

Sistema Identificador de Objetos por medio de Transductores de Presión para Despensa con cobro automático

Winston Alf. De Oleo Encarnación
e-mail: winstonde@alumno.utesa.edu

RESUMEN: -: *El presente informe técnico estipula el diseño de un sistema electrónico capaz de realizar el seguimiento y cobro automático de una despensa. El sistema utilizará transductores de presión resistivos para detectar el peso de cada sección de la despensa. Un cambio en la lectura de peso de los sensores determinará si un producto se ha eliminado de una sección. Un usuario portando una identificación puede seleccionar los productos deseados, y una vez finalizado el proceso, los productos tomados serán registrados en una base de datos. Este sistema propuesto ofrece una forma conveniente y eficiente de administrar el inventario de la despensa mientras reduce el trabajo manual.*

PALABRAS CLAVE: Galgas extensiométricas, protocolo I2C, protocolo TCP.

1 INTRODUCCIÓN

La automatización de procesos es un tema de gran relevancia en la actualidad, ya que permite mejorar la eficiencia y reducir costos en diversas áreas. En este sentido, el seguimiento y cobro automático de una despensa es una actividad que puede ser optimizada mediante el uso de tecnología electrónica. En este informe técnico se habla sobre el diseño de un sistema electrónico que permita el seguimiento y cobro automático de una despensa, utilizando transductores resistivos de presión para medir el peso de cada sección de la despensa. El sistema permitirá a los usuarios seleccionar los productos deseados a través de una identificación, y una vez completada la selección, el sistema registrará automáticamente los productos tomados en una base de datos. El objetivo de este proyecto es mejorar la eficiencia en la gestión de inventarios de una despensa, ofreciendo una solución conveniente y eficiente para los usuarios, y reduciendo el trabajo manual.

2 DESCRIPCIÓN DE DISEÑO

La descripción de diseño propone la creación de un sistema electrónico para el monitoreo y cobro automático de una despensa. El sistema utilizará sensores resistivos de presión, también llamados “galgas extensiométricas”, para medir el peso de cada sección de la despensa y detectar si se ha retirado un producto. Los usuarios podrán habilitar la compra a través de una tarjeta identificadora y la interfaz del sistema permitirá cambiar la información de los productos. El sistema tendrá la capacidad de expandirse y ofrecerá un inventario de los productos despachados y registros de usuarios. Este sistema está diseñado para tiendas que

requieran un auto-servicio o para realizar un monitoreo de productos tomados por empleados.

3 PLANTEAMIENTO DEL DISEÑO

En este informe técnico se presenta el diseño de un sistema electrónico para el seguimiento y cobro automático de una despensa utilizando sensores resistivos de presión. El objetivo principal del proyecto es mejorar la eficiencia en la gestión de inventarios de la despensa, ofreciendo una solución conveniente y eficiente para los usuarios y reduciendo el trabajo manual.

El sistema propuesto consta de un conjunto de galgas extensiométricas para medir el peso de cada sección de la despensa, y una interfaz de usuario para seleccionar y registrar los productos tomados. Además, el sistema utilizará un protocolo I2C para la comunicación entre los sensores y el microcontrolador, y un protocolo TCP para la comunicación remota entre la interfaz y el equipo de medición.

Este sistema propuesto tiene aplicaciones en tiendas de auto-servicio y en aquellas que requieran un monitoreo de productos tomados por empleados. La implementación de este sistema puede mejorar significativamente la eficiencia y reducir los costos asociados con la gestión manual de inventarios en una despensa.

3.1 Especificaciones

Para el diseño de este prototipo se estarán tomando en cuenta las siguientes especificaciones operativas:

- Capturar datos relacionados al peso a través de sensores de presión.
- Acondicionar los datos leídos por los sensores para obtener una lectura factible.
- Comunicar cada etapa del circuito a través de protocolos de comunicación.
- Mostrar datos por medio de pantallas LCD relacionados con nombre y precio de un producto.
- Transmitir y recibir información por medio de conexión WIFI.
- Leer el código de una tarjeta verificadora.
- Consultar y guardar en una base de datos, datos relacionados con los productos y/o usuarios.
- Detectar cuando un usuario termine de usar el sistema al detectar cuando una puerta se cierre.
- Permitir o no el acceso a los productos mediante el control de un solenoide.

Y las siguientes especificaciones funcionales:

- Comunicación secuencial para el control de las pantallas LCD.
- Conexión y uso de tarjetas expansoras 12C para la integración de nuevos sensores.
- Adquisición de datos con resolución de 16 bits.
- Selección de sensores por medio de la Multiplexión de los mismos.
- Uso del protocolo TCP para la comunicación WIFI entre Interfaz y equipo.
- Controlar un solenoide para dar acceso al sistema.
- Verificar si la puerta está abierta mediante un sensor.
- Indicar en la interfaz los datos obtenidos.

