

**Diseño de un dispensador automático de medicamentos formulados para el mercado
farmacéutico de la ciudad de Bogotá**

Alejandro Cordoba Diaz

Universitaria Agustiniana
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Mecatrónica
Bogotá, D.C.
2024

**Diseño de un dispensador automático de medicamentos formulados para el mercado
farmacéutico de la ciudad de Bogotá**

Alejandro Cordoba Diaz

Director

Wilmer Cruz Guayacundo

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Mecatrónico

Universitaria Agustiniana
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Mecatrónica

Bogotá, D.C.

2024

Este trabajo está dedicado a mi padre fallecido, cuyo amor y enseñanzas siguen siendo una inspiración constante en mi vida. Agradezco su influencia y su legado, que han moldeado la persona que soy hoy. Su recuerdo siempre vivirá en mi corazón.

Agradecimientos

Agradezco primeramente a Dios por brindarme la fuerza y la guía necesarias para completar este proyecto. También quiero expresar mi profundo agradecimiento a mis dos madres, cuyo amor incondicional y apoyo constante han sido fundamentales en cada paso de este camino. Agradezco especialmente a mi tutor por su orientación experta, su paciencia y su dedicación para ayudarme a alcanzar mis metas académicas. Asimismo, agradezco a mis profesores por su invaluable enseñanza y su influencia positiva en mi desarrollo personal y profesional. Sin su apoyo, este logro no habría sido posible.

Resumen

Este proyecto investiga cómo optimizar el proceso de dispensación de medicamentos en las farmacias de Bogotá para mejorar la eficiencia y la experiencia del usuario. Se desarrolló un sistema automatizado que integra diversas tecnologías avanzadas, incluyendo control PID para la regulación precisa, sistemas de almacenaje electroneumáticos para el manejo seguro de medicamentos, detección de posición mediante barreras láser para asegurar la exactitud en la dispensación, gestión de datos mediante RFID y comunicación Wi-Fi para la supervisión y control remoto. El método consistió en diseñar y ensamblar un prototipo que combina estos elementos tecnológicos, culminando en una solución que mejora la precisión y eficiencia en la dispensación de medicamentos. Los resultados demostraron que el sistema cumple satisfactoriamente con los objetivos planteados, evidenciando un rendimiento robusto y una mejora significativa en la eficiencia y precisión en la distribución de medicamentos. Además, se resalta el gran potencial de estos sistemas en el mercado actual, su versatilidad para adaptarse a diversas aplicaciones y la importancia de contar con una base de datos sólida y bien estructurada para garantizar la precisión y rentabilidad del sistema

Palabras clave: automatización, dispensación de medicamentos, tecnologías innovadoras, optimización, eficiencia, precisión.

Abstract

This project investigates how to optimize the medication dispensing process in pharmacies in Bogotá to improve efficiency and user experience. An automated system was developed that integrates various advanced technologies, including PID control for precise regulation, electroneumatic storage systems for safe medication handling, position detection using laser barriers to ensure dispensing accuracy, RFID data management, and Wi-Fi communication for remote supervision and control. The method involved designing and assembling a prototype that combines these technological elements, resulting in a solution that enhances the precision and efficiency of medication dispensing. The results demonstrated that the system satisfactorily met the established objectives, showing robust performance and significant improvements in the efficiency and accuracy of medication distribution. Additionally, the great potential of these systems in the current market is highlighted, their versatility to adapt to various applications, and the importance of having a solid and well-structured database to ensure system precision and profitability. This abstract provides a concise and comprehensive overview of the project, emphasizing its relevance, technological innovations, and the achievements attained

Keywords: automation, medication dispensing, innovative technologies, optimization, efficiency, precision.

Tabla de contenido

1. Problema de investigación	12
1.1 Antecedentes del problema.....	12
1.2 Descripción del problema.....	16
1.3 Pregunta de investigación.....	17
2. Objetivos	18
2.1 Objetivo general	18
2.2 Objetivos específicos.....	18
3. Justificación.....	19
4. Marco de referencia.....	20
4.1 Marco teórico.....	20
4.2 Marco conceptual	26
4.2.1 Matriz QFD.....	26
4.2.2 Metodología en V	26
4.2.3 Control PID.....	26
4.2.3 Electro neumática	26
4.2.4 Tecnología RFID	26
4.2.5 Esp-01	26
4.2.6 Google Sheets	26
4.2.7 API.....	26
4.2.8 Arduino	26
4.3 Marco legal.....	27
5. Metodología	29
5.1 Tipo de investigación	29
5.2 Variables del problema.....	29
5.3 Fuentes de información	30
5.4 Instrumentos de recolección de la información	30
5.5 Tamaño poblacional y muestra.....	30
5.6 Cronograma	31
6. Establecer los requerimientos del sistema.....	32
6.1 Identificación de los Requisitos del Cliente (RC)	32

6.1.1	Requisitos Explícitos	32
6.1.2	Requisitos Implícitos	33
6.2	Identificación de Características Técnicas o Funciones	33
6.3	Características del producto para satisfacer los requisitos del cliente	36
6.4	Registro de Antecedentes y Evaluaciones Competitivas en la Matriz QFD	39
6.5	Matriz QFD	40
6.6	Análisis de la matriz QFD	41
6.7	Precisiones y aclaraciones QFD	42
7.	Metodología del Modelo en V para el diseño del prototipo	43
7.1	Elaboración del Diseño de la Carcasa	43
7.1.1	Análisis del Tamaño y Embalaje de los Medicamentos más Comunes en Bogotá	43
7.1.2	Diseño Conceptual en CAD de la Carcasa del Prototipo	45
7.1.3	Planos e especificaciones	47
7.1.3	Propiedades Físicas: Abedul y Espuma de Polietileno	47
7.1.4	Análisis de esfuerzo y deformación	49
7.1.5	Análisis de Temperatura	50
7.1.6	Implementación de la Carcasa y Validación del Diseño	51
7.2	Diseño del control PID	52
7.2.1	Modelamiento del sistema	52
7.2.2	Diseño y simulación de PID	55
7.2.3	Aplicación del control PID	57
7.3	Sistema de almacenaje	59
7.3.1	Circuito electroneumático	59
7.3.2	Barrera laser	60
7.3.3	Aplicación de sistema de almacenaje	61
7.4	Gestión de datos mediante RFID y comunicación Wifi	62
7.5	Base de datos y comunicación con Arduino	63
7.5.1	Google Sheets	64
7.5.2	WhatsApp	65
8.	Desarrollo y Validación del Prototipo de Dispensador de Medicamentos Formulados	66
8.1	Ensamblaje e Integración de Componentes	66

8.2 Integración de código	67
8.3 Verificación del Sistema.....	67
8.4 Tabla de especificaciones	69
9. Análisis beneficio – costo	70
10. Conclusiones	75
11. Recomendaciones.....	76
12. Referencias	77

Lista de tablas

Tabla 1.	Cronograma del proyecto.	31
Tabla 2.	Matriz QFD	40
Tabla 3.	Consideraciones generales del proceso de dispensación de la insulina.	45
Tabla 4.	Propiedad físicas de la madera abedul.	48
Tabla 5.	Propiedades físicas de la espuma de polietileno.	48
Tabla 6.	Parámetros del modelo.	54
Tabla 7.	Base de datos.	64
Tabla 8.	Tabla de operación.	64
Tabla 9.	Tabla de especificaciones.	69
Tabla 10.	Costos actuales	70
Tabla 11.	Costos de implementación.	71
Tabla 12.	Información Financiera.	72
Tabla 13.	Pago de inversión.	72
Tabla 14.	Reducción de costos	73
Tabla 15.	Costos de implementación	74

Lista de figuras

Figura 1.	Modelo 3D de la carcasa.	46
Figura 2.	Plano de la carcasa.	47
Figura 3.	Análisis de esfuerzo.	49
Figura 4.	Análisis de esfuerzo y deformación.	50
Figura 5.	Análisis de temperatura de 2 °C a 8 °C.	51
Figura 6.	Fotografía de la carcasa.	52
Figura 7.	Código de diseño de control PID.	56
Figura 8.	Modelo de control PID simulado.	57
Figura 9.	Graficas de simulación PID	57
Figura 10.	Código de control PID.	58
Figura 11.	Imágenes del Funcionamiento del Sistema PID de Temperatura.	59
Figura 12.	Circuito electroneumático.	60
Figura 13.	Barra laser.	61
Figura 14.	Código del sistema de distribución.	61
Figura 15.	Barrera LDR y electroneumática.	62
Figura 16.	Código del sistema de comunicación.	63
Figura 17.	Prototipo ensamblado.	67
Figura 18.	Prototipo validado.	68
Figura 19.	Costos sin implementación.	70

1. Problema de investigación

1.1 Antecedentes del problema

Desentrañando el primer antecedente relevante que se enfoca en el diseño e implementación de un prototipo de máquina dispensadora de medicamentos en forma de pastillas dirigido a personas de la tercera edad que sufren de enfermedades no transmisibles. Este proyecto propone un dispositivo de montaje superficial (SMD) con periféricos externos que permiten una interacción amigable mediante una interfaz hombre-máquina (HMI) diseñada con Nextion. El prototipo permite que los usuarios programen los horarios de suministro de medicamentos de acuerdo con sus indicaciones médicas, utilizando una pantalla intuitiva y fácil de usar, similar a la interfaz de un teléfono móvil. El diseño mecánico del dispositivo se ha optimizado para dispensar los medicamentos de manera precisa, minimizando la manipulación por parte del usuario final. El prototipo, que cuenta con cuatro contenedores para diferentes medicamentos, ha sido desarrollado considerando las necesidades específicas de las personas con enfermedades crónicas no transmisibles, logrando un cumplimiento del 85% en cuanto a la satisfacción de sus necesidades. Además, el dispositivo emite alarmas auditivas indicando el tipo de medicamento que debe ser ingerido, lo cual mejora la adherencia al tratamiento. (Pinzón & Pulido, 2016, pp. 18-48) Este antecedente proporciona un marco importante para el desarrollo del presente proyecto, que busca ofrecer soluciones innovadoras para mejorar la calidad de vida de las personas mayores con enfermedades crónicas.

El segundo referente investigativo, explora el diseño y la ejecución de una máquina dispensadora de medicamentos portátil destinada a individuos con enfermedades crónicas. En este estudio, se destacó la creación de una aplicación Android para establecer una conexión Bluetooth con el dispositivo dispensador, gestionado por un microcontrolador de 8 bits. Se implementó una base de tiempo para la activación de alarmas, y la batería de 3.7V se diseñó para proporcionar una autonomía de 48 horas con recarga automática. Las pruebas validaron la estabilidad de la comunicación Bluetooth y la programación secuencial de las alarmas, asegurando una interacción fluida y comprensible. Además, el diseño mecánico se llevó a cabo con Fusión 360 y se materializó a través de impresión 3D en la Universidad Distrital. (Pinzón & Pulido, 2016, pp. 16-77)

El tercer referente investigativo, explora el diseño e implementación de un sistema integral de control y suministro para un dispensador automático de medicamentos. En este estudio, se empleó un enfoque multifacético que integra controladores y sensores para una funcionalidad óptima. Un microcontrolador Arduino MEGA fue el núcleo del sistema, mientras que un microcomputador Raspberry Pi se encargó de gestionar la base de datos, la interfaz gráfica y las notificaciones SMS. El sistema se estructura en tres pilares fundamentales: la entrega de medicamentos, la seguridad y el abastecimiento, y el control ambiental. Se destacan logros como la optimización del movimiento de los motores, la implementación de un control de lazo cerrado con sensores, un sistema de control de temperatura PID, así como indicadores luminosos y una comunicación serial entre el microcontrolador y el computador para garantizar un rendimiento eficaz. Además, se diseñó un robusto sistema de seguridad para regular el acceso al interior de la máquina. Este prototipo, cumpliendo con las expectativas, representa un avance significativo cuya implementación en la clínica de la Universidad San Francisco de Quito permitirá ajustes acordes a las necesidades detectadas durante su uso. (Larrea & Navarrete, 2015, pp. 12-57)

En el cuarto antecedente, se presenta el diseño y construcción de un prototipo de dispensador para cajetillas de cigarrillos y/o medicamentos, solicitado por la distribuidora 'El portal de Andrea' en la zona centro de la ciudad de Tuluá. La metodología empleada inició con una exhaustiva revisión bibliográfica sobre sistemas de dispensación electromecánicos, seguida de un análisis minucioso del depósito de almacenamiento y la definición de requerimientos. Se procedió con el diseño de la estructura física, la integración de componentes mecánicos y electrónicos, y el desarrollo del software correspondiente. Los resultados revelaron un diseño eficiente y versátil que optimizó el movimiento de los motores, implementó un control de lazo cerrado con sensores y aseguró la efectividad del sistema de seguridad. La aceptación del usuario y la estabilidad del medio de dispensación destacaron como aspectos sobresalientes, demostrando el éxito del prototipo en términos de fiabilidad, efectividad, facilidad de uso y aceptación. Las pruebas realizadas permitieron identificar fortalezas y debilidades, conduciendo a ajustes que mejoraron la eficiencia y seguridad del dispensador, garantizando así un tiempo de respuesta inmediato y una interacción segura con el usuario. (Bedoya & Casallas, 2019, pp. 19-91)

El quinto antecedente, es centrado en el desarrollo de un prototipo de dispensador de medicamentos destinado a pacientes crónicos, cuidadores y servicios de salud. Este proyecto emplea conceptos de IoT para mejorar el control sobre tratamientos polifarmacéuticos. La metodología incluyó una investigación exhaustiva en sitios web, revistas científicas y artículos de Ingeniería Biomédica para comprender las tecnologías existentes y definir los requerimientos del hardware y software del prototipo. Se realizó el diseño tanto del hardware como del software, considerando las características de las herramientas disponibles y las necesidades del proyecto. La construcción física involucró elementos mecánicos y electrónicos, con pruebas para verificar su correcto funcionamiento. Se enfatizó la importancia de abordar la problemática de la no adherencia a los tratamientos mediante un enfoque conectado a IoT, que brinda acceso rápido y eficiente a la información. En las conclusiones, se destacó la claridad en la estructura de una arquitectura IoT, la utilidad de la metodología OOHDM para el desarrollo efectivo del proyecto, y la interacción entre diferentes tecnologías y protocolos en el diseño e implementación del prototipo. Las pruebas realizadas con pacientes crónicos confirmaron la utilidad del dispensador en el proceso del tratamiento médico, demostrando su potencial para mitigar el problema de la no adherencia y proporcionar información útil para cuidadores y servicios de salud. (Parra & Sánchez, 2017, pp. 15-122)

En el sexto antecedente, se aborda el diseño de un plan de negocio para un sistema mecatrónico, específicamente un dispensador de medicamentos automático, con el propósito de validar comercial y financieramente la viabilidad del proyecto en Colombia. Este proceso incluyó un estudio de mercado mediante encuestas para identificar combinaciones con mayor potencial de compra. Además, el análisis PESTEL evaluó las variables del entorno económico y social, confirmando la premisa del proyecto sobre la falta de adherencia a los tratamientos médicos. Se proyecta un retorno de inversión en 7 años con financiamiento, y se espera un crecimiento de ganancias, aproximadamente 60 millones de pesos, con proyecciones positivas a medida que se aumenta la capacidad de producción (Builes & Fernández, 2021, pp. 13-75)

El séptimo antecedente tiene como propósito diseñar un modelo operativo para los Establecimientos Farmacéuticos de Colsubsidio que dispensan medicamentos POS, con el fin de mejorar el proceso de atención a usuarios. Se llevó a cabo un estudio del trabajo siguiendo los

pasos básicos (EREDAM), que incluyen la selección del proceso a estudiar, la recopilación de datos relevantes, el análisis crítico de la información, el diseño de un método más económico, la aplicación del nuevo método y el mantenimiento del mismo. Se identificaron problemas en los procesos directos con los usuarios y en las actividades de backoffice, como la recepción técnica de pedidos. La capacitación del personal y el control periódico de los establecimientos son aspectos fundamentales para la mejora continua del servicio. La implementación del modelo permitió reducir significativamente los tiempos de servicio, con disminuciones del 35.71%, 62.26% y 22.50% en diferentes casos. Se planea aplicar este modelo también en establecimientos que manejan medicamentos de Alto Costo o de control especial.(Cañas, 2016, pp. 10-57)

El octavo y último antecedente revisado tiene como objetivo principal desarrollar un sistema de dispensación automático de fármacos de bajo coste, aplicado a oficinas de farmacia con volumen de rotación de stocks medio/bajo, evaluando su viabilidad técnica y económica. Se ha utilizado un modelo basado en redes de Petri para representar y organizar la automatización del proceso, debido a su flexibilidad y facilidad de representación de procesos concurrentes. La robotización de farmacias tiene buenas expectativas, pero su implementación dependerá de la estabilización del sector, las soluciones técnicas disponibles, su integración con la cadena logística y los costos asociados. El proyecto busca demostrar la viabilidad técnica y económica del sistema dispensador automático, abordando posibles incidencias y necesidades con algoritmos y componentes adecuados. La tecnología aplicada, como el control por PC y las comunicaciones vía Ethernet, son fundamentales para este tipo de instalaciones y abren nuevas aplicaciones en la gestión de la farmacia. Los próximos desafíos incluyen hacer estos equipos accesibles a la mayoría de las farmacias, reduciendo costos sin sacrificar prestaciones. El autor espera que este proyecto sirva como punto de partida para futuros trabajos de otras especialidades, que puedan profundizar en aspectos tratados de forma conceptual.(Garriga, 2008, pp. 7-93)

Los antecedentes del problema subrayan la necesidad imperante de optimizar el proceso de dispensación de medicamentos en las farmacias de Bogotá. La creciente demanda de atención farmacéutica y los desafíos asociados, como las largas filas, los errores en la dispensación y la falta de información clara para los pacientes, han subrayado la urgencia de soluciones eficientes y precisas. En este contexto, el diseño de un dispensador automático de medicamentos formulados

emerge como una respuesta prometedora. Este proyecto busca implementar un enfoque innovador que transforme la experiencia de los usuarios y mejore la eficiencia operativa de las farmacias. La investigación se apoyará en un análisis exhaustivo de los procesos de dispensación existentes y se centrará en el desarrollo de un prototipo funcional que aborde los desafíos identificados. En última instancia, se busca establecer un estándar de excelencia en la dispensación de medicamentos, mejorando así la calidad de los servicios farmacéuticos y la satisfacción del cliente en la ciudad.

1.2 Descripción del problema

Una farmacia eficiente opera con precisión y rapidez, donde el personal farmacéutico dispensa medicamentos con diligencia, minimizando los tiempos de espera y garantizando la seguridad de los pacientes. Sin embargo, en las farmacias de Bogotá, este ideal se ve desafiado por la congestión y los largos períodos de espera. La búsqueda manual de medicamentos agudiza esta situación, prolongando las esperas y aumentando el potencial de errores en la dispensación.

