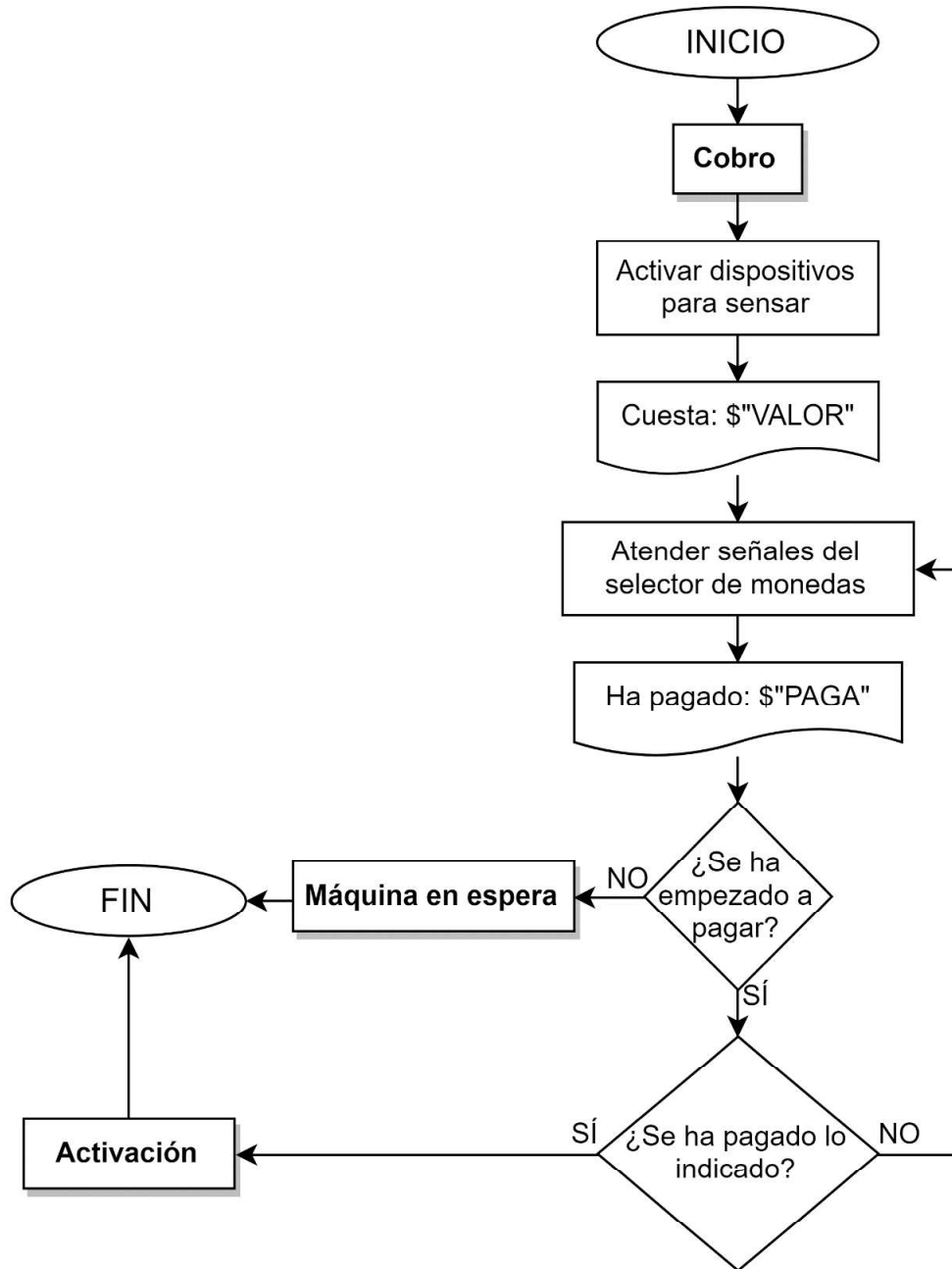


Figura 3.25. Diagrama de flujo del proceso de cobro.

En la figura 3.26 se presenta el diagrama de flujo de la etapa de activación; una vez que el pago ha sido finalizado, el motor correspondiente al *stand* del producto se activa, se verifica si ha expandido; de ser así, los motores se desactivan y muestra

el mensaje de “PRODUCTO EXPENDIDO” y vuelve al estado de máquina en espera. Si, por el contrario, el producto no ha sido expendido se debe esperar a la señal del sensor de fin de carrera del motor.

Etapa: Activación.

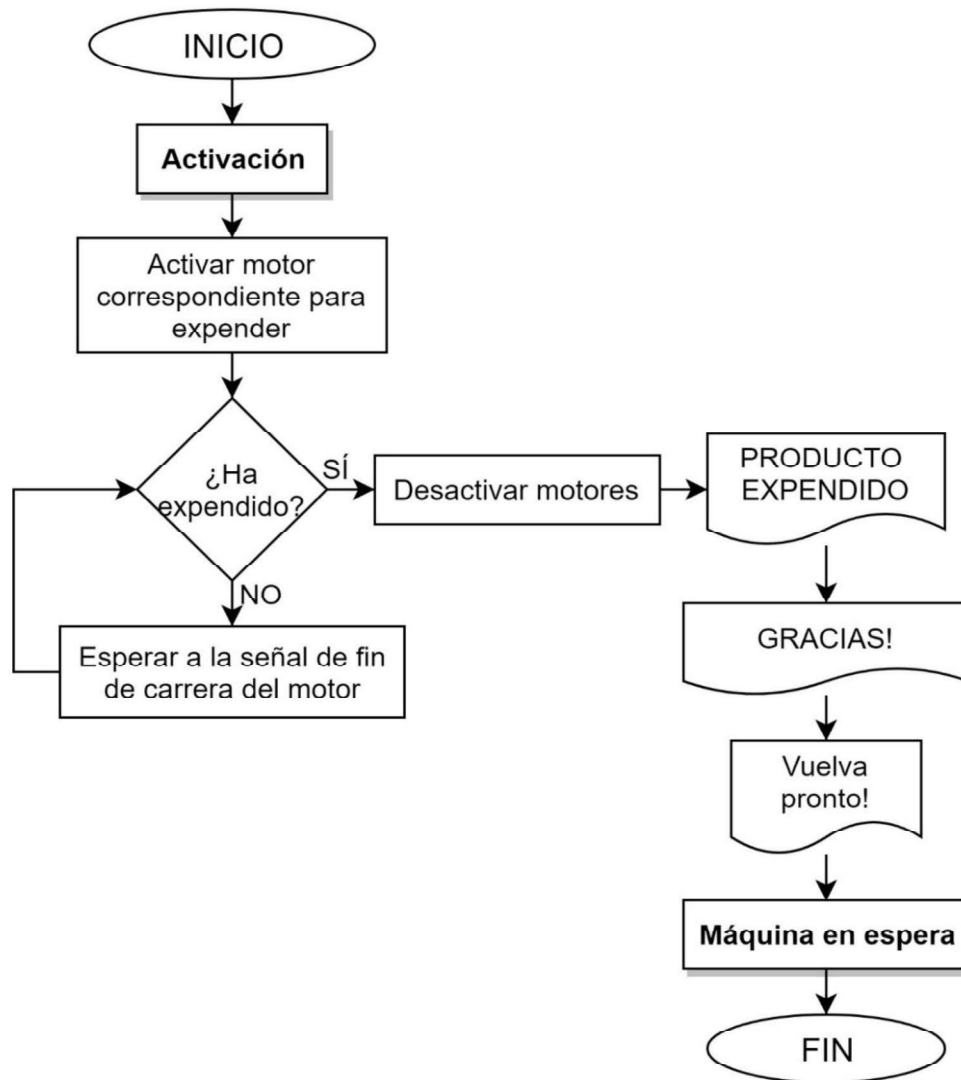


Figura 3.26. Diagrama de flujo del proceso de Activación.

En la figura 3.27 se observa el diagrama de flujo del subproceso de selección errónea en donde si los datos ingresados mediante el teclado matricial son mal ingresados aparece el mensaje “SELECCIÓN ERRÓNEA”, luego otro mensaje

“Seleccione nuevamente” lo que le indica al cliente que puede realizar otra selección al dirigirse hacia el estado de máquina en espera.

Subproceso: Selección errónea.

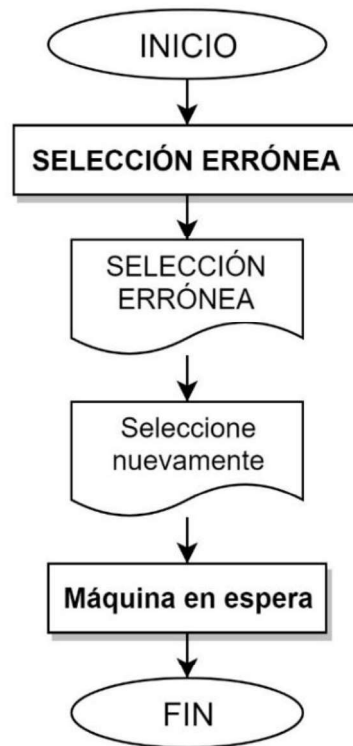


Figura 3.27. Diagrama de flujo del subproceso de selección errónea.

3.3. Implementación

La implementación de la máquina expendedora se procede a realizar una vez que se encuentran listas las etapas de los requerimientos de la máquina y el diseño de la misma. Es entonces que se procede a la integración de todos los elementos que forman parte de la máquina.