3.2 Diagrama de bloques

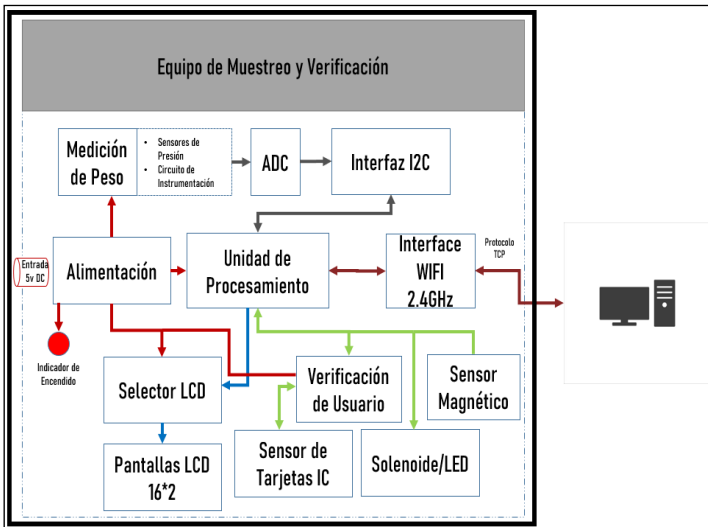


Fig. 1. Diagrama de bloques

3.3 Diagrama de flujo del diseño

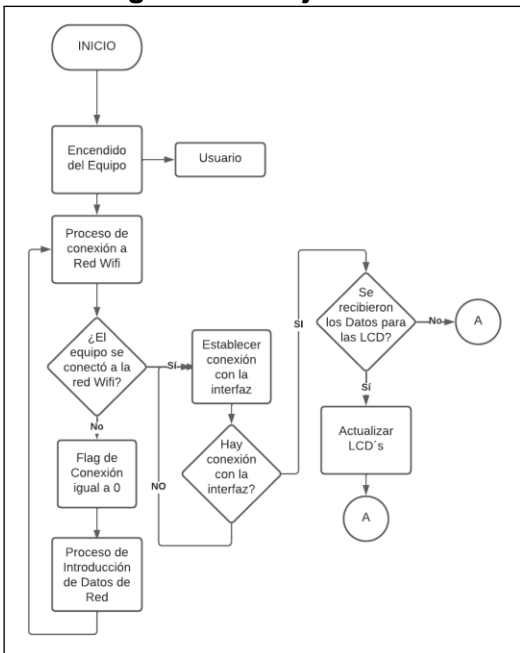


Diagrama. 1 Flujo del Diseño

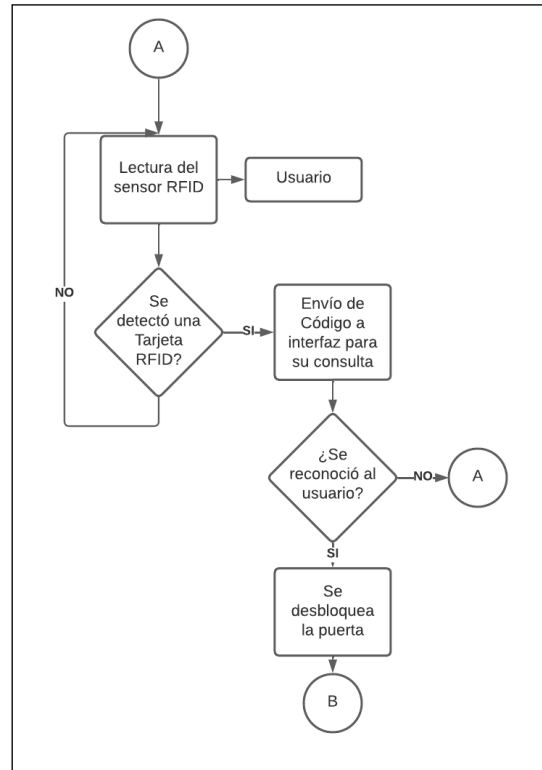


Diagrama. 2 Flujo del Diseño

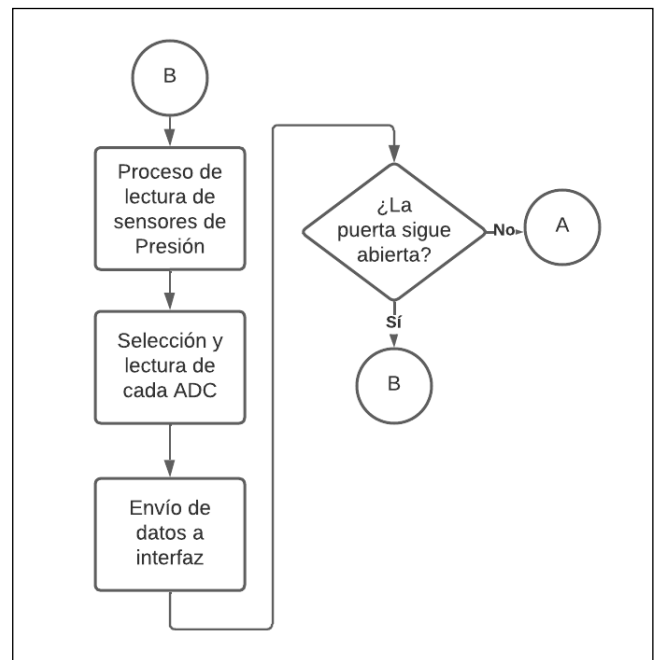


Diagrama. 3 Flujo del Diseño

4 CIRCUITO ESQUEMATICO

La solución del circuito electrónico para este sistema está dividida entre 3 partes, las cuales identifican a una funcionalidad específica dentro del mismo.

El primer módulo de Diseño es el “MAIN”, en el cual se ubican las partes concernientes a la alimentación del circuito, la etapa de procesamiento, lectura de sensores que intervienen directamente con los usuarios como el sensor RFID, entre otras cosas.

De igual forma, también está el “Módulo de Sensores”, el cual consiste en la toma de datos a través de los sensores de presión que, para una mayor precisión en la medida, se construyeron a partir de resistencias, puentes wheatstone’s, los cuales se conectan a los ADC para obtener datos en formato digital.

Los ADC a utilizar son los ADS1115, los cuales tienen una ganancia máxima de 16, además de que funcionan bajo el protocolo I2C. Estos ADC, debido a que por su naturaleza solo es posible conectar cuatro en solo circuito, serán multiplexados a través de un CD744067.

Finalmente, está el módulo LCD, que se basa básicamente en la visualización de los datos concernientes a los productos y sus precios. Para su selección se hacen uso de contadores de décadas y se reciben los bits de configuración desde un extensor I2C que se conecta al microcontrolador.

