



**UNIVERSIDAD
DEL AZUAY**

**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Diseño e implementación de un sistema automatizado de dispensado de cerveza con
protocolo RFID.**

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

INGENIERO ELECTRÓNICO

Autor:

SERGIO EDUARDO MONGE ORDOÑEZ

Director:

DIEGO FERNANDO ROJAS HIEDRA

CUENCA, ECUADOR

2026

DEDICATORIA

Dedico este logro principalmente a mis padres, por su amor, sacrificio y apoyo incondicional a lo largo de toda mi vida.

A mi familia, por ser siempre mi fuente de motivación y fortaleza.

A mis compañeros, por acompañarme en este camino y ayudarme a no rendirme.

A mi tutor de tesis, por su apoyo y guía constante en este proceso académico.

A mi pareja quien ha sido un apoyo incondicional estos últimos meses de mi carrera.

Y de manera muy especial, a mi abuelito que está en el cielo, quien aunque ya no está físicamente, vive en mi corazón y fue una de las razones que me impulsó a ser fuerte y seguir adelante.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mis padres Julia y Gerardo, quienes han sido el pilar fundamental en mi vida, brindándome su apoyo incondicional, el impulso de ser mejor en la vida y motivación en cada etapa de este camino académico. Gracias por creer en mí incluso en los momentos más difíciles.

A mi familia, por sus constantes palabras de aliento, por estar siempre presentes y por impulsarme a seguir adelante cuando más lo necesitaba.

Sobre todo, a mi hermana Dani, fuiste la que me ayudó mucho cuando no podía avanzar. Su apoyo ha sido clave para alcanzar este objetivo.

A mis compañeros de curso, quienes con

su apoyo supieron motivarme a no descuidarme y a mantenerme enfocado en mis metas, incluso en aquellos momentos en los que me distraía y perdía de vista mi objetivo.

A mi tutor de tesis, por su guía, paciencia y dedicación durante todo el proceso de desarrollo de este trabajo. Su conocimiento y orientación fueron fundamentales para

la culminación de esta investigación.

De manera muy especial, agradezco a mi abuelito

Lauro, quien desde el cielo ha sido una fuente de fortaleza para mí. Su partida fue un momento difícil que casi me hace perder el rumbo, pero

su recuerdo y el amor que siempre me brindó me dieron la fuerza necesaria para seguir adelante y culminar esta etapa.

A todos ustedes, gracias por ser parte fundamental de este logro.

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE DISPENSADO DE CERVEZA CON PROTOCOLO RFID.

En el presente trabajo se desarrolla un sistema automatizado de dispensado de cerveza basado en identificación mediante RFID y IoT. El objetivo es mejorar la eficiencia de operación, la precisión en la dosificación del volumen y la seguridad del sistema.

La arquitectura integra un microcontrolador ESP32, un sistema de autenticación mediante RFID, sensores para la detección de presencia y nivel, así como interfaz de usuario basada en pantalla táctil. Además, de una plataforma en la nube mediante Arduino Cloud para el monitoreo remoto. El control del volumen dispensado basado en un modelo matemático del sistema de nivel de líquidos, el cual es analizado mediante simulación en MATLAB.

Los resultados obtenidos demuestran un funcionamiento estable del sistema, tiempos de respuesta menores a un segundo y una adecuada precisión en la dosificación. La implementación propuesta contribuye a mejorar la experiencia del usuario, reducir pérdidas de producto y proporcionar trazabilidad en el consumo.

Palabras clave: Dispensador, RFID, IoT, ESP32, Cloud

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF AN AUTOMATED BEER DISPENSING SYSTEM WITH RFID PROTOCOL

This paper presents the development of an automated beer dispensing system based on RFID and IoT identification. The objective is to improve operational efficiency, volume dosing accuracy, and system safety.

The architecture integrates an ESP32 microcontroller, an RFID authentication system, sensors for presence and level detection, and a touchscreen user interface. It also includes a cloud platform using Arduino Cloud for remote monitoring. Dispensing volume control is based on a mathematical model of the liquid level system, which is analyzed through MATLAB simulation.

The results obtained demonstrate stable system operation, response times of less than one second, and adequate dosing accuracy. The proposed implementation contributes to improving the user experience, reducing product losses, and providing traceability in consumption.

Keywords: Dispensing, RFID, IoT, ESP32, Cloud

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Dedicatoria	i
Agradecimientos	iii
Resumen	iv
Abstract	v
Índice de Contenidos	vi
Índice de Figuras	vii
Índice de Tablas	viii
I Introducción	1
II METODOLOGÍA	3
III PROCEDIMIENTO	4
III-A Análisis de consumo energético y dimensionamiento de pistas	7
III-A1 Dimensionamiento de pistas	7
IV RESULTADOS	8
V CONCLUSIONES	11
References	11

ÍNDICE DE FIGURAS

1	Arquitectura del sistema	2
2	Metodología del Sistema Automatizado de Dispensado de Cerveza.	3
3	Reconocimiento de usuarios	4
4	Interfaz Grafica de Menu Principal	5
5	Interfaz de dispensado de Cerveza	5
6	Funcion de Transferencia del Modelo Matematico en Simulink	5
7	Instalacion de bomba y sensor de nivel	6
8	Diagrama de conexiones en la plataforma EASYEDA	6
9	Placa PCB en la plataforma EASYEDA	7
11	Validación y Autenticación de Usuario con protocolo RFID	8
10	Diagrama de Flujo del sistema	9
12	Pantalla de selección de volumen	9
13	Tiempos comparativos de dispensado Matlab y Ensayos	10
14	Pantalla de aviso para prevención de derrames	10
15	Dashboard para la parte Administrativa	10
16	Dashboard para la parte de Ventas	10
17	Ensamble final del dispensador de cerveza	11

ÍNDICE DE TABLAS

I	Pines utilizados en el sistema	6
II	Consumo estimado de corriente de los dispositivos del sistema	7
III	Tiempos de dispensado obtenidos experimentalmente	9
IV	Tiempos de dispensado obtenidos mediante simulación en MATLAB	9
V	Comparación entre los resultados de simulación y experimentales	9

Diseño e implementación de un sistema automatizado de dispensado de cerveza con protocolo RFID.

Sergio Eduardo Monge Ordoñez
Escuela de Ingeniería Electrónica
Universidad del Azuay
Cuenca-Ecuador
sergio.monge@es.uazuay.edu.ec

Abstract—This paper presents the development of an automated beer dispensing system based on RFID and IoT identification. The objective is to improve operational efficiency, volume dosing accuracy, and system safety.

The architecture integrates an ESP32 microcontroller, an RFID authentication system, sensors for presence and level detection, and a touchscreen user interface. It also includes a cloud platform using Arduino Cloud for remote monitoring. Dispensing volume control is based on a mathematical model of the liquid level system, which is analyzed through MATLAB simulation.

The results obtained demonstrate stable system operation, response times of less than one second, and adequate dosing accuracy. The proposed implementation contributes to improving the user experience, reducing product losses, and providing traceability in consumption.

Index Terms—Dispenser, RFID, IoT.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la venta de cerveza en bares, restaurantes y eventos necesita sistemas que permitan atender a los usuarios de manera rápida y mantener un control adecuado sobre el producto dispensado. Muchos establecimientos continúan utilizando métodos tradicionales donde el llenado depende de un dispensado manual del personal. Esto puede provocar diferencias en las cantidades servidas, mucho tiempo de espera durante horas pico y problemas para el registro preciso del consumo e inventario disponible. Otro tema importante es la dependencia del personal durante el proceso de dispensación. La falta de experiencia en el personal o errores operativos provocan desperdicio de producto debido al llenado de los vasos o a una mala manipulación del sistema. Estas pérdidas afectan a la rentabilidad del negocio, especialmente en horas pico. En algunos establecimientos se complica el supervisar continuamente el uso de los dispensadores, lo que puede generar consumos no autorizados o pérdidas entre el inventario disponible y las ventas registradas. Muchos trabajos de investigación han propuesto la automatización del proceso de dispensación mediante el uso de tecnologías de identificación por radiofrecuencia (RFID) y comunicación inalámbrica. Estas soluciones permiten negar el acceso a usuarios autorizados

y mejorar el control de las ventas realizadas [1]. Sin embargo, muchos de estos trabajos se enfocan únicamente en la identificación del usuario y no incorporan herramientas de monitoreo remoto o administración del sistema. Como resultado, los administradores continúan teniendo limitaciones para supervisar ventas y consumo de producto en tiempo real.