“La congestión y los largos tiempos de espera en las farmacias de Bogotá son un problema significativo que afecta tanto a los usuarios como al personal farmacéutico. Los usuarios experimentan frustración y estrés al enfrentarse a largas filas y esperas, lo que puede afectar negativamente su salud y bienestar, especialmente cuando necesitan medicamentos para ellos mismos o para seres queridos enfermos. Además, la congestión aumenta el riesgo de interacciones negativas entre clientes y trabajadores, lo que puede generar tensiones y situaciones desagradables en el entorno de la farmacia, por otro lado, el personal farmacéutico se enfrenta a una mayor presión y estrés debido a la alta demanda y los largos tiempos de espera, lo que puede afectar su capacidad para brindar un servicio de calidad y su bienestar emocional. Además, la búsqueda manual de medicamentos aumenta el riesgo de errores en la dispensación, lo que puede tener consecuencias graves para la salud y seguridad de los pacientes.” (Rodríguez Mora, 2023).

En este contexto, el diseño de un dispensador automático de medicamentos formulados busca mitigar estos problemas al agilizar el proceso de dispensación, reduciendo los tiempos de espera y mejorando la eficiencia y precisión en la entrega de medicamentos en las farmacias de Bogotá. La implementación de tecnologías innovadoras y sistemas automatizados en la dispensación de medicamentos podría revolucionar la forma en que se brinda atención farmacéutica en la ciudad, proporcionando una experiencia más rápida, segura y satisfactoria para los usuarios, al tiempo que

alivia la carga de trabajo del personal farmacéutico y reduce los riesgos asociados con la dispensación manual de medicamentos.

1.3 Pregunta de investigación

¿Cómo puede optimizarse el proceso de dispensación de medicamentos en las farmacias de Bogotá para mejorar la eficiencia y la experiencia del usuario?

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Diseñar un dispensador automático de medicamentos formulados, teniendo en cuenta los aspectos operativos y funcionales del proceso de dispensación en las farmacias de Bogotá.

2.2 Objetivos específicos

- Establecer los requerimientos necesarios para automatizar el proceso de dispensación de medicamentos formulados, mediante un análisis detallado que guíe la selección de tecnologías, la integración de sistemas y la adaptación a los estándares regulatorios y de seguridad.
- Desarrollar la metodología basada en el Modelo en V para la creación de un sistema automatizado de dispensación de medicamentos formulados, siguiendo los principios y prácticas establecidos por este enfoque metodológico formulado por la administración federal alemana.
- Elaborar un prototipo para dispensar medicamentos formulados, basado en el diseño previo, con el propósito de examinar y verificar todos los procesos relacionados con la dispensación de medicamentos.

3. Justificación

El proyecto de diseño de un dispensador automático de medicamentos formulados para el mercado farmacéutico de la ciudad de Bogotá surge como una respuesta a los desafíos presentes en el sistema de atención médica. Desde la perspectiva de un Ingeniero Mecatrónico, este proyecto se erige como una oportunidad única para aplicar conocimientos multidisciplinarios en la creación de soluciones innovadoras que aborden problemas complejos en el ámbito de la salud y el bienestar de la comunidad, la integración de tecnología y sistemas automatizados constituye un pilar fundamental en la formación y práctica del Ingeniero Mecatrónico. La capacidad para diseñar, desarrollar e implementar sistemas que combinen componentes mecánicos, electrónicos y de control es esencial para abordar los desafíos actuales en las farmacias de Bogotá. La creación de un dispensador automático de medicamentos formulados representa un ejercicio práctico de la aplicación de estos conocimientos en un contexto real y de relevancia social, el desarrollo de un dispensador automático de medicamentos formulados beneficia a múltiples partes interesadas en el sistema de atención médica de Bogotá. En primer lugar, los usuarios de las farmacias experimentan una mejora significativa en su experiencia al recibir un acceso más rápido y eficiente a los medicamentos que necesitan para mantener su salud y bienestar. La reducción de los largos tiempos de espera y la optimización del proceso de dispensación contribuyen directamente a la calidad de vida de los ciudadanos.

Por otro lado, el personal farmacéutico se beneficia de la implementación de un sistema automatizado que agiliza el proceso de dispensación y reduce la carga de trabajo manual. Esto les permite centrarse en actividades de mayor valor añadido, como el asesoramiento al usuario y la gestión de situaciones específicas, mejorando así la calidad del servicio ofrecido, además, el desarrollo de soluciones innovadoras como el dispensador automático contribuye a la mejora del sistema de salud en su conjunto. La optimización de los procesos de atención en las farmacias puede conducir a una mayor eficiencia en la entrega de medicamentos, una reducción de errores y una mejora en la experiencia general de los usuarios en el sistema de salud.

En conclusión, el proyecto de diseño de un dispensador automático de medicamentos formulados es una oportunidad única para aplicar los principios y habilidades de la ingeniería mecatrónica en beneficio de la salud y el bienestar de la comunidad de Bogotá. Mediante la integración de tecnología, la optimización de procesos y la mejora de la experiencia del usuario, este proyecto representa un paso significativo hacia la transformación positiva del sistema de atención médica en la ciudad.

4.Marco de referencia

4.1 Marco teórico

El diseño y la implementación de sistemas de almacenaje y distribución de medicamentos representan un desafío crítico en la industria farmacéutica. Este marco conceptual examina aspectos fundamentales relacionados con la calidad y eficiencia en el desarrollo de productos y servicios farmacéuticos.

La Matriz de Despliegue de la Función de Calidad es una herramienta sistemática utilizada en el proceso de diseño y desarrollo de productos y servicios. Su objetivo principal es traducir las necesidades y expectativas del cliente en características específicas del producto o servicio, así como en los procesos necesarios para su creación o prestación.(Ruiz & Rojas, 2009, pp. 4-29)

La matriz QFD se compone de dos secciones principales: la Casa de la Calidad y la Matriz de Relaciones.

- Casa de la Calidad: Es una representación gráfica de las necesidades del cliente (también conocidas como "Qués") y cómo se relacionan con las características del producto o servicio (llamadas "Cómos"). Esta casa suele tener la forma de un diagrama en forma de casa, donde las necesidades del cliente se sitúan en el tejado y las características del producto se colocan en las columnas debajo.
- Matriz de Relaciones: Es una tabla que muestra la relación entre las necesidades del cliente y las características del producto. Se asignan coeficientes que representan la importancia de cada necesidad del cliente en relación con cada característica del producto. Estos coeficientes pueden ser ponderados mediante técnicas de consenso, como la escala japonesa 1-3-9.

El proceso de creación de la matriz QFD generalmente implica varias etapas:

- Identificación de las necesidades del cliente.
- Asignación de coeficientes de importancia a estas necesidades.
- Identificación de características del producto o servicio.
- Evaluación de cómo estas características afectan a las necesidades del cliente.
- Cuantificación de objetivos para estas características.
- Priorización de las características del producto o servicio en función de su importancia y viabilidad.

El modelo V, también conocido como modelo en cuatro niveles, surge como una evolución de los métodos de desarrollo de software, teniendo sus raíces en el modelo de cascada y la teoría de sistemas. Este enfoque estructura el proceso de desarrollo en fases individuales, (Ionos, 2020) cada una de las cuales se detalla progresivamente:

- Especificaciones del sistema: Se realiza un análisis exhaustivo de los requisitos y especificaciones del sistema planificado.
- Requisitos funcionales y no funcionales: Se definen los requisitos funcionales y no funcionales necesarios para la arquitectura del sistema.
- Diseño del sistema: En esta fase se planifican los componentes del sistema y se definen las interfaces entre ellos.
- Codificación: Se lleva a cabo la implementación detallada del diseño del software.

El modelo V también incorpora actividades de control de calidad, que se alinean con cada fase de desarrollo:

- Pruebas de unidad: Se verifican los módulos individuales del software para garantizar que cumplan con las funciones requeridas.
- Pruebas de integración: Se examina la interacción entre los componentes del sistema para asegurar su correcto funcionamiento conjunto.
- Integración del sistema: Se verifica que la arquitectura del sistema cumpla con los requisitos generales definidos.
- Validación: El cliente verifica si el producto final cumple con sus expectativas y necesidades.

Este modelo se representa visualmente como la letra "V", donde el lado izquierdo describe las fases de desarrollo y el lado derecho las actividades de control de calidad. La implementación del producto se encuentra en el punto donde convergen ambos lados.

El método de los elementos finitos (MEF) es una técnica de aproximación utilizada en la ingeniería para resolver problemas continuos mediante la discretización del dominio en elementos finitos. Estos elementos finitos, que representan regiones discretas del dominio, están definidos por nodos que se conectan entre sí formando una malla. La esencia del MEF radica en transformar un

problema continuo en un modelo discreto aproximado, lo que se conoce como discretización del modelo, en el MEF, las incógnitas del problema dejan de ser funciones matemáticas y pasan a ser los valores de estas funciones en los nodos. (Frias, 2004, pp. 3-10) La solución del sistema completo sigue las reglas de los problemas discretos y se obtiene mediante el ensamblaje de los elementos. El comportamiento dentro de cada elemento se define a partir del comportamiento de los nodos, utilizando funciones de interpolación o funciones de forma adecuadas.

El método se aplica ampliamente en diversas áreas de la ingeniería, desde el análisis estructural hasta la mecánica de fluidos y la electromagnética. Es especialmente útil en problemas donde no se pueden obtener soluciones analíticas directas o cuando se requiere un análisis detallado de regiones específicas de un dominio complejo, el proceso de integración numérica, utilizando puntos de Gauss, es fundamental en el MEF para evaluar tensiones, deformaciones y otras magnitudes físicas en los elementos. Además, se emplean técnicas de mallado adaptativo para controlar y reducir los errores asociados con la discretización del modelo, como el refinamiento del tamaño del elemento o el aumento del grado del polinomio de interpolación. (Frias, 2004)

El control automático constituye un elemento fundamental en la ingeniería, orientado a mantener o modificar el comportamiento de sistemas dinámicos para cumplir determinados criterios de desempeño. Dentro de este ámbito, los Controladores PID (Proporcional, Integral y Derivativo) han sido ampliamente empleados debido a su versatilidad y eficacia en diversas aplicaciones industriales. Los Controladores PID combinan tres acciones principales: Proporcional (P), Integral (I) y Derivativa (D). La acción proporcional responde al error actual, la acción integral maneja el error acumulado a lo largo del tiempo y la acción derivativa anticipa la tendencia del error en el futuro. Este esquema básico de control PID, introducido en 2007, ha demostrado ser robusto y adaptable a distintos sistemas. (García, 2007, pp. 2-18)

Los parámetros clave de un Controlador PID son la constante de proporcionalidad (K_p), la constante de tiempo integral (T_i) y la constante de tiempo derivativa (T_d). Ajustar estos parámetros de manera adecuada es crucial para alcanzar un rendimiento óptimo del sistema controlado. Se proponen reglas heurísticas de ajuste que incluyen manipular cada parámetro de forma secuencial para lograr las características de respuesta deseadas.

El funcionamiento de las electroválvulas y los cilindros neumáticos se basa en principios electromecánicos estándar. Las electroválvulas, dispositivos electromecánicos que regulan el flujo de aire en sistemas neumáticos, operan mediante la activación de un solenoide por corriente eléctrica. Este solenoide, al recibir corriente, genera una fuerza electromagnética que actúa sobre la válvula, cambiando su posición y controlando así el flujo de aire, en cuanto a los cilindros neumáticos, su funcionamiento implica la conversión de energía del aire comprimido en energía mecánica lineal. Un pistón dentro del cilindro se mueve cuando el aire comprimido entra en el cilindro, empujando el pistón en una dirección específica. Cuando la electroválvula se desactiva y permite que el aire escape, el pistón vuelve a su posición original. (Delgado, 2023, pp. 1-20)

La lógica de operación de estos sistemas depende de las señales eléctricas recibidas y las necesidades de la aplicación. La secuencia de activación de las electroválvulas determina el movimiento del cilindro neumático, pudiendo ser desde una simple extensión hasta secuencias más complejas. Esta lógica puede implementarse mediante dispositivos de control como PLCs, paneles de control u otros dispositivos de automatización.

La tecnología RFID utiliza ondas electromagnéticas para la transmisión de la señal que contiene la información almacenada en las etiquetas electrónicas. A diferencia de los códigos de barras convencionales, el RFID no requiere contacto físico o visual entre el dispositivo lector y las etiquetas para su lectura. Esto permite una captura de información sin necesidad de intervención humana directa, lo que resulta en una mayor eficiencia y automatización de procesos, las etiquetas RFID constan de un microchip con memoria y una antena. Pueden clasificarse en etiquetas activas y pasivas, dependiendo de si cuentan con su propia fuente de energía o aprovechan la energía suministrada por el lector RFID, respectivamente. Esta distinción afecta el alcance de lectura y el tamaño de las etiquetas, siendo las etiquetas pasivas más económicas y compactas. (Huidobro, 2008, pp. 1-10)

El módulo ESP-01 es un dispositivo que forma parte de la familia de chips ESP8266, conocidos por su capacidad para proporcionar acceso a redes Wifi de manera eficiente y a bajo costo. El ESP-01 integra un conjunto de funciones de red Wifi en un pequeño paquete, lo que lo hace ideal para aplicaciones de IoT (Internet de las cosas) y proyectos que requieren conectividad inalámbrica.

El funcionamiento del módulo ESP-01 se basa en el uso de comandos AT (ATtention), un conjunto de instrucciones predefinidas que permiten interactuar con el dispositivo de manera serial. Estos comandos AT proporcionan una interfaz sencilla para configurar y controlar diversas funciones del módulo, como la conexión a una red Wifi, la configuración de parámetros de red, el envío y recepción de datos, entre otros, al utilizar los comandos AT, los usuarios pueden programar el módulo ESP-01 para realizar diversas tareas, como enviar datos a través de Internet, recibir comandos remotos, interactuar con otros dispositivos conectados a la red, y más. Esta flexibilidad y facilidad de uso hacen que el ESP-01 sea una opción popular para proyectos de IoT y aplicaciones que requieren conectividad Wifi. (Naylamp, 2023)

Las bases de datos en Google Sheets se pueden crear mediante un proceso estructurado. En primer lugar, es fundamental organizar los datos en la hoja de cálculo siguiendo un formato tabular simple, con encabezados de columna para cada tipo de información. Luego, se establece la conexión de la hoja de cálculo con una fuente de datos en Looker Studio, donde se definen los campos y métricas pertinentes para el análisis posterior. Después, se procede a ajustar nombres y compartir el acceso según las necesidades específicas. Esta fuente de datos se convierte en la base para la generación de informes y visualizaciones que facilitan la comprensión y el análisis de los datos almacenados en Google Sheets. (Soporte de Google, 2024)

Una API, o Interfaz de Programación de Aplicaciones, permite que dos sistemas informáticos se comuniquen entre sí y compartan datos de manera estructurada. Funciona como un conjunto de reglas y protocolos que define cómo se pueden solicitar y enviar datos entre las aplicaciones. (Fernández, 2019)

IFTTT (If This Then That) es una plataforma que permite la automatización de tareas entre diferentes servicios y dispositivos en línea. Utiliza el concepto de "applets" que consisten en acciones condicionales del tipo "si sucede esto, entonces haz aquello", Los Webhooks son una forma de recibir información en tiempo real desde otras aplicaciones o servicios web. Funcionan mediante la creación de URLs personalizadas que actúan como puntos de conexión para recibir datos cuando ocurre un evento específico en otra aplicación. Cuando se activa el evento, la

aplicación emisora envía una solicitud HTTP a la URL del Webhook, lo que desencadena una acción predefinida en la aplicación receptora. (Fernández, 2019)

Twilio es una plataforma de comunicaciones en la nube que ofrece APIs para enviar y recibir mensajes de texto (SMS), hacer y recibir llamadas telefónicas, enviar mensajes multimedia y otros servicios de comunicación. A través de la API de Twilio, los desarrolladores pueden integrar fácilmente la funcionalidad de mensajería de texto y voz en sus aplicaciones. Esto permite implementar características como la verificación de números de teléfono, el envío de notificaciones por SMS y la automatización de interacciones con los usuarios mediante mensajes de texto. Twilio se puede programar utilizando Python desde una página web para interactuar con su API y aprovechar sus servicios de comunicación en aplicaciones web. (Parker, 2019)

La programación de Arduino se realiza a través del entorno de desarrollo integrado (IDE) de Arduino, que proporciona una plataforma accesible para escribir, verificar y cargar código en las placas Arduino. Después de instalar el IDE en su computadora y conectar la placa Arduino mediante un cable USB, el usuario abre el entorno de programación donde puede escribir su código en el lenguaje de programación de Arduino, basado en C/C++. Una vez escrito el código, se verifica la ausencia de errores y se carga en la placa Arduino, lo que permite ejecutar el programa en el hardware conectado. Durante este proceso, el IDE compila el código y lo envía a la placa a través del puerto serie, facilitando así el desarrollo de proyectos electrónicos incluso para aquellos con poca experiencia en programación. (Fernández, 2022)

4.2 Marco conceptual

4.2.1 Matriz QFD

es una herramienta que relaciona las necesidades del cliente con las características del producto o servicio, permitiendo priorizar áreas de mejora para garantizar la satisfacción del cliente.

4.2.2 Metodología en V

Es un modelo de desarrollo que organiza las fases de análisis, diseño y desarrollo en el lado izquierdo de una "V", y las fases de verificación y validación en el lado derecho. Representa la relación entre las actividades de desarrollo y las de control de calidad.

4.2.3 Control PID

Es un método de ingeniería que utiliza tres acciones para regular sistemas dinámicos: Proporcional, Integral y Derivativa.

4.2.3 Electro neumática

Es la integración de la electricidad y la neumática para automatizar sistemas industriales mediante el control de dispositivos electromecánicos que regulan el flujo de aire comprimido.

4.2.4 Tecnología RFID

Es un sistema de identificación que utiliza etiquetas electrónicas con microchips y antenas para transmitir datos de forma inalámbrica a través de ondas electromagnéticas, permitiendo la captura automática de información sin contacto físico directo.

4.2.5 Esp-01

Utiliza comandos AT para configurar y controlar el módulo a través de una interfaz serial, permitiendo la conexión a redes Wifi y el intercambio de datos de manera sencilla.

4.2.6 Google Sheets

Es una herramienta de hojas de cálculo en línea desarrollada por Google que permite crear, editar y colaborar en documentos de manera simultánea a través de Internet.

4.2.7 API

Es un conjunto de reglas y protocolos que permiten que diferentes sistemas informáticos se comuniquen entre sí de manera estructurada y segura.