4.1 Diagrama general del circuito

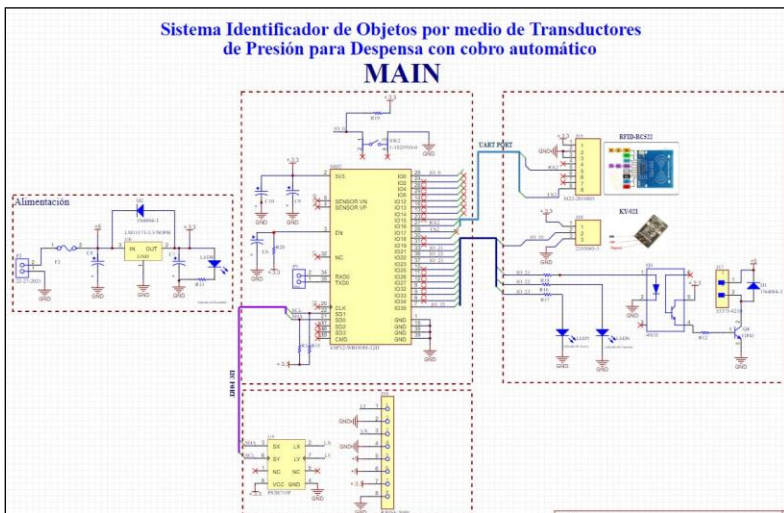


Fig. 2. Diagrama de circuito “MAIN”

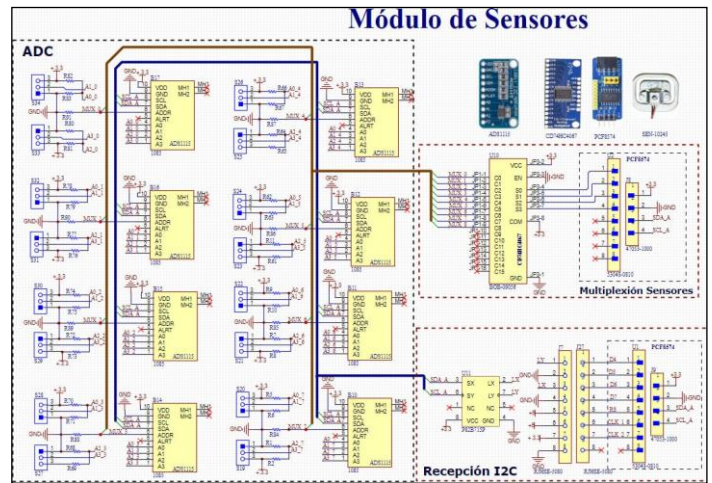


Fig. 3. Diagrama de circuito “Módulo de Sensores”.

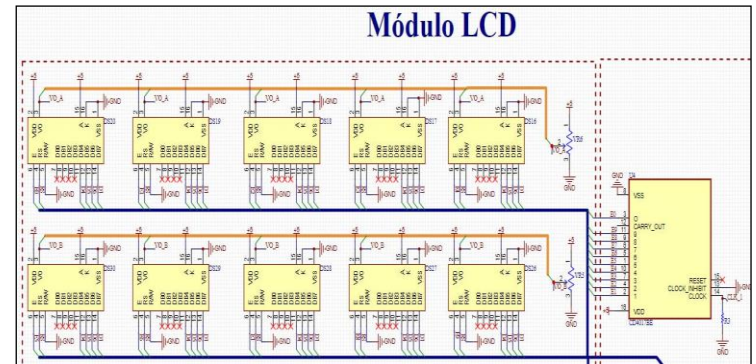


Fig. 4. Diagrama de circuito “Módulo de LCD”

4.2 Lista de partes

Tabla 1.

Nombre	Cantidad	Valor	Descripción
B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8, B9	9	ADS1115 16-Bit	Convertidor de Análogo a Digital
C1, C4, C5	3	10uF	Capacitor Radial
C2, C3	2	100nF	
D1, D2, D3, D4, D5, D6	6	1N4004	Diodo Rectificador
DS1-DS15	15	LCD16A02	LCD 16*2
U6, U7	2	PCF8574	Extensor I2C
LED1-3	3	Diodo Emisor de Luz	Indicador
MD1	1	ESP-32	Microcontrolador de 32 bits
Q1	1	4n35	Opto Tr
Q2	1	TIP41C	Transistor
R1, 2, 5-9	6	220 Ω	Resistencia de

			1/4 W
R3,4,10,11	4	10KΩ	Resistencia de 1/4 W
R12-R56	44	1KΩ	Resistencia de 1/4 W
S1-S18	15	SEN-10245	Galgas Extensiométricas
U1,U2	2	CD4017	Contador
U3	1	LM1117T	Regulador 3.3v
U5	1	74HC4067	Multiplexor
VR1-VR3	3	Resistencia Variable	TRIMMER 10K OHM

Este proceso se basa en la activación/desactivación de un solenoide a través de un opto acoplador 4N35 a través del pin IO21 del microcontrolador.

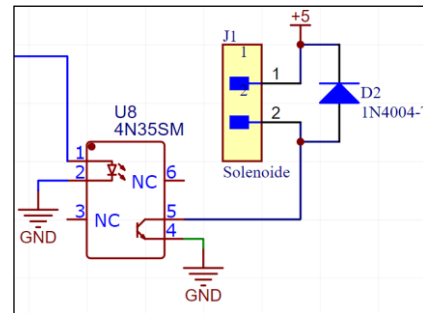
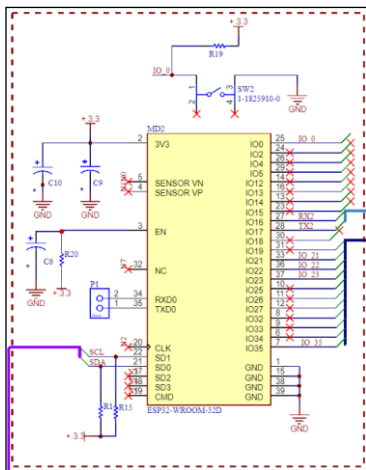


Fig. 7. Diagrama de habilitación de la puerta

4.3 Descripción del Circuito



En esta fase, se ha seleccionado el microcontrolador ESP-WROOM-32 debido a su versatilidad en la recepción, procesamiento y envío de información, así como su capacidad para controlar otras partes del circuito. El MCU cuenta con diferentes protocolos de comunicación, como I2C, UART y tecnología WIFI, que se utilizarán para conectarse con otras partes del circuito.