Se comienza por realizar los circuitos impresos; para la realización de ellos, es necesario ocupar algunos materiales como son papel termotransferible amarillo, placa del circuito impreso, plancha, lija de metal fina.

En la figura 3.28 se observa el recorte del circuito que se imprimió en el papel termotransferible amarillo.

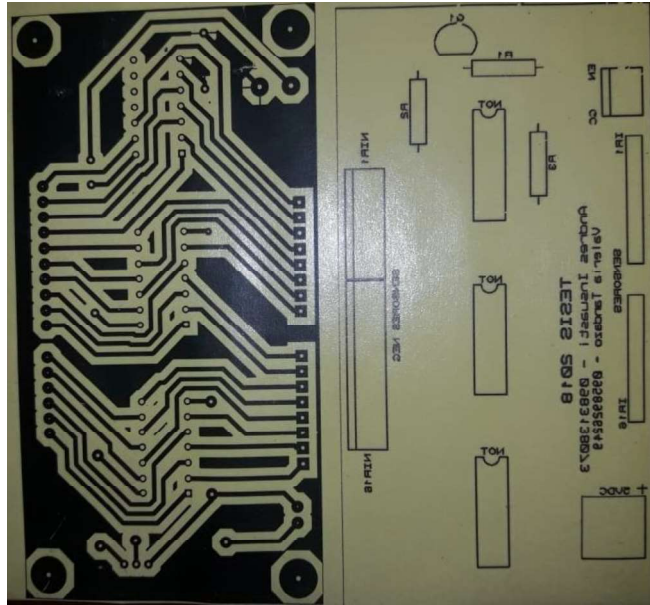


Figura 3.28. Impresión en papel termotransferible amarillo.

Se coloca fijamente el impreso del circuito en la placa ya limpia y se procede a pasar la plancha a una temperatura moderada para que el tóner se fije sobre la superficie de la placa como se muestra en la figura 3.29.

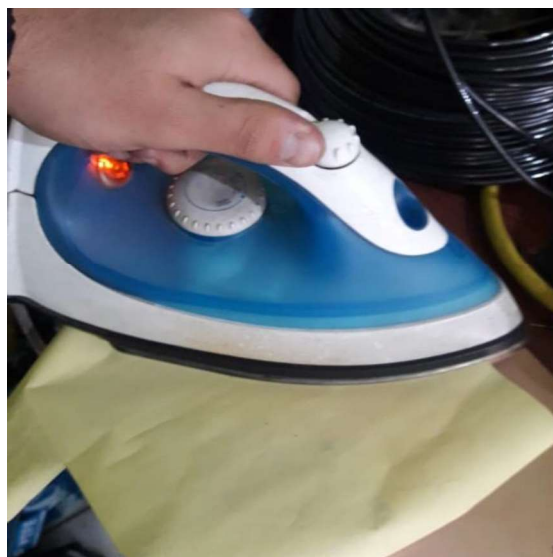


Figura 3.29. Transferencia de tóner en la placa mediante planchado.

Es entonces que se realiza el quemado del cobre a excepción de las pistas; para ello se utiliza ácido (cloruro férrico) mezclado con agua, se deja un tiempo considerable para cumplir con el objetivo, como se visualiza en la figura 3.30.

En la figura 3.31 se observa cómo se adiciona la serigrafía en la placa y cómo se procede a taladrar los huecos en donde se deben colocar los dispositivos.



Figura 3.30. Placa sumergida en una solución de cloruro férrico y agua.

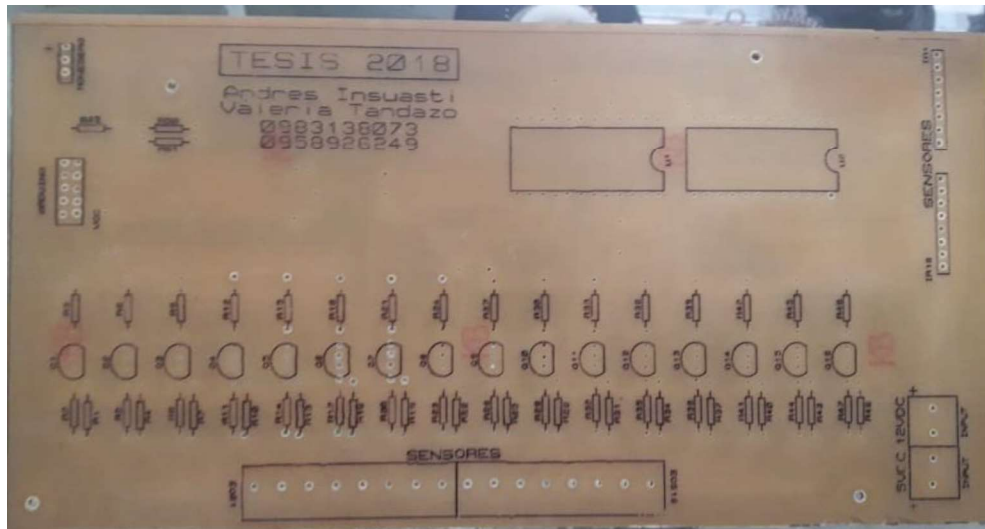


Figura 3.31. Placa con serigrafía y perforada.

Después de la perforación, se procede al montaje de los dispositivos en la placa, presentado en la figura 3.32.

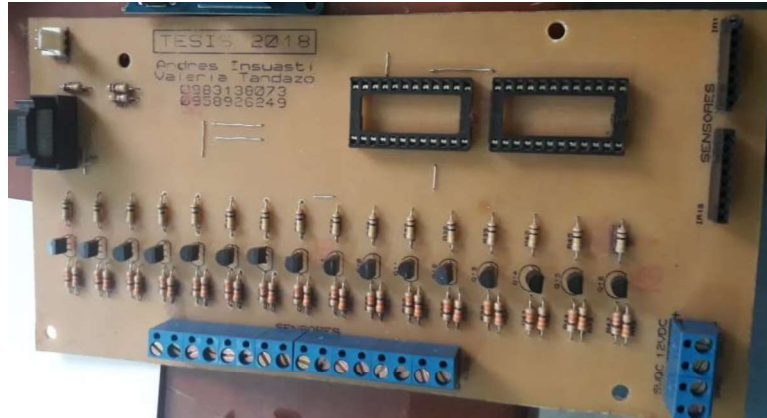


Figura 3.32. Montaje de los dispositivos en la placa.

En las figuras de la 3.33 a la 3.37, se presentan todos los circuitos impresos ya terminados y montados, además de otros componentes de la máquina.

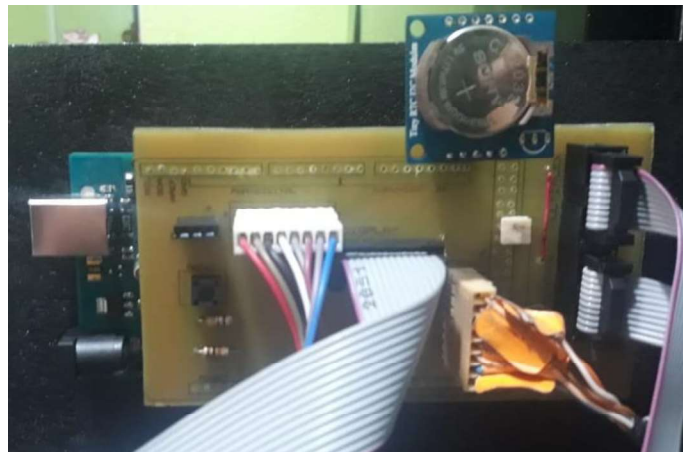


Figura 3.33. Circuito impreso de *shield* con conectores Arduino MEGA 2560.



Figura 3.34. Circuito impreso adaptador para LCD.

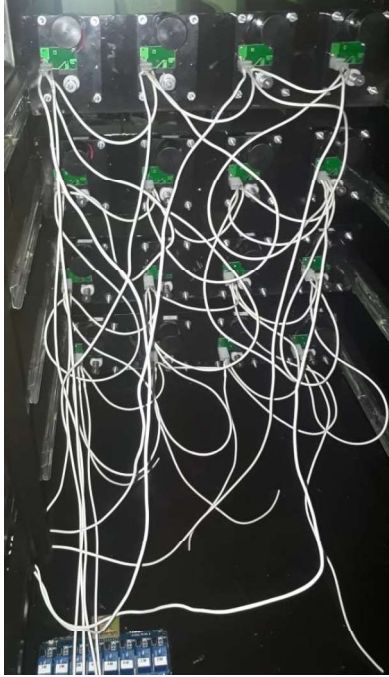


Figura 3.35. Matriz de motores DC y relés.



Figura 3.36. Circuito impreso adaptador para el módulo de 8 relés.



Figura 3.37. Circuito impreso de control de sensores y monedero.

Como parte de la implementación, es necesario realizar el código que permita el funcionamiento de los sistemas, para ello se utilizará el código incluido en los anexos.

Otro de los elementos que conforma la máquina expendedora es la estructura de base de hojalata y acero, también conocida como chasis, la cual contendrá los elementos que forman el sistema electrónico y mecánico de la máquina expendedora y los productos que expenderá.

Se elige realizar la estructura de base en hojalata debido a que el costo es más reducido que al utilizar otro material. De acuerdo al diseño realizado en AutoCAD, se procede a la construcción del chasis con las medidas acordadas, las bandejas en las cuales se coloca el espiral y los artículos de venta se construirán en hojalata de igual manera.