La seguridad representa un reto importante en sistemas de acceso que se basan en tarjetas de proximidad. Cuando no se implementan mecanismos adicionales de protección, existe la posibilidad de uso indebido de credenciales o de intentos de clonación de tarjetas, comprometiendo la seguridad del sistema [2]. La falta de registros dificulta la trazabilidad de las ventas y consumo realizadas por cada usuario. También se ha visto que muchos sistemas comerciales no cuentan con herramientas de telemetría que permitan conocer el estado del dispensador, la cantidad de producto disponible o las condiciones generales de funcionamiento. La falta de esta información dificulta la planificación de mantenimientos, la gestión del inventario y la toma de decisiones por parte de los administradores. Como consecuencia, pueden producirse interrupciones del servicio o pérdidas económicas asociadas a una mala administración de los recursos [2]. Por estas limitaciones, surge la necesidad de desarrollar una solución que permita automatizar el proceso de dispensación, controlar el acceso de los usuarios y supervisar el funcionamiento del sistema mediante herramientas de monitoreo remoto. La integración de tecnologías de identificación, comunicación en la nube que puede contribuir a mejorar la gestión del servicio y reducir los problemas asociados a los métodos convencionales de dispensación. En este contexto, el presente proyecto propone el diseño e implementación de un dispensador automatizado de cerveza basado en una plataforma ESP32. El sistema incorpora un lector RFID PN532 con comunicación I2C para la identificación de usuarios autorizados, una bomba de diafragma para el dispensado de la cerveza y sensores de nivel para supervisar la cantidad del producto dentro del depósito. Además, se usa una plataforma de monitoreo en la nube que permite visualizar información relevante del sistema y facilitar su administración remota. La dispensación se realiza mediante tiempos de activación

previamente calibrados para diferentes volúmenes de servicio, permitiendo automatizar el proceso y reducir la intervención del personal. De esta manera, se busca mejorar el control sobre la cantidad dispensada, disminuir los tiempos de atención y proporcionar una herramienta tecnológica que facilite la gestión del servicio en establecimientos con alta demanda.

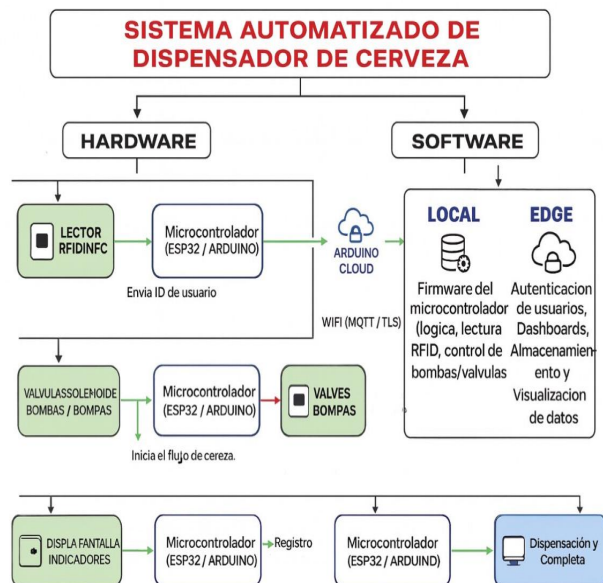


Fig. 1. Arquitectura del sistema

El controlador local está basado en microcontrolador, este será para coordinar la interacción entre sensores, actuadores y el usuario. Además, el sistema contará con una plataforma en la nube, destinada a la autenticación de usuarios, almacenamiento histórico de datos y visualización mediante dashboards, lo que facilitará la supervisión remota y la toma de decisiones en tiempo real. La implementación busca no solo garantizar precisión en el dispensado, además de también mejorar la eficiencia operativa, reducir pérdidas y brindar trazabilidad al proceso. En lo académico y tecnológico, este proyecto representa una oportunidad de aplicar conceptos de automatización, Internet de las Cosas (IoT) y computación en la nube en un entorno práctico, aportando a la mejora de competencias en ingeniería electrónica y de control. Su desarrollo se alinea con la tendencia de la Industria 4.0, en la que la conectividad y la digitalización permiten modernizar procesos tradicionales [3]; [2].

Los sistemas automatizados de dispensado han evolucionado desde soluciones mecánicas básicas hasta plataformas inteligentes con conectividad IoT, identificación electrónica y control preciso de flujo. Las primeras investigaciones se basaron en mecanismos simples y control local, mientras que los desarrollos recientes incorporan autenticación RFID/NFC, telemetría, control remoto, y modelos de gestión de acceso y consumo en tiempo real. Los estudios iniciales dentro de este campo se basaron principalmente en microcontroladores de bajo costo y mecanismos básicos de activación. Por ejemplo,

[3] propusieron un sistema de dispensado de agua basado en un microcontrolador 8051, utilizando lectura RFID y monedas para la habilitación del servicio. Su arquitectura incluía bomba DC, válvula solenoide y pantalla LCD, logrando automatizar el acceso y la cantidad servida, aunque con limitaciones en conectividad y escalabilidad.

A su vez, [4] desarrollaron una máquina expendedora híbrida basada en Arduino Nano, incorporando sensores infrarrojos para detección de vasos, sensor ultrasónico para nivel del contenedor y un módulo Wi-Fi ESP8266 para notificaciones remotas. Este trabajo introdujo elementos de monitoreo en la nube y supervisión del estado de la máquina, ampliando el enfoque hacia sistemas parcialmente conectados. El avance hacia plataformas más inteligentes se evidencia con la incorporación de microcontroladores modernos y mayor integración de sensores. [5] implementó una máquina dispensadora de café inteligente basada en ESP32, integrando autenticación RFID, sensores de temperatura DS18B20 y relés para control de motores y calentadores. Adicional a todo esto, incluyó una interfaz LCD para selección de volúmenes personalizables, optimizando la experiencia del usuario y proponiendo la expansión hacia conectividad GSM e interfaces táctiles.

En un enfoque parecido a esto, en [1] emplearon Raspberry Pi Pico y bombas peristálticas para desarrollar un sistema de dispensado de bebidas calientes orientado a entornos educativos y experimentales. Su diseño permitió controlar dosis y personalizar volúmenes, demostrando la viabilidad de prototipos de bajo costo orientados a investigación. En lo comercial en [2] presentaron un dispensador autoservicio de cerveza basado en vasos con NFC, utilizando validación en la nube, arquitectura híbrida con Raspberry Pi como nodo Edge y microcontroladores distribuidos en los tanques. La comunicación se realizó mediante MQTT y HTTPS, integrando API con autenticación JWT, sensores de flujo YF-S201 y monitoreo de temperatura y nivel. Este desarrollo evidenció avances significativos en escalabilidad, seguridad y telemetría, así como retos asociados a la latencia y facilidad de uso para consumidores no familiarizados con tecnología NFC.

Para finalizar, el proyecto se centra en la implementación del protocolo RFID. Según [6] este protocolo es un sistema de tecnología inalámbrica que permite la comunicación y lectura de una etiqueta. Además, facilita el almacenamiento de información de muchas etiquetas mediante radiofrecuencia. Todos estos sistemas incorporan un microchip y una antena los cuales permiten la comunicación entre el lector y la etiqueta o tag, almacenando la información en una base de datos. Esta tecnología es altamente utilizada debido a su velocidad, alcance y seguridad, dependiendo de su rango de frecuencia.