Fig. 5. Diagrama de etapa de procesamiento

En la sección de lectura de sensores, se utilizan galgas extensiométricas SEN-10245 integradas en un circuito de puente Wheatstone con resistencias adicionales de 1KΩ para el balanceo del puente. La conversión de los datos analógicos se realiza con el ADC de 16 bits ADS1115 en modo diferencial, capaz de leer el estado de dos conjuntos de sensores y enviar la información a través de un bus I2C.

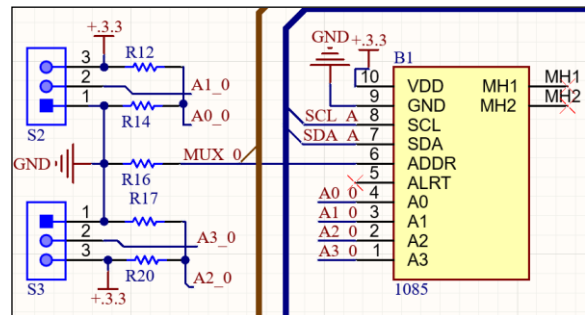
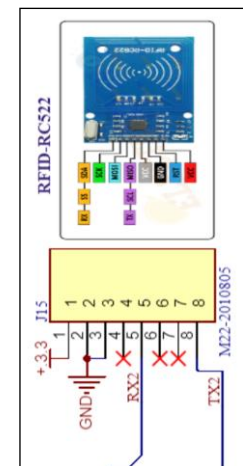


Fig. 8. Diagrama de Lectura de Sensores



En esta etapa se utilizará la tarjeta RFID-RC522 con el chip MFRC522 para la lectura de tarjetas IC. La comunicación con el microcontrolador se realizará a través del protocolo UART y se utilizarán los pines extras del microcontrolador para establecer esta comunicación.

Fig. 6. Diagrama de sensor RFID

En la sección de Multiplexión de sensores, se utilizan dos dispositivos: el PCF8574, que es un expander de puertos I2C para recibir el número del sensor a leer, y el multiplexor analógico 744067, que selecciona el ADS1115 a utilizar. Los ADS1115 tienen la misma dirección I2C y el multiplexor cambia las direcciones conectando el pin de direcciones a VCC

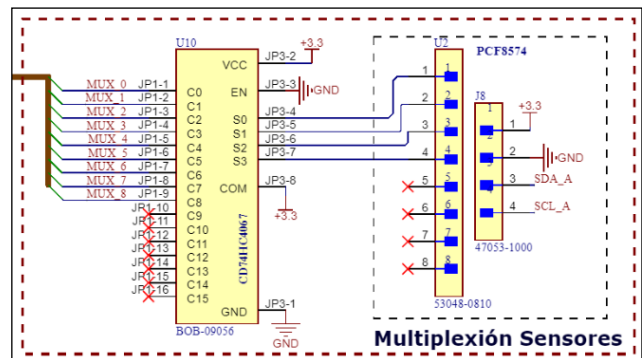


Fig. 9. Diagrama de Multiplexión de Sensores

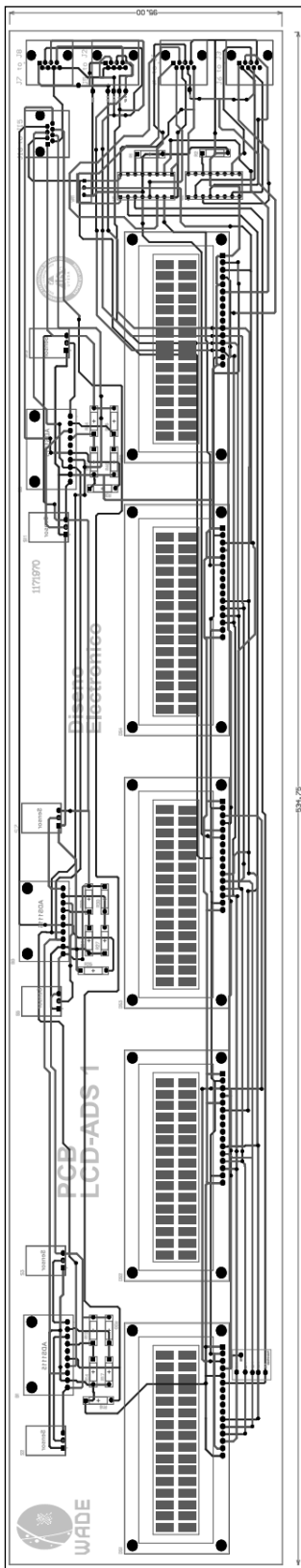


Fig. 14. Serigrafía de Tarjeta "LCD-ADS".

5.2 Vista de Componentes

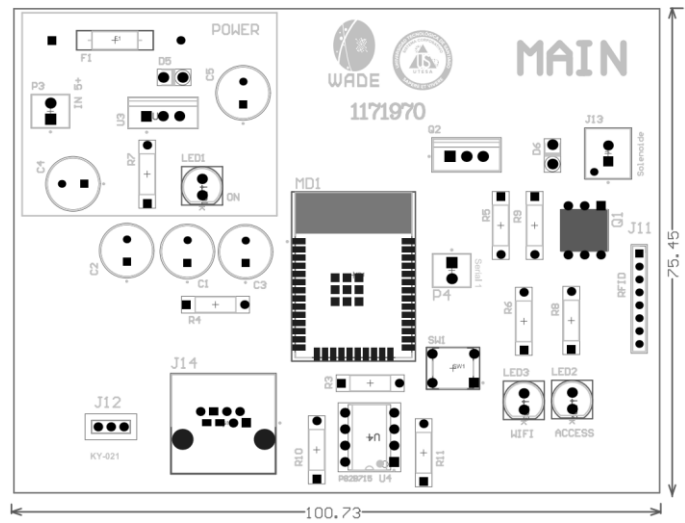


Fig. 15. Vista de Componentes de Tarjeta "MAIN".