En las figuras de la 3.38 a la 3.42, se presentan las vistas del chasis implementado.



Figura 3.38. Vista frontal de la estructura.



Figura 3.39. Vista posterior de la estructura.



Figura 3.40. Vista lateral de la estructura.



Figura 3.41. Vista interna de la estructura.



Figura 3.42. Bandejas de la estructura.

Después, se procede a pintar la máquina expendedora y a la instalación del vidrio en la puerta de la zona de productos, en la figura 3.43 se aprecia el chasis finalizado.



Figura 3.43. Estructura finalizada.

Una vez concluida, se procede a ubicar los espirales en los motores y seguido, la colocación de los empaques que contienen los dispositivos electrónicos, como se aprecia en la figura 3.44.

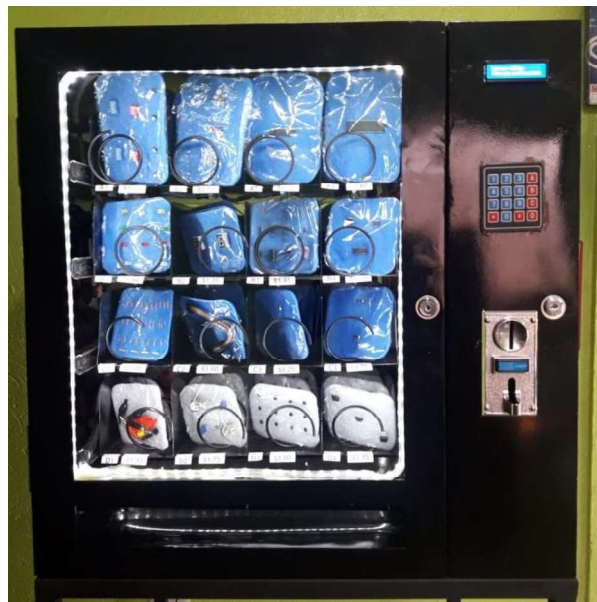


Figura 3.44. Estructura con los dispositivos electrónicos a dispensar.

- **Configuración de módulo RTC**

El módulo RTC DS1307 maneja el protocolo I2C, el cual emplea dos líneas para comunicación serial y además dos líneas de alimentación. Las líneas de comunicación serial se denominan SDA o línea de datos seriales y SCL o línea de reloj serial. Se debe conectar la alimentación, ya que el módulo mantiene la información con los 3 voltios suministrados por la batería tipo botón; sin embargo, para transmitirla necesita niveles TTL de voltaje suministrados a las líneas VCC y GND del módulo. [14]

En el protocolo I2C hay varias consideraciones importantes, una de ellas es que existe un maestro y un esclavo. El maestro se encarga de suministrar una señal de reloj y el esclavo le brinda información o datos de importancia al maestro para que éste los lea. En un circuito pueden existir varios esclavos, pero solo un maestro. El protocolo establece que el maestro controla la transmisión de información, esta información es enviada por el esclavo usando la trama que se presenta en la figura 3.45.

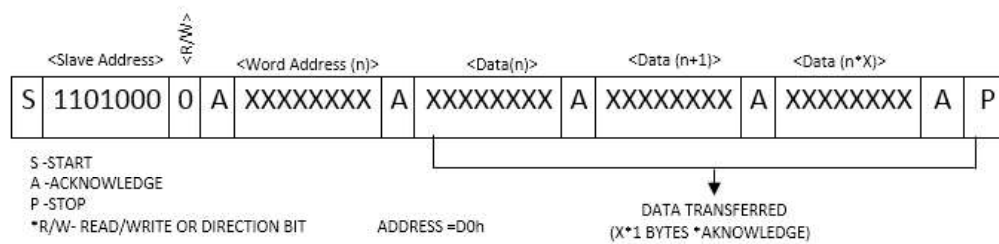


Figura 3.45. Trama de envío de datos del esclavo al maestro. [15]

Se empieza a transmitir información si el bit “S” se encuentra en 1. Las direcciones del esclavo indican al maestro de qué dato se trata, esto de acuerdo a las direcciones de memoria como se verá a continuación. Aunque la dirección del

esclavo nunca cambia para identificar el DS1307. El siguiente bit es un 0 que indica que el esclavo va a escribir en sus espacios de memoria, y a partir de aquí empieza el envío de datos, para esto se envía un 1 en el bit "A" cada vez que se envíe una trama de datos de 8 bits. Si el bit "A" cambia a 0, significa que no hay más bits de datos por enviar. El bit "P" se usa para indicar que la transmisión va a parar. [16]

Las direcciones de memoria del DS1307 se observa en la figura 3.46.

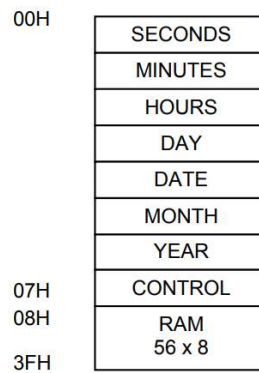


Figura 3.46. Mapa de direcciones de memoria. [16]

Para obtener la información, el maestro debe solicitar al esclavo lo que necesite.

Para esto se usa la trama mostrada en la figura 3.47.

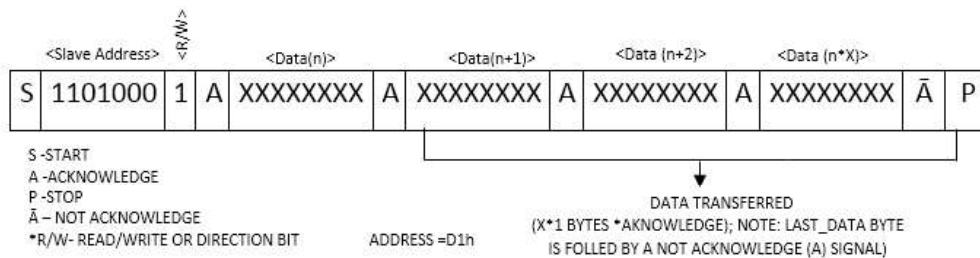


Figura 3.47. Trama de recepción de peticiones del maestro al esclavo. [15]

La única diferencia es el bit de dirección o de lectura/escritura, el cual está en 1 para leer datos almacenados provenientes del esclavo. Algo muy importante son los bits que componen a los bytes en las direcciones de memoria que se detalla a en la figura 3.48.

	BIT7								BIT0
00H	CH	10 SECONDS			SECONDS				00-59
	0	10 MINUTES			MINUTES				00-59
	0	12 24	10 HR A/P	10 HR	HOURS				01-12 00-23
	0	0	0	0	0	DAY			1-7
	0	0	10 DATE		DATE				01-28/29 01-30 01-31
	0	0	0	10 MONTH	MONTH				01-12
	10 YEAR				YEAR				00-99
07H	OUT	0	0	SQWE	0	0	RS1	RS0	

Figura 3.48. Detalle del contenido en bits de las direcciones de memoria. [16]

Siempre que se quiera encender el inicio de los registros, se debe escribir un "1" en el bit "CH" que controla el oscilador. Se puede ver que además de los datos de horas, minutos y segundos, se puede tener el dato del día de la semana. Este dato fue descartado en el código de programación, pues se manejó un formato de fecha corta. Retomando, en la configuración inicial del código de programación se usa el comando *"rtc.begin;"* el cual debe ser el bit CH que enciende el inicio de los registros para poder leerlos. Se ha hecho la comprobación práctica, retirando el comando del código, el resultado fueron datos inentendibles y sin importancia.

Gracias a las librerías hechas para el control del módulo RTC, se puede obtener información de una manera más fácil; si estas librerías no existieran, se debería enviar unos y ceros a determinada frecuencia para interactuar de manera serial con estos módulos. Un ejemplo de facilidad es el comando *"now.day()"* con el cual se solicita el dato de día al esclavo. Este comando le da al esclavo la dirección de memoria en donde ha guardado la información del día correspondiente y que se ha configurado previamente.

Para la configuración inicial del módulo RTC, se utilizó uno de los programas ejemplo del *software* Arduino IDE. El código es el siguiente:

```
#include <Wire.h>
#include "RTClib.h"

void setup () {
  rtc.begin();
  if (! rtc.isrunning()) {
    Serial.println("RTC is NOT running!");
    // La siguiente línea se usa para configurar una fecha y hora
    // por ejemplo:
    // 21 de enero de 2014 a las 3AM el comando es el siguiente:
    rtc.adjust(DateTime(2014, 1, 21, 3, 0, 0));
  }
}
```

- **Configuración del selector de múltiples monedas**

Una cualidad muy importante que se pudo rescatar de la experimentación con el selector de monedas, es que no puede reconocer monedas de 50 centavos debido al peso de estas y su gran tamaño. Además, no trabaja adecuadamente con monedas americanas de 1 centavo y 10 centavos a la vez, por lo que se tomó la decisión de no programar el reconocimiento de las monedas americanas de 10 centavos, debido a que las monedas americanas de 1 centavo existen en mayor cantidad que las de 10 americanas.