Teniendo en cuenta todo esto, la tecnológica en sistemas de dispensado ha transitado desde soluciones autónomas y locales hacia arquitecturas distribuidas, conectadas y con capacidades avanzadas de control, autenticación y monitoreo. Los retos actuales se orientan hacia la optimización de la precisión volumétrica bajo condiciones reales, la reducción de la latencia en validaciones cloud-based, fortalecer la seguridad en autenticación de usuarios y la detección de fraude físico.

en sistemas embebidos en operación continua. Resolver estas limitaciones constituye el principal motivo de este trabajo, en donde la propuesta se centra en el diseño e implementación de un sistema automatizado de dispensado de cerveza basado en identificación con protocolos RFID, focalizando mejorar la precisión de dosificación, la confiabilidad de autenticación y la eficiencia del proceso de monitoreo. Esta propuesta busca aportar al desarrollo de sistemas de autoservicio más seguros, eficientes y escalables, con las demandas actuales en automatización inteligente.

II. METODOLOGÍA

Para el desarrollo del sistema automatizado de dispensado de cerveza basado en identificación RFID e integración IoT, se usará una metodología estructurada y secuencial orientada al diseño propuesto inicialmente, dando a conocer el como será la implementación e integración de los distintos pasos que componen el prototipo como se muestra en la figura 2. Esta metodología permitirá obtener coherencia técnica entre los componentes electrónicos, el desarrollo de software y los objetivos funcionales del proyecto, asegurando el funcionamiento correcto del prototipo, además de una correcta interacción entre las capas física, lógica y de comunicación del sistema. La planificación secuencial facilitará la detección temprana de errores y permitirá realizar ajustes técnicos de hardware y software antes de la presentación final del prototipo.

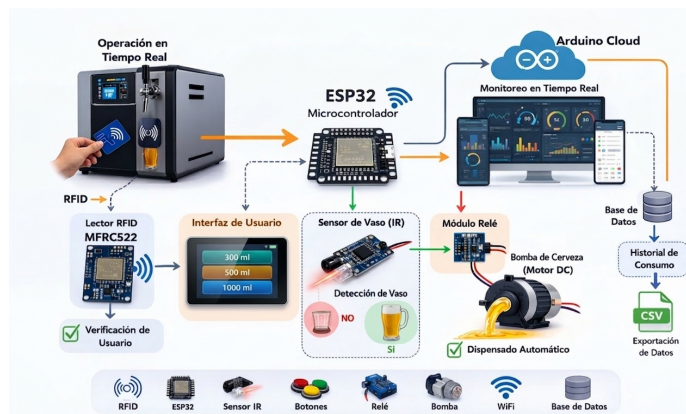


Fig. 2. Metodología del Sistema Automatizado de Dispensado de Cerveza.

La primera etapa corresponde a la revisión bibliográfica y análisis de tecnologías ya existentes, en la cual se consultarán artículos científicos, tesis y documentación técnica relacionada con sistemas de dispensado automatizado, autenticación mediante RFID, el control del volumen se basa en el tiempo de funcionamiento del motor según su caudal especificado en el datasheet y plataformas de monitoreo en la nube. Esta revisión permitirá identificar arquitecturas previamente implementadas, obteniendo las ventajas y limitaciones de cada una de ellas, así establecer los parámetros técnicos necesarios para la selección adecuada de componentes. Se evaluarán criterios como precisión de medición, tiempo de respuesta, consumo energético, escalabilidad del sistema y compatibilidad con

protocolos de comunicación IoT. Además, se definirán los requisitos iniciales del sistema, tales como volúmenes de dispensado (300 ml, 500 ml y 1000 ml), control de acceso y validación de usuario mediante tarjeta RFID, registro de consumo por usuario, acumulación de valor económico asociado al consumo, visualización y modificación remota de datos por parte del administrador. También se determinarán requisitos no funcionales como estabilidad operativa, seguridad en la autenticación, facilidad de uso y bajo costo de implementación asegurando una mayor eficiencia en nuestro proyecto.

La segunda etapa consiste en el diseño del hardware del sistema, donde se seleccionarán y cotizarán los componentes electrónicos necesarios para el funcionamiento del prototipo. Se empleará un microcontrolador ESP32 como unidad central de procesamiento debido a su capacidad de conectividad WiFi integrada, potencia de procesamiento, arquitectura de programación basada en arduino así encontrando compatibilidad con plataformas IoT tales como el Arduino Cloud que facilita el desarrollo del firmware. Se integrará un módulo lector RFID PN532 para la autenticación y validación de usuarios, un motor para la correcta medición volumétrica del líquido dispensado. Asimismo, se incorporarán una pantalla la cual permitirá al usuario seleccionar el volumen deseado, garantizando una interacción simple e intuitiva con el usuario.

En esta fase también se realizará el diseño del esquema eléctrico y del diagrama de bloques del sistema, definiendo la distribución de pines digitales, alimentación, sistemas de protección y aislamiento eléctrico entre la etapa de potencia y la etapa de control, en este caso se procura realizar el prototipado propio para la base de fuentes y conexiones, mediante la fabricación de una placa pcb. Se considerarán aspectos como la estabilidad de la fuente de alimentación, filtrado de ruido eléctrico, protección contra sobrecorrientes y correcta conexión de tierras para evitar interferencias en la lectura del sensor de flujo o del módulo RFID. Además, se planificará la disposición física de los componentes dentro del prototipo para asegurar seguridad, accesibilidad y mantenimiento adecuado.

La tercera etapa corresponde al desarrollo e implementación del firmware del sistema, donde se programará el microcontrolador ESP32 utilizando el entorno de desarrollo basado en Arduino. En esta fase se diseñará la lógica de funcionamiento del prototipo, iniciando con la lectura y validación del identificador único (UID) de las tarjetas RFID para el control de acceso del usuario. Posteriormente, se implementará la interfaz de selección de volumen mediante la pantalla, permitiendo al usuario elegir entre los niveles predefinidos de dispensado, además de el registro del precio de cada uno de ellos. Se desarrollará el algoritmo de control con el objetivo de determinar de manera precisa el volumen de cerveza dispensado por el sistema, se realizará un modelado matemático del caudal generado por el motor encargado del bombeo del líquido. El volumen dispensado se estimará en función del caudal nominal especificado en el datasheet del dispositivo y del tiempo de activación del motor.

Para ello, se analizarán los parámetros técnicos dados por el fabricante, como el caudal máximo del motor y válvula check,

la presión de operación y el voltaje de alimentación. A partir de estos parámetros se establecerá una relación matemática entre el caudal volumétrico y el tiempo de funcionamiento del motor, lo que permitirá estimar el volumen dispensado.

Posteriormente, este modelo matemático de sistema de nivel de líquidos dado por la fórmula ecuación (1), que se basa en el principio de conservación de masa, considerando la diferencia entre el caudal de entrada y salida del sistema [7] será analizado mediante el entorno de simulación Simulink de MATLAB, con el objetivo de evaluar el comportamiento del sistema bajo diferentes condiciones de operación. A través de la simulación se podrán observar las variaciones del volumen dispensado en función del tiempo, permitiendo validar los parámetros del modelo y estimar los tiempos de activación necesarios para dispensar los volúmenes iniciales establecidos en el sistema (300 ml, 500 ml y 1000 ml).

$$A \frac{dh(t)}{dt} = Q_{in}(t) - a\sqrt{2gh(t)} \quad (1)$$

Finalmente, los resultados de los tiempos nos servirán para la codificación y calibración de los tiempos de dispensación modificables, permitiendo controlar de manera precisa cualquier volumen requerido dentro del sistema en el microcontrolador ESP32, donde el control del dispensado se realizará mediante la activación del motor durante el tiempo previamente determinado para cada volumen seleccionado. Además, se integrará un sistema de registro de consumo por usuario, permitiendo la acumulación del valor económico asociado al volumen dispensado a cada usuario, lo que facilitará el control y la trazabilidad del uso del sistema por parte del propietario.