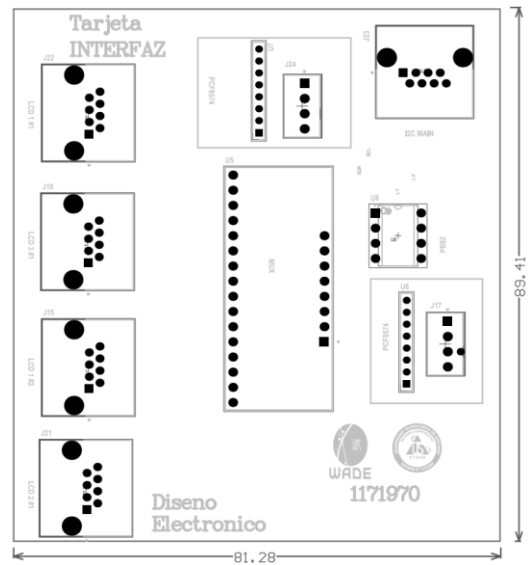


Fig. 16. Vista de Componentes de Tarjeta "INTERFACE".

6 PROGRAMACIÓN – SOFTWARE y FIRMWARE

Para la programación del diseño, se utilizó la IDE Arduino para programar el microcontrolador ESP-32, mientras que la programación de la interfaz gráfica de usuario se llevó a cabo utilizando un formulario de Windows en VB.NET. La programación del equipo se realizó de manera efectiva mediante el uso de estos dos programas, lo que permitió una implementación exitosa del sistema propuesto.

Es importante destacar que se tomó en cuenta la compatibilidad entre los programas utilizados y se consideraron las herramientas adecuadas para la programación de cada componente del sistema. De esta manera, se logró una integración efectiva del hardware y el software del sistema, lo que garantiza su correcto funcionamiento.

6.1 Diagrama de flujo principal

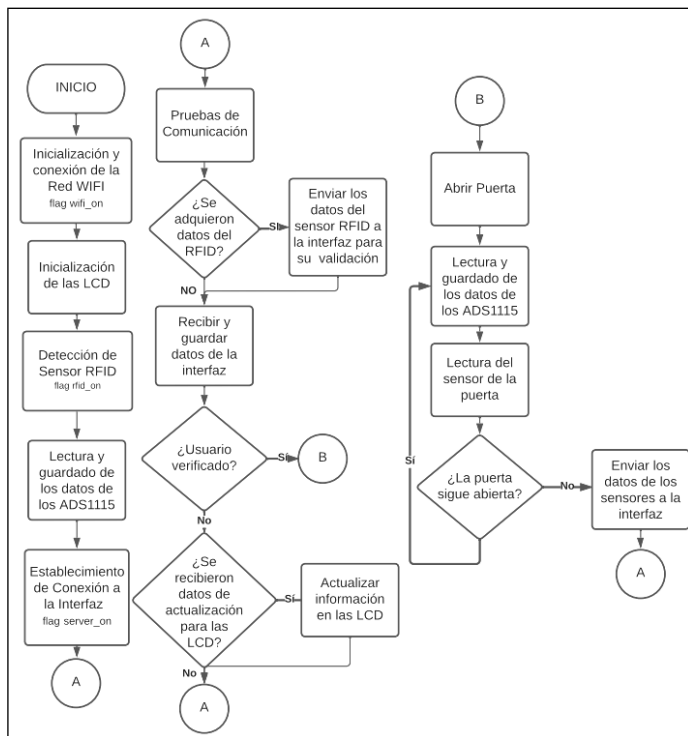


Fig. 21. Diagrama del Flujo Principal.

7 PROTOTIPO

Durante la fase de la construcción del prototipo del sistema, se llevaron a cabo diversas actividades para la fabricación y ensamblado de las tarjetas electrónicas. Para la producción de los PCB, se enviaron los diseños generados en Altium Designer a JLCPCB.COM, donde se realizaron los procesos de fabricación y ensamblado de los componentes electrónicos.

Además, para la presentación del prototipo, se colocaron las tarjetas en una superficie plana para su exhibición y prueba. Estas actividades fueron clave para la validación del funcionamiento del sistema y para identificar posibles mejoras y ajustes en el diseño.

Además, cabe destacar que para la colocación del as galgas extensiométricas se imprimieron en 3D unas bases para asegurar que las mismas estén en una posición estable en todo momento.

7.1 Ensamblado



Fig. 22. Ensamblado de tarjeta "Main".



Fig. 23. Ensamblado de tarjeta "Interface".

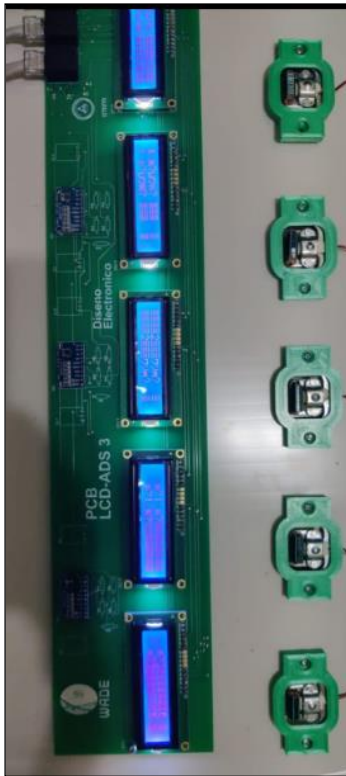


Fig. 24. Ensamblado de tarjeta "LCD-ADS".



Fig. 25. Base para la galga Extensiométrica

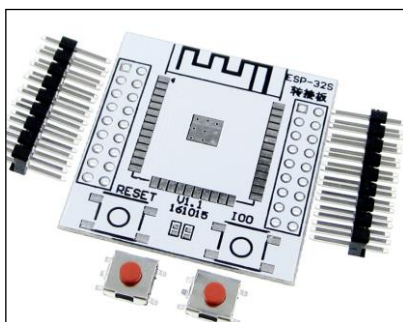


Fig. 26. Base para la ESP-32

8 VERIFICACIÓN Y PRUEBAS

Durante la construcción del prototipo fue sumamente necesario la constitución de las pruebas a realizar de forma tal, que la integración de cada una de las secciones que lo componen, ya sean de Hardware o de Software, se realice de la forma más natural posible.