La configuración del selector de monedas se realiza de manera manual; se deben presionar los botones "ADD y MINUS" al mismo tiempo durante 5 segundos. Luego, al observar la letra "A" en el display del selector, se debe presionar el botón "SET" una vez para pasar a configuración, cuyo indicador es la letra "E". Aquí se configura el número de tipos de moneda que van a ser introducidos, de 1 a 6; en este caso 4, y se presiona "SET" para continuar. En la siguiente etapa se tienen 3 variables de configuración para cada moneda. La primera es "H" o "X" que identifica el

número de monedas de igual denominación y tipo, que se van a introducir a modo de aprendizaje. Por ejemplo, si se tienen 18 monedas de 1 centavo y 12 monedas de 10 centavos, $X_1=18$ y $X_2=12$; mientras más monedas de la misma denominación y tipo se ingresen, mejor será el rango de detección y por lo tanto hay menor probabilidad de error en el reconocimiento. La siguiente variable es “ P ”, que es un indicador para configurar el número de pulsos por cada tipo de moneda (de 1 a 40); y, por último, la variable “ F ” que permite configurar la precisión de detección del tipo de moneda (de 1 a 30), lo recomendable es que esta variable tenga el valor de 8. Para saltar entre variables se usa el botón “ SET ”.

Para guardar los cambios en la configuración del monedero, cuando se han configurado las variables correctamente, se debe presionar “ SET ”, se verá el indicador “ A ” de nuevo; entonces, se presiona el botón “ SET ” nuevamente y saldrá el indicador “ E ”. En este punto, se desconecta el selector de la energía y así queda guardada la configuración.

Por otro lado, cuando ya se ha configurado el selector de múltiples monedas, se procede a empezar con la fase de reconocimiento. Para este propósito se debe presionar el botón “ SET ” durante unos segundos hasta que salga el indicador “ A ”, luego de esto se debe presionar “ SET ” nuevamente para entrar en el modo reconocimiento. El selector pedirá que se introduzcan el número de monedas de igual denominación y tipo configurados, como ejemplo 20 monedas de 5 centavos.

Cada tipo de moneda tiene una identificación que se muestra en el *display* del selector. Por propósitos prácticos y de manera ordenada, en este caso si se habla de monedas de 1 centavo su identificación es A_1 , si es de 5 centavos A_2 , la de 10 centavos A_3 , y así sucesivamente. Se introducen las monedas y cuando se

terminan los 20 ejemplos de la moneda de 1 centavo (A1), el selector solicitará los ejemplos del siguiente tipo de moneda, que podrían ser de 16 monedas de 5 centavos (A2). Así se continúa introduciendo monedas hasta que el monedero ya no solicite monedas y se vea el indicador “0”, el cual es una señal del selector para avisar que está en estado de espera para ser configurado o esperando la introducción de una moneda.

Se presentan las figuras 3.49 a la 3.53, las cuales fueron generadas usando el pin analógico 15 del Arduino Mega. Por otra parte, se usó la herramienta serial plotter de Arduino IDE; además del siguiente programa:

```
void setup() {  
    Serial.begin(9600);  
}  
void loop() {  
    Serial.println(analogRead(15));  
    delay(1);  
}
```

En el lazo de configuración simplemente se escribe el número de baudios para la transmisión serial entre el Arduino MEGA y el computador. Por otro lado, en el lazo infinito de ejecución se ordena que se muestren los valores recibidos en el pin analógico 15 del Arduino. Para presentar un dato de manera serial, se utiliza con el comando “*Serial.print(“texto a mostrar”)*”; sin embargo, si se escribe “*Serial.println(“texto”)*” esto permite que se escriba un “*texto*” y se pase a la siguiente línea.

Se resalta el uso de un retardo de 1 milisegundo, esto se realizó para que la señal que entre en el pin analógico sea muestreada cada milisegundo. De acuerdo a la configuración realizada, la señal de salida del monedero arroja pulsos de 20ms. Los resultados obtenidos se visualizan en las figuras de la 3.49 a la 3.53.

Este análisis de señales se produjo gracias a la falta de información al respecto. No existe documentación que detalle la información que se obtiene a la salida del dispositivo selector de monedas. Lo más importante del análisis es el encontrar la duración de los espacios entre pulsos. Sin esta información, no se podría distinguir entre monedas, debido a que los pulsos deben ser contados con exactitud, sin repeticiones ni pérdidas.

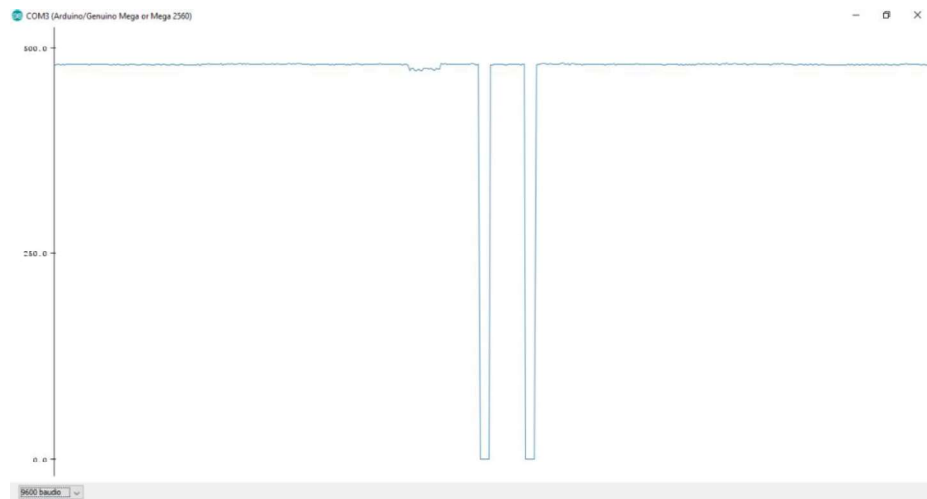


Figura 3.49. Señal Scoin generada por moneda de 1 centavo.

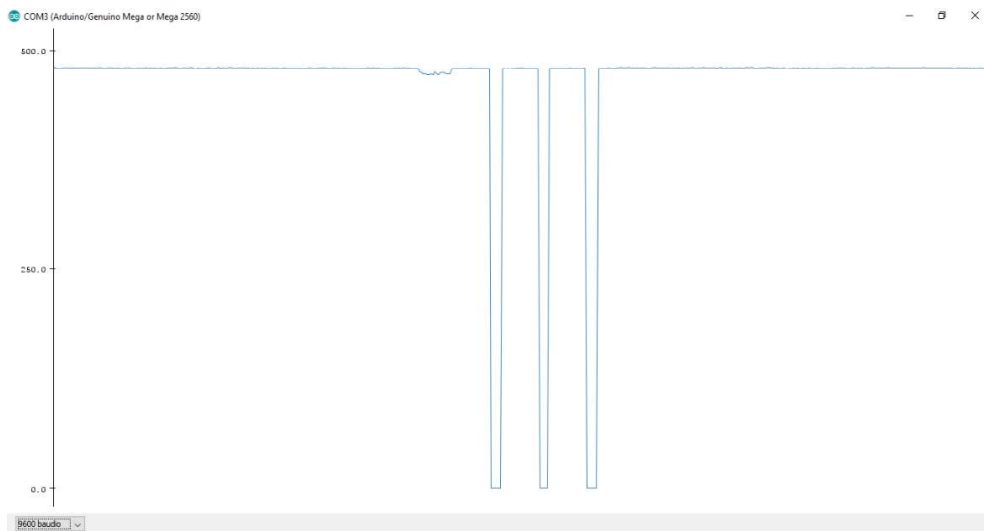


Figura 3.50. Señal Scoin generada por moneda de 5 centavos.

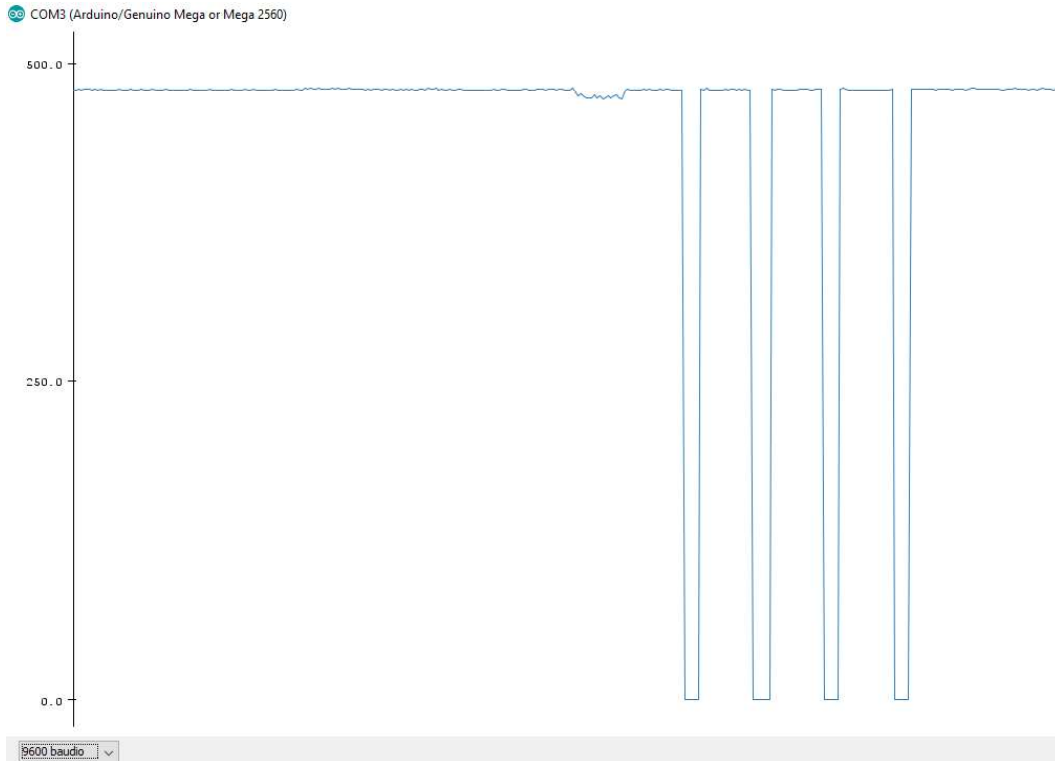


Figura 3.51. Señal *Scoin* generada por moneda de 10 centavos.