La cuarta etapa consiste en la integración del sistema con una plataforma IoT para la visualización y monitoreo remoto de datos. En esta fase se configurará la conectividad WiFi del microcontrolador ESP32 y su enlace con la plataforma Arduino Cloud, permitiendo la transmisión de información en tiempo real, como el volumen dispensado, el historial de consumo por usuarios y el estado general del sistema. Asimismo, se diseñarán paneles de control o dashboards que faciliten la supervisión y modificación del funcionamiento del dispensador, contribuyendo a la toma de decisiones y al análisis del rendimiento del sistema. Esta integración permitirá validar la comunicación entre el sistema embebido y la nube, evaluando la estabilidad, latencia y confiabilidad de la transmisión de datos para una correcta supervisión.

Finalmente, la quinta etapa corresponde a la validación experimental y evaluación del desempeño del sistema automatizado, donde se realizarán pruebas funcionales bajo diferentes condiciones de operación. Se evaluará la precisión en la dispensación, la respuesta del sistema ante múltiples usuarios sin errores de contabilidad o registro, además se evaluará la estabilidad del proceso de autenticación RFID y la confiabilidad de la comunicación IoT. Para ello, se establecerán indicadores clave de rendimiento, tales como el error de medición del volumen, el tiempo de respuesta del sistema, la latencia de transmisión de datos y la robustez frente a posibles fallas de comunicación

o manipulación indebida por los usuarios. Los resultados obtenidos serán analizados mediante métodos cuantitativos y cualitativos, lo que permitirá determinar la eficacia, eficiencia y viabilidad del sistema propuesto, obteniendo nuevas mejoras o correcciones para una implementación futura.

III. PROCEDIMIENTO

En esta sección se muestra el procedimiento que se realizó en cada etapa del proyecto. Para empezar, se realizaron pruebas de funcionamiento de cada componente del dispensador, comenzando por el lector RFID PN532, el cual trabaja a una frecuencia de operación de 13.56 MHz y presentó márgenes de lectura muy eficientes. En esta etapa también se identificaron las tarjetas que se usarán para reconocer a cada usuario figura 3. Estas tarjetas poseen un ID único e irrepetible asignado a cada etiqueta RFID, que permite identificar de manera individual cada dispositivo o elemento dentro del sistema [8], lo que permite cumplir con el requisito de restringir el acceso a personas ajenas al local. Además, se implementó el código basado en Arduino, utilizando librerías como Adafruit PN532 que permiten la conexión entre la ESP32 y el canal I2C de la tarjeta, mostrando eficiencia en la lectura y en la encriptación para la seguridad de los usuarios y la administración del sistema.

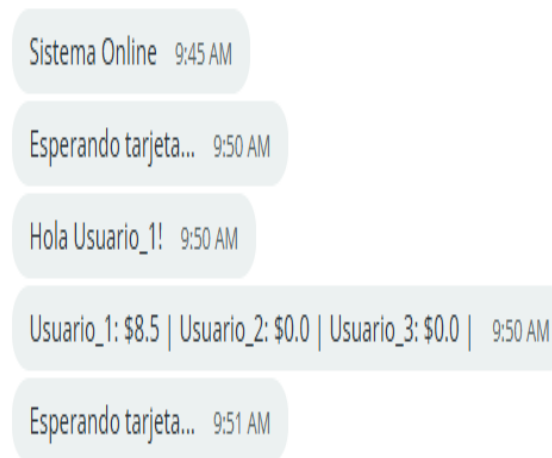


Fig. 3. Reconocimiento de usuarios

Consecuentemente, se procedió a la creación de la interfaz gráfica mediante la pantalla táctil. En el menú principal se decidió incluir el logo de la universidad, el nombre del proyecto y la instrucción de acercar la tarjeta del usuario figura 4. Al hacerlo, se muestra un menú de bienvenida junto con la selección del volumen a dispensar. Posteriormente, aparece un mensaje indicando que el vaso debe estar posicionado, lo cual se detecta gracias al sensor infrarrojo integrado. Una vez que el sensor envía la señal de que el vaso está en su lugar, se muestra la pantalla de “sirviendo”, como se muestra en la figura 5.

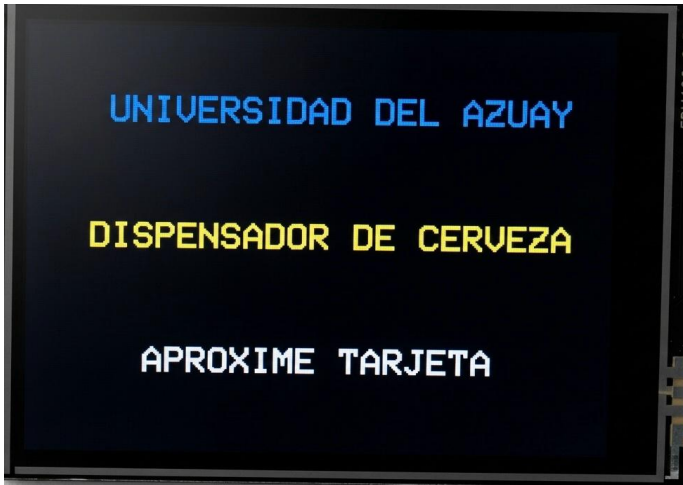


Fig. 4. Interfaz Grafica de Menu Principal

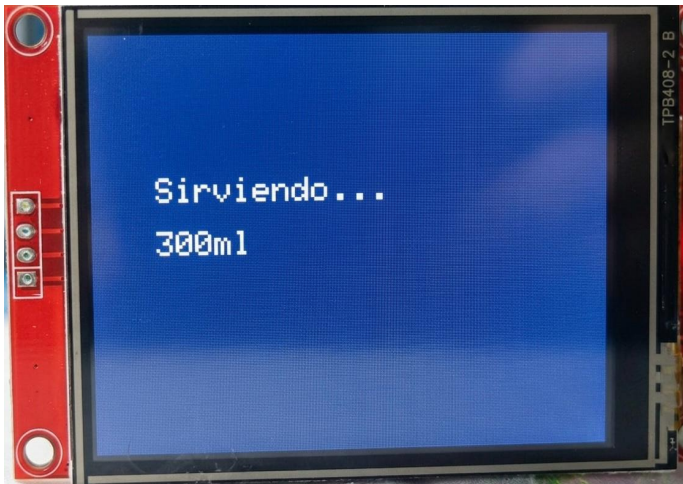


Fig. 5. Interfaz de dispensado de Cerveza

Tras crear la interfaz gráfica, se procedió a agregar el comportamiento hidráulico del sistema el cual fue analizado mediante MATLAB Simulink utilizando el principio de conservación de masa aplicado a un depósito de líquido. Aunque el sistema incorpora una bomba de diafragma para impulsar la cerveza hacia la salida, durante las pruebas se observó que el líquido continuaba fluyendo cuando la bomba se encontraba desactivada, debido a la presión hidrostática generada por la altura del líquido almacenado en el tanque. Para este fenómeno se incorporó una válvula check para impedir el flujo no deseado cuando la bomba no se encontraba encendida. Por consecuencia, se aplicó la fórmula de un modelo de control de nivel y caudal de líquido. Este proceso se basa en la obtención de ecuaciones diferenciales que describen el comportamiento dinámico de las variables del sistema, tales como A, que representa el área del tanque; h, la altura; y g, la constante de gravedad [9]. En este caso, debido a que el tanque no posee un caudal de ingreso, se planteó la ecuación eliminando la variable $Q_{in}(t)$, obteniendo así el modelo correspondiente

además de que esta fórmula permite representar de manera simplificada la variación de la altura del líquido en función del tiempo y analizar el efecto de la presión hidrostática sobre nuestro sistema.

$$A \frac{dh(t)}{dt} = -a\sqrt{2gh(t)} \quad (2)$$

A partir de este modelo se realizó una simulación en Simulink para obtener una aproximación inicial de los tiempos de dispensado para los volúmenes establecidos. Sin embargo, el comportamiento real del sistema también está dado por la bomba, la válvula check, las pérdidas en la tubería y las características propias de la cerveza, factores que no son representados completamente por el modelado.

