



FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS APLICADAS

Trabajo de fin de Carrera titulado:

Fabricación de un banco de pruebas de un sistema automatizado de climatización automotriz implementando sensores y actuadores para la optimización del uso de ductos de ventilación de un vehículo.

Realizado por:

Sebastian Ronaldo Saltos Altamirano

Director del proyecto:

Ing. Gabriela Mancheno.

Como requisito para la obtención del título de:

INGENIERO EN MECATRONICA

QUITO, 19 FEBRERO DEL 2026

Declaración Juramentada

Yo, SEBASTIÁN RONALDO SALTOS ALTAMIRANO, ecuatoriano, con Cédula de ciudadanía N° 1723005086, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional, y se basa en las referencias bibliográficas descritas en este documento.

A través de esta declaración, cedo los derechos de propiedad intelectual a la

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, reglamento y normativa institucional vigente.



Sebastian Ronaldo Saltos Altamirano

C.I.: 1723005086

Declaración del director de tesis

Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando el cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación.

M.Sc María Gabriela Mancheno Falconi. Ing.

LOS PROFESORES INFORMANTES:

JAIME VINICIO MOLINA OSEJOS

DIANA BELEN PERALTA ZURITA

Después de revisar el trabajo presentado lo han calificado como apto para su defensa oral ante el tribunal examinador.

Ing. JAIME VINICIO MOLINA OSEJOS

Ing. DIANA BELEN PERALTA ZURITA

Quito, 19 de Febrero de 2026

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Sebastian', with a large, stylized flourish extending from the end.

Sebastian Ronaldo Saltos Altamirano

C.I.: 1723005086

Tabla de contenido

Declaración Juramentada	2
Declaración del director de tesis	3
Tabla de contenido	6
Lista de Figuras	1
Lista de Tablas	3
Lista de Diagramas	5
Listas de Anexos	6
Resumen.....	8
Abstract	9
Introducción	10
Antecedentes	11
Planteamiento del Problema	12
Justificación.	13
Objetivo general.....	15
Objetivos específicos:	15
Hipótesis	16
Estado del arte.....	17
Sistema de aire acondicionado.....	17
Rango de temperatura recomendada para confort térmico.	21

	7
Recirculación del aire acondicionado.	22
Filtro deshidratador.	23
Correa de accesorios y poleas.	24
Ductos del aire acondicionado.	26
Panel de control del aire acondicionado digitales.	32
Mandos de flujo de aire.	34
Módulos de control electrónico	36
Trampillas de aire automotriz	37
Actuadores de compresor independientes.	39
Microcontrolador.	40
Arduino mega2560.	41
Sensor de temperatura DTH22.	43
Control de Motores con el Puente H IBT-2 y Arduino.	45
Servo motor MG995	46
Sensor de Fuerza o Presión MF01	49
Metodología	52
Diagrama de procesos.	53
Diseño del Habitáculo y Componentes.	54
Fabricación y Ensamblaje del Habitáculo:	61

	8
Implementación del Sistema de Control Climático.	68
Análisis para el control de temperatura	82
Lógica de control del sistema de climatización.	84
Diseño de Experimentos	85
Resultados	89
Prueba 1 Tiempo que alcanza el rango de confort (20-24°C).....	89
Uniformidad térmica.	91
Desviación estándar térmica.	92
Perfil térmico por sensor.	92
Prueba 2 Tiempo de respuesta térmica del habitáculo con 1 ocupante a las 2:00.	94
El tiempo de respuesta a entrar en 20-24°C.....	94
Tiempo de estabilidad en confort (20-24°C).	94
Uniformidad técnica.....	95
Desviación estándar térmica.	95
Perfil térmico por sensor.	96
Consumo eléctrico del motor eléctrico monofásico de corriente alterna (AC) a las 2pm. ...	96
Prueba 3 Tiempo que alcanza y mantiene el rango de confort (20-24°) con 1 ocupante a las 5:00.	98
Tiempo para entrar en 20-24°C	98
Tiempo de estabilidad en confort.....	98