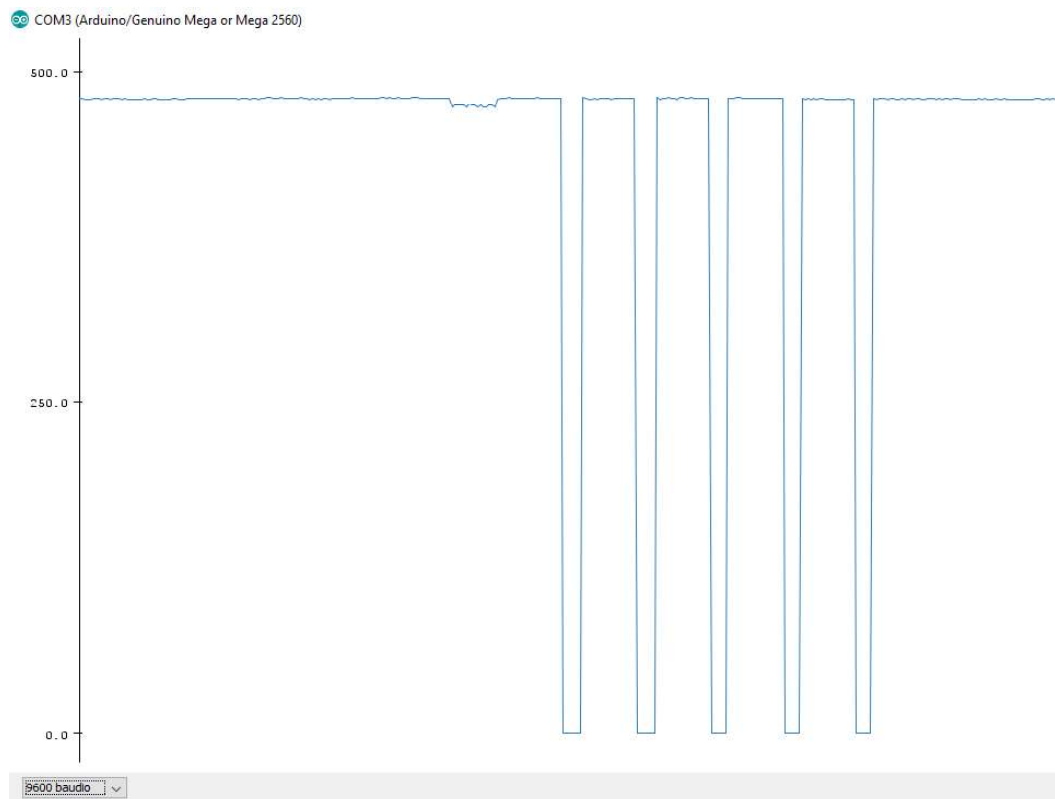


Figura 3.52. Señal *Scoin* generada por moneda de 25 centavos.

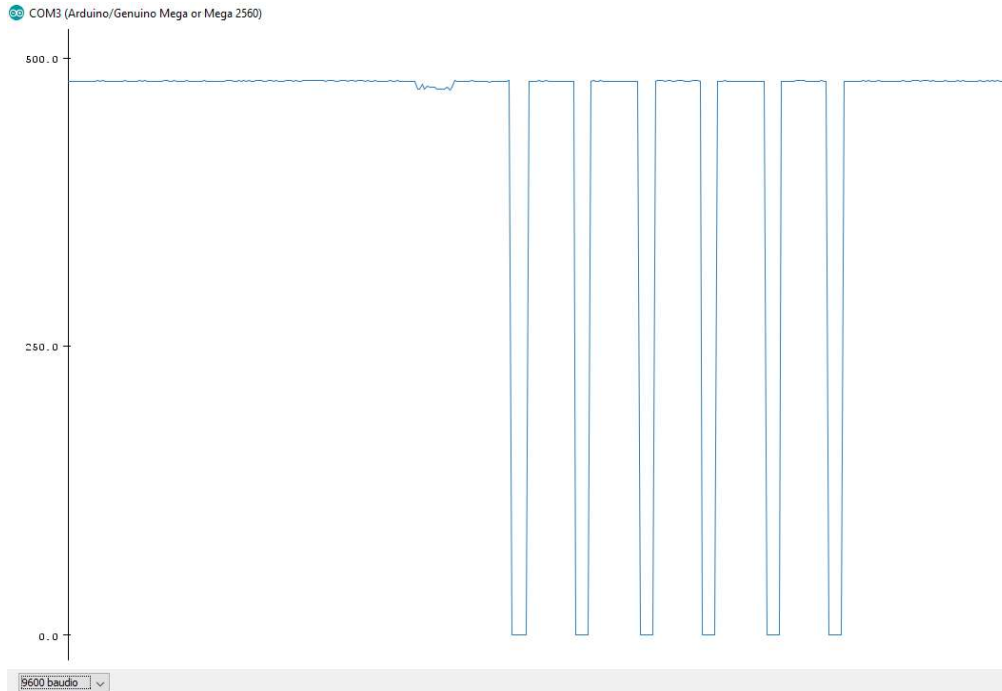


Figura 3.53. Señal *Scoin* generada por moneda de 1 dólar

Todas las señales muestran un nivel bajo de 0 y un nivel alto de 480; en los pines analógicos se aceptan valores de voltaje de 0 a 5V, pero el Arduino MEGA convierte estos valores a un valor numérico de 0 a 1023. Por lo que, si se tiene un valor de 480 en el pin analógico, como se aprecia el valor alto en las figuras de la 3.49 a la 3.53, esto es un valor de voltaje de:

$$y = x \left(\frac{5}{1023} \right) [V]$$

$$y = (480) \left(\frac{5}{1023} \right) [V]$$

$$y = 2,346[V]$$

$$Coin = de 0 a 2,346[V]$$

A manera de interpretación, se puede decir que los niveles de voltaje que existen a la salida del selector de monedas o *SCOIN* puede tener valores de voltaje dentro del siguiente rango:

$$Coin = 0,47(12V - SCOIN)[V]$$

$$SCOIN = 12 - \frac{Coin}{0,47} [V]$$

$$SCOIN = de 7 a 12 [V]$$

Algo interesante es que el período de la señal cuando está en estado bajo (0), no es el mismo período que cuando está en alto (480). Realizando los cálculos respectivos, se aprecia el resultado en la figura 3.54:

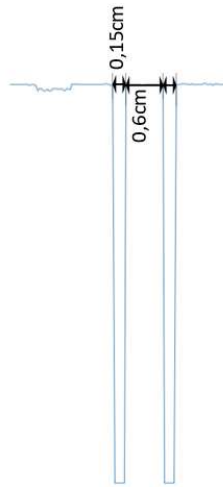


Figura 3.54. Análisis métrico de la señal Scoin de la Figura 59.

En todas las señales existe un pulso previo, pero su valor es insignificante, por lo que es tomado como ruido. Entonces, si se afirma que los pulsos significativos tienen un período de 20ms y gráficamente éstos miden 0,15cm, quedaría encontrar el período de la señal en alto cuyo período es de 0,6cm.

$$y = x \left(\frac{20ms}{0,15cm} \right) [ms]$$

$$y = (0,6cm) \left(\frac{20ms}{0,15cm} \right)$$

$$y = 80[ms]$$

Por lo que el período de la señal es igual al período de la señal en alto más el período de la señal en bajo:

$$T = T_{SH} + T_{SL} = 20 + 80 [ms]$$

$$T = 100 [ms]$$

Para la programación manual del monedero electrónico es necesario realizar la identificación de monedas mediante pulsos de acuerdo al valor de cada moneda en la tabla 3.1 se puede apreciar los pulsos establecidos de acuerdo a la moneda.

Tabla 3.1. Cantidad de pulsos de acuerdo al valor de las monedas.

Valor de las Monedas	Pulsos
1 ctv.	2
5 ctvs.	3
10 ctvs.	4
25 ctvs.	5
1 dólar	6

3.4. Pruebas de funcionamiento

- **Letreros mostrados en el LCD**

Al inicio, se muestra la fecha y hora actual, que se presentan en la figura 3.55.



Figura 3.55. Display con fecha y hora.

Luego se presenta un saludo, permitiendo que el usuario pueda realizar la selección, como se observa en la figura 3.56.

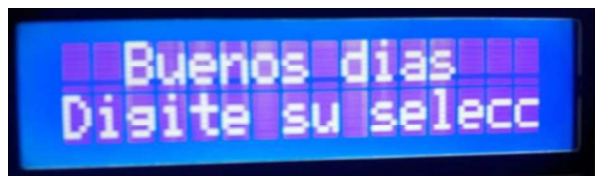


Figura 3.56. Mensaje de saludo y selección.

En la figura 3.57 se muestra la selección que se realizó.



Figura 3.57. Selección realizada.