4.2.8 Arduino

Es una plataforma de electrónica de código abierto con hardware y software libre, diseñada para facilitar la creación de dispositivos electrónicos controlados por microcontroladores

4.3 Marco legal

El proyecto estará sujeto al cumplimiento del Decreto 2200/2005, el cual regula el servicio farmacéutico y establece disposiciones para cualquier proceso de distribución de medicamentos en Colombia. El estricto seguimiento de estos lineamientos legales es fundamental para evitar errores que puedan tener graves consecuencias para los clientes de la farmacia automática.

Decreto 2200/2005: por el cual se reglamenta el servicio farmacéutico y se dictan otras disposiciones. Regula las actividades y/o procesos propios del servicio farmacéutico.

Decreto 2200/2005 - Artículo 18. Distribución de medicamentos. La distribución física de medicamentos estará regulada por las normas técnicas que expida el Ministerio de la Protección Social. El embalaje y/o transporte de productos farmacéuticos forman parte de la distribución intrahospitalaria o física y deberán ser tenidos en cuenta en el desarrollo del modelo de gestión del servicio farmacéutico.

Decreto 2200/2005 - Artículo 19. Obligaciones del dispensador. Son obligaciones del dispensador:

1. Verificar que la prescripción esté elaborada por el personal de salud competente y autorizado y que cumpla con las características y contenido de la prescripción, establecidos en el presente decreto.
2. Verificar que las preparaciones: magistrales, extemporáneas, estériles; nutrición parenteral; y, mezclas de medicamentos oncológicos, contengan en el rótulo o etiquetas la información sobre el paciente hospitalizado o ambulatorio, según el caso; de la preparación o de la mezcla; y, la firma del responsable.
3. Exigir la prescripción para aquellos medicamentos en los que aparezca en la etiqueta la leyenda "Venta Bajo Fórmula Médica".
4. No dispensar y consultar al prescriptor cuando identifique en una prescripción posibles errores, con el fin de no incurrir en falta contra la ética profesional.
5. Verificar y controlar que los medicamentos dispensados correspondan a los prescritos.
6. Informar al usuario sobre los aspectos indispensables que garanticen el efecto terapéutico y promuevan el uso adecuado de los medicamentos, tales como: condiciones de almacenamiento, cómo reconstituirlos, cómo medir la dosis, qué cuidados debe tener en la administración, interacciones con alimentos y otros medicamentos, advertencias sobre efectos adversos, contraindicaciones y la importancia de la adherencia a la terapia. Cuando

la dirección técnica de la Droguería, esté a cargo de persona que no ostente título de Químico Farmacéutico o Tecnólogo en Regencia de Farmacia la información que debe ofrecer al paciente está señalada en el artículo 3º del presente decreto.

7. Brindar a los usuarios pautas sobre el uso adecuado de los medicamentos de venta sin prescripción facultativa o de venta libre.
8. Recibir la capacitación ofrecida por las entidades oficiales o de otros actores del Sector Salud y/o capacitarse continuamente en los conocimientos teóricos y destrezas necesarias en el ejercicio del cargo u oficio, a fin de ir aumentando progresivamente las competencias laborales.

Decreto 2200/2005 - Artículo 20. Prohibiciones del dispensador. El dispensador no podrá:

1. Adulterar o modificar en cualquier forma la prescripción.
2. Cambiar el principio activo, concentración, forma farmacéutica, vía de administración, frecuencia, cantidad y la dosis prescrita.
3. Dispensar medicamentos alterados o fraudulentos.
4. Violar la reserva a que está obligado por razón de la función que desempeña.
5. Recomendar a los usuarios la utilización de medicamentos.
6. Tener muestras médicas de medicamentos.
7. Tener envases y empaques vacíos, en el servicio farmacéutico, o en aquellos establecimientos farmacéuticos que no estén autorizados para realizar los procesos de reenvase o reempaque de medicamentos.

Decreto 2200/2005 - Artículo 24. Información. El servicio farmacéutico debe ofrecer a los pacientes, al equipo de salud, a las autoridades del Sector y a la comunidad, información oportuna, completa, veraz, independiente, de calidad y sustentada en evidencia científica sobre medicamentos y dispositivos médicos. La información que solicite una persona sobre el uso adecuado de los medicamentos será ofrecida por el director del servicio farmacéutico o establecimiento farmacéutico minorista.

5. Metodología

5.1 Tipo de investigación

Este proyecto de investigación cuantitativa se orienta principalmente hacia la mejora de la eficiencia en el sector de dispensación de medicamentos a través de la mejora de procesos productivos con énfasis en investigación tecnológica aplicada que se centra en el aumento de la eficacia de procesos productivos que normalmente lo hace un empleado humano donde se puede cometer errores y dañar el proceso tan importante de la distribución de medicamentos.

Este proyecto de investigación se clasifica como un proyecto cuantitativo por varias razones importantes. En primer lugar, pretende medir cuantitativamente variables relacionadas con la eficiencia de la industria de entrega de medicamentos. Estas mediciones cuantitativas incluyen aspectos como tiempos de procesamiento y tasas de error, proporcionando una base objetiva para analizar los procesos de fabricación, además, el enfoque de investigación incluye el uso de herramientas estadísticas y matemáticas para analizar los datos recopilados. Estos métodos permiten la interpretación correcta y rigurosa de la información cuantitativa, contribuyendo a la validez y confiabilidad de los resultados obtenidos, otra característica de la investigación cuantitativa es su capacidad para producir resultados replicables y generalizables. En este caso, los resultados de la investigación se pueden aplicar en una variedad de situaciones de administración de medicamentos, aumentando su relevancia y utilidad práctica.

5.2 Variables del problema

En este proyecto, la temperatura y la humedad son variables críticas que deben ser rigurosamente controladas para garantizar la integridad y eficacia de los medicamentos almacenados. La temperatura, que refleja la energía cinética de las partículas, puede afectar la estabilidad de ciertos fármacos, mientras que la humedad, medida como la cantidad de vapor de agua en el aire, puede incidir en la calidad del producto final y en el consumo energético. Además, la identificación única de los usuarios y el conocimiento de los tipos de medicamentos más solicitados en Bogotá son aspectos fundamentales para una gestión eficiente de inventario y una atención al cliente satisfactoria.

5.3 Fuentes de información

La mayor parte de la información necesaria para desarrollar el proyecto se obtendrá del Mega Catálogo de la Universidad Agustiniana, con un enfoque particular en las bases de datos y repositorios institucionales. Esto permitirá abordar diversos aspectos, como los controles y el diseño de la farmacia automática. Del mismo modo, se consultarán los libros disponibles en la biblioteca de la universidad para comprender los conceptos de termodinámica y electroneumática.

En cuanto a la investigación sobre la distribución legal de medicamentos, se considerará indispensable basarse en todos los reglamentos establecidos por la Secretaría de Salud en la ciudad de Bogotá y el Ministerio de Salud en Colombia. Esto incluirá aspectos clave como el almacenamiento, las temperaturas máximas y mínimas requeridas, así como la concentración de humedad mínima permitida

5.4 Instrumentos de recolección de la información

Se empleó Google Formularios para su implementación debido a su facilidad de uso y accesibilidad, la muestra de la encuesta se basó en la población de usuarios de Sanitas que han utilizado los servicios de farmacias automáticas. El formulario se distribuyó a través de un enlace público, permitiendo la participación de cualquier individuo que cumpliera con los criterios de haber utilizado servicios de farmacias automáticas de Sanitas. Se promovió la participación mediante diversos canales en línea y redes sociales, asegurando una amplia representación de la población objetivo.

5.5 Tamaño poblacional y muestra

El proyecto de investigación está dirigido a diversas audiencias implicadas en el ámbito de la salud y la distribución de medicamentos. Su enfoque principal consiste en mejorar la eficiencia y calidad del suministro de medicamentos mediante la optimización de los procesos de producción. El propósito fundamental de este estudio es proporcionar información relevante a profesionales de la salud, administradores de establecimientos sanitarios, investigadores, académicos, así como a agencias reguladoras y de políticas de salud

5.6 Cronograma

Tabla 1.

Cronograma del proyecto

Actividad	% Avance	Duración en meses																																							
		Agosto				Septie				Octubre				Noviem				Diciemb				Enero				Febrero				Marzo				Abril				Mayo			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
Diseño de un dispensador automático de medicamentos formulados para el mercado farmacéutico																																									
Fase de análisis																																									
Analisis del contexto	100%	■																																							
Establecer los requerimientos del sistema	100%	■																																							
Fase de diseño																																									
Revisión de normativa para la distribución de medicamentos	100%	■																																							
Diseño de la carcasa del prototipo	100%		■																																						
Prueba de temperatura del prototipo	100%			■																																					
Diseño del sistema de control PID	100%			■	■																																				
Prueba del diseño de control PID	100%				■																																				
Diseño del sistema de distribución electro neumático	100%					■	■																																		
Prueba del sistema de distribución electro neumático	100%						■																																		
Diseño del sistema de almacenaje	100%							■																																	
Prueba del sistema de almacenaje	100%								■																																
Diseño del sistema de recolección de datos	100%									■	■																														
Prueba del sistema de recolección de datos	100%										■																														
Diseño del sistema de comunicación	100%											■	■																												
Prueba del sistema de comunicación	100%												■																												
Fase de implementación																																									
Montaje del sistema de control PID	100%																																								
Montaje del sistema de distribución electro neumático	100%																																								
Montaje del sistema de almacenaje	100%																																								
Montaje del sistema de recolección de datos	100%																																								
Montaje del sistema de comunicación	100%																																								
Empalme de todos el código del programa	95%																																								
Fase de evaluación y control																																									
Prueba del prototipo con el sistema de control PID implementado																																									
Prueba del sistema de distribución electro neumático implementado																																									
Prueba del sistema de almacenaje implementado																																									
Prueba del sistema de recolección de datos implementado																																									
Análisis de resultados																																									
Evaluación de resultados																																									
Formulación de estrategias y ajustes																																									
Entrega del proyecto																																									
Final del proyecto																																									

Nota. Autoría propia.

6. Establecer los requerimientos del sistema

En este proyecto, el objetivo primordial es establecer los requisitos necesarios para automatizar el proceso de dispensación de medicamentos formulados. Esto se llevará a cabo mediante un análisis detallado que guiará la selección de tecnologías, la integración de sistemas y la adaptación a los estándares regulatorios y de seguridad. Para lograr este objetivo, se utilizará una matriz QFD (Despliegue de la Función de la Calidad) como herramienta principal, la cual se alimentará con información obtenida a través de encuestas dirigidas exclusivamente a pacientes. Este enfoque permitirá identificar de manera precisa las necesidades y expectativas de los usuarios finales, así como los requisitos técnicos necesarios para el desarrollo exitoso del dispensador automático de medicamentos formulados.

6.1 Identificación de los Requisitos del Cliente (RC)

Inicialmente se revisan los resultados de la encuesta (ver anexo 1) sobre las farmacias de EPS en Bogotá para identificar las principales demandas y expectativas de los clientes. Estas incluyen aspectos como el tiempo de espera en la entrega de medicamentos, la disponibilidad de una amplia gama de medicamentos, la calidad del servicio al cliente, entre otros; A partir de los datos proporcionados sobre la encuesta de las farmacias de EPS en Bogotá, se cuenta con una lista de posibles requisitos del cliente, tanto explícitos como implícitos:

6.1.1 Requisitos Explícitos

- Tiempo de espera reducido: los clientes desean que el tiempo de espera para recoger sus medicamentos sea mínimo.
- Disponibilidad de medicamentos: esperan encontrar una amplia gama de medicamentos disponibles en las farmacias de EPS.
- Atención amable y respetuosa: los clientes esperan ser tratados con cortesía y respeto por parte del personal de la farmacia.
- Información clara sobre medicamentos: esperan recibir información clara y comprensible sobre el uso y las dosis de los medicamentos que están recibiendo.
- Proceso de pedido eficiente: Los clientes desean que el proceso de pedido y recogida de medicamentos sea rápido y sin complicaciones.

6.1.2 Requisitos Implícitos

- Seguridad en el suministro de medicamentos: aunque no se menciona específicamente, los clientes esperan que los medicamentos que reciben sean seguros y de calidad.
- Confianza en la farmacia: los clientes esperan poder confiar en que la farmacia cumplirá con sus necesidades de medicamentos de manera oportuna y eficiente.
- Comodidad y facilidad de acceso: esperan que la ubicación de la farmacia sea conveniente y que el proceso de recogida de medicamentos sea fácil de realizar.
- Personal competente y bien capacitado: aunque no se menciona explícitamente, los clientes esperan que el personal de la farmacia esté bien capacitado para brindar asesoramiento sobre medicamentos y responder a sus preguntas.
- Precios justos y transparentes: aunque puede no haberse mencionado directamente en la encuesta, los clientes esperan que los precios de los medicamentos sean justos y transparentes.

6.2 Identificación de Características Técnicas o Funciones

Guiados por los principios y conocimientos fundamentales de la ingeniería mecatrónica, se aborda el desafío de identificar soluciones que cumplan con los requisitos de los clientes en el diseño de la máquina dispensadora de medicamentos. Se busca aplicar los conceptos y metodologías propios de la ingeniería mecatrónica para garantizar la eficiencia y efectividad del sistema, al tiempo que se consideran las necesidades y expectativas de los usuarios finales. Este enfoque integral permite desarrollar soluciones que sean tanto técnicamente sólidas como orientadas a satisfacer las demandas específicas del mercado y los usuarios

- Tiempo de espera reducido: la optimización del proceso para garantizar tiempos mínimos de espera, la implementación de un sistema de gestión de colas eficiente que pueda predecir y reducir los tiempos de espera, y la integración de notificaciones en tiempo real a través de WhatsApp para informar a los clientes sobre la disponibilidad y el tiempo de espera estimado de sus medicamentos.
- Disponibilidad de medicamentos: se propone implementar un control de inventario en tiempo real para asegurar la disponibilidad continua de medicamentos, junto con un sistema de alerta automática que notifique al personal cuando un medicamento esté alcanzando niveles bajos de existencia. Además, se considera integrar una función de

reabastecimiento automático que solicite automáticamente más medicamentos cuando sea necesario, asegurando así una gestión eficiente y continua del inventario farmacéutico.

- Atención amable y respetuosa: se plantea la creación de una interfaz de usuario intuitiva y amigable que garantice una experiencia positiva para el cliente, así como la incorporación de mensajes personalizados a través de WhatsApp para ofrecer asistencia y soporte de manera amable y respetuosa. Además, se propone capacitar al personal para interactuar de manera cortés y servicial con los clientes en caso de que sea necesaria su intervención, asegurando así un servicio de calidad y una atención al cliente satisfactoria.
- Información clara sobre medicamentos: se sugiere la instalación de una pantalla interactiva con información detallada sobre cada medicamento, así como un enlace a recursos en línea a través de WhatsApp para proporcionar información adicional. Además, se propone una función de voz para leer las instrucciones de dosificación y los efectos secundarios, asegurando una comprensión clara por parte del cliente.
- Proceso de pedido eficiente: se plantea la implementación de un sistema de pedido en línea integrado que permita a los clientes realizar pedidos desde su hogar, junto con capacidades de programación de pedidos automáticos para medicamentos de uso regular. Además, se propone la confirmación instantánea de pedidos a través de WhatsApp, brindando al cliente información actualizada sobre el estado de su pedido de manera eficiente.
- Seguridad en el suministro de medicamentos: la implementación de un sistema de autenticación seguro para garantizar la dispensación solo de medicamentos autorizados, el monitoreo continuo de la temperatura y las condiciones de almacenamiento para preservar la eficacia de los medicamentos, y la integración de un sistema de registro de auditoría para rastrear cada dispensación y garantizar la trazabilidad y seguridad del suministro de medicamentos.
- Confianza en la farmacia: la incorporación de un mecanismo de retroalimentación del cliente en la máquina para recopilar comentarios y evaluar la satisfacción del cliente. Además, se plantea la transparencia en el proceso de dispensación, incluyendo la visualización de la fecha de caducidad y la información del lote para cada medicamento dispensado. Asimismo, se sugiere una función de notificación anticipada a través de

WhatsApp para informar a los clientes sobre cualquier cambio en la disponibilidad o el precio de los medicamentos.

- Comodidad y facilidad de acceso: se proponen mejoras en el diseño y la ubicación de las máquinas dispensadoras, incluyendo un diseño ergonómico y accesible para garantizar la comodidad y facilidad de uso para clientes de todas las edades y habilidades. Se sugiere también la ubicación estratégica de las máquinas en lugares de alto tráfico para maximizar la accesibilidad y conveniencia para los clientes. Además, se plantea la integración de una función de búsqueda rápida y filtrado de medicamentos para facilitar la navegación y selección de productos.
- Personal competente y bien capacitado: se proponen mejoras en la experiencia del usuario de la máquina dispensadora, como una interfaz intuitiva y auto explicativa que requiera mínima intervención por parte del personal para su funcionamiento. Se sugiere capacitar al personal de servicio para ofrecer asistencia y soporte adicional a los clientes que necesiten ayuda con la máquina dispensadora. Además, se plantea la integración de una función de asistencia remota a través de WhatsApp para permitir que el personal responda preguntas y brinde orientación en tiempo real, mejorando así la accesibilidad y la experiencia del cliente.
- Precios justos y transparentes: se proponen mejoras en la transparencia y accesibilidad de la información sobre precios de los medicamentos en la interfaz de usuario de la máquina dispensadora, incluyendo una visualización clara de los precios. Se sugiere también incorporar una función de comparación de precios que muestre alternativas más económicas cuando estén disponibles. Además, se plantea la inclusión de un enlace a recursos en línea a través de WhatsApp para proporcionar información adicional sobre los precios y las políticas de facturación, facilitando así la toma de decisiones de los clientes y mejorando su experiencia.

6.3 Características del producto para satisfacer los requisitos del cliente

En esta sección, se detallan las características del producto diseñadas específicamente para satisfacer los requisitos y expectativas identificados por los clientes durante el proceso de encuesta. Cada característica del producto ha sido cuidadosamente seleccionada para abordar las necesidades clave del cliente y mejorar la experiencia general del usuario. Este enfoque garantiza que el producto final esté alineado con las demandas del mercado y que ofrezca soluciones efectivas y pertinentes a las preocupaciones planteadas por los usuarios.