8.1 Pruebas y mediciones

Entre las pruebas realizadas para la verificación de ciertas etapas o partes del circuito construido, se tomaron en cuenta las siguientes:

Prueba de Comunicación entre los extensores I2C P82B715 con un cable con longitud de 5 metros.

Esta prueba busca comprobar y examinar la comunicación entre la tarjeta MAIN e INTERFACE, haciendo uso de un cable de 5 metros para de esta forma probar la estabilidad y fidelidad de las señales.

Extracción y verificación de los datos enviados por la galga SEN-10245 a través de los ADC ADS1115.

Con esta prueba se determinarán varios aspectos, tales como los datos que se recibirán por parte del ADS1115 con ganancia de 16 al someter una galga SEN-10245 a ciertas presiones a través de distintos pesos.

Prueba de Multiplexión de los ADS1115.

Esta prueba busca comprobar la correcta Multiplexión de los ASD1115 a través del multiplexor CD74HC4067.

Prueba de Comunicación WIFI entre interfaz y equipo.

Con esta prueba se verificará a través de una herramienta de monitoreo, la comunicación entre el equipo y la interfaz.

De igual forma, como parte de la integración se seleccionaron las siguientes pruebas:

Prueba de Acceso con tarjeta identificadora RFID

Esta prueba se centra en la funcionalidad del sensor RFID y en su capacidad para enviar los datos correctamente a la interfaz a través de la conexión Wi-Fi. También se comprueba que la base de datos pueda ser consultada con éxito y se recuperen los datos necesarios.

Prueba de lectura de los sensores de peso y visualización en Interfaz

Esta prueba se enfoca en la funcionalidad de los ADC ADS1115 y en su capacidad para enviar los datos correctamente al equipo y a la interfaz. Se comprueba que todas las lecturas se estén realizando y enviando correctamente sin errores.

Prueba de escritura de los LCD con información enviada desde la Interfaz

Con esta prueba se verifica que el envío de datos desde la interfaz al equipo sea correcto y que la información se esté mostrando en los LCD de manera correcta. Se comprueba la funcionalidad y la precisión de los datos transmitidos. Prueba de depuración del Hardware/Software

8.2 Resultados

Resultado de prueba de Comunicación entre los extensores I2C P82B715 con un cable con longitud de 5 metros.

Los resultados obtenidos relacionada con las tramas, se puede observar que la información se ha transmitido sin errores, lo que indica que el protocolo I2C es capaz de funcionar correctamente en la distancia máxima de 5 metros utilizando un cable ethernet.

Sin embargo, al analizar los resultados de manera más detallada, se puede observar una presencia significativa de ruido en la señal, lo cual puede afectar el rendimiento y la integridad de la señal en situaciones específicas. Aunque en esta prueba no se han registrado errores en la transmisión de datos, el ruido presente en la señal puede ser perjudicial en condiciones adversas o en casos donde la integridad de los datos es crítica.

Resultado de la extracción y verificación de los datos enviados por la galga SEN-10245 a través de los ADC ADS1115.

Con relación a los resultados arrojados por el sensor de peso, se puede determinar que la sensibilidad del circuito debe ser ajustada para una medición más amplia, pues, para poder detectar una diferencia significativa en las mediciones realizadas, se debió ampliar el margen de medida, debido a que los datos recibidos no presentaban variación alguna.

Por lo que el circuito de instrumentación solo detecta variaciones de peso "altas", por lo que se recomienda la calibración y ajuste del circuito.

Resultado de la prueba de Multiplexión de los ADS1115.

En la prueba de Multiplexión de los ADS1115 en la tarjeta LCD-ADS, se realizaron mediciones de voltaje en las entradas de los convertidores análogo-digital. Se obtuvieron 3 datos de los ADS1115, donde el primer valor ADS0 fue de 17494, lo que indica que el voltaje leído en esa entrada fue de 1.059 V. Al aplicar la fórmula de conversión de voltaje de la señal leída, considerando la ganancia de 16 bits y el voltaje de referencia de 3.3V, se puede concluir que el voltaje inyectado fue de 1.03V. Similarmente, se midió el valor de ADS1, que fue de 0, lo que indica que no había voltaje en esa entrada. Por último, el valor de ADS2 fue de 65534, lo que indica que el voltaje leído en esa entrada fue de 3.299 V, muy cercano al voltaje de referencia de 3.3V.

Tomando en cuenta los resultados obtenidos, se puede concluir que la prueba de Multiplexión de los ADS1115 fue exitosa, ya que se logró leer con precisión los voltajes inyectados en las entradas de los convertidores análogo-digitales, validando así su correcto funcionamiento en la tarjeta LCD-ADS.

Resultado de prueba de Comunicación WIFI entre interfaz y equipo.

Para esta prueba se hizo uso del software "Wireshark", específicamente de su herramienta de visualización de datos de E/S aplicando el filtro por IP para la lectura de las tramas de datos que sean generadas por el equipo/interfaz.

Debido a los resultados obtenidos se puede afirmar que la prueba de transmisión de datos entre la interfaz y el equipo se realizó con éxito según los gráficos y el análisis de los mismos, los datos que se transmitieron desde la interfaz al equipo se transmitieron de forma correcta y bajo requerimientos óptimos dentro de la red.

Con relación a las pruebas de integración:

Prueba de Acceso con tarjeta identificadora RFID

Durante la prueba realizada se ha comprobado que el prototipo está funcionando de manera efectiva al leer correctamente los datos del sensor RFID, transmitirlos de forma correcta y validarlos en la base de datos. El proceso de prueba consistió en presentar una tarjeta RFID al lector de RFID y verificar que la información es leída correctamente. Después, se comprobó que la información enviada por el módulo Wifi a la interfaz es la misma que la que se encuentra en la base de datos. Este resultado indica que el prototipo funciona correctamente en términos de lectura y envío de datos.