	9
Uniformidad térmica	99
Desviación estándar.	99
Perfil térmico por sensor.	100
Consumo eléctrico del motor eléctrico monofásico de corriente alterna (AC) a las 5pm ..	100
Comparativo general – Pruebas 1-2-3.....	102
Temperatura promedio del habitáculo vs tiempo con 1 personas.....	104
Prueba 4 Tiempo de respuesta térmica del habitáculo con 2 ocupante a las 10:00.	104
El tiempo de respuesta a entrar en 20-24°C.....	105
Resultado de estabilidad de confort.	106
Uniformidad térmica.	106
Desviación estándar térmica.	106
Perfil térmico por sensor.	107
Consumo eléctrico del motor eléctrico monofásico de corriente alterna (AC) a las 10am.	107
Prueba 5. Tiempo de respuesta térmica del habitáculo con 2 ocupante a las 2:00.	109
El tiempo de respuesta a entrar en 20-24°C.....	109
Resultado de estabilidad de confort.	109
Uniformidad térmica.	110
Desviación estándar térmica.	110
Perfil térmico por sensor.	111

	10
Consumo eléctrico del motor eléctrico monofásico de corriente alterna (AC) a las 2pm con 2 personas.....	111
Prueba 6 Tiempo de respuesta térmica del habitáculo con 2 ocupante a las 5:00.	113
El tiempo de respuesta a entrar en 20-24°C.....	113
Uniformidad térmica.	114
Desviación estándar térmica.	114
Perfil térmico por sensor.	115
Consumo eléctrico del motor eléctrico monofásico de corriente alterna (AC) a las 5pm con 2 personas.....	115
Temperatura promedio del habitáculo vs tiempo con 2 personas.	116
En foque del análisis global de las pruebas totales.	118
Discusión de resultados.....	120
Conclusiones.....	124
Recomendaciones	125
Referencias bibliográficas.....	127
Anexos	136

Lista de Figuras

FIGURA 1 SIMULADOR AIRE ACONDICIONADO AUTOMOTRIZ	18
FIGURA 2 RECIRCULACIÓN AUTOMÁTICA	23
FIGURA 3 TRANSMISIÓN DEL MOTOR POR PELEA HACIA EL COMPRESOR.	25
FIGURA 4 DUCTO DE AIRE ACONDICIONADO	32
FIGURA 5 CONTROL DIGITAL DEL AIRE ACONDICIONADO	34
FIGURA 6 MANDOS DE CALEFACCIÓN	36
FIGURA 7 MÓDULOS DE CONTROL ELÉCTRICO.....	36
FIGURA 8 DUCTO DE AIRE ACONDICIONADO CAMBIO CALOR.....	38
FIGURA 9 ACTUADORES DEL AIRE ACONDICIONADO.....	40
FIGURA 10 ARDUINO MEGA	42
FIGURA 11 SENSOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD DTH22	44
FIGURA 12 MÓDULO DE CONTROL DE MOTOR	45
FIGURA 13 SERVO MOTOR MG995.....	48
FIGURA 14 SENSOR MF01	51
FIGURA 15 DISEÑO DEL HABITÁCULO.	55
FIGURA 16 DISEÑO DEL HABITÁCULO EN INVENTOR.	56
FIGURA 17 REJILLAS DE AIRE ACONDICIONADO DE SPARK GM.	57
FIGURA 18 REJILLA DE VENTILACIÓN.	57
FIGURA 19 ALETAS PARTE SUPERIOR DE LA REJILLA.....	58
FIGURA 20 ALETAS PARTE INFERIOR DE LA REJILLA.....	59

FIGURA 21 REJILLAS DE AIRE ACONDICIONADO DE SPARK GM.	59
FIGURA 22 DISEÑO VIRTUAL DEL HABITÁCULO, IMPLEMENTADO LAS REJILLAS DE AIRE ACONDICIONADO.....	60
FIGURA 23 INSTALACIÓN DE DUCTOS DE AIRE EN EL HABITÁCULO.....	61
FIGURA 24 PARTES DEL HABITÁCULO DE MATERIAL ACRÍLICO.	62
FIGURA 25 TOL GALVANIZADO.....	63
FIGURA 26 CONSTRUCCIÓN DEL HABITÁCULO.....	63
FIGURA 27 HUECOS PARA LAS REJILLAS.	64
FIGURA 28 MECANISMO E INSTALACIÓN DE LAS REJILLAS DE VENTILACIÓN	65
FIGURA 29 INSTALACIÓN DE DUCTOS Y REJILLAS.....	65
FIGURA 30 SALIDA DEL AIRE POR EL EVAPORADOR.....	66
FIGURA 31 DUCTO INTERIOR DEL HABITÁCULO	66
FIGURA 32 INSTALACIÓN DE LAS REJILLAS DE AIRE DELANTERAS	67
FIGURA 33 ARDUINO MEGA.	68
FIGURA 34 CONTROL DE TEMPERATURA Y PANTALLAS LCD.....	70
FIGURA 35 INSTALACIÓN LCD EN EL HABITÁCULO.....	72
FIGURA 36 SENSORES DE PRESIÓN COLOCACIÓN.	74
FIGURA 37 SERVO MOTOR MG995 CON ENGRANES METÁLICOS	75
FIGURA 38 MÓDULO DE CONTROL DE MOTOR DE ALTO AMPERAJE.	76
FIGURA 39 CONEXIÓN FÍSICA DENTRO DE LA CAJA.	82
FIGURA 40 SENSORES DE TEMPERATURA FRENTE DEL HABITÁCULO.....	83