Posteriormente, se aplicó la transformada de Laplace, esta es una técnica importante para el análisis y diseño de sistemas de control, esto permite convertir ecuaciones diferenciales en relaciones algebraicas que simplifican el estudio dinámico de los sistemas que se basada en las condiciones del tanque [10]. Además, se determinó la capacitancia del sistema "C", la cual se obtiene mediante el área transversal del recipiente, y la resistencia "R", que se obtiene relacionando la altura máxima del tanque con el caudal nominal de dispensado [9]. Con esto, el sistema se representa mediante una función de transferencia en un diagrama de bloques implementado en Simulink figura 6. Una vez implementado, el modelo permite obtener la respuesta del sistema para cada uno de los casos planteados. Sin embargo, debido a la naturaleza no lineal de la ecuación de Torricelli, la función de transferencia obtenida constituye una aproximación alrededor de las condiciones de funcionamiento. Esta aproximación fue utilizada únicamente como herramienta de análisis y estimación de los tiempos de dispensado.

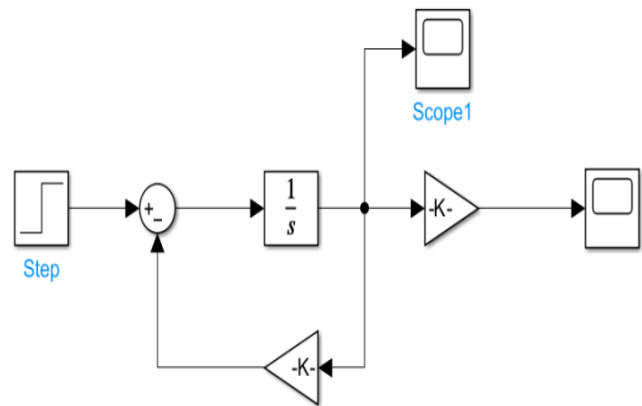


Fig. 6. Funcion de Transferencia del Modelo Matematico en Simulink

Se procede al dispensado del líquido, en donde la bomba de diafragma se activa durante los tiempos establecidos para cada uno de los volúmenes propuestos. Esta bomba está controlada por medio del pin 25, el cual se encuentra conectado a un

módulo MOSFET, utilizado debido al voltaje y consumo de corriente de la bomba. Además, se realizó la instalación de mangueras conectadas desde el recipiente de cerveza hasta la salida del dispensador. Para el monitoreo del nivel se utiliza un sensor ultrasonico, el cual calcula la distancia emitiendo ondas de sonido. Este sensor se encuentra ubicado dentro del recipiente y conectado a la ESP32. Con esto se asegura que el nivel de reserva no se agote, gracias a una alerta que se envía a la nube de Arduino cuando el nivel desciende por debajo del 10% de su capacidad.



Fig. 7. Instalacion de bomba y sensor de nivel

Por último, en la etapa de desarrollo del hardware se realizó el diseño de una placa de circuito impreso PCB mediante el software EasyEDA, que permitió llevar a cabo la distribución y conexión adecuada de todos los componentes electrónicos que conforman el sistema como se muestra en la figura 8. Para ello, inicialmente se definieron y organizaron los pines correspondientes a cada dispositivo electrónico utilizado, considerando parámetros importantes como la comunicación entre módulos, la alimentación eléctrica, la facilidad de conexión y la optimización de recursos del microcontrolador, tal como se muestra en la tabla I.

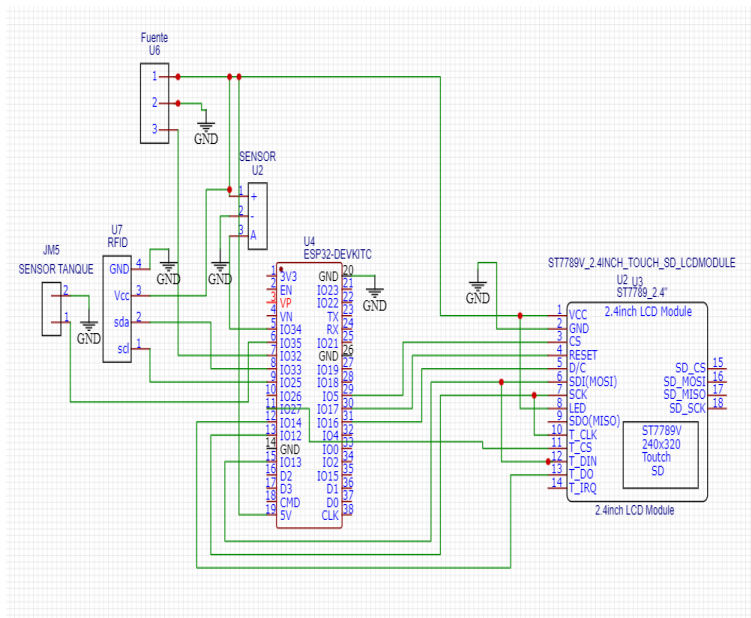


Fig. 8. Diagrama de conexiones en la plataforma EASYEDA

TABLA I
PINES UTILIZADOS EN EL SISTEMA

Pin ESP32	Dispositivo	Pin del módulo	Función
3V3	Pantalla TFT	VCC	Alimentación
GND	Pantalla TFT	GND	Tierra común
IO15	Pantalla TFT	CS	Selección SPI TFT
IO2	Pantalla TFT	RESET	Reinicio TFT
IO4	Pantalla TFT	D/C	Selección datos/comandos
IO23	Pantalla TFT	SDI (MOSI)	Datos SPI hacia TFT
IO18	Pantalla TFT	SCK	Reloj SPI
IO19	Pantalla TFT	SDO (MISO)	Datos SPI desde TFT
3V3	Pantalla TFT	LED	Retroiluminación
IO25	MOTOR	SEÑAL	SEÑAL PARA MOSFET
IO14	Touchscreen	T_CS	Selección controlador táctil
IO13	Touchscreen	T_DIN	Datos táctiles (MOSI)
IO12	Touchscreen	T_DO	Datos táctiles (MISO)
IO18	Touchscreen	T_CLK	Reloj táctil
IO27	Touchscreen	T_IRQ	Interrupción táctil
IO21	RFID PN532	SDA	Comunicación I2C
IO22	RFID PN532	SCL	Comunicación I2C
3V3	RFID PN532	VCC	Alimentación RFID
GND	RFID PN532	GND	Tierra común
GPIO34	Sensor de nivel	A	Lectura analógica
3V3	Sensor de nivel	+	Alimentación sensor
GND	Sensor de nivel	-	Tierra común

Además, durante el proceso de diseño se tomó en cuenta la

correcta distribución de pistas y su grosor, ya que esto influye a la cantidad de corriente que consume cada componente, así no existe una sobre carga y daños en el funcionamiento, también se toma en cuenta la reducción de interferencias y el aprovechamiento del espacio disponible en la placa, con el objetivo de obtener un diseño optimizado que facilite su ubicación posteriormente. Asimismo, se buscó mejorar la organización general del circuito, evitando conexiones innecesarias y facilitando futuras tareas de mantenimiento o ampliación del sistema figura 9.