- **Tiempo de Espera Reducido - Optimización del Proceso de Dispensación para Garantizar Tiempos Mínimos de Espera:** se fundamenta en la necesidad de reducir los tiempos de espera en la farmacia, según lo expresado por los clientes en la encuesta. Esta medida no solo mejora la satisfacción del cliente al ofrecer un servicio más ágil, sino que también fortalece la eficiencia operativa al aumentar la productividad del personal. Además, alineada con las expectativas del mercado, esta estrategia mejora la competitividad de la farmacia y fomenta la fidelización de los clientes al ofrecer una experiencia más fluida y rápida.
- **Disponibilidad de medicamentos - Control de inventario en tiempo real para garantizar la disponibilidad constante de medicamentos:** se fundamenta en la necesidad primordial de mantener una disponibilidad constante de medicamentos en la farmacia, como indicaron los clientes en la encuesta. Esta medida optimiza la gestión de existencias y previene la escasez de medicamentos, mejorando la eficiencia operativa al permitir una reposición oportuna de los productos agotados. Además, al alinearse con las expectativas del mercado, esta estrategia mejora la competitividad de la farmacia y genera confianza entre los clientes al ofrecer un servicio más confiable y consistente.
- **Atención amable y respetuosa - incorporación de mensajes personalizados a través de WhatsApp para ofrecer asistencia y soporte al cliente de manera amable y respetuosa** La decisión de incorporar mensajes personalizados a través de WhatsApp: se justifica en la necesidad de brindar asistencia y soporte cercanos y respetuosos al cliente, según lo expresado en la encuesta. Esto mejora la comunicación y la accesibilidad para los clientes, fortaleciendo la relación al ofrecer un canal de comunicación directo y eficiente. Además, al alinearse con las expectativas del mercado, esta estrategia demuestra el

compromiso de la farmacia con el servicio al cliente y su adaptación a las tecnologías de comunicación actuales.

- Información clara sobre medicamentos - Enlace a recursos adicionales en línea a través de WhatsApp para proporcionar información adicional sobre los medicamentos dispensados: Se fundamenta en la necesidad de brindar a los clientes acceso a información detallada sobre los medicamentos, según lo expresado en la encuesta. Esta medida facilita a los clientes obtener información relevante sobre sus medicamentos y promueve la educación del paciente y su autocuidado. Además, al alinearse con las expectativas del mercado, esta estrategia muestra el compromiso de la farmacia con la atención integral del cliente y el uso de tecnologías modernas para mejorar la experiencia del usuario.
- Proceso de pedido eficiente - Confirmación instantánea de pedidos a través de WhatsApp, proporcionando al cliente información actualizada sobre el estado de su pedido: Se basa en la necesidad de brindar a los clientes una experiencia de compra transparente y satisfactoria, según lo expresado en la encuesta. Esta medida mejora la comunicación y la confianza del cliente al proporcionar información actualizada sobre el estado de su pedido de manera instantánea, reduciendo la incertidumbre y la ansiedad asociadas con la espera. Además, al alinearse con las expectativas del mercado, esta estrategia muestra el compromiso de la farmacia con la atención al cliente y el uso de tecnologías modernas para mejorar la experiencia del usuario.
- Seguridad en el suministro de medicamentos - Monitoreo continuo de la temperatura y las condiciones de almacenamiento de los medicamentos para garantizar su integridad y eficacia: Se puede fundamentar en la necesidad crítica de preservar la integridad y eficacia de los medicamentos, según lo expresado por los clientes en la encuesta. Esta medida asegura que los medicamentos se mantengan dentro de los rangos de temperatura adecuados, protegiéndolos contra posibles daños y degradación que podrían comprometer su eficacia y seguridad. Además, al alinearse con las expectativas del mercado, esta estrategia demuestra el compromiso de la farmacia con la calidad y la seguridad de los productos que ofrece a sus clientes.

- Confianza en la farmacia - Función de notificación anticipada a través de WhatsApp para informar a los clientes sobre cualquier cambio en la disponibilidad o el precio de los medicamentos. La elección de implementar una función de notificación anticipada a través de WhatsApp se basa en la necesidad de mantener a los clientes informados y actualizados sobre cualquier cambio relevante en la disponibilidad o el precio de los medicamentos, como lo expresaron en la encuesta. Esta medida no solo mejora la comunicación y la transparencia entre la farmacia y los clientes, sino que también les permite tomar decisiones informadas sobre sus tratamientos y opciones de medicamentos. Además, alineada con las expectativas del mercado, esta estrategia demuestra el compromiso de la farmacia con la satisfacción del cliente y su disposición a utilizar tecnologías modernas para mejorar la experiencia del usuario.
- Comodidad y facilidad de acceso - Diseño ergonómico y accesible de la máquina dispensadora para garantizar la comodidad y la facilidad de uso para clientes de todas las edades y habilidades: se basa en la necesidad de proporcionar una experiencia de uso cómoda y fácil para todos los clientes, según indicado en la encuesta. Este enfoque garantiza que la máquina dispensadora sea intuitiva y segura de usar, lo que contribuye a una mayor satisfacción del cliente y a una experiencia de usuario positiva. Además, al alinearse con las expectativas del mercado, esta estrategia refleja el compromiso de la farmacia con la inclusión y la accesibilidad, valores fundamentales en la prestación de servicios de salud.
- Personal competente y bien capacitado - Integración de una función de asistencia remota a través de WhatsApp para permitir que el personal responda preguntas y brinde orientación en tiempo real: Se fundamenta en la necesidad de ofrecer un canal de comunicación conveniente y accesible para que los clientes reciban respuestas a sus preguntas y orientación en tiempo real, según indicado en la encuesta. Esta función facilita la interacción entre el personal y los clientes, mejorando la experiencia del usuario al brindar un servicio de asistencia rápido y eficiente. Además, al alinearse con las expectativas del mercado, esta estrategia muestra el compromiso de la farmacia con la atención al cliente y la utilización de tecnologías modernas para mejorar la calidad del servicio.

- Precios justos y transparentes - La elección de proporcionar un enlace a recursos en línea a través de WhatsApp: Se basa en la necesidad expresada en la encuesta. Esta medida mejora la transparencia y accesibilidad de la información para los clientes, permitiéndoles revisar los precios y políticas de facturación en su propio tiempo y conveniencia. Además, al alinearse con las expectativas del mercado, esta estrategia muestra el compromiso de la farmacia con la satisfacción y la confianza del cliente al proporcionar información clara y detallada sobre sus servicios.

6.4 Registro de Antecedentes y Evaluaciones Competitivas en la Matriz QFD

En esta sección, se ha evaluado individualmente una selección aleatoria de cuatro antecedentes relevantes para el proyecto, junto con nuestra propia máquina. Los resultados de estas evaluaciones, junto con las calificaciones obtenidas, se han registrado meticulosamente en la matriz QFD (Despliegue de la Función de Calidad). Cada antecedente abordó aspectos específicos relacionados con el diseño, la implementación o el desarrollo de productos similares, proporcionando valiosos conocimientos sobre las prácticas y los enfoques previamente empleados en la industria. Además, las evaluaciones competitivas del cliente y técnica se han incluido en la matriz QFD, detallando las percepciones del cliente sobre la calidad del producto y la evaluación técnica competitiva en comparación con otros productos del mercado. Este análisis integral de antecedentes y evaluaciones competitivas contribuirá significativamente a la toma de decisiones informadas y al desarrollo efectivo del proyecto, incluida nuestra propia máquina.

Nota. Matriz QFD. Es un formato ya establecido y los datos suministrados son de la encuesta y los antecedentes. Autoría propia.

6.6 Análisis de la matriz QFD

Una vez realizada la matriz QFD se pueden identificar los requerimientos funcionales que impactan en mayor proporción las demandas del cliente, y se presentaran por orden del peso relativo calculado por la matriz:

- Optimización del proceso de dispensación para garantizar tiempos mínimos de espera: El objetivo de este requisito funcional es implementar un sistema de gestión de colas eficiente y procesos automatizados para reducir el tiempo de espera de los clientes en la máquina dispensadora de medicamentos, garantizando así una experiencia rápida y eficiente. Esta iniciativa cobra importancia debido a que el peso relativo asignado al requisito es del 13% dentro del análisis de la matriz QFD, lo que indica su relevancia significativa en comparación con otros aspectos del producto que influyen en la satisfacción del cliente.
- Control de inventario en tiempo real para garantizar la disponibilidad constante de medicamentos: El objetivo principal de este requisito funcional es mantener un inventario actualizado y diversificado en la máquina dispensadora de medicamentos, implementando un sistema de seguimiento en tiempo real que garantice la disponibilidad constante de los medicamentos más solicitados por los clientes. Con un peso relativo del 12% dentro del análisis de la matriz QFD.
- Monitoreo continuo de la temperatura y las condiciones de almacenamiento de los medicamentos para garantizar su integridad y eficacia: El propósito principal de este requisito funcional es garantizar la seguridad y la integridad de los medicamentos dispensados a través de la máquina, implementando medidas de control de calidad, monitoreo de temperatura y registro de auditoría para asegurar un suministro confiable y seguro. Con un peso relativo del 11% dentro del análisis de la matriz QFD.
- Diseño ergonómico y accesible de la máquina dispensadora para garantizar la comodidad y la facilidad de uso para clientes de todas las edades y habilidades: El

objetivo fundamental de este requisito funcional es diseñar la máquina dispensadora para que sea fácilmente accesible y conveniente para todos los clientes, independientemente de su edad o habilidades. Esto se logrará mediante la ubicación estratégica de la máquina y la implementación de funciones de búsqueda y selección intuitivas. Con un peso relativo del 11% dentro del análisis de la matriz QFD.

- Para los requisitos restantes, con un peso relativo del 9%, se sugiere una solución enfocada en la comunicación y la educación del cliente sobre el uso adecuado de medicamentos. La propuesta incluye la implementación de mecanismos de comunicación a través de WhatsApp y otras aplicaciones similares para ofrecer información sobre dosis, recordatorios de reabastecimiento y consejos de salud. Esta estrategia busca mejorar la conformidad del cliente y promover una relación más estrecha entre el cliente y el servicio de dispensación de medicamentos, fomentando una experiencia satisfactoria y segura para el usuario.

6.7 Precisiones y aclaraciones QFD

En la encuesta realizada, dos de los requisitos más solicitados por los clientes fueron la disponibilidad de personal competente y bien capacitado, así como la transparencia y justicia en los precios de los medicamentos. Es importante destacar que el proyecto de investigación se centra en la automatización del proceso de dispensación de medicamentos, lo que implica reducir la intervención humana al mínimo. Por lo tanto, la presencia de personal competente y capacitado en la farmacia no es parte del alcance de nuestro proyecto. Respecto a la transparencia y justicia en los precios, es importante señalar que al tratarse de entidades médicas, los precios de los medicamentos están sujetos a regulaciones y políticas internas que escapan al control directo de nuestro proyecto. A pesar de estas limitaciones, estamos comprometidos a garantizar la calidad y eficiencia en la dispensación de medicamentos, priorizando la seguridad y satisfacción del cliente en todas nuestras operaciones.

7. Metodología del Modelo en V para el diseño del prototipo

El objetivo del diseño del sistema es desarrollar una arquitectura robusta y funcional que permita la implementación efectiva de los requisitos del cliente y del sistema. Este proceso implicará la definición de la estructura general del sistema, la elaboración de diseños detallados para cada componente y la creación de prototipos para validar la viabilidad y la usabilidad del diseño. Se espera que el diseño resultante proporcione una base sólida para la implementación del sistema y garantice su eficacia y fiabilidad en el cumplimiento de los objetivos del proyecto.

7.1 Elaboración del Diseño de la Carcasa

Para iniciar el proceso de diseño de la carcasa del prototipo, nos basaremos principalmente en el análisis del QFD, centrándonos en el requisito funcional de garantizar un diseño ergonómico y accesible de la máquina dispensadora. Este enfoque nos permitirá asegurar la comodidad y facilidad de uso para clientes de todas las edades y habilidades. Además, nos enfocaremos en investigar y determinar el tamaño medio de las cajas de los 5 medicamentos más formulados en Bogotá. Integrar estas dos consideraciones nos permitirá diseñar una carcasa que se ajuste adecuadamente a las necesidades del usuario y al tamaño de los medicamentos más comunes en la ciudad de Bogotá.

7.1.1 Análisis del Tamaño y Embalaje de los Medicamentos más Comunes en Bogotá

Según informes y estudios previos del Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia, algunos de los medicamentos más recetados en Bogotá, Colombia, incluyen:

Acetaminofén:

- Las cajas suelen tener dimensiones que van desde aproximadamente 4 cm x 2 cm x 2 cm hasta 10 cm x 5 cm x 5 cm, dependiendo de la cantidad de tabletas en el empaque y la presentación (por ejemplo, cápsulas, comprimidos, suspensión, etc.).

Ibuprofeno:

- Las cajas suelen tener dimensiones que van desde aproximadamente 4 cm x 2 cm x 2 cm hasta 10 cm x 5 cm x 5 cm, dependiendo de la cantidad de tabletas en el empaque y la presentación (por ejemplo, cápsulas, comprimidos, suspensión, etc.).

Omeprazol:

- las tabletas de omeprazol suelen tener una forma redonda, y las cajas suelen tener dimensiones que van desde aproximadamente 4 cm x 2 cm x 2 cm hasta 10 cm x 5 cm x 5 cm, dependiendo de la cantidad de tabletas en el empaque y la presentación (por ejemplo, cápsulas, comprimidos, suspensión, etc.).

Metformina:

- las cajas suelen tener dimensiones que van desde aproximadamente 4 cm x 2 cm x 2 cm hasta 10 cm x 5 cm x 5 cm, dependiendo de la cantidad de tabletas en el empaque y la presentación (por ejemplo, cápsulas, comprimidos, suspensión, etc.).

Atorvastatina:

- las cajas suelen tener dimensiones que van desde aproximadamente 4 cm x 2 cm x 2 cm hasta 10 cm x 5 cm x 5 cm, dependiendo de la cantidad de tabletas en el empaque y la presentación (por ejemplo, cápsulas, comprimidos, suspensión, etc.).

Insulina:

- Esta medicina no es tan recetada ya que el porcentaje de personas enfermas de diabetes oscila entre un 2,77% y 3,93% sin embargo para el proyecto va a ser importante porque va a hacer el medicamento con la menor temperatura de almacenaje y será el pilar que asegura nuestro proyecto; La insulina utilizada para el tratamiento de la diabetes se produce a partir de células de bacterias modificadas genéticamente y se presenta en diferentes formas y concentraciones, a continuación se presentan algunas consideraciones generales:

Tabla 3.

Consideraciones generales del proceso de dispensación de la insulina.

Aspecto de Almacenamiento de Insulina	Descripción
Temperatura	La insulina debe ser almacenada en la nevera a una temperatura entre 2 y 8 grados Celsius. No debe ser congelada ni expuesta a temperaturas extremas de calor o frío.
Protección contra la luz	La insulina debe ser protegida de la luz directa del sol y de la luz artificial intensa. Algunos fabricantes recomiendan almacenar la insulina en su envase original, que está diseñado para protegerla de la luz.
Posición de almacenamiento	La insulina debe ser almacenada en posición vertical. No se recomienda almacenar la insulina en posición horizontal o boca abajo.
No sacudir	No se debe agitar la insulina antes de su uso. La agitación puede causar burbujas que afecten la dosificación correcta.
Almacenamiento de insulina en uso	La insulina en uso puede ser almacenada fuera de la nevera a temperatura ambiente durante un período limitado de tiempo, que varía según el tipo de insulina y las recomendaciones del fabricante. La insulina que no está en uso debe ser almacenada en la nevera.

Nota. Esta información esta sacada directamente de la página de Administración de Alimentos y Medicamentos de los estados unidos.

7.1.2 Diseño Conceptual en CAD de la Carcasa del Prototipo

Basándose en los requisitos del sistema y las especificaciones de diseño previamente establecidas, el enfoque se centra en la creación de representaciones digitales precisas de la carcasa del prototipo. A través del uso del software CAD, se traducirán los requisitos del sistema en modelos tridimensionales detallados que reflejen tanto la estructura física como la funcionalidad del prototipo. Este proceso está orientado a garantizar que la carcasa cumpla con los estándares de

diseño y las necesidades del proyecto, proporcionando así una base sólida para la implementación y las pruebas subsiguientes.

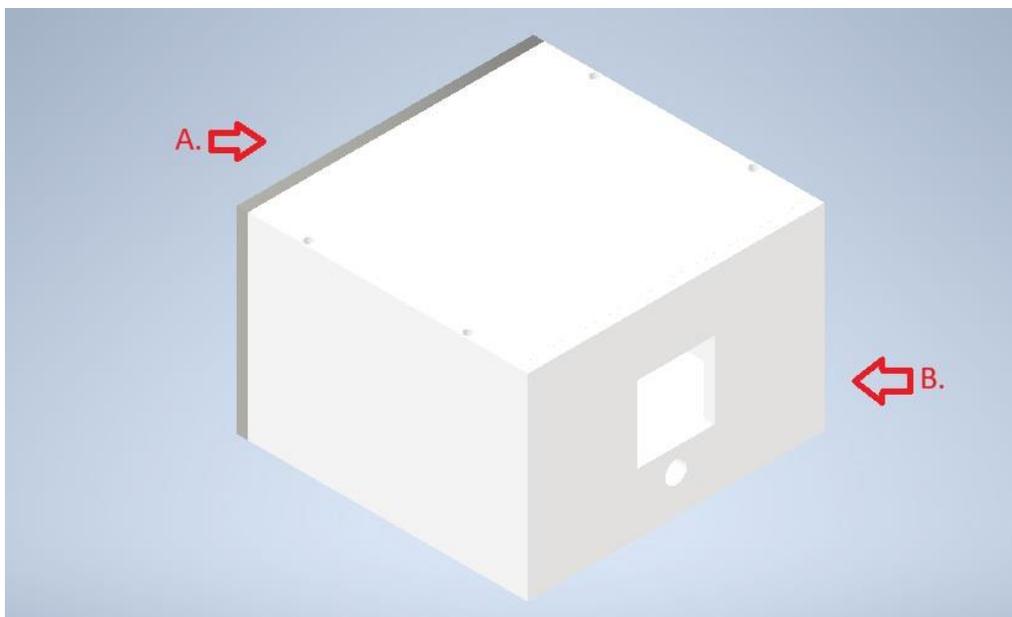


Figura 1. Modelo 3D de la carcasa. Autoría propia.

El numeral A. es la parte delantera de la carcasa y donde se caerán los medicamentos mientras que en numeral B. es la parte trasera y es donde quedaran la mayoría de actuadores de control.

7.1.3 Planos e especificaciones

En esta fase del proyecto, se procederá a la elaboración detallada de los planos que representan cada elemento del diseño.