FIGURA 41 UN OCUPANTE EN EL HABITÁCULO A LAS 10:00.....	89
FIGURA 42 TEMPERATURA PROMEDIO VS TIEMPO	104
FIGURA 43 NÚMERO DE OCUPANTES 2.	105
FIGURA 44. TEMPERATURA PROMEDIO VS TIEMPO PRUEBAS 4-5-6.....	117
FIGURA 45. DIAGRAMA DE CAJA DE LA TEMPERATURA PROMEDIO DEL HABITÁCULO (PRUEBAS 1–6).....	121

Lista de Tablas

TABLA 1 DISEÑO Y UBICACIÓN DE LOS DUCTOS DE AIRE ACONDICIONADO AUTOMOTRIZ.	27
TABLA 2 CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DEL ARDUINO MEGA2560.	42
TABLA 3 CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DEL SENSOR DE TEMPERATURA DTH22	44
TABLA 4 CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DEL MÓDULO IBT-2	46
TABLA 5 CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DEL SERVO MOTOR MG995	48
TABLA 6 CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE SENSOR DE FUERZA O PRESIÓN	49
TABLA 7 PINES DE CONEXIÓN EN EL ARDUINO	79
TABLA 8. CONDICIONES DE ENSAYO PRUEBA 1.	90
TABLA 9. RESULTADOS PRUEBA 1.	90
TABLA 10. PERIODOS DETECTADOS PRUEBA 1.	91

TABLA 11. UNIFORMIDAD TÉRMICA PRUEBA 1.	91
TABLA 12. DESVIACIÓN ESTÁNDAR TÉRMICA PRUEBA 1.	92
TABLA 13. ESTADÍSTICOS POR SENSOR PRUEBA 1.	93
TABLA 14. ESTABILIDAD DE CONFORT PRUEBA 2.	95
TABLA 15. UNIFORMIDAD TÉRMICA PRUEBA 2.	95
TABLA 16. DESVIACIÓN TÉRMICA PRUEBA 2.	96
TABLA 17. PERFIL TÉRMICO POR SENSOR PRUEBA 2.	96
TABLA 18. CONSUMO ELÉCTRICO PRUEBA 2.	97
TABLA 19. UNIFORMIDAD TÉRMICA PRUEBA 3.	99
TABLA 20. ESTABILIDAD TÉRMICA PRUEBA 3.	99
TABLA 21. PERFIL TÉRMICO POR SENSOR PRUEBA 3.	100
TABLA 22. CONSUMO ELÉCTRICO PRUEBA 3.	100
TABLA 23. CONFORT TÉRMICO POR PRUEBAS 1-2-3.	102
TABLA 24. COMPORTAMIENTO DE LOS SENSORES.	103
TABLA 25 RESULTADO DE ESTABILIDAD DE CONFORT.	106
TABLA 26. UNIFORMIDAD TÉRMICA PRUEBA 4.	106
TABLA 27. DESVIACIÓN ESTÁNDAR TÉRMICA PRUEBA 4.	107
TABLA 28 PERFIL TÉRMICO PRUEBA 4	107
TABLA 29. CONSUMO ELÉCTRICO PRUEBA 4.	108
TABLA 30. RESULTADO DE ESTABILIDAD DE CONFORT PRUEBA 5.	110
TABLA 31. UNIFORMIDAD TÉRMICA PRUEBA 5.	110
TABLA 32. DESVIACIÓN ESTÁNDAR PRUEBA 5.	111