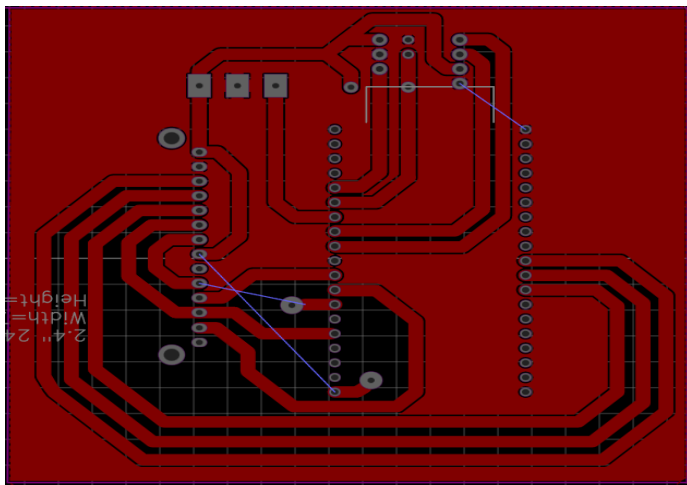


Fig. 9. Placa PCB en la plataforma EASYEDA

Se realizó un análisis del consumo del sistema considerando la corriente máxima de cada componente como se muestra en la tabla II. La bomba de diafragma representa la carga de mayor consumo, con una corriente aproximada de 2.5 A durante la dispensación, el consumo del ESP32, pantalla TFT, lector RFID y sensores, se calcula una corriente total cercana a 3 A. Considerando un margen de picos de corriente del 25 % por seguridad, se seleccionó una fuente de alimentación de 12 V y 4 A. Para el diseño de la PCB se utilizaron pistas de 2 mm en las líneas de potencia asociadas a la bomba y pistas de 0.25 mm para señales de control, garantizando una adecuada capacidad de conducción de corriente y minimizando el calentamiento de los conductores.

TABLA II

CONSUMO ESTIMADO DE CORRIENTE DE LOS DISPOSITIVOS DEL SISTEMA

Dispositivo	Voltaje (V)	Corriente (A)
ESP32	3.3	0.24
Pantalla TFT	3.3	0.15
Módulo RFID PN532	3.3	0.05
Sensor de nivel	3.3	0.01
Bomba de diafragma	12	2.50
Sensor Infrarrojo	3.3	0.02
Corriente total	-	2.97

A. Análisis de consumo energético y dimensionamiento de pistas

$$I_{control} = I_{ESP32} + I_{TFT} + I_{RFID} + I_{sensor} \quad (3)$$

Valores nominales de funcionamiento:

$$I_{control} = 0.24 + 0.15 + 0.05 + 0.01 \quad (4)$$

$$I_{control} = 0.45A \quad (5)$$

Corriente aproximada de Bomba:

$$I_{bomba} = 2.50A \quad (6)$$

Corriente total requerida por el sistema:

$$I_{total} = I_{control} + I_{bomba} \quad (7)$$

$$I_{total} = 0.45 + 2.50 \quad (8)$$

$$I_{total} = 2.95A \quad (9)$$

Margen de seguridad del 25%:

$$I_{diseño} = 1.25 \times I_{total} \quad (10)$$

$$I_{diseño} = 1.25 \times 2.95 \quad (11)$$

$$I_{diseño} = 3.69A \quad (12)$$

1) Dimensionamiento de pistas: La relación utilizada:

$$I = k\Delta T^{0.44} A^{0.725} \quad (13)$$

donde:

- I es la corriente en amperios.
- ΔT es el incremento de temperatura permitido.
- A es el área transversal de la pista en mils².
- $k = 0.048$ para pistas externas.

Despeje del área:

$$A = \left(\frac{I}{k\Delta T^{0.44}} \right)^{\frac{1}{0.725}} \quad (14)$$

Corriente máxima de:

$$I = 3.69A \quad (15)$$

Elevación de temperatura :

$$\Delta T = 10^{\circ}C \quad (16)$$

se obtiene:

$$A = 113.7 \text{ mils}^2 \quad (17)$$

$$t = 1.37 \text{ mils} \quad (18)$$

Ancho requerido:

$$W = \frac{A}{t} \quad (19)$$

$$W = \frac{113.7}{1.37} \quad (20)$$

$$W = 83 \text{ mils} \quad (21)$$

$$W = 83 \times 0.0254 \quad (22)$$

$$W = 2.11 \text{ mm} \quad (23)$$

Por lo tanto, para las líneas de alimentación de la bomba se seleccionó un ancho de pista de:

$$W_{bomba} = 2.5 \text{ mm} \quad (24)$$

Como resultado, se obtuvo una placa PCB versátil y optimizada tanto en tamaño como en eficiencia, capaz de integrar de manera adecuada todos los módulos electrónicos del proyecto. Este diseño no solo mejora la estética y presentación del sistema, sino que también incrementa la confiabilidad de funcionamiento, reduce errores de conexión y permite una instalación más segura y ordenada de los componentes electrónicos.

Después de la implementación del hardware, se procedió con el desarrollo del software. Se inició con la conexión de la ESP32 a la nube de Arduino, para lo cual es necesario agregar un dispositivo (device) en la plataforma, el cual genera un código único para la placa. Posteriormente, se crean los “things”, que permiten la lectura y escritura de las variables. En este caso, se agregaron tres variables que están vinculadas al dashboard. Cada proceso debe realizarse correctamente desde su configuración inicial, ya que de lo contrario el dashboard no mostrará los datos o la ESP32 no logrará conectarse adecuadamente a la nube. Una vez creadas las variables y el dashboard, se procede al desarrollo del sketch donde se integra todo el código para el correcto funcionamiento del sistema siguiendo la lógica que se muestra en el diagrama de flujo a continuación figura 10 .

En el código se comenzó con la programación base, la cual permite que todos los componentes trabajen en conjunto: el lector RFID, la pantalla, los sensores y la bomba. Se decidió estructurar el sistema utilizando una máquina de estados, con el objetivo de evitar bloqueos entre los diferentes procesos. Posteriormente, se integró la conexión con Arduino Cloud para la visualización de las variables en tiempo real.

IV. RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados obtenidos durante el diseño, implementación, realización de pruebas y validación del sistema automatizado de dispensado de cerveza basado en identificación RFID e integración con tecnología IoT. El análisis se realizó considerando el funcionamiento individual de cada etapa, así como el desempeño del sistema completo bajo condiciones reales de operación.

En primer lugar, para la etapa inicial se verificó el correcto funcionamiento del módulo de autenticación RFID. Durante las pruebas experimentales se registró una tasa aceptable de lectura superior al 98 % en condiciones normales de uso, con una distancia de detección promedio de 3 a 5 cm entre la tarjeta y el lector tal y como se muestra en la figura 11. Se observó que el sistema respondió de manera rápida y estable ante múltiples intentos de lectura consecutivos, sin presentar fallos de identificación y problemas de cambio de usuario. Además, se comprobó la capacidad del sistema para registrar usuarios autorizados y rechazar tarjetas no registradas, lo cual garantiza la de seguridad en el acceso. El tiempo promedio de respuesta entre la lectura de la tarjeta y la habilitación del sistema fue menor a 1 segundo, cumpliendo con los requisitos de rapidez y eficiencia para un correcto funcionamiento y dispensado de la cerveza establecidos en la etapa de diseño.