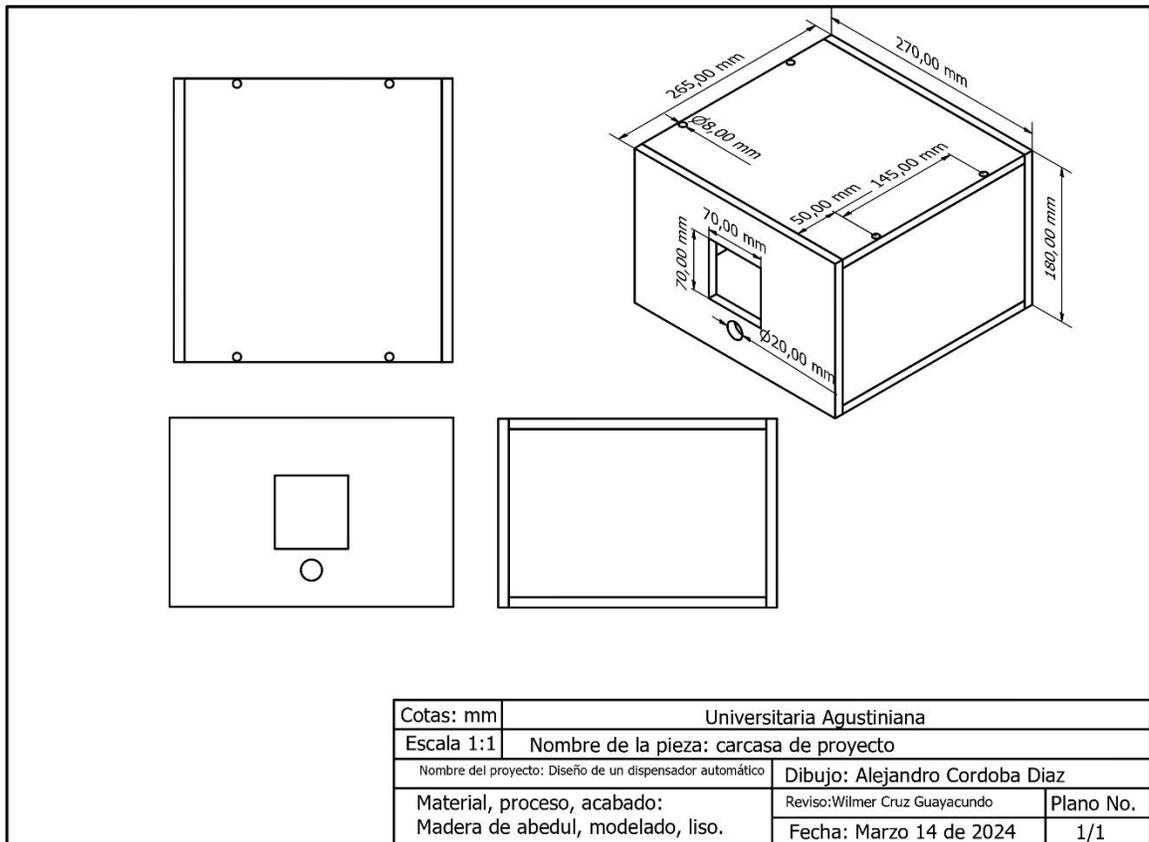


Figura 2. Plano de la carcasa. Autoría propia.

7.1.3 Propiedades Físicas: Abedul y Espuma de Polietileno

Las propiedades físicas del abedul y de la espuma de polietileno son fundamentales en una variedad de aplicaciones debido a sus características únicas. El abedul, valorado por su resistencia, ligereza y facilidad de trabajo, se utiliza en la fabricación de muebles, revestimientos interiores y estructuras arquitectónicas. Por otro lado, la espuma de polietileno es conocida por su ligereza, capacidad de amortiguación y resistencia a la humedad, siendo utilizado en embalajes, aislamientos y aplicaciones médicas, entre otros. Comprender estas propiedades es esencial para seleccionar el

material adecuado para cada aplicación y garantizar su rendimiento óptimo en diversas condiciones ambientales y de uso.

Tabla 4.

Propiedades físicas de la madera abedul

Propiedad	Valor
Calor específico	1.200 J/(g·°C)
Coefficiente térmico	0.100 $\mu\text{m}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$
Conductividad térmica	1.000 W/(m·K)
Densidad	0.550 g/cm ³
Resistencia al plegado	107.285 MPa
Resistencia a compresión (perpendicular a la veta)	6.700 MPa
Resistencia a compresión (paralelo a la veta)	56.330 MPa
Resistencia al corte (paralelo a la veta)	13.000 MPa
Resistencia a tracción (paralelo a la veta)	100.000 MPa
Resistencia a tracción (perpendicular a la veta)	6.300 MPa
Límite de elasticidad	56.298 MPa
Resistencia máxima a tracción	6.300 MPa

Nota. Tomado de Autodesk Inventor.

Tabla 5.

Propiedades físicas de la espuma de polietileno

Propiedad	Valor
Calor específico	1.500 J/(g·°C)
Coefficiente térmico	0.100 $\mu\text{m}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$
Conductividad térmica	3.200E-02 W/(m·K)
Densidad	0.015 g/cm ³

Coefficiente de amortiguamiento	0.00
---------------------------------	------

Nota. Tomado de Autodesk Inventor.

7.1.4 Análisis de esfuerzo y deformación

En el análisis estático del modelo de medicamentos en Autodesk Inventor, se han definido y aplicado Condiciones de Contorno para simular las condiciones operativas del diseño. La BC1 representa la gravedad, aplicada sobre una de las caras del modelo, con una magnitud de 9.8 N hacia abajo. La BC2 modela la carga equivalente al peso de cuatro cajas de medicamentos, con una magnitud de 19.6 N, aplicada hacia abajo sobre la cara donde estarían apoyados estos medicamentos, los cálculos para determinar estas magnitudes se realizaron mediante la conversión del peso total de las cajas (200 gramos) a newtons, considerando la aceleración gravitatoria estándar de 9.8 m/s^2 .

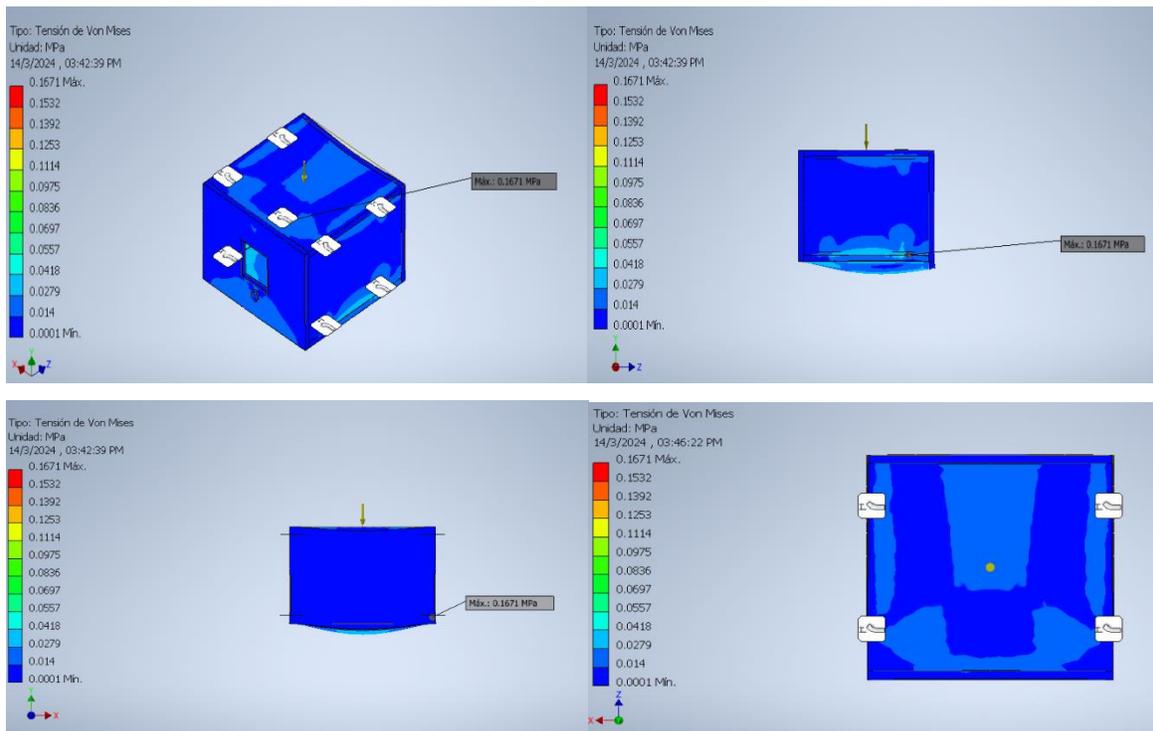


Figura 3. Análisis de esfuerzo. Autoría propia.

El análisis de esfuerzo reveló que la parte más vulnerable de la carcasa es la cara compuesta por espuma de polietileno. Sin embargo, este hallazgo no debe generar preocupación excesiva. Es importante destacar que el material en cuestión exhibe propiedades elásticas, lo que significa que tiene la capacidad inherente de deformarse bajo carga y luego regresar a su forma original una vez retirada la carga. Esta característica confiere al elemento una capacidad de absorción de impactos,

especialmente en aplicaciones donde se espera cierta flexibilidad. Además, el diseño general de la carcasa y la distribución de cargas no exceden los límites de resistencia del material, lo que sugiere que, a pesar de la debilidad identificada, la estructura en su conjunto es capaz de soportar las tensiones operativas sin experimentar fallos catastróficos. Por lo tanto, se puede concluir que la presencia de esta debilidad específica no compromete la funcionalidad ni la seguridad del producto.

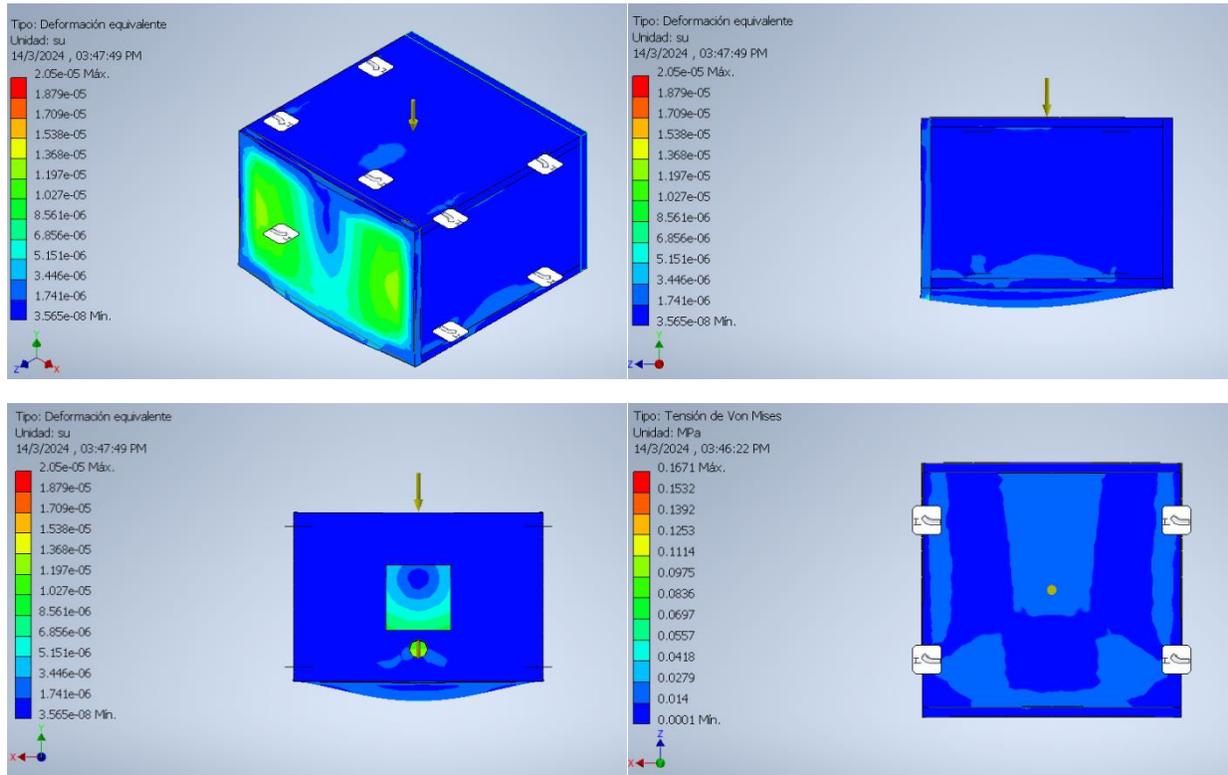


Figura 4. Análisis de esfuerzo y deformación. Autoría propia.

El análisis de deformación se puede destacar que el material de madera apenas experimentó movimientos significativos bajo las cargas aplicadas. Esta observación se debe a las características intrínsecas de la madera, que se caracteriza por su rigidez y resistencia. A pesar de que otros materiales pueden mostrar una mayor deformación en condiciones similares, la madera exhibe una menor capacidad de flexión debido a su naturaleza dura y densa. Esta cualidad confiere al material una notable estabilidad dimensional, lo que lo hace adecuado para aplicaciones donde se requiere resistencia a la deformación.

7.1.5 Análisis de Temperatura

La realización de un análisis térmico de la carcasa se justifica por las condiciones específicas de almacenamiento de los medicamentos que albergará. Con temperaturas que oscilan entre 2°C y

8°C, es crucial asegurar que la estructura de la carcasa sea capaz de mantener un entorno térmico adecuado para preservar la integridad y eficacia de los medicamentos. Para garantizar esto, se utilizará Autodesk Nastran, una herramienta de análisis de elementos finitos ampliamente reconocida por su capacidad para simular el comportamiento térmico de estructuras complejas.

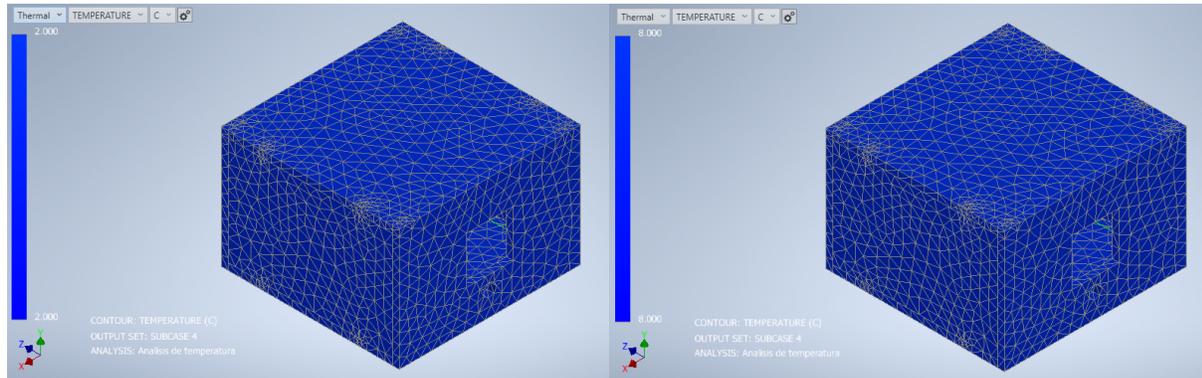


Figura 5. Análisis de temperatura de 2 °C a 8 °C. Autoría propia.

Se llevó a cabo un análisis térmico utilizando Autodesk Nastran, simulando dos condiciones de temperatura: 3 y 8 grados Celsius. Durante la simulación, se mantuvo la temperatura constante en ambos escenarios. Los resultados indicaron un comportamiento satisfactorio del sistema bajo estas condiciones térmicas, con una distribución uniforme de la temperatura dentro de la carcasa. Se observó que, incluso en el extremo inferior del rango de temperatura, es decir, a 3 grados Celsius, la carcasa pudo mantener una temperatura interna adecuada para el almacenamiento de los medicamentos.

7.1.6 Implementación de la Carcasa y Validación del Diseño

Después de completar con éxito los análisis de tensión y temperatura, se confirmó la idoneidad de la carcasa diseñada para el proyecto y se procedió a su fabricación.



Figura 6. Fotografía de la carcasa. Autoría propia.

7.2 Diseño del control PID

La implementación del control PID desempeña un papel fundamental en el monitoreo continuo de la temperatura y las condiciones de almacenamiento de los medicamentos. Este sistema de control proporciona una regulación precisa de la temperatura dentro de la máquina dispensadora, asegurando así la integridad y eficacia de los medicamentos almacenados. Al mantener condiciones óptimas de temperatura, se minimiza el riesgo de deterioro de los medicamentos y se garantiza su calidad. Este control, con un peso relativo significativo del 11% dentro del análisis de la matriz QFD, subraya su importancia crítica en el proceso de dispensación de medicamentos para mantener un suministro seguro y confiable. Como se evidenció en la matriz QFD, uno de los requisitos fundamentales es el monitoreo continuo de la temperatura y las condiciones de almacenamiento de los medicamentos.

7.2.1 Modelamiento del sistema

El sistema es un entorno cerrado y se va a controlar la temperatura mediante Arduino y sus actuadores. En primer lugar, se cuenta con un ventilador Cooler con disipador, este ventilador es controlado mediante el módulo L298N y tiene la capacidad de absorber el calor en el sistema cerrado. En segundo lugar, se dispone de una celda Peltier que está conectada al mismo módulo L298N donde se controlara el suministro de energía y estará adherida al disipador del Cooler. Y en tercer lugar, se cuenta con un sensor DTH11 para la medición de temperatura. Dado que el sistema es principalmente térmico y la transferencia de calor ocurre predominantemente a través de la conducción y la convección, se ha elegido emplear la ecuación de balance de energía térmica para modelar su comportamiento.

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = Q_{in} - Q_{out}$$

Q_{in} es el flujo de calor entrante o la cantidad de calor que entra al sistema. Representar la tasa de calor que se agrega al sistema y Q_{out} es el flujo de calor saliente o la cantidad de calor que sale del sistema. Puede representar la tasa de calor que se pierde del sistema.

$$Q_{in} = \alpha Q_i$$

Q_{in} es igual a Q_i que es el porcentaje de salida del calentador y el parámetro α es un factor que relaciona la salida del calentador de (0 al 100%) con la potencia disipada en vatios.

$$Q_{out} = Kt(T - T_{\infty}) + \epsilon\sigma A(T^4 - T_{\infty}^4)$$

Donde el primer termino $Kt(T - T_{\infty})$ viene dado por ley de enfriamiento de newton y el segundo $\epsilon\sigma A(T^4 - T_{\infty}^4)$ viene dado por la ley de Stefan Boltzmann, Kt es la constante de perdida para el ambiente, T es la temperatura del sistema, T_{∞} es la temperatura del entorno, ϵ es la emisividad del sistema, σ es la constante de Stefan-Boltzmann y A es el área de superficie del sistema expuesta al entorno.