TABLA 33. PERFIL TÉRMICO POR SENSOR PRUEBA 5.	111
TABLA 34. CONSUMO ELÉCTRICO PRUEBA 5.	112
TABLA 35. UNIFORMIDAD TÉRMICA PRUEBA 6.	114
TABLA 36. PERFIL TÉRMICO PRUEBA 6.	115
TABLA 37. CONSUMO ELÉCTRICO PRUEBA 6.	115
TABLA 38. CLASIFICACIÓN DE PRUEBAS.	118
TABLA 39. INDICADORES TÉRMICOS DE TODAS LAS PRUEBAS.	118
TABLA 40. DATOS PRUEBA 1.	151
TABLA 41. DATOS PRUEBA 2.	151
TABLA 42. DATOS PRUEBA 3.	152
TABLA 43. DATOS PRUEBA 4.	152
TABLA 44. DATOS PRUEBA 5.	153
TABLA 45. DATOS PRUEBA 6.	153

Lista de Diagramas

DIAGRAMA 1 COMPONENTES Y PROCESO DE UN SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO.....	19
DIAGRAMA 2 DIAGRAMA DE PROCESOS	53
DIAGRAMA 3 CIRCUITO DE TEMPERATURA.....	69
DIAGRAMA 4 DIAGRAMA DE CONEXIÓN LCD.	72
DIAGRAMA 5 CONEXIÓN COMPLETA DE LOS DISPOSITIVOS UTILIZADOS EN EL PROTOTIPO DEL HABITÁCULO.....	81

DIAGRAMA 6 DIAGRAMA DE FLUJO	86
------------------------------------	----

Listas de Anexos

ANEXO 1 PROGRAMACIÓN DE TEMPERATURA.	136
ANEXO 2 PROGRAMACIÓN LCD.	137
ANEXO 3 PROGRAMACIÓN DE SENSOR DE PESO O FUERZA.	137
ANEXO 4 PROGRAMACIÓN SERVOMOTOR.	138
ANEXO 5 PROGRAMACIÓN PARA MÓDULO IBT-2.	139
ANEXO 6 FIN CÓDIGO.	140
ANEXO 7 FOTOS PERSONAS EN EL HABITÁCULO.	149
ANEXO 8 PROTOTIPO AIRE ACONDICIONADO.	150
ANEXO 9 DATOS PRUEBA 1.	150
ANEXO 10. DATOS PRUEBA 2.	151
ANEXO 11. DATOS PRUEBA 3	151
ANEXO 12. DATOS PRUEBA 4.	152
ANEXO 13. DATOS PRUEBA 5.	152
ANEXO 14. DATOS PRUEBA 6.	153
ANEXO 15. FOTOS DE AMPERAJE PRUEBA 1.	153
ANEXO 16. FOTOS DE AMPERAJE PRUEBA 2.	154
ANEXO 17. FOTOS DE AMPERAJE PRUEBA 3.	154
ANEXO 18. FOTOS DE AMPERAJE PRUEBA 4.	154

ANEXO 19. FOTOS DE AMPERAJE PRUEBA 5. 155

ANEXO 20. FOTOS DE AMPERAJE PRUEBA 6. 155

Resumen

El siguiente proyecto se enfocó en abordar la problemática de la distribución del aire acondicionado automotriz según su número de ocupantes y la temperatura termina dentro del habitáculo, mediante la implementación de sensores y actuadores que funcionen de manera automática. El objetivo de esta investigación fue el diseñar un habitáculo prototipado para el control automático de las rejillas, que funcionan mediante el monitoreo de la temperatura que se encuentre dentro del habitáculo y el número de ocupantes, ayudando a tener una mejor distribución o estabilidad del aire, además el flujo de aire puede ser controlado por un promedio de los sensores de temperatura para saber que tanto aire entra al habitáculo prototipado.

Los resultados obtenidos evidencian un flujo de aire más eficiente, distribuyéndose de forma más uniformemente según las personas que se encuentren dentro del habitáculo, considerando la temperatura ambiente registradas en diferentes horas del día. En la obtención de datos Estos resultados nos muestran que el control de las rejillas y la velocidad del aire puede ofrecer beneficios cuando este los vehículos se encuentren en una congestión con un calor intenso.