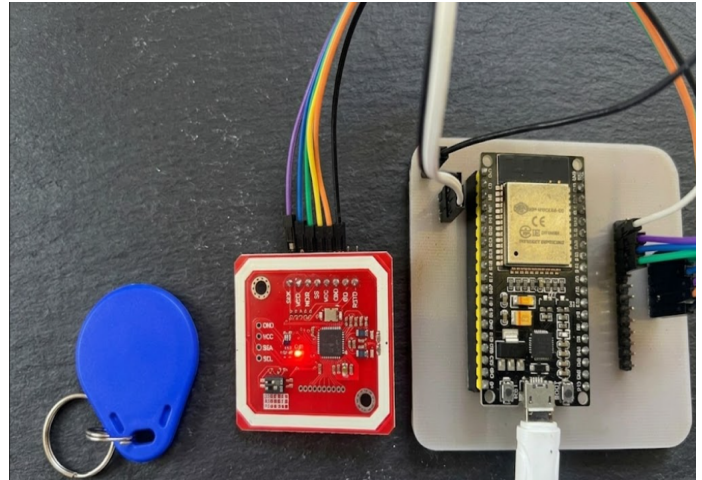


Fig. 11. Validación y Autenticación de Usuario con protocolo RFID

Una vez autenticado el usuario, se procede a la etapa de selección de volumen figura 12. Se muestra la interfaz gráfica en la pantalla touch en donde se visualiza tres opciones de dispensado. Se muestra el como se asigna un tiempo de activación específico de la motobomba. Estos tiempos no son arbitrarios, sino que se obtuvieron a partir del modelo dinámico del sistema de dispensado. Dicho modelo fue validado mediante simulación en el entorno MATLAB/Simulink obteniendo la curva de dispensado del modelo matemático, permitiendo sintonizar los tiempos de activación.

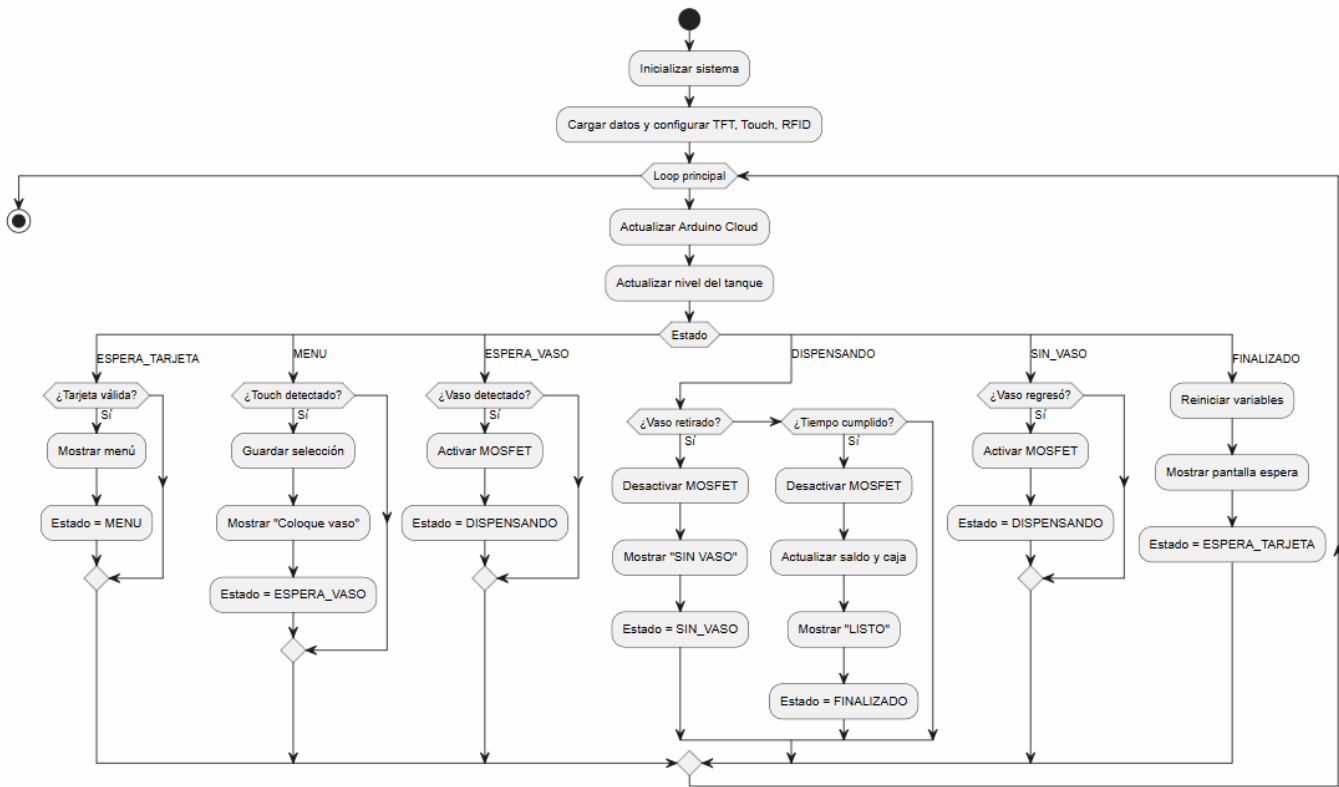


Fig. 10. Diagrama de Flujo del sistema



Fig. 12. Pantalla de selección de volumen

Sin embargo, aunque los tiempos obtenidos en MATLAB son exactos a nivel de simulación, debido a factores propios de la cerveza que alteran los parámetros ideales de simulación, fue necesario el corregir los tiempos de dispensado calculados como se muestra en las tablas III a V. Para este ajuste de tiempos de dispensado se procedió a realizar una serie de aproximado 30 ensayos y simulaciones con diferentes alturas de tanque, ya que esto influye por la presión hidrostática, así se obtuvo un tiempo promedio para la corrección en el dispensado

como se muestra en la figura 13.

TABLA III
TIEMPOS DE DISPENSADO OBTENIDOS EXPERIMENTALMENTE

Volumen en tanque	300 mL	500 mL	1 L
7 L	13.0	20.0	39.0
5 L	13.2	20.5	40.0
3 L	13.5	21.0	41.0
1 L	14.0	22.0	42.0
Promedio	13.43 Sg	20.88 Sg	40.50 Sg

TABLA IV
TIEMPOS DE DISPENSADO OBTENIDOS MEDIANTE SIMULACIÓN EN MATLAB

Volumen en tanque	300 mL	500 mL	1 L
7 L	12.0	19.0	38.0
5 L	12.2	19.4	38.8
3 L	12.5	19.8	39.6
1 L	12.9	20.5	41.0
Promedio	12.40 Sg	19.68 Sg	39.35 Sg

TABLA V
COMPARACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS DE SIMULACIÓN Y EXPERIMENTALES

Volumen	Promedio MATLAB	Promedio experimental	Error
300 mL	12.40 Sg	13.43 Sg	1.03 Sg
500 mL	19.68 Sg	20.88 Sg	1.20 Sg
1 L	39.35 Sg	40.50 Sg	1.15 Sg

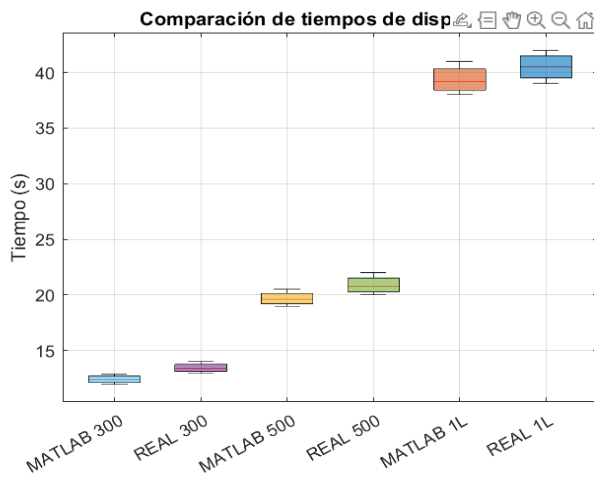


Fig. 13. Tiempos comparativos de dispensado Matlab y Ensayos

Una vez seleccionado el volumen de dispensado la subrutina en el código nos dio el aviso como una medida de seguridad para evitar derrames. El sistema indicó al usuario a través de la pantalla, que ubique el vaso en la base de dispensado en donde el sensor infrarrojo de proximidad verifica la presencia del vaso en un rango de 3 a 8 cm. En caso de no detectarse el recipiente, el código bloqueo la activación de la bomba y mantiene en pantalla el mensaje "Sin vaso" figura 14. Esta lógica es muy importante para cumplir con los requerimientos de seguridad para que el prototipo funcione correctamente. Después de que la señal del sensor verifique la posición del vaso, el microcontrolador esp32 sigue con la etapa de dispensado activando la bomba durante el tiempo calculado para cada volumen específico.