Pero si la selección no fue basada en el código de los productos, aparece el mensaje que se aprecia en la figura 3.58.



Figura 3.58. Mensaje de selección errónea.

De acuerdo a la selección que se realizó, en la figura 3.59 se puede apreciar el detalle del producto que se eligió.



Figura 3.59. Selección que se realizó.

Se muestra el valor a pagar y a medida que se insertan las monedas, se presenta el valor pagado, como se observa en la figura 3.60.

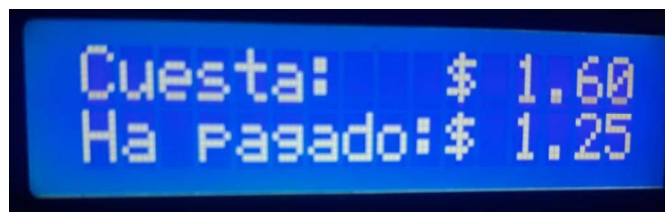


Figura 3.60. Mensaje de costo y valor pagado.

Como se puede observar en la figura 3.61, a medida que se continúa introduciendo las monedas, el valor pagado sigue aumentando.



Figura 3.61. Mensaje de valor pagado aumentando.

Una vez cancelado todo el valor del producto, se procede a expender el producto y muestra el mensaje que se aprecia en la figura 3.62.

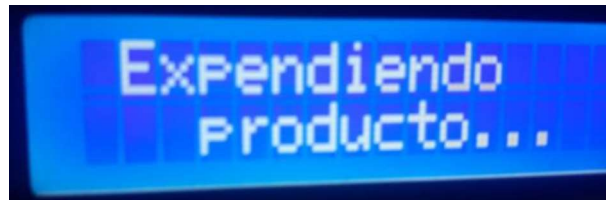


Figura 3.62. Mensaje en etapa de dispensación.

Una vez finalizado el proceso de la dispensación, se muestra un mensaje final como se puede observar en la figura 3.63.



Figura 3.63. Mensaje final de producto expendido.

- **Pruebas de dispensación aleatorias**

Primero se eligen dos productos al azar, segundo se debe usar la máquina tal y como si de un cliente común y corriente se tratase. Por último, se toman fotografías de cada etapa y letrero para evidenciar el buen funcionamiento de la máquina en conjunto. Todo el procedimiento se presenta en las figuras 3.64 y 3.65.



Figura 3.64. Procedimiento completo: expender *stand* A4.

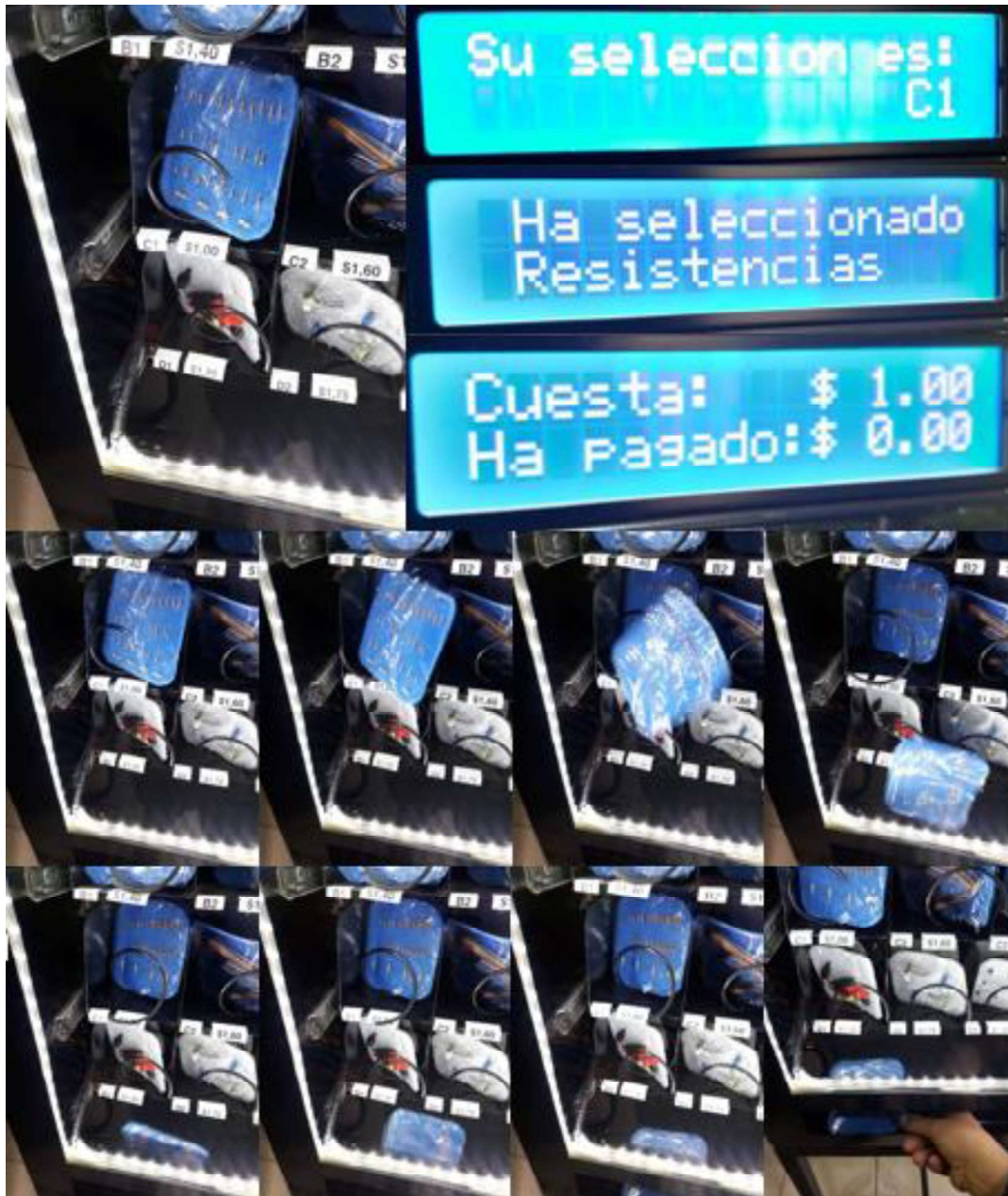


Figura 3.65. Expendier *stand* C1.

- **Funcionamiento del monedero**

Se han introducido las monedas de cada denominación para comprobar que sean reconocidas y su valor sea el correcto. Para este propósito en la figura 3.66 se presentan los letreros mostrados luego de la introducción de cada moneda y se ha reiniciado el valor pagado para que se sume siempre desde cero el valor de cada

una de las monedas. Se ha reiniciado el valor insertado en cada instancia. Se debe leer el valor que acompaña el letrero “Ha pagado:”.

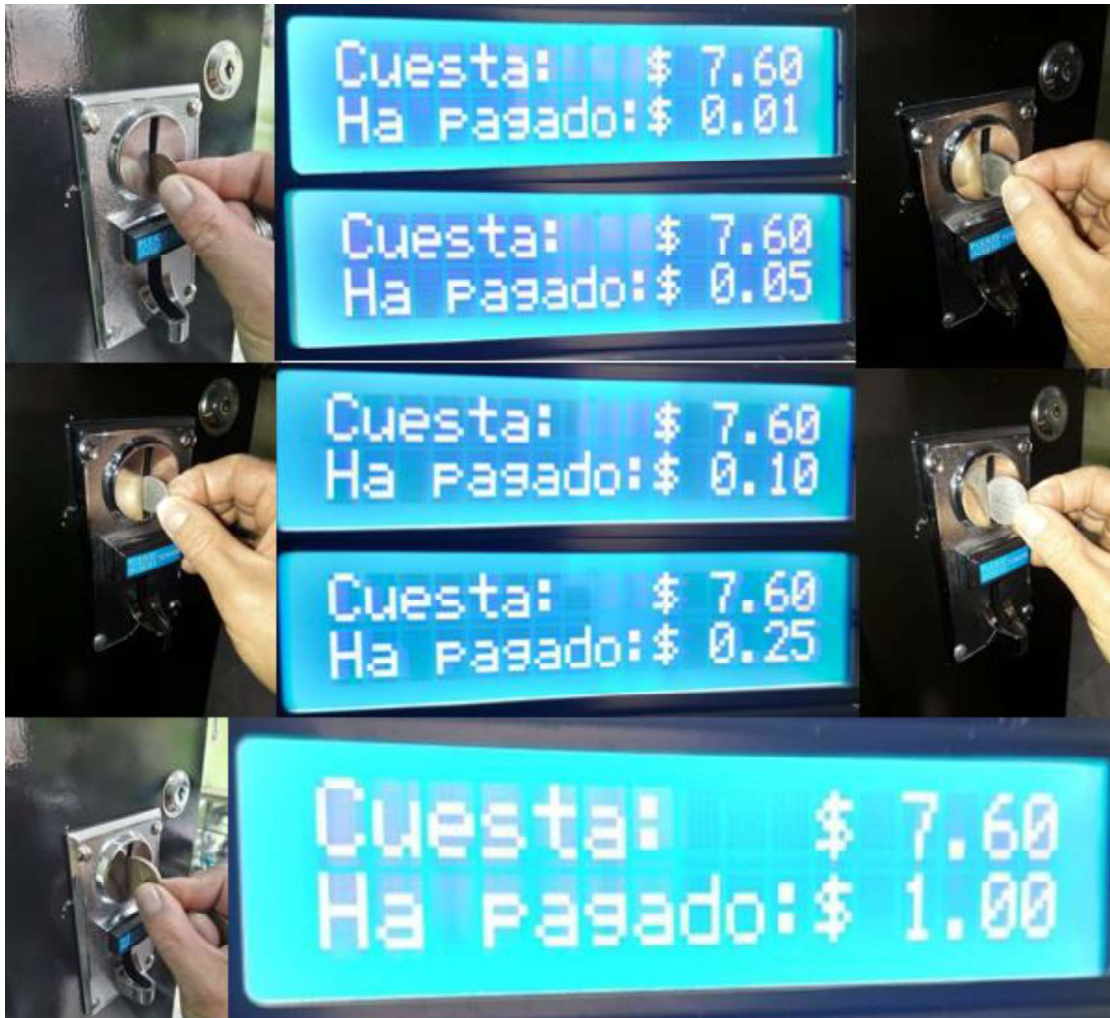


Figura 3.66. Introducción de monedas y letreros con valores en LCD.