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \alpha Q_i - Kt(T - T_{\infty}) - \epsilon\sigma A(T^4 - T_{\infty}^4)$$

$$Kt = UA$$

Kt se puede expresar U que es el coeficiente de transferencia de calor y A es el área reemplazando los valores quedarían tal que así:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \alpha Q_i - UA(T - T_{\infty}) - \epsilon\sigma A(T^4 - T_{\infty}^4)$$

Utilizando el concepto de derivada

$$\frac{dQ}{dt} = \alpha Q_i - Kt(T - T_{\infty}) - \epsilon\sigma A(T^4 - T_{\infty}^4)$$

Operando el calor liberado o absorbido utilizando el calor especifico “cp”, la masa “m”, y el cambio de temperatura ($T - T_{ref}$) se reemplaza en la ecuación

$$Q = m_{cp}(T - T_{ref})$$

$$m_{cp} \frac{dT}{dt} - m_{cp} \frac{dT_{ref}}{dt} = \alpha Q_i - Kt(T - T_{\infty}) - \epsilon\sigma A(T^4 - T_{\infty}^4)$$

Se sabe que toda derivada de una constante es 0, entonces la ecuación que definirá el sistema de ambiente del trabaja de investigación quedaría así:

$$m_{cp} \frac{dT}{dt} = \alpha Qi - Kt(T - T_{\infty}) - \epsilon \sigma A(T^4 - T_{\infty}^4)$$

Los valores reales del modelo se darán en la siguiente tabla:

Tabla 6.

Parámetros del modelo.

Constante	Valor
Temperatura Inicial (T ₀)	25 °C (298.15 °K)
Temperatura ambiente (T _∞)	25 °C (298.15 °K)
Salida del calentador (Q)	50 W
Factor del calentador (α)	0.5 W/(%Heater)
Capacidad calorífica (cp)	0.0540J/(kg-K)
Área de la superficie (A)	3402 cm ² (0.003408m ²)
Masa (m)	3.10 Kg
Coefficiente de transferencia de calor (U)	106400 W(m ² -K)
Emisividad (ε)	0.85
Constante Stefan Boltzmann (σ)	5.67x10 ⁻⁸ W/w ² - K ⁴

Nota. Los valores fueron calculados por medio de los datasheet de los componentes de control. Autoría propia.

Se debe hallar el punto de equilibrio para representar el estado en el cual las fuerzas térmicas que actúan sobre el sistema se compensan mutuamente.

$$m_{cp} \frac{dT}{dt} = \alpha Qi - Kt(T - T_{\infty}) - \epsilon \sigma A(T^4 - T_{\infty}^4)$$

$$f(T, Q_i) = \frac{dT}{dt} = \frac{\alpha}{m_{cp}} Q_i + \frac{UA}{m_{cp}} (T_{\infty} - T) + \frac{\epsilon \sigma A}{m_{cp}} (T_{\infty}^4 - T^4)$$

$$0 = \alpha Q_{is} + UA(T_{\infty s} - T_s) + \epsilon \sigma A(T_{\infty s}^4 - T_s^4)$$

$$(\epsilon \sigma A)T_s^4 + (UA)T_s - (\alpha Q_{is} + UAT_{\infty s} + \epsilon \sigma AT_{\infty s}^4) = 0$$

T_s sera la raiz real y poztiva

Esta información nos servirá para hallar la función de transferencia, se parte del término T^4 que convierte la ecuación a una no lineal y se debe aplicar el proceso de linealización del modelo utilizando las series de Taylor.

$$f(T, Q_i) = \frac{dT}{dt} = \frac{\alpha}{m_{cp}} Q_i + \frac{UA}{m_{cp}} (T_\infty - T) + \frac{\epsilon\sigma A}{m_{cp}} (T_\infty^4 - T^4)$$

$$\frac{dT}{dt} = \left. \frac{\partial f}{\partial T} \right|_{T_s, Q_{is}} (T - T_s) + \left. \frac{\partial f}{\partial Q_i} \right|_{T_s, Q_{is}} (Q_i - Q_{is}) + f(T_s, Q_{is})$$

$$\frac{dT}{dt} = \left(-\frac{UA}{m_{cp}} - \frac{4\epsilon\sigma A}{m_{cp}} T_s^3 \right) \Delta T + \left(\frac{\alpha}{m_{cp}} \right) \Delta Q + \left. \frac{dT}{dt} \right|_{T_s, Q_{is}}$$

$$\frac{d\Delta T}{dt} = \left(-\frac{UA}{m_{cp}} - \frac{4\epsilon\sigma A}{m_{cp}} T_s^3 \right) \Delta T + \left(\frac{\alpha}{m_{cp}} \right) \Delta Q$$

Cuando se le aplica la transformada de Laplace a la ecuación quedaría tal que así:

$$\Delta T(s)s = \left(-\frac{UA}{m_{cp}} - \frac{4\epsilon\sigma A}{m_{cp}} T_s^3 \right) \Delta T(s) + \left(\frac{\alpha}{m_{cp}} \right) \Delta Q(s)$$

$$\Delta T(s)s + \left(\frac{UA}{m_{cp}} + \frac{4\epsilon\sigma A}{m_{cp}} T_s^3 \right) \Delta T(s) = \left(\frac{\alpha}{m_{cp}} \right) \Delta Q(s)$$

$$\frac{\Delta T(s)}{\Delta Q(s)} = \frac{\left(\frac{\alpha}{m_{cp}} \right)}{s + \left(\frac{UA}{m_{cp}} + \frac{4\epsilon\sigma A}{m_{cp}} T_s^3 \right)}$$

Esa sería función de transferencia que describe la relación dinámica entre la variación de temperatura y la variación correspondiente en la potencia de entrada del calentador en un sistema térmico. Al sustituir y operar los valores específicos de los parámetros del sistema quedaría tal que así:

$$\frac{\Delta T(s)}{\Delta Q(s)} = \frac{\left(\frac{0.5}{3.10 \times 0.0540} \right)}{s + \left(\frac{106400 \times 0.003408}{3.10 \times 0.0540} + \frac{4 \times 0.85 \times 5.67 \times 10^{-8} \times 0.003408}{3.10 \times 0.0540} 25^3 \right)}$$

$$\frac{\Delta T(s)}{\Delta Q(s)} = \frac{2.986}{s + 33845878}$$

7.2.2 Diseño y simulación de PID

Para facilitar el diseño de un controlador PID para el sistema de transferencia de calor. En primer lugar, se define la función de transferencia del sistema. Luego, utilizando la función pidtune de MATLAB, se ajustan automáticamente los parámetros del controlador PID para cumplir con las especificaciones de rendimiento establecidas. Una vez obtenido el controlador PID, se extraen sus coeficientes K_p , K_i y K_d . Estos valores se muestran en la ventana de comandos de MATLAB para su visualización.

```

PID.m
1 % Definir la función de transferencia del sistema
2 numerator = 2.986;
3 denominator = [1, 33845878];
4 G = tf(numerator, denominator);
5
6 % Diseñar el controlador PID utilizando pidtune
7 controller = pidtune(G, 'pid');
8
9 % Obtener los valores de los parámetros del controlador PID
10 Kp = controller.Kp;
11 Ki = controller.Ki;
12 Kd = controller.Kd;
13
14 % Mostrar los valores de los coeficientes del controlador PID
15 disp('Coeficientes del controlador PID:');
16 disp(['Kp: ', num2str(Kp)]);
17 disp(['Ki: ', num2str(Ki)]);
18 disp(['Kd: ', num2str(Kd)]);
19
Command Window
>> PID
Coeficientes del controlador PID:
Kp: 16226571.3037
Ki: 995468942432421.2
Kd: 0
fx >> |

```

Figura 7. Código de diseño de control PID. Autoría propia.

Para validar el control PID y sus parámetros K_p , K_i y K_d , se simuló en Simulink. El modelo del sistema de transferencia de calor junto con el controlador PID diseñado. Se ha configurado el sistema para operar dentro de un rango de temperaturas de 2 a 8 grados centígrados

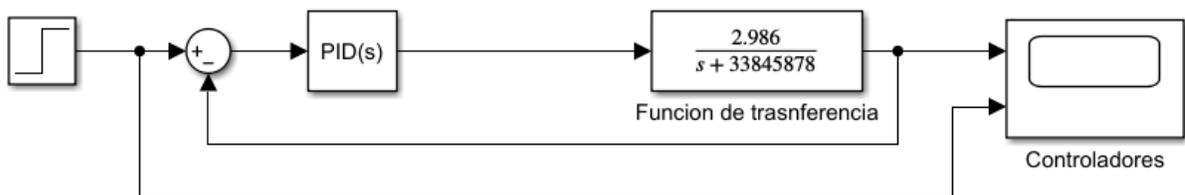


Figura 8. Modelo de control PID simulado. Autoría propia.

EL modelo ha demostrado un rendimiento sobresaliente, ya que el control se realiza en cuestión de décimas de segundo en las dos temperaturas críticas establecidas. Esta rápida respuesta del controlador es fundamental para garantizar que el sistema de transferencia de calor mantenga las temperaturas dentro del rango deseado, en la gráfica, la línea roja representa la salida del controlador PID, mientras que la línea azul indica el valor de referencia establecido.

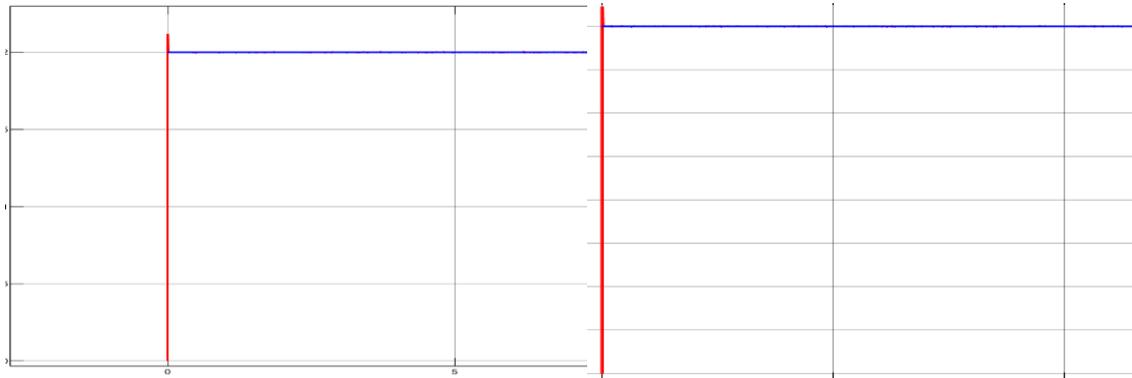


Figura 9. Graficas de simulación PID Autoría propia.

7.2.3 Aplicación del control PID

La implementación del sistema de control PID de temperatura se lleva a cabo con el propósito de verificar su correcto funcionamiento en un entorno real. En este proceso, se empleará la librería PID de Arduino para simplificar la programación del algoritmo de control en el microcontrolador. Esta librería proporciona funciones predefinidas que facilitan la configuración y ajuste de los parámetros del control PID. De este modo, se podrá asegurar la efectividad del sistema en mantener la temperatura dentro del rango deseado de 2 a 8 grados centígrados. El código utilizado será el siguiente:

```

1  #include <PID_v1.h>
2  #include <dht.h>
3
4  #define DHTPIN 2 // Pin digital donde está conectado el sensor DHT11
5  #define DHTTYPE DHT11 // Tipo de sensor DHT (DHT11)
6
7  #define IN1 4 // Pin para control del módulo L298N - IN1
8  #define IN2 5 // Pin para control del módulo L298N - IN2
9  #define IN3 6 // Pin para control del módulo L298N - IN3
10
11 dht DHT;
12
13 double setpoint = 25.0; // Temperatura deseada en grados Celsius
14 double input, output;
15 double Kp = 2.0; // Constante proporcional
16 double Ki = 5.0; // Constante integral
17 double Kd = 1.0; // Constante derivativa
18 PID myPID(&input, &output, &setpoint, Kp, Ki, Kd, DIRECT); // Valores iniciales de Kp, Ki, Kd
19
20 void setup() {
21   Serial.begin(9600);
22   pinMode(IN1, OUTPUT);
23   pinMode(IN2, OUTPUT);
24   pinMode(IN3, OUTPUT);
25   myPID.SetMode(AUTOMATIC);
26 }
27
28 void loop() {
29   delay(2000); // Espera para permitir que el sensor DHT11 se estabilice
30   int chk = DHT.read11(DHTPIN);
31   input = DHT.temperature; // Lee la temperatura del sensor DHT11
32
33   myPID.Compute();
34
35   if (output > 0) {
36     analogWrite(IN3, output); // Controla la velocidad del ventilador (IN3 del módulo L298N)
37     digitalWrite(IN1, HIGH); // Activa un sentido de giro del módulo L298N
38     digitalWrite(IN2, LOW);
39   } else {
40     analogWrite(IN3, -output); // Controla la velocidad del ventilador (IN3 del módulo L298N)
41     digitalWrite(IN1, LOW); // Activa el otro sentido de giro del módulo L298N
42     digitalWrite(IN2, HIGH);
43   }
44
45   Serial.print("Temperature: ");
46   Serial.print(input);
47   Serial.print(" C | Output: ");
48   Serial.println(output);
49
50   delay(1000); // Espera 1 segundo antes de la próxima iteración
51 }

```

Figura 10. Código de control PID. Autoría propia.

Además, es importante destacar que los valores de las constantes K_p , K_i y K_d pueden variar según las necesidades específicas del sistema en términos de respuesta dinámica, estabilidad y precisión. En caso de que sea necesario adaptar el comportamiento del control PID a nuevas condiciones de operación o cambios en los requisitos del sistema, se pueden realizar ajustes en estas constantes.



Figura 11. Imágenes del Funcionamiento del Sistema PID de Temperatura. Autoría propia.

Tras la implementación del sistema de control PID de temperatura y las pruebas realizadas en un entorno real, se confirma que el funcionamiento del sistema ha sido exitoso. Todas las etapas del proceso de implementación, desde la configuración de los componentes hasta la activación del control PID, se llevaron a cabo sin contratiempos. Durante las pruebas, el sistema demostró una capacidad efectiva para mantener la temperatura dentro del rango deseado de 2 a 8 grados centígrados, exhibiendo una respuesta precisa y estable ante las variaciones del entorno.

7.3 Sistema de almacenaje

La implementación de sistemas de almacenaje y distribución electroneumática en una farmacia automática es esencial para mejorar la eficiencia, la precisión y la seguridad en la dispensación de medicamentos. Estos sistemas permiten una gestión automatizada del inventario, garantizando un control preciso sobre la disponibilidad y el flujo de medicamentos, el control de inventario en tiempo real es fundamental para garantizar la disponibilidad constante de medicamentos. El objetivo principal de este requisito funcional es mantener un inventario actualizado y diversificado en la máquina dispensadora de medicamentos, implementando un sistema de seguimiento en tiempo real que garantice la disponibilidad constante de los medicamentos más solicitados por los clientes. Este requisito tiene un peso relativo del 12% dentro del análisis de la matriz QFD, lo que subraya su importancia crítica en la optimización del proceso de dispensación de medicamentos y la satisfacción del cliente.

7.3.1 Circuito electroneumático

El circuito electroneumático para la farmacia automática incluirá una válvula solenoide 5/2, controlada por un relé, para un flujo preciso de aire. Se utilizará un cilindro neumático de doble efecto, válvulas estranguladoras, una unidad de mantenimiento y un compresor de aire para un funcionamiento suave y eficiente del sistema. Esta configuración garantizará una dispensación de medicamentos confiable y precisa.

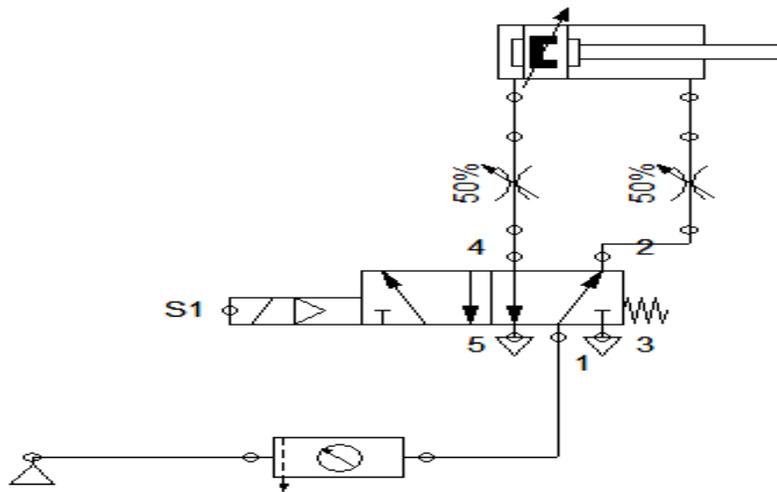


Figura 12. Circuito electroneumático. Autoría propia.

7.3.2 Barrera láser

el sistema incorporará una barrera láser con LDR (resistor dependiente de la luz), que será esencial para detectar la posición de los productos en el sistema de almacenaje. La barrera láser enviará un haz de luz que incide en la LDR. Cuando este haz es interrumpido por algún objeto, la resistencia de la LDR cambiará, permitiendo al sistema identificar la presencia o ausencia de productos en ubicaciones específicas. Esta función de detección de posición mejorará la precisión y eficiencia en la dispensación de medicamentos en la farmacia automática.