Este trabajo es un aporte para la climatización del vehículo cuando las temperaturas son altas, proporcionando una pequeña solución práctica para mejorar la eficiencia en diferentes zonas del habitáculo siendo un aporte en la mejora de la climatización automotriz.

Palabras clave: Climatización automotriz, Rejillas, Sistemas embebidos, Sensores y actuadores.

Abstract

The following project focused on addressing the problem of the distribution of automotive air conditioning according to the number of occupants and the temperature inside the cabin, through the implementation of sensors and actuators that work automatically. The objective of this research was to design a prototype cabin for the automatic control of the grilles, which work by monitoring the temperature inside the cabin and the number of occupants, helping to have a better distribution or stability of the air, in addition the air flow can be controlled by an average of the temperature sensors to know how much air enters the prototyped cabin.

The results obtained showed advantages in terms of the efficiency of the air flow that enters according to the people who are in the cabin, characterized by the ambient temperature taken at different times of the day. Inside the cabin, favorable data were taken for the air conditioning obtained at each time of the day. These results show us that the control of the grilles and the speed of the air can offer benefits when these vehicles are in a congestion with intense heat.

This work is a contribution to vehicle air conditioning when temperatures are high, providing a small practical solution to improve efficiency in different areas of the passenger compartment, thus contributing to the improvement of automotive air conditioning.

Keywords: Automotive air conditioning, Grilles, Embedded systems, Sensors and actuators.

Introducción

En la actualidad experimentamos un continuo avance tecnológico, y este progreso se refleja en la creciente importancia en la mejoría energética del diseño de sistemas de climatización donde se incluyen los sistemas de aire acondicionado. Estos sistemas se han convertido en elementos fundamentales para crear ambientes agradables y sostenibles, ya sea en entornos residenciales o de transporte. El confort térmico mejora la calidad del aire interior y aumenta la eficiencia energética, influyendo positivamente en la comodidad de las personas.

En este sentido, la automatización de los sistemas de climatización representa una solución promisoría para enfrentar los retos existentes. En el marco de la investigación que sigue, nos enfocamos en el desarrollo de un novedoso sistema de climatización automotriz que incorpora sensores avanzados y actuadores en los conductos de ventilación. El principal propósito de este sistema es mejorar la eficiencia el uso de recursos energéticos y elevar la calidad del aire interior, al mismo tiempo que se crea un ambiente de confort óptimo.

Este trabajo de investigación se ocupa de diversos aspectos esenciales, desde la elección y la instalación de sensores en los conductos de ventilación hasta la incorporación de algoritmos inteligentes destinados a supervisar el sistema de climatización de forma eficaz y eficiente. Además, se examinan las repercusiones prácticas y las ventajas potenciales de esta tecnología, un incremento en la comodidad de los ocupantes, de la misma manera que una reducción en el efecto sobre el medio ambiente.

Antecedentes

En las últimas décadas, el ámbito de la climatización y el aire acondicionado ha experimentado una transformación significativa impulsada por la búsqueda constante de eficiencia, comodidad y sostenibilidad en entornos habitables. La creciente conciencia sobre el impacto ambiental y la necesidad de optimizar el consumo de energía en edificaciones ha impulsado la búsqueda de nuevas soluciones en el diseño y la gestión de sistemas de control de climatización.

Uno de los avances más notables en este contexto es la incorporación de la automatización en los sistemas de aire acondicionado automotriz. A medida que la tecnología ha avanzado, la capacidad de integrar sensores y actuadores en estos sistemas se ha convertido en una perspectiva emocionante para mejorar tanto la eficiencia operativa como la calidad del ambiente interior.

Existen diversas alternativas para el sistema de refrigerante como el R-1234yf que tiene un potencial de destrucción de la capa de ozono de cero ayudando al medio ambiente (Wang jue, 2024).

El antecedente actual establece el fundamento para un estudio detallado de un sistema automatizado de climatización que supera los enfoques convencionales. Este sistema no se limita únicamente a controlar la temperatura, sino que aspira a una optimización completa mediante el uso estratégico de sensores y dispositivos de control en los conductos de aire. Esta interacción precisa entre los elementos se considera un avance significativo hacia una utilización más eficaz de los recursos y una adaptación mejorada a las demandas de las variables de los usuarios.