- **Sistema mecánico**

En el caso del sistema mecánico, en donde se incluyen los motores, como también la estructura, se ha procedido a realizar las pruebas cuyos resultados se presentan en la tabla 3.2. Los detalles sobre fallas, ayudan a que se puedan solucionar y tomar en cuenta para posibles errores futuros o para la construcción de proyectos de la misma índole.

Tabla 3.2. Pruebas de funcionamiento del sistema mecánico.

Acción	Partes involucradas	Verificación	Observaciones
Movimiento de los motores	Motores	Los motores se desplazan 360 ° en intervalo de tiempo de 2.5 segundos.	Esto permite que los productos se desplacen en un lugar y permite la dispensación del mismo.
		Los motores emiten señales de voltaje variable desde 0 a 5v esto depende del sensor de fin de carrera.	Esto permitió detectar que el motor realizó una vuelta completa.

- **Sistema electrónico**

Para comprobar el sistema electrónico, se toma en cuenta las partes involucradas para la verificación del funcionamiento y se muestra en la tabla 3.3. En esta tabla se incluyen todos los componentes electrónicos, se detalla cuáles son las consideraciones que se han encontrado durante la experiencia de construcción y que son importantes para entender cómo funciona la máquina expendedora. El funcionamiento está comprometido con las limitaciones del *hardware*. Se podría añadir funciones específicas que se puede pensar que hacen falta en la máquina expendedora; sin embargo, su costo es alto por lo que se ha optado por descartarlas y usar dispositivos que permitan el funcionamiento básico de la máquina.

Tabla 3.3. Pruebas de funcionamiento del sistema electrónico.

Acción	Partes involucradas	Verificación	Observaciones
Comprobación de la recepción de monedas	Monedero electrónico	Acepta monedas de 1 ctv. nacionales, 10 centavos nacionales, 5 centavos nacionales y extranjeras, 25 centavos nacionales y extranjeras, 1 dólar.	En todas las pruebas, se verificó el reconocimiento adecuado de la denominación de las monedas.
Comprobación de la interfaz de usuario.	<i>Display</i> LCD	Las instrucciones que muestra son claras y legibles	Las instrucciones presentan intervalos de tiempo para permitir que la interacción entre el usuario y la máquina sea entendible y se pueda cumplir con el objetivo final.
	Teclado Matricial	Cada tecla al ser pulsada es reconocida claramente, la cual se visualiza en el LCD.	El teclado permite realizar la selección del dispositivo electrónico elegido de acuerdo al código establecido para la máquina expendedora.
Recepción de las señales de los motores.	Modulo relé 8	Se reciben las señales en los multiplexores, las cuales son enviadas hacia el módulo Arduino MEGA 2560.	Realiza la conmutación de las señales permitiendo el paso de las señales de los motores hacia el módulo Arduino MEGA 2560.

Las consideraciones más importantes son las detalladas sobre el funcionamiento del monedero electrónico, LCD y teclado matricial. Esto se debe a que estas partes interactúan directamente con el cliente.

3.5. Costos de fabricación y mantenimiento

En la tabla 3.4 se observa el presupuesto de fabricación del proyecto, sin incluir valores pequeños de transporte y otros por el estilo.

Tabla 3.4. Presupuesto del costo de fabricación

Materiales	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Motores y espirales	16	\$22,73	\$363,66
Chasis	1	\$260,00	\$260,00
Arduino MEGA 2560	1	\$55,00	\$55,00
Monedero electrónico	1	\$60,00	\$60,00
Teclado Matricial	1	\$4,25	\$4,25
LCD 16 x 2	1	\$5,40	\$5,40
Módulo de 8 relés	1	\$11,00	\$11,00
Baquelitas	2	\$6,30	\$12,60
Metro de Cable flexible 18	20	\$0,60	\$12,00
Metro de cable UTP CAT6	17	\$1,85	\$31,45
Metro cable plano 10 hilos	1	\$0,65	\$0,65
Metro cable plano 14 hilos	1	\$0,85	\$0,85
Conectores	8	\$1,50	\$12,00
Dispositivos y artículos varios	-	\$20,00	\$20,00
Productos	-	\$150,00	\$150,00
TOTAL			\$998,86

En la tabla 3.5 se visualiza el presupuesto de mantenimiento, el cual considera un repuesto para cada componente de la máquina, producto y material de limpieza.

Tabla 3.5. Presupuesto de mantenimiento.

Materiales	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Motores y espirales	1	\$22,73	\$22,73
Arduino MEGA 2560	1	\$55,00	\$55,00
Monedero electrónico	1	\$60,00	\$60,00
Teclado Matricial	1	\$4,25	\$4,25
LCD 16 x 2	1	\$5,40	\$5,40
Módulo de 8 relés	1	\$11,00	\$11,00
Metro de Cable flexible 18	1	\$0,60	\$0,60
Metro de cable UTP CAT6	1	\$1,85	\$1,85
Metro cable plano 10 hilos	1	\$0,65	\$0,65
Metro cable plano 14 hilos	1	\$0,85	\$0,85
Conectores	1	\$1,50	\$1,50
Artículos de limpieza	-	\$20,00	\$20,00
Productos	-	\$150,00	\$150,00
TOTAL			\$332,33

De las tablas, se deduce que el presupuesto TOTAL NETO al sumar los costos de fabricación y mantenimiento es de \$1331,19. El presupuesto estimado previo a la realización del proyecto fue de \$1263,20; aunque, se planificó darle un techo de

\$1400,00 por cualquier contratiempo. Se debe considerar que será necesario incurrir en los costos de mantenimiento cada 10 meses.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- La máquina expendedora es capaz de cumplir con las funcionalidades esenciales, logrando que la dispensación de los dispositivos electrónicos sea correcta. Esto se logra mediante la programación del módulo Arduino MEGA 2650, el cual realiza la función de control de los diferentes elementos que conforman la máquina expendedora, que en conjunto permiten generar procesos de diferentes funciones.
- El diseño realizado en AutoCAD fue una guía de construcción a la hora de montar la máquina expendedora en hojalata y acero. El diseño es completamente funcional y permite que el proyecto sea versátil y pequeño; y que aún así cumpla con su cometido. La estructura fabricada de hojalata y acero, es robusta pero firme y funcional, es una de las mejores soluciones en relación calidad-precio.
- Se conoce que, paso previo a la programación es el diseño de diagramas de flujo, estos diagramas fueron realizados en completo conocimiento de todas las funciones que va a realizar la máquina expendedora.
- Los diseños de circuitos electrónicos son gobernados por la programación y en conjunto, *hardware* y *software*, provocan que exista éxito al momento de expender productos.

- La iluminación es parte fundamental del buen funcionamiento de la máquina expendedora debido a que iluminará el producto a expender, además de que la solución de uso de una tira o cinta LED es de bajo consumo energético y de altas prestaciones.
- Para escoger los 16 productos disponibles en la máquina expendedora se ha realizado encuestas a estudiantes de la ESFOT, las mismas cuentan con preguntas como cuáles son los productos con mayor utilidad, en esta pregunta se considera los productos que tienen una aceptación mayor al 50%, otra pregunta de gran importancia es cuáles son los productos que presentan averías con mayor frecuencia, para esta pregunta se consideran los productos que superan el 40% de aceptación.
- El construir placas impresas ayuda a que exista orden en el cableado debido a que estas cuentan con conectores estratégicamente ubicados y pistas bien definidas que, a su vez, permitieron la interacción de los distintos mecanismos. Se fabricaron varias placas de acuerdo a la necesidad, así existen 4 placas principales las cuales fueron: conectores para el módulo Arduino, multiplexores para señales de sensores y control del selector de monedas, adaptador para el LCD y adaptador para placa de 8 relés. Se detalló cómo era la señal generada por el pin "COIN" del selector de monedas, la cual sufre cambios por el circuito de acoplamiento.
- La configuración del módulo RTC se realizó con un pequeño programa disponible en los ejemplos de Arduino IDE, se cambiaron los parámetros de hora y fecha, y se redactan los detalles respecto al protocolo I2C implicado.
- Por último, existen dos partes importantes que se ha decidido estén dentro de la parte final de este proyecto: pruebas de funcionamiento, en la cual se

exponen con fotografías el correcto funcionamiento del proyecto; y costos de operación y mantenimiento, en los cuales se detalla el valor total, así como desglosado de cada elemento que fue necesario adquirir para la construcción de la máquina expendedora de dispositivos electrónicos. Se ha decidido que el costo del proyecto se encuentre al final debido a que es información de mucho interés, y se debe realizar una vez se haya concluido el proyecto.