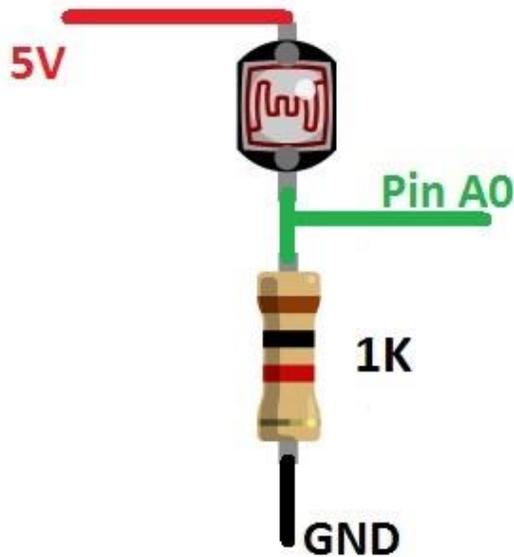


Figura 13. Barra laser. LEANTEC Robotics (2014)

7.3.3 Aplicación de sistema de almacenaje

El código de Arduino proporciona un sistema automatizado de almacenaje y distribución. Cuando la barrera láser detecta un objeto, representado por un valor de la LDR mayor a 600, el relé se desactiva para que el cilindro neumático regrese a su posición inicial. Por otro lado, si la barrera láser no detecta ningún objeto, el relé se activa, permitiendo que el cilindro neumático dispense un producto. El código también incorpora una función de control de inventario que resta una unidad cada vez que se dispensa un producto. Cuando el inventario llega a cero, se emite un aviso indicando que ya no hay más unidades disponibles. Esta implementación asegura una distribución controlada de los productos, optimizando el uso del inventario y garantizando una operación eficiente del sistema de almacenaje.

```
1 // Definición de pines
2 const int pinRelay = 2; // Pin del relé conectado al cilindro neumático
3 const int sensorPinLDR = A0; // Pin de la LDR
4
5 int unidades = 10; // Inicializamos el contador de unidades
6
7 void setup() {
8   pinMode(pinRelay, OUTPUT); // Configurar el pin del relé como salida
9 }
10 void loop() {
11   // Leer el valor de la LDR
12   int valorLDR = analogRead(sensorPinLDR);
13
14   // Si el valor de la LDR es mayor que 600 (luz detectada)
15   if (valorLDR > 600) {
16     // Desactivar el relé (cilindro neumático vuelve a posición inicial)
17     digitalWrite(pinRelay, LOW);
18     delay(1000); // Esperar 1 segundo
19   } else {
20     // Verificar si hay unidades disponibles
21     if (unidades > 0) {
22       // Activar el relé (cilindro neumático se mueve)
23       digitalWrite(pinRelay, HIGH);
24       delay(1000); // Esperar 1 segundo
25       unidades--; // Restar una unidad
26     } else {
27       // Mostrar aviso de que no hay unidades disponibles
28       Serial.println("¡Alerta! No hay unidades disponibles.");
29       delay(1000); // Esperar 1 segundo
30     }
31   }
32 }
```

Figura 14. Código del sistema de distribución. Autoría propia.

En el prototipo, este sistema se vería integrado en una estructura compacta que albergaría la barrera láser, la LDR y el cilindro neumático. La barrera láser estaría situada estratégicamente para detectar la presencia de objetos en la ubicación deseada. La LDR estaría colocada frente a la barrera láser para captar los cambios en la intensidad de la luz.

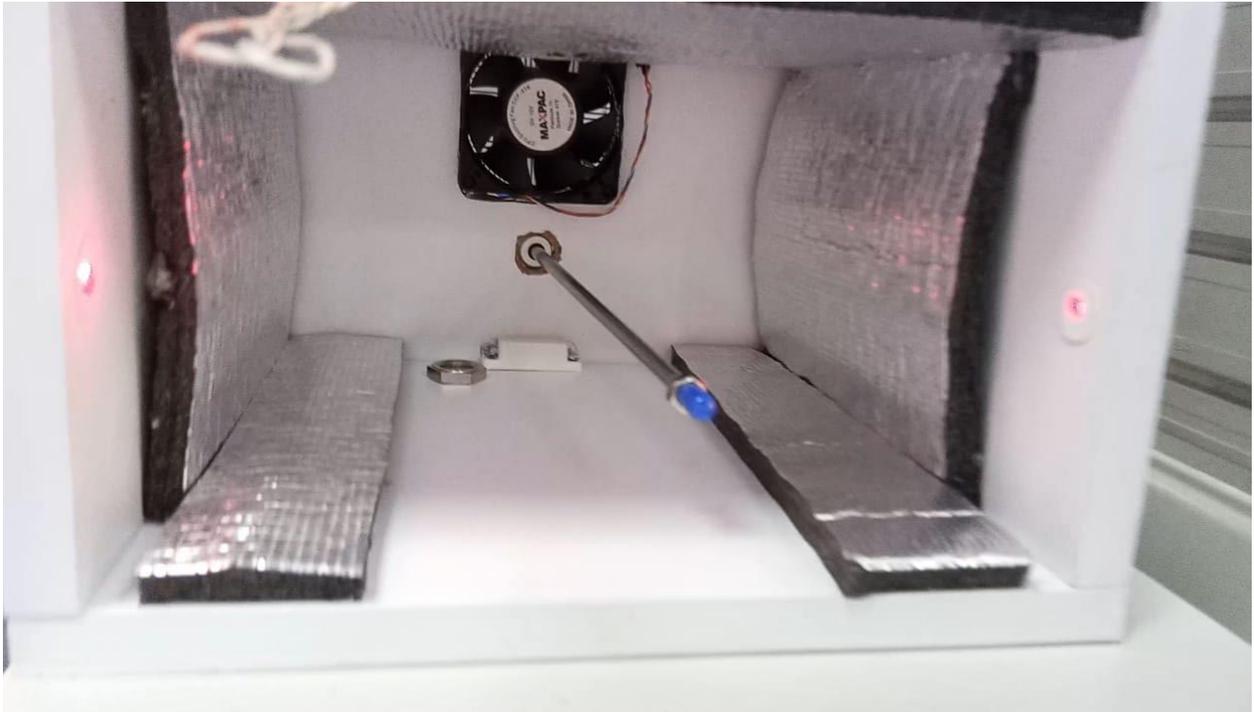


Figura 15. Barrera LDR y electroneumática. Autoría propia.

7.4 Gestión de datos mediante RFID y comunicación Wifi

En el sistema, se emplearán el módulo RC522 para la lectura de tarjetas RFID y el módulo ESP8266, también conocido como ESP-01, para la conexión Wifi. Las tarjetas RFID contendrán únicamente el número de cédula colombiana de manera aleatoria, lo que servirá como identificador único para cada usuario del sistema de la farmacia automática. El módulo ESP8266, controlado mediante comandos AT, permitirá establecer una conexión inalámbrica con una red local o un servidor en la nube. Además, la optimización del proceso de dispensación es esencial para garantizar tiempos mínimos de espera. El objetivo de este requisito funcional es implementar un sistema de gestión de colas eficiente y procesos automatizados para reducir el tiempo de espera de los clientes en la máquina dispensadora de medicamentos, garantizando así una experiencia rápida y eficiente. Esta iniciativa cobra importancia debido a que el peso relativo asignado al requisito es del 13% dentro del análisis de la matriz QFD, lo que indica su relevancia significativa en comparación con otros aspectos del producto que influyen en la satisfacción del cliente.

```

1  #include <SPI.h>
2  #include <MFRC522.h>
3  #include <SoftwareSerial.h>
4
5  #define SS_PIN 10
6  #define RST_PIN 9
7
8  MFRC522 mfrc522(SS_PIN, RST_PIN); // Creamos el objeto MFRC522
9
10 SoftwareSerial espSerial(2, 3); // RX, TX para el módulo ESP8266
11
12 void setup() {
13   Serial.begin(9600); // Iniciamos la comunicación serial para el monitor serial
14   espSerial.begin(9600); // Iniciamos la comunicación serial con el ESP8266
15
16   SPI.begin(); // Iniciamos la comunicación SPI
17   mfrc522.PCD_Init(); // Iniciamos el lector RFID
18
19   Serial.println("Lector RFID y módulo ESP8266 inicializados.");
20 }
21
22 void loop() {
23   // Verificamos si hay una tarjeta presente
24   if (mfrc522.PICC_IsNewCardPresent() && mfrc522.PICC_ReadCardSerial()) {
25     // Leemos el UID de la tarjeta
26     String uid = "";
27     for (byte i = 0; i < mfrc522.uid.size; i++) {
28       uid.concat(String(mfrc522.uid.uidByte[i] < 0x10 ? "0" : ""));
29       uid.concat(String(mfrc522.uid.uidByte[i], HEX));
30     }
31     Serial.print("UID de la tarjeta: ");
32     Serial.println(uid);
33
34     // Enviamos el UID a través del módulo ESP8266
35     espSerial.println("AT+CIPSTART=\\"TCP\\",\\"tu_servidor\\",tu_puerto");
36     delay(1000);
37     espSerial.println("AT+CIPSEND");
38     delay(1000);
39     espSerial.print("UID: ");
40     espSerial.println(uid);
41     delay(1000);
42     espSerial.println("AT+CIPCLOSE");
43     delay(1000);
44
45     // Limpiamos el UID
46     uid = "";
47   }
48
49   mfrc522.PICC_HaltA(); // Detenemos la comunicación con la tarjeta actual
50   mfrc522.PCD_StopCrypto1(); // Limpiamos el estado de la tarjeta actual
51 }

```

Figura 16. Código del sistema de comunicación. Autoría propia.

7.5 Base de datos y comunicación con Arduino

Se diseñará un sistema automatizado para gestionar la base de datos de medicamentos utilizando Arduino, Google Sheets y WhatsApp. El sistema permite la lectura de tarjetas RFID para identificar medicamentos almacenados en la base de datos de Google Sheets. Cuando se escanea una tarjeta RFID, Arduino envía el identificador único del medicamento a la hoja de cálculo en línea, donde se buscan los detalles asociados, como nombre, cantidad y otros datos relevantes. Posteriormente, el sistema envía una notificación a través de WhatsApp para informar sobre la disponibilidad del medicamento o realizar cualquier otra acción necesaria. Este enfoque automatizado simplifica la gestión de la base de datos de medicamentos y agiliza el proceso de comunicación sobre su disponibilidad. Para los requisitos restantes, con un peso relativo del 9%, se sugiere una solución

enfocada en la comunicación y la educación del cliente sobre el uso adecuado de medicamentos. La propuesta incluye la implementación de mecanismos de comunicación a través de WhatsApp y otras aplicaciones similares para ofrecer información sobre dosis, recordatorios de reabastecimiento y consejos de salud. Esta estrategia busca mejorar la conformidad del cliente y promover una relación más estrecha entre el cliente y el servicio de dispensación de medicamentos, fomentando una experiencia satisfactoria y segura para el usuario.

7.5.1 Google Sheets

Se integrará en el prototipo la funcionalidad de registrar automáticamente los cambios en el inventario en una hoja de cálculo de Google Sheets. Actualmente, el sistema solo permite el control de inventario localmente y no mantiene un registro de las entradas y salidas de productos. Para solucionar esto, se planea conectar el sistema a internet utilizando un ESP8266 y registrar automáticamente los cambios en una hoja de cálculo de Google. Esto proporcionará un seguimiento detallado del inventario, permitirá generar informes de stock y facilitará la gestión del inventario en tiempo real desde cualquier ubicación. El proceso implica configurar el ESP8266 para enviar los datos del inventario a través de Wifi, crear una aplicación en IFTTT para capturar y registrar estos datos en Google Sheets, y finalmente, implementar la comunicación entre el ESP8266 y la aplicación en IFTTT para automatizar el proceso de registro de inventario en la hoja de cálculo.

Tabla 7.

Base de datos.

Número de Cédula	Nombre	Medicamentos Recetados	Fecha
123456789	Juan Pérez	Paracetamol, Ibuprofeno	
987654321	María González	Amoxicilina, Omeprazol	

Nota. Adaptado de Google Sheets. (2024)

Tabla 8.

Tabla de operación.

Setpoint (°C)	Capacidad Total de Unidades	Medicamento Actual	Número de Cajas
25	10	Paracetamol	

Nota. Adaptado de Google Sheets. (2024)

Para configurar la integración entre el ESP8266 y Google Sheets a través de IFTTT, se inicia sesión en la cuenta de IFTTT y se selecciona "Crear". Se elige "Webhooks" como disparador y se configura el evento "Recibir una solicitud web". Luego, se selecciona "Google Sheets" como

acción y se elige "Agregar fila a hoja de cálculo de Google Sheets". Se conecta la cuenta de Google Sheets y se selecciona la hoja de cálculo deseada. Se completan los campos con los datos que se desean enviar desde el ESP8266. Una vez creado el applet, el ESP8266 puede enviar datos a través de Webhooks a IFTTT, que los agregará automáticamente como nuevas filas en la hoja de cálculo de Google Sheets.

7.5.2 WhatsApp

Para utilizar WhatsApp como parte de este proyecto, se integra Twilio como un puente de comunicación. Twilio, una plataforma de comunicaciones en la nube, facilita el envío de mensajes de texto (SMS) y, en este caso, mensajes de WhatsApp. En esta configuración, Arduino envía los datos pertinentes a Twilio a través de su API después de verificar la cédula del usuario con el módulo RFID y Google Sheets. Twilio, a su vez, compone mensajes personalizados y los envía a través de WhatsApp a los números de teléfono asociados a los usuarios. Este proceso garantiza la entrega oportuna de información relevante, como la lista de medicamentos necesarios, directamente a los usuarios a través de WhatsApp.

8. Desarrollo y Validación del Prototipo de Dispensador de Medicamentos Formulados

Una vez que se han cumplido satisfactoriamente los requisitos del sistema, nos adentramos en el desarrollo del prototipo. Esto implica un proceso meticuloso de ensamblaje e integración de los diversos componentes del sistema automatizado de dispensación de medicamentos formulados. Además, se llevará a cabo la programación y configuración del sistema para garantizar su correcto funcionamiento de acuerdo con las especificaciones establecidas. Este proceso es crucial para asegurar que el prototipo esté listo para someterse a pruebas exhaustivas y validación de sus funcionalidades.

8.1 Ensamblaje e Integración de Componentes

El proceso de montaje del prototipo del dispensador de medicamentos formulados se llevó a cabo de manera secuencial, priorizando la implementación del control PID como el componente inicial. Este enfoque se seleccionó debido a la complejidad y la importancia crítica del control PID en el funcionamiento del sistema. Una vez completada esta fase, se procedió a la integración del sistema de almacenaje, que requería una cuidadosa coordinación para asegurar su correcto funcionamiento en conjunto con el control PID. Finalmente, se abordó la gestión de datos mediante RFID y comunicación Wifi, completando así la fase de montaje del prototipo. Este enfoque secuencial permitió una atención detallada a cada componente, asegurando la cohesión y el funcionamiento integral del sistema en su conjunto.

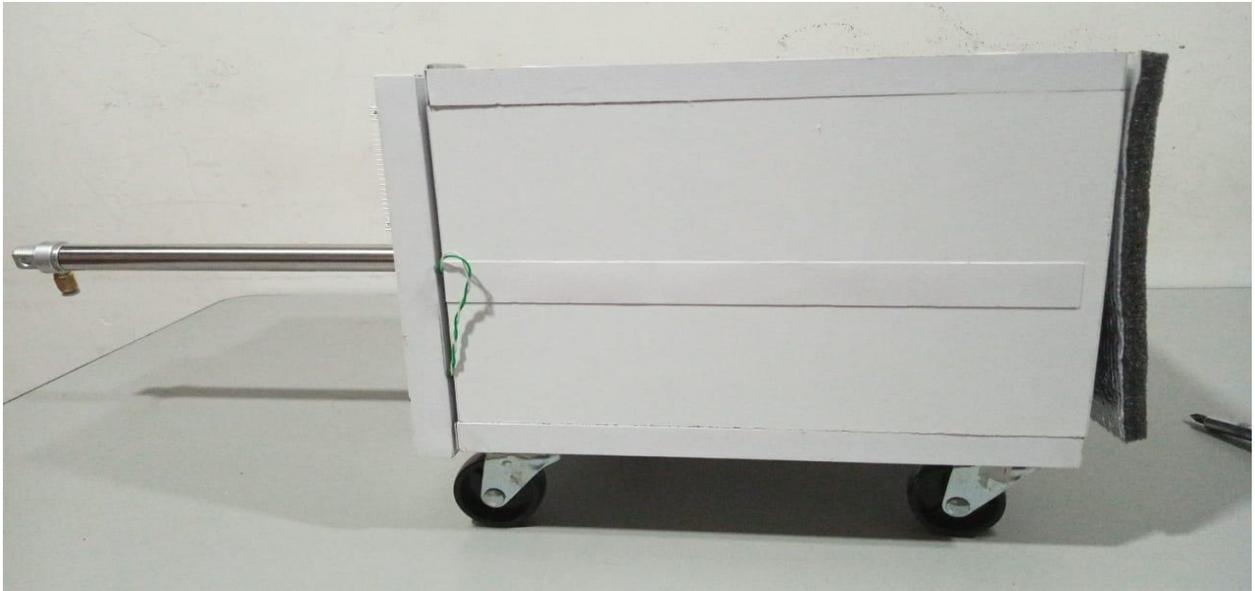


Figura 17. Prototipo ensamblado. Autoría propia.

8.2 Integración de código

Una vez desarrollados los diferentes componentes del sistema, se procedió a integrar el código correspondiente en un único programa. Se inició con la consolidación del controlador PID, dada su complejidad y centralidad en el funcionamiento del prototipo. Posteriormente, se integraron los códigos para el manejo del lector RFID y el módulo ESP8266, permitiendo la comunicación con un servidor remoto para registrar la información de las tarjetas RFID detectadas. Luego, se unió el código para el sensor DHT11, encargado de medir la temperatura ambiente y controlar el sistema de calefacción en función de la temperatura deseada. Además, se incluyeron las instrucciones para el control del relé y el cilindro neumático, permitiendo la dispensación de medicamentos según la demanda y condiciones de iluminación. Finalmente, se implementó la función para enviar alertas a través de IFTTT en caso de situaciones anómalas. Esta integración garantiza el funcionamiento armónico y coordinado de todos los componentes del sistema automatizado de dispensación de medicamentos formulados.

8.3 Verificación del Sistema

Habiendo unido todas las partes del proyecto y completado el ensamblaje del prototipo, el siguiente paso crucial consiste en someter el sistema a una exhaustiva fase de comprobación. Esta etapa se enfoca en verificar el funcionamiento integrado de todos los componentes, así como en evaluar la capacidad del sistema para cumplir con los requisitos y objetivos establecidos durante

las fases previas de diseño y desarrollo. Se llevarán a cabo una serie de pruebas rigurosas para garantizar la fiabilidad, eficacia y seguridad del sistema en su conjunto. Además, se analizarán y registrarán los resultados de estas pruebas para identificar posibles áreas de mejora y optimización. Esta fase de comprobación es fundamental para validar la funcionalidad del prototipo y asegurar su preparación para futuras etapas de validación y despliegue.



Figura 18. Prototipo validado. Autoría propia.

8.4 Tabla de especificaciones

La tabla de especificaciones para la farmacia automática inteligente desempeña un papel crucial en el desarrollo de este innovador prototipo. Al detallar con precisión las dimensiones, materiales, capacidades y requisitos técnicos, sirve como una guía objetiva y estructurada para los equipos de desarrollo.

Tabla 9.

Tabla de especificaciones.

Nombre del Producto:	Prototipo de farmacia automática
Dimensiones:	27 cm x 27 cm x 18 cm
Peso:	3.2 kg
Materiales:	Madera de abedul, Espuma de polietileno, Acero inoxidable
Capacidad/Potencia:	Almacena hasta 10 unidades del mismo medicamento
Compatibilidad:	Conectividad Wifi para la gestión remota y actualizaciones de inventario
Características Clave:	Control PID para mantener la temperatura y humedad óptimas, sistema electroneumático para dispensar medicamentos con precisión,
Requisitos de Ensamblaje/Montaje:	Ensamblaje sencillo, no se requieren herramientas adicionales
Requisitos de Mantenimiento:	Revisión y calibración trimestral del sistema de dispensación y control
Requisitos de Seguridad/Regulaciones:	Cumple con las normativas de seguridad farmacéutica
Fecha de Creación/Versión:	14 de abril de 2024
Notas Adicionales:	Producto en fase de desarrollo, sujeto a cambios

Nota. Los datos se obtuvieron a través de mediciones y cálculos ya hechos en el objetivo Autoría propia.