Prueba de lectura de los sensores de peso y visualización en Interfaz

En la prueba realizada se ha obtenido un resultado satisfactorio en cuanto al funcionamiento de la mayoría de las galgas, las cuales proporcionan datos de forma correcta, cumpliendo con los rangos establecidos en las pruebas anteriores. Sin embargo, se ha detectado que la sección 5 ha enviado un dato fuera de los rangos establecidos, lo que sugiere que podría haber algún problema en la calibración o en el correcto funcionamiento de esa sección en particular.

Prueba de escritura de los LCD con información enviada desde la Interfaz

Durante la prueba inicial de escritura en los LCD utilizando la información enviada desde la Interfaz, se identificó un problema en la posición de la información actualizada en las pantallas. A pesar de que la información fue procesada correctamente por el microcontrolador, se notó que los datos no se mostraban en la posición esperada en las LCD. Sin embargo, tras realizar ajustes en las instrucciones de escritura de datos y mejorar el almacenamiento de los mismos una vez recibidos, se logró solucionar este inconveniente. Posteriormente, se realizaron pruebas adicionales que confirmaron el correcto funcionamiento del sistema, con la información mostrada de manera adecuada en las pantallas LCD. Estos ajustes en el software y el hardware permitieron garantizar el rendimiento óptimo del sistema.

8.2.1 Imágenes de las Pruebas Realizadas

Resultado de prueba de Comunicación entre los extensores I2C P82B715 con un cable con longitud de 5 metros.

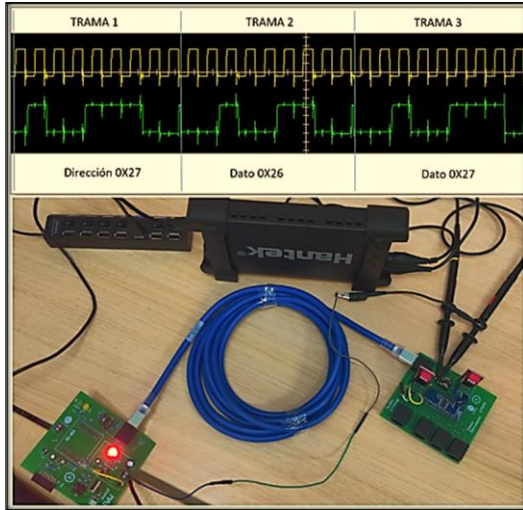


Fig. 27. Muestra de la Prueba

Resultado de la extracción y verificación de los datos enviados por la galga SEN-10245 a través de los ADC ADS1115.

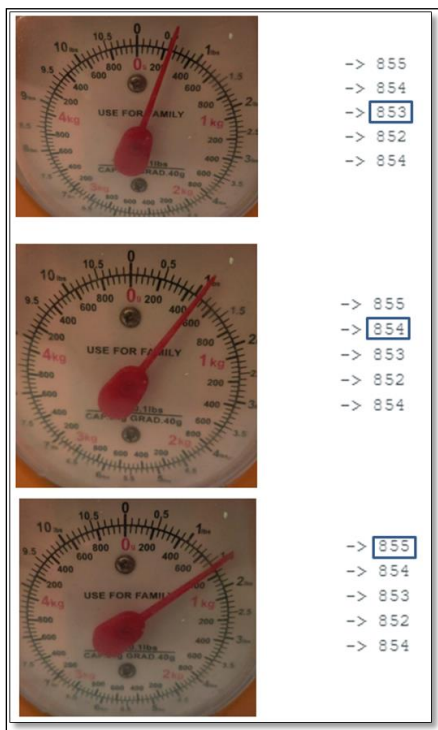


Fig. 28. Muestra de la Prueba

Resultado de la prueba de Multiplexión de los ADS1115.



Fig. 29. Muestra de la Prueba

Resultado de prueba de Comunicación WIFI entre interfaz y equipo.