Fig. 14. Pantalla de aviso para prevención de derrames

Al finalizar la etapa de dispensado, el sistema procede a la actualización de datos en donde tendrá secciones de parte administrativa figura 15 como de ventas figura 16, estas variables muestran valor total consumido por todos los usuarios y el valor a pagar de cada uno, además de actualizarse

el nivel de inventario el cual resta el volumen de dispensado de la variable del tanque de almacenamiento, modificación de precios, volúmenes y una pequeña base de datos del sistema, en donde se actualizará los valores generados por cada día de la semana figura 16, esto permite la trazabilidad de sistema además de la facturación remota del consumo.

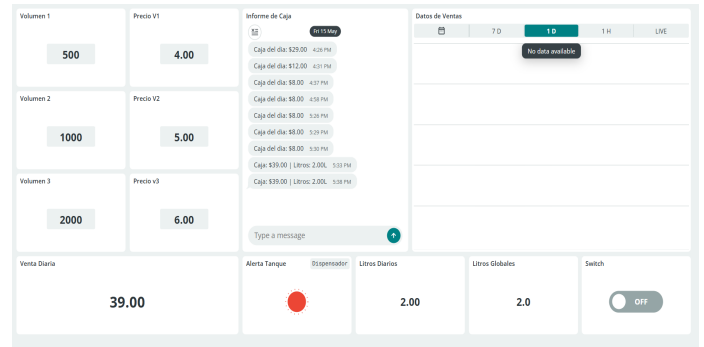


Fig. 15. Dashboard para la parte Administrativa

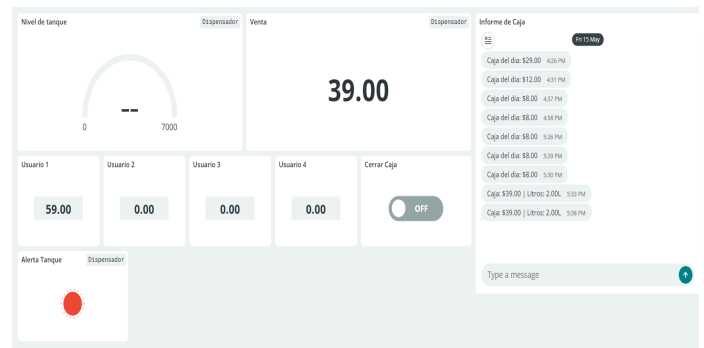


Fig. 16. Dashboard para la parte de Ventas

Finalmente, después de todas las pruebas correspondientes, se procede con la etapa final, la cual es el ensamblado del dispensador. Para esto, se optó por un diseño en 3D que cumple con los requerimientos de un dispensador; la pantalla mostrará el menú en la parte principal junto al lector RFID, con una apertura cóncava en la parte inferior de la máquina para la correcta ubicación del vaso para su llenado, tal y como se muestra en la figura 17.



Fig. 17. Ensamble final del dispensador de cerveza

V. CONCLUSIONES

Se desarrolló e implementó el sistema automatizado de dispensado de cerveza basado en identificación mediante tecnología RFID e integración con plataformas IoT, logrando mejorar la eficiencia operativa y la seguridad en la nube en comparación con métodos tradicionales.

El sistema permitió automatizar el proceso de autenticación de usuarios, selección de volumen y dispensado del líquido, obteniendo un control adecuado del acceso y reduciendo la posibilidad de consumo no autorizado. Asimismo, la implementación de una interfaz gráfica facilitó la interacción de los usuarios con el sistema.

Mediante el modelado matemático del sistema de nivel de líquidos y su análisis en el entorno MATLAB/Simulink, fue posible estimar los tiempos de activación del sistema de bombeo para cada volumen. Sin embargo, fue necesario realizar ajustes experimentales debido a factores físicos como variaciones de presión y características de la cerveza, lo cual permitió mejorar la precisión en la dosificación.

Los resultados experimentales demostraron un funcionamiento estable del sistema, con reconocimiento de usuarios, tiempos de respuesta adecuados y una correcta integración con la plataforma de Arduino Cloud para el monitoreo en tiempo real. Esto permitió obtener trazabilidad del consumo, control de inventario y visualización remota de variables del sistema. Como recomendación para futuras implementaciones se sugiere el uso de mecanismos de autenticación mediante claves Crypto1 (Key A y Key B) en tarjetas MIFARE, con el fin de fortalecer la seguridad del sistema y disminuir la posibilidad de clonación de credenciales.

Finalmente, el proyecto evidencia la viabilidad de integrar tecnologías de automatización, sistemas embebidos e Internet de las Cosas en aplicaciones reales, contribuyendo al desarrollo de soluciones eficientes y alineadas con los principios de la Industria 4.0. Como trabajo futuro, se plantea mejorar la precisión del sistema mediante sensores de flujo industrializados y mejorar los mecanismos de seguridad en la autenticación de usuarios.

REFERENCES

- [1] R. Patil, S. Satabhai, R. A. M., M. M. Koppad, and S. G. S., "Hot beverage vending machine," *International Journal of Research and Analytical Reviews*, p. 250, 2023. [Online]. Available: www.ijrar.org
- [2] L. Piarulli, L. D. Pietro, J. A. Gaspar, M. A. Teixeira, J. Sansano, L. Sousa, L. Paiva, E. Gestosa, A. Correia, R. Pinto, and G. Gonçalves, *Automation of Beer Dispensers: A Cyber-Physical System Solution*. INTELLI, 2025. [Online]. Available: <https://www.thinkmind.org>
- [3] D. P. Lanjewar, S. A. Wanjari, P. P. Kuthe, P. P. Danao, K. Patil, and U. G. Student, "Rfid card and coin based water dispensing machine," Tech. Rep., 2019. [Online]. Available: www.jetir.org
- [4] M. R. Shukla and R. Tiwari, "Automatic juice vending machine based on coin slot and rfid tag," Tech. Rep., 2023. [Online]. Available: www.ijnrd.org
- [5] D. P. C. Sekhar, "Smart coffee vending machine," *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, vol. 12, pp. 2489–2493, 4 2024.
- [6] Fábrica Nacional de Moneda y Timbre, "Fundamentos de rfid," Feb. 2022, documento técnico. Metadatos internos del PDF indican autor: Eduard. [Online]. Available: <https://www.fnmt.es/documents/10179/11665386/20240326+-+FUNDAMENTOS+DE+RFID.pdf>
- [7] L. V. M. S., G. A. C. G., O. L. R. B., and H. M. Vega, "Modelado matemático, simulación, análisis y control de un sistema hidráulico interactivo-tres tanques en serie," *Revista de Tecnología / Journal of Technology*, vol. 16, no. 1, pp. 77–98, 2017.
- [8] A. A. T. Mora and K. A. B. Ávila, "Diseño e implementación de un prototipo rfid para control de inventarios en laboratorio de la ups," Guayaquil, Ecuador, 2022.
- [9] L. A. Rodríguez Umaña, "Modelo del control de nivel y caudal de líquido en un depósito cilíndrico usando la herramienta simulink de matlab," *Cap&Cua: Ciencia, Tecnología y Cultura Revista de la Escuela de Ingenierías y Arquitectura*, no. 9, 2013, corporación Universitaria del Meta.
- [10] K. Ogata, *Modern Control Engineering*, 5th ed. Prentice Hall, 2010.