4.2. Recomendaciones

- Las pruebas de funcionamiento que se realizan permiten descubrir los fallos que contiene la máquina expendedora y poder eliminar los mismos. Estas pruebas se las realiza a cada proceso tomando en cuenta la salida de los voltajes que emiten los dispositivos y las cuales llegarán hacia el módulo Arduino MEGA 2560. Además, mejorando el código de programación de acuerdo a la funcionalidad que requiere la máquina, verificando que los intervalos de tiempo sean adecuados.
- Se debe realizar pruebas de continuidad al momento de fabricar circuitos impresos, para esto es necesario que se hagan dos pruebas distintas. La primera prueba de continuidad debe ser realizada antes de soldar los elementos a cualquier placa, esto para comprobar la integridad de las pistas y puntos de suelda o en inglés *“traces and pads”*. La segunda debe ser realizada posterior a la soldadura, para comprobar que los elementos conecten con su par correspondiente. Nunca se debe confiar en instrumentos de medida para estos propósitos, debido a que en algunos casos si se verifica continuidad, por ejemplo, entre pines de una resistencia

de 100 ohmios, suelen arrojar resultados erróneos, como si se tratase de un cable en lugar de un elemento.

- Respecto a programación, se debe realizar en base a la práctica. Si no se tiene el *hardware* correspondiente que va a gobernar el sistema microcontrolado, no se puede comprobar si el código de programación funciona o está bien logrado. Siempre se debe acudir a los medios de información oficiales respecto a códigos de programación, si la programación se realiza en Arduino IDE, como en este proyecto, lo correcto es buscar documentación en la página oficial de Arduino.
- La utilización de cableado flexible, mejora las posibilidades de ubicación y el funcionamiento de cada uno de los elementos involucrados. El uso del cable sólido, por otro lado, se debe tomar en cuenta que se puede romper cuando existe mala manipulación. El cable flexible fue utilizado para cablear la matriz de motores, dando excelentes resultados en cuanto a dinámica de bandejas y funcionamiento.
- Se puede pensar en cientos de aplicaciones cuando se habla de sistemas embebidos e *Internet of Things* como Arduino. Con libertad económica, se podría haber llevado a cabo miles de mejoras con respecto a la parte de comunicación mediante un *ethernet shield*, por ejemplo, para dar aviso a la persona encargada de la máquina sobre la falta de producto o que el contenedor de monedas está lleno.
- Este proyecto, además, se puede utilizar para cientos de aplicaciones. Dentro de venta automática o robotizada, existen varios otros productos que pueden ser expendidos. Para generar demanda en el mercado, la máquina

ha sido realizada con sentido minimalista, pretendiendo que, de ser adquirida, sea fácil de transportar y colocar.

- El mantenimiento es fundamental, pero al constar con pocos elementos, la probabilidad de fallo es mínima una vez se ha calibrado, configurado y colocado todo correctamente.
- Por parte del método de cobro, se ha optado por un método sencillo y barato; aunque, para aplicaciones de mayor importancia, se debería tomar en cuenta un método más costoso como selectores de monedas de la marca “Mei” los cuales además de recibir monedas, permiten la posibilidad de dar cambio al usuario.
- Con respecto al reabastecimiento de producto, se debe abrir la puerta de vidrio frontal de la máquina y jalar las bandejas de producto. El orden para jalar las bandejas debe ser siempre desde la que está abajo hasta la que está arriba. Para devolverlas a su posición original se debe empezar desde la que está arriba hasta la que está abajo. Se debe seguir este orden obligatoriamente, para evitar problemas de desconexión de motores. Si la máquina cobra y dice que ha expendido, pero no lo ha hecho, esta debe ser la razón.
- La máquina expendedora de dispositivos electrónicos podría implementar mejoras en su sistema como permitir que dé vuelto, utilizar un sistema que permita el ingreso y la detección de billetes, también colocar un sensor que detecte si la bandeja de monedas se encuentra llena, estas mejoras se podrían realizar en un futuro, pero con la necesidad de contar con un presupuesto más alto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] B. Úbeda Miñarro, «Open CoursWare Universidad de Murcia,» 26 Noviembre 2009. [En línea]. Available: <http://ocw.um.es/ingenierias/sistemas-embbebidos/material-de-clase-1/ssee-t01.pdf>.
- [2] Weebly, «Arduino,» [En línea]. Available: <https://arduinodhtics.weebly.com/iquestqueacute-es.html>. [Último acceso: 20 11 2018].
- [3] Arduino, «Engineers Arduino,» [En línea]. Available: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-mega-2560-rev3>. [Último acceso: 21 11 2018].
- [4] A. M. Group, «Mercado Libre,» [En línea]. Available: https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-418014855-fichero-multimonedas-para-6-tipos-de-monedas-diferente-_JM?quantity=1. [Último acceso: 22 11 2018].
- [5] B. D., «MANEJO DE DISPLAY LCD,» 23 Octubre 2009. [En línea]. Available: <http://www.bolanosdj.com.ar/SOBRELCD/TEORIALCDV1.pdf>. [Último acceso: 17 Enero 2019].
- [6] «Lorien die,» [En línea]. Available: <http://lorien.die.upm.es/juancho/pfcs/jmrs/Teclado/Teclado%20Matricial.doc>. [Último acceso: 23 11 2018].

- [7] G. Factory, «Geek Factory,» [En línea]. Available: <https://www.geekfactory.mx/tienda/relevadores-y-switches/modulo-de-8-relevadores-con-optoacoplador/>. [Último acceso: 23 11 2018].
- [8] I. C. Diaz, «Diseño de una máquina vending para suministrar productos de acceso general y otros de acceso restringido por medio de identificación digital,» UPNA, Tudela, 2013.
- [9] V. García, «64 x 8 Serial Real Time Clock,» [En línea]. Available: https://hiswavila.com/wp-content/uploads/2015/08/ds1307_esp.pdf. [Último acceso: 28 Noviembre 2018].
- [10] «NAYLAMPMECHATRONICS,» [En línea]. Available: <https://naylampmechatronics.com/interfaz-de-usuario/251-modulo-buzzer-pasivo.html>.
- [11] «Valores normalizados cables A.W.G,» Profesor Molina, [En línea]. Available: <http://www.profesormolina.com.ar/electromec/tabla.htm>. [Último acceso: 25 Noviembre 2018].
- [12] DIGILAMP LED, «TIRA LED DIRECTA A CORRIENTE 220V,» DIGILAMP LED, 19 Diciembre 2017. [En línea]. Available: https://www.digilamp.es/blog/3_tira-led-directa-a-corriente-220v.html. [Último acceso: 17 Enero 2019].
- [13] C. Aguirre y F. Beltrán, «PROGRAMACIÓN MODULAR,» Universidad Salesiana de Bolivia, La paz, 2011.

- [14] HETPRO, «I2C – Puerto, Introducción, trama y protocolo,» HETPRO, 28 Octubre 2017. [En línea]. Available: <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/i2c/>. [Último acceso: 21 Diciembre 2018].
- [15] «ARDUINO,» Arduino, 11 10 2018. [En línea]. Available: <https://www.arduino.cc/>. [Último acceso: 11 10 2018].
- [16] Dallas Semiconductor, «DS1307 64 x 8 Serial Real-Time Clock,» 16 Febrero 2010. [En línea]. Available: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/DS1307.pdf>. [Último acceso: 21 Diciembre 2018].
- [17] S. J. Chapman, Máquinas eléctricas, México, D.F.: McGraw-Hill, 2012.
- [18] J. Blum, Arduino a fondo, Madrid: Editor Anaya Multimedia, 2014.
- [19] R. Enríquez Herrador, Guía de Usuario de Arduino, Córdoba: Creative Commons, 2009.
- [20] A. E. Fitzgerald y S. D. Umans, Máquinas Eléctricas, México D.F.: McGraw-Hill Interamericana, 2004.
- [21] E. K. Freire Mendieta y V. E. Places Villacis, «Diseño y construcción del prototipo de una máquina expendedora de pastelillos de la marca The Cupcake Factory para la empresa Publicidad,» Agosto 2014. [En línea]. Available: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/9740/1/T-ESPE-048125.pdf>.

- [22] R. Hernández Sampieri, C. Fernández Collado y P. Baptista Lucio, Metodología de la investigación, Mexico, D. F.: McGRAWHILLINTERAMERICMA EDITORES, SA DE C.V, 2006.
- [23] I. L. Kosow, Máquinas eléctricas y transformadores, Atlacomulco: Prentice-Hall, 1993.
- [24] L. Prat Viñas y R. Bragós Bardia, Circuitos y dispositivos electrónicos, Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya, 1999.
- [25] F. Reyes Cortés, Arduino. Aplicaciones en robótica, mecatrónica e ingenierías, México: Alfaomega grupo editor, 2015.
- [26] F. J. Quiles, M. Ortiz, M. Brox, C. D. Moreno, M. A. Montijano y A. Gersnoviez, «La importancia de las practicas en laboratorios tradicionales para el aprendizaje de Tecnologia de Circuitos Integrados Digitales,» Cordoba, España, 2010.
- [27] O. Torrente Artero, El mundo GENUINO-ARDUINO: curso práctico de formación, México: Alfaomega Grupo Editor, 2016.