9. Análisis beneficio – costo

La grafica presenta los costos actuales mensuales por empleado para el 2024 que implican la dispensación de medicamentos tienen un costo de \$2.500.000 sin tener en cuenta la carga prestacional, se considera un promedio de 24 empleados el costo mensual es de 60.000.000 y el costo anual será de \$720.000.000, para la farmacia consultada



Figura 19. Costos sin implementación. Autoría propia.

La grafica presenta los costos actuales mensuales por empleado para el 2024 que implican la dispensación de medicamentos tienen un costo de \$2.500.000 sin tener en cuenta la carga prestacional, se considera un promedio de 24 empleados el costo mensual es de 60.000.000 y el costo anual será de \$720.000.000, para la farmacia consultada.

Tabla 10.

Costos actuales.

Concepto	Costo Antes
costos laborales	COP 1.300.000,00
Errores	COP 600.000,00
Quejas	COP 200.000,00
la ineficiencia en la dispensación	COP 400.000,00
Total	COP 2.500.000,00
No. empleados actuales	24
por mes	COP 60.000.000,00
costo anual	COP 720.000.000,00

Nota. Autoría propia.

Teniendo en cuenta que los costos actuales considerados en la farmacia son del 10% del balance general, se hace necesaria la implementación de dispensadores para bajar los costos fijos. Los costos para la implementación de cada dispensador son de \$1,073.000, de acuerdo con el siguiente cuadro.

Tabla 11.

Costos de implementación.

Descripción	Monto (\$)
Carcasa del prototipo	COP 150.000,00
Espuma de polietileno	COP 11.000,00
Arduino Mega 2560	COP 72.000,00
Módulo Relay 2 canales 5V	COP 12.500,00
Módulo Puente H L298n	COP 17.000,00
Modulo Wifi ESP8266-01s	COP 10.000,00
Modulo RFID RC522 13.56 MHz	COP 15.000,00
Ventilador con disipador maxpac 12v	COP 25.000,00
Celda Peltier TEC1-12706	COP 15.000,00
Sensor de Temperatura y Humedad DHT11	COP 8.000,00
Válvula Solenoide neumática 4V110-06	COP 31.565,14
Cilindro neumático de doble acción	COP 48.648,79
fotorresistencia gl5528	COP 500,00
Diodo Laser en Punto 6mm	COP 1.500,00
Resistencia de 1k Ohms	COP 250,00
Cableado	COP 5.000,00
Licencias	COP 50.000,00
Salario	COP 600.000,00
Total *dispensador	COP 1.072.963,93
24 dispensadores	COP 25.751.134,32
Descripción	Monto (\$)
Intereses sobre préstamos	COP 5.447.831,00
Tarifas y comisiones	COP 200.000,00
Costos de transacción	COP 200.000,00
Total	COP 5.847.831,00
total general	COP 6.920.794,93

Nota. Autoría propia.

Teniendo en cuenta que para continuar con la misma prestación de servicio habrá 24 estaciones y la fuente de financiación será con un banco comercial por \$25.752.000 con una tasa nominal anual de 37% a 12 meses. La cuota mensual es de \$2.599.986.

Tabla 12.

Información Financiera.

Importe del préstamo	\$ 25.752.000,00
Tasa de interés anual	\$ 0,37
Periodo del préstamo en años	\$ 1,00
Fecha de inicio del préstamo	11/04/2024
Pago mensual	\$ 2.599.985,95
Número de pagos	\$ 12,00
Importe total de los intereses	\$ 5.447.831,45
Coste total del préstamo	\$ 31.199.831,45

Nota. Autoría propia.

Tabla 13.

Pago de inversión.

N. °	Fecha	Pago		Fin		
		Inicio Saldo	Cuota	capital	Interés Saldo	
1	11/05/2024	25.752.000	2.599.986	1.805.966	794.020	23.946.034
2	11/06/2024	23.946.034	2.599.986	1.861.650	738.336	22.084.384
3	11/07/2024	22.084.384	2.599.986	1.919.051	680.935	20.165.333
4	11/08/2024	20.165.333	2.599.986	1.978.222	621.764	18.187.112
5	11/09/2024	18.187.112	2.599.986	2.039.217	560.769	16.147.895
6	11/10/2024	16.147.895	2.599.986	2.102.093	497.893	14.045.803
7	11/11/2024	14.045.803	2.599.986	2.166.907	433.079	11.878.896
8	11/12/2024	11.878.896	2.599.986	2.233.720	366.266	9.645.176
9	11/01/2025	9.645.176	2.599.986	2.302.593	297.393	7.342.583
10	11/02/2025	7.342.583	2.599.986	2.373.590	226.396	4.968.993
11	11/03/2025	4.968.993	2.599.986	2.446.775	153.211	2.522.218

12	11/04/2025	2.522.218	2.599.986	2.522.218	77.768	0
----	------------	-----------	-----------	-----------	--------	---

Nota. Autoría propia.

La inversión inicial del proyecto es \$32.671.929 incluida la financiación y costos financieros, se realiza el análisis sobre la reducción de costos de personal dado que el trabajo está realizado bajo el supuesto de que se requieren 24 empleados para cumplir con los requerimientos de distribución y entrega de medicamentos, sin tener en cuenta los ingresos, dado que es para el servicio de una EPS y los ingresos de los medicamentos están incluidos en los pagos del sistema de seguridad de la salud en Colombia.

Tabla 14.

Reducción de costos

COSTOS ACTUALES					
Concepto	costos			ineficiencia	Total
	laborales	errores	quejas	en la dispensación	
mes 1	31.200.000	14.400.000	4.800.000	9.600.000	60.000.000
mes 2	31.200.000	14.400.000	4.800.000	9.600.000	60.000.000
mes 3	31.200.000	14.400.000	4.800.000	9.600.000	60.000.000
mes 4	31.200.000	14.400.000	4.800.000	9.600.000	60.000.000
mes 5	31.200.000	14.400.000	4.800.000	9.600.000	60.000.000
mes 6	31.200.000	14.400.000	4.800.000	9.600.000	60.000.000
mes 7	31.200.000	14.400.000	4.800.000	9.600.000	60.000.000
mes 8	31.200.000	14.400.000	4.800.000	9.600.000	60.000.000
mes 9	31.200.000	14.400.000	4.800.000	9.600.000	60.000.000
mes 10	31.200.000	14.400.000	4.800.000	9.600.000	60.000.000
mes 11	31.200.000	14.400.000	4.800.000	9.600.000	60.000.000
mes 12	31.200.000	14.400.000	4.800.000	9.600.000	60.000.000
totales	374.400.000	172.800.000	57.600.000	115.200.000	720.000.000

Nota. Autoría propia.

Tabla 15.

Costos de implementación.

COSTOS DESPUES DE LA IMPLEMETACION									
Concepto	Mantenimiento	Costo mensual de energia	Costo mensual de aire comprimido	costo personal	financiacion	Reduccion de errores	Reducción de quejas	Reduccion de la ineficiencia en la dispensacion	total
mes 1	1,440,000	588,000	1,080,000	2,600,000	2,999,986	5,400,000	1,200,000	5,280,000	20,587,986
mes 2	1,440,000	588,000	1,080,000	2,600,000	2,599,986	5,400,000	1,200,000	5,280,000	20,187,986
mes 3	1,440,000	588,000	1,080,000	2,600,000	2,599,986	5,400,000	1,200,000	5,280,000	20,187,986
mes 4	1,440,000	588,000	1,080,000	2,600,000	2,599,986	5,400,000	1,200,000	5,280,000	20,187,986
mes 5	1,440,000	588,000	1,080,000	2,600,000	2,599,986	5,400,000	1,200,000	5,280,000	20,187,986
mes 6	1,440,000	588,000	1,080,000	2,600,000	2,599,986	5,400,000	1,200,000	5,280,000	20,187,986
mes 7	1,440,000	588,000	1,080,000	2,600,000	2,599,986	5,400,000	1,200,000	5,280,000	20,187,986
mes 8	1,440,000	588,000	1,080,000	2,600,000	2,599,986	5,400,000	1,200,000	5,280,000	20,187,986
mes 9	1,440,000	588,000	1,080,000	2,600,000	2,599,986	5,400,000	1,200,000	5,280,000	20,187,986
mes 10	1,440,000	588,000	1,080,000	2,600,000	2,599,986	5,400,000	1,200,000	5,280,000	20,187,986
mes 11	1,440,000	588,000	1,080,000	2,600,000	2,599,986	5,400,000	1,200,000	5,280,000	20,187,986
mes 12	1,440,000	588,000	1,080,000	2,600,000	2,599,986	5,400,000	1,200,000	5,280,000	20,187,986
mes 13	1,440,000	588,000	1,080,000	2,600,000	0	5,400,000	1,200,000	5,280,000	17,588,000
mes 14	1,440,000	588,000	1,080,000	2,600,000	0	5,400,000	1,200,000	5,280,000	17,588,000
mes 15	1,440,000	588,000	1,080,000	2,600,000	0	5,400,000	1,200,000	5,280,000	17,588,000
totales	21,600,000	8,820,000	16,200,000	39,000,000	31,599,832	81,000,000	18,000,000	79,200,000	295,419,832

Nota. Autoría propia.

El análisis de costo-beneficio revela que la implementación del dispensador automático de medicamentos formulados representa una oportunidad significativa para reducir los costos asociados con la dispensación manual de medicamentos. Con una inversión inicial de \$32.671.929, incluyendo financiamiento y costos financieros, se espera una reducción del 66% en los gastos durante el primer año, lo que equivale a un ahorro de \$477 millones de pesos. A partir del mes 13, se proyecta una reducción continua de los gastos en un 71%. Estos resultados demuestran el impacto financiero positivo y la viabilidad económica de la implementación del dispensador automático, lo que respalda su adopción como una medida rentable para optimizar los procesos de dispensación de medicamentos formulados en la farmacia consultada.

10. Conclusiones

Durante el desarrollo del proyecto enfocado en la automatización de la dispensación de medicamentos formulados, se han alcanzado importantes hitos y descubierto aspectos relevantes que merecen ser destacados en las conclusiones. Este proyecto ha abordado la implementación de sistemas innovadores para mejorar la eficiencia y precisión en la dispensación de medicamentos, lo que ha implicado un análisis exhaustivo de métodos y tecnologías pertinentes.

- Alcance de los objetivos: Se ha logrado de manera satisfactoria el cumplimiento de los objetivos planteados desde el inicio del proyecto. Los diferentes temas han sido abordados de forma óptima, en concordancia con el plan establecido, culminando en la creación de un prototipo capaz de cumplir con las expectativas iniciales.
- Potencial del sistema: Es importante resaltar el gran potencial que presentan los sistemas de este tipo en el mercado actual. Su versatilidad permite adaptarlos a diversas aplicaciones, lo que abre nuevas oportunidades de negocio en un sector donde la automatización aún no está ampliamente implementada.
- Rendimiento de los métodos utilizados: Se ha evidenciado un buen rendimiento en los métodos empleados durante el proyecto. Ambos enfoques tienen sus puntos fuertes y débiles, lo que sugiere la necesidad de considerar cuidadosamente las características específicas de cada uno en futuras aplicaciones.
- Importancia de la base de datos: Se destaca la relevancia crucial de contar con una base de datos sólida y bien estructurada para el método de redes neuronales. Una base de datos de calidad garantiza la precisión y la exactitud del sistema, lo que lo hace más rentable y efectivo para los potenciales clientes.

11. Recomendaciones

Se recomienda enfocar los esfuerzos en la continua investigación y desarrollo de tecnologías innovadoras que puedan mejorar la eficiencia y precisión del sistema de dispensación de medicamentos formulados. Además, se insta a establecer colaboraciones con instituciones académicas y empresas del sector para mantenerse al día con los avances en el campo y garantizar la competitividad y relevancia del sistema en el mercado de la atención médica automatizada.

- Continuar la Investigación: Se sugiere seguir explorando nuevas tecnologías y metodologías que puedan mejorar aún más la eficiencia y precisión del sistema de dispensación de medicamentos formulados. Esto podría incluir la investigación de algoritmos de control más avanzados, técnicas de visión artificial mejoradas y la integración de sistemas de inteligencia artificial para una toma de decisiones más sofisticada.
- Validación en Entorno Real: Es fundamental realizar pruebas adicionales del prototipo en un entorno real, como una farmacia o centro de salud, para evaluar su rendimiento en condiciones prácticas e identificar posibles áreas de mejora. La retroalimentación de los usuarios y profesionales de la salud será invaluable para optimizar el diseño y la funcionalidad del sistema.
- Optimización de Costos: Se debe buscar continuamente formas de reducir los costos asociados con la implementación y operación del sistema de dispensación automática. Esto podría incluir la optimización de la selección de componentes, la negociación de precios con proveedores y la búsqueda de alternativas de financiamiento más favorables.
- Evaluación de Impacto: Se sugiere realizar una evaluación periódica del impacto del sistema automatizado de dispensación de medicamentos en términos de eficiencia operativa, precisión en la dispensación, satisfacción del cliente y ahorro de costos. Esto permitirá realizar ajustes y mejoras continuas para maximizar los beneficios del sistema.

12. Referencias

- ¿Qué es el modelo V? (2020, septiembre 28). IONOS Digital Guide; IONOS. Recuperado de: <https://www.ionos.mx/digitalguide/paginas-web/desarrollo-web/modelo-v/>
- Bedoya, J. A., & Casallas, R. E. (2019). *Diseño y construcción de un prototipo de dispensador para cajetillas de cigarrillos y/o medicamentos en la distribuidora "El Portal de Andrea"* (Trabajo de grado, Unidad Central del Valle del Cauca). Obtenido de: <https://repositorio.uceva.edu.co/handle/20.500.12993/1966>
- Builes, A., & Fernández, N. (2021). *Plan de negocio para la elaboración de un dispositivo dispensador de medicamentos automático* (Trabajo de grado, Universidad EIA). Obtenido de: <https://repository.eia.edu.co/entities/publication/791512b4-747d-4b83-9117-d6ada5b0b253>
- Cañas, S. A. (2016). *Diseño de un modelo operativo de dispensación de medicamentos en los servicios farmacéuticos de Colsubsidio para medicamentos POS* (Trabajo de grado, Universidad Militar Nueva Granada). Obtenido de: <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/15368>
- Delgado, R. (2023). *Electroneumática*. Ciudad de México, México: Instituto Politécnico Nacional
- Fernández, Y. (2019, agosto 23). API: qué es y para qué sirve. Xataka. Recuperado de: <https://www.xataka.com/basics/api-que-sirve>
- Fernández, Y. (2022, septiembre 23). Qué es Arduino, cómo funciona y qué puedes hacer con uno. Xataka. Recuperado de: <https://www.xataka.com/basics/que-arduino-como-funciona-que-puedes-hacer-uno>
- Frías, E. (2004). *Aportaciones al estudio de las máquinas eléctricas de flujo axial mediante la aplicación del método de los elementos finitos* (Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña) Obtenido de: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/93606>
- Garriga, J. (2008). *Sistema de almacenamiento y dispensación robotizada de productos farmacéuticos* (Trabajo de grado, Universidad Central de Cataluña [UVIC]). Obtenido de: http://repositori.uvic.cat/bitstream/handle/10854/236/trealu_a2008_garriga_josep_sistema.pdf
- Huidobro, J. M. (2008). La tecnología RFID. *Acta*, (58). 37- 46. Obtenido de: <https://www.acta.es/recursos/revista-digital-manuales-formativos/55-058>
- Larrea, D. R., & Navarrete, C. D. (2015). *Farmacia robot: Cómo la automatización cambiará radicalmente la distribución de medicamentos* (Trabajo de grado, Universidad San Francisco

- de Quito [USFQ]). Obtenido de: <https://dokumen.tips/documents/diego-ricardo-larrea-cueva-carlos-daniel-navarrete-figura-7-estandar-de-simbologia.html?page=1>
- Leantec, E. S. (2016, abril 18). Tutorial Arduino: Contador con barrera láser. [entrada de blog]. Recuperado de: <https://leantec.es/tutorial-arduino-contador-con-barrera-laser/>
- Mora, P. V. R. (2023, abril 25). La inhumana espera de hasta 5 horas para reclamar medicamentos en Bogotá. *El Tiempo*. Recuperado de: <https://www.eltiempo.com/bogota/demora-en-la-entrega-de-medicamentos-en-bogota-762738>
- Morilla García, F. (2007, 11 de enero). *Controladores PID*[Diapositiva]. Dpto. de Informática y Automática, ETSI de Informática, UNED. Madrid.
- Moscós, X., & Villacrés, K. (2020). *Diseño e implementación de un prototipo de máquina dispensadora de medicamentos en forma de pastillas para personas de la tercera edad que padecen enfermedades no transmisibles* (Trabajo de grado, Universidad Politécnica Salesiana) Obtenido de: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18879>
- Naylamp. (2023). Tutorial ESP8266 Parte I.[Entrada de blog] Recuperado de https://naylampmechatronics.com/blog/21_tutorial-esp8266-parte-i.html
- Parker, S. (2019). ¿Qué hace Twilio? Twilio.[Entrada de blog] Recuperado de <https://www.twilio.com/es-mx/blog/que-hace-twilio>
- Parra, C. C., & Sánchez, M. C. (2017). *Desarrollo de un prototipo de dispensador de medicamentos para ayudar a pacientes crónicos, cuidadores y servicios de salud a llevar un control sobre tratamientos polifarmacéuticos, utilizando algunos conceptos IoT* (Trabajo de grado, Unidad Central del Valle) Obtenido de: <https://repositorio.uceva.edu.co/handle/20.500.12993/1955>
- Pinzón, M. C., & Pulido, C. J. (2016). *Diseño e implementación de un prototipo de máquina dispensadora portable de medicamentos para personas con enfermedades crónicas* (Trabajo de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas) Recuperado de: <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/3994>
- Ruiz, A. R., & Rojas, F. (2009). *Despliegue de la función calidad (QFD) Módulo 8*. [Apuntes de clase] recuperado de: <https://web.cortland.edu/matresearch/qfd.pdf>
- Tutorial: Crear una fuente de datos de Hojas de cálculo de Google. (2024). Soporte de Google. Recuperado de <https://support.google.com/looker-studio/answer/6295223?hl=es>