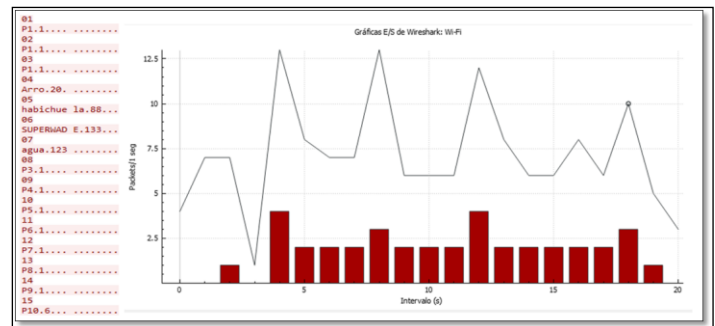


Fig. 30. Muestra de la Prueba

Prueba de Acceso con tarjeta identificadora RFID

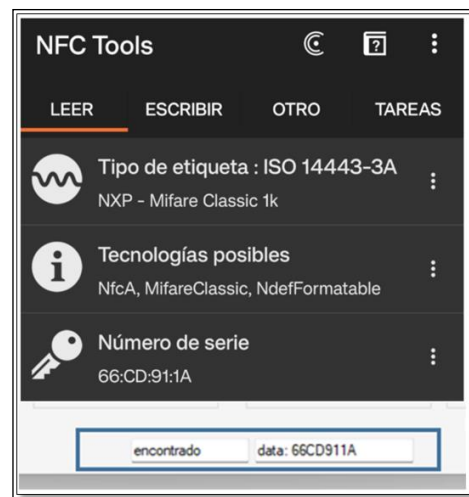


Fig. 31. Muestra de la Prueba

Prueba de lectura de los sensores de peso y visualización en Interfaz

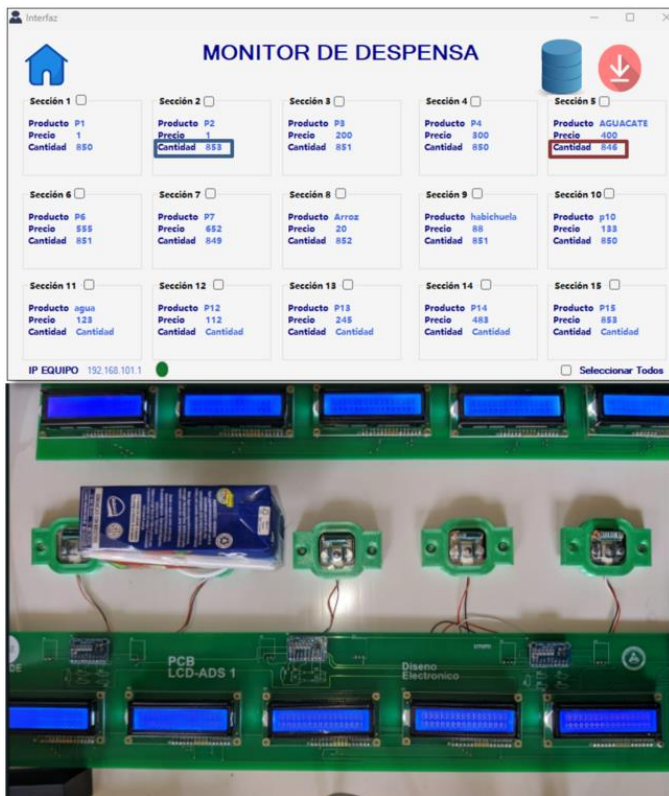


Fig. 32. Muestra de la Prueba

Resultado de prueba de escritura de los LCD con información enviada desde la Interfaz



Fig. 33. Muestra de la Prueba

CONCLUSIÓN

La implementación del Sistema Identificador de Objetos mediante transductores de presión para despensas con cobro automático ha demostrado ser un proyecto innovador y prometedor. A través de la utilización de tecnología como los transductores de presión y los microcontroladores ESP-32, se ha logrado diseñar un sistema capaz de monitorear secciones de una despensa y realizar una lectura de los sensores resistivos de presión.

Sin embargo, se han identificado algunos desafíos técnicos en la implementación del prototipo, en particular, en la sensibilidad de las galgas. Es necesario realizar ajustes en la sensibilidad de los transductores de presión para mejorar la precisión de las mediciones y reducir el ruido en los datos.

Además, se sugiere explorar la posibilidad de integrar el sistema con tecnologías de inteligencia artificial para optimizar la gestión de inventarios y realizar análisis predictivos de la demanda de los productos. Esto permitiría mejorar la eficiencia y rentabilidad de los negocios que utilicen el sistema.

En conclusión, la implementación del Sistema Identificador de Objetos mediante transductores de presión para despensas con cobro automático es un proyecto con un gran potencial en el ámbito de la automatización comercial. Es necesario seguir trabajando en la mejora de la precisión de las mediciones y la integración de sistemas de seguridad más avanzados, así como explorar nuevas posibilidades de integración con tecnologías de inteligencia artificial.

RECONOCIMIENTOS

Me es imposible no reconocer a Dios, quien ha sido mi principal aliado en este camino que he recorrido hasta llegar a donde estoy hoy. Sus fuerzas y sabiduría han sido mi guía y mi motivación constante.

Además, quiero expresar mi sincero agradecimiento a mi familia y amigos por su apoyo incondicional y por confiar en mi persona.

También deseo destacar la influencia que ha tenido el ingeniero Luciano Beato, quien ha sido mi maestro y mentor en estos últimos perchaños que he tenido que recorrer para convertirme en ingeniero. Gracias a su sabiduría y experiencia, he podido desarrollar mi potencial y mejorar mis habilidades técnicas. Estoy agradecido por su dedicación y compromiso en mi formación profesional.

REFERENCIAS

- [1] Francisco Candelas, Protocolos de Transporte TCP y UDP.
- [2] Diseño 3D de la base para la galga [En línea].
Disponible en: <https://www.thingiverse.com/thing:2624188>.
- [3] W. De Oleo, «Diseño del Hardware,» [En línea]. Disponible en:
<https://universidad-tecnologica-de-santiago.365.altium.com/designs/Projects/F44278F4-53F2-4133-BA55-19D13857457A>.
- [4] W. De Oleo, «Programación de Interfaz,» 2023. [En línea].
Disponible en: https://drive.google.com/drive/folders/1NHd1bcUST3dSHk4SQ4SEp6SwaMIVtEOY?usp=share_link.
- [5] W. De Oleo, «Código de Programación,» [En línea]. Disponible en:
https://drive.google.com/drive/folders/1XCHafQ02IkfBmGHN-PwCMiqNZOL_GAix?usp=share_link.

Biografía del Autor:

Winston Alfredo De Oleo Encarnación, nacido el 3 de octubre del año 1999, en la ciudad de Santiago de los Caballeros, es un técnico en Electrónica Industrial por el Instituto Politécnico Industrial Don Bosco, y estudiante de término de la carrera de Ingeniería en Electrónica por la Universidad Tecnológica de Santiago.

Al graduarse como Bachiller Técnico en Electrónica Industrial, y alcanzar la mayoría de edad, se integra en la empresa "Distribuidora Universal, S.A", en la que desempeña sus labores como Representante Técnico, en la que adquiere experiencia en la reparación e instalación de equipos de oficina enfocados en bancos, tales como impresoras, computadoras, impresoras de libreta, y luego en equipos más robustos como lo son las bóvedas inteligentes y las contadoras de billetes.

Pasados unos cuatro años en dicha empresa, se cambia de trabajo al "Sistema Nacional de Atención a Emergencias y Seguridad 9-1-1", el cual a la fecha de hoy desempeña las labores de Soporte Técnico".

Además, ha complementado su formación con capacitaciones adicionales, tales como técnico de redes datos, diseño profesional de placas de circuito impreso, y en gestión de proyectos.