Planteamiento del Problema

Hoy en día en la industria tecnológica de la climatización han experimentado avances significativos en la automatización de los sistemas de aire acondicionado, con un enfoque particular en características como la detección de ocupantes y el control basado en la calidad del aire. Estos avances prometen mejorar la comodidad, la calidad del aire interior en los vehículos de un sistema antiguos.

A pesar de tener avances tecnológicos los sistemas de aire acondicionado automotriz antiguos no son muy eficientes. Por ello, se busca tener una mayor eficiencia en el flujo de aire que ingrese al habitáculo, con el objetivo de tener un ambiente frío y estable para el agrado de los ocupantes. (VANTAGE, 2023)

Además, se observa que la circulación del aire en muchos casos no se adapta al número de pasajeros, resultando en una dispersión ineficiente. La falta de una disposición adecuada o apertura del aire conforme al número de ocupantes no solo afecta la comodidad, sino que también incide en un uso ineficiente de energía en el funcionamiento del aire acondicionado. Por lo tanto, existe la necesidad de desarrollar sistemas que puedan ajustar dinámicamente la distribución del aire en función de la ocupación del vehículo, lo que podría contribuir significativamente a la eficiencia energética y a la mejora general del confort en el interior del vehículo.

En la actualidad, el aire acondicionado ha dejado de ser un lujo para convertirse en una necesidad esencial para el bienestar de las personas. No obstante, esta creciente dependencia de la climatización ha dado lugar a un desafío significativo en relación con el consumo de energía y la sostenibilidad. Conforme la demanda de sistemas de aire

acondicionado continúa en aumento, surge un dilema crítico que involucra la eficiencia energética, el impacto ambiental y la calidad del aire interior. La cuestión central consiste en buscar soluciones que satisfagan la necesidad de mantener entornos confortables y climatizados, al mismo tiempo que se reducen las emisiones y se asegura una recirculación óptima del aire acondicionado.

Justificación.

La automatización de sistemas de aire acondicionado en vehículos, especialmente con la integración de características como la detección de ocupantes y el control inteligente basado en la recirculación de aire, es un tema de creciente relevancia en la industria automotriz. Este proyecto se justifica en función de múltiples consideraciones tecnológicas, ambientales y de confort, alineándose con los objetivos de mejora continua en eficiencia energética y sostenibilidad.

En la integración de sistemas de detección de pasajeros en los sistemas de climatización de vehículos de dos sistemas de aire es fundamental para el bienestar y la comodidad de las personas. Es por eso por lo que esto se alinea con los principios de sostenibilidad y ahorro de energía, que son preocupaciones de gran relevancia en la actualidad.

A diferencia de los sistemas de aire acondicionado convencionales operando a velocidad constantes y sin tener en cuenta la distribución de los ocupantes, la propuesta basada en el ajuste dinámico de la velocidad del aire y la apertura de las rejillas mediante sensores. Esto nos permite un control personalizado del flujo del aire, mejorando la eficiencia energética al reducir el funcionamiento innecesario del aire acondicionado. al

priorizar las zonas con ocupantes, se minimiza el consumo energético, lo que no ocurre en los sistemas tradicionales que distribuyen aire de manera uniforme (Donado, 2021).

El sistema aire acondicionado en los vehículos representan un consumo de 5% y 20% de combustible, dependiendo el tipo de vehículo y los sistemas de aire que tenga, como por ejemplo los vehículos pequeños con el uso del aire acondicionado puede incrementar el consumo de combustible en hasta 1,0 L cada 100km, aumentando las emisiones de CO₂ cuando las condiciones son de tráfico y bajas velocidades, dando un consumo hasta del 50%. (SAE, 2022).

De acuerdo con (Mitsubishi-Motors, 2023) la salud y el bienestar de las personas que viajan en vehículos están estrechamente relacionados con la calidad del aire en el interior. La inclusión de sistemas de control que se basan en la calidad del aire permite la detección y la reducción de la presencia de sustancias perjudiciales y partículas contaminantes en el entorno del vehículo. Dado el creciente interés en la calidad del aire en espacios cerrados y su impacto en la salud respiratoria, esta investigación se justifica como un esfuerzo por mejorar la experiencia de conducción y reducir los riesgos para la salud asociados a la exposición a contaminantes del aire.

Hoy en día (Donado, 2021), el aire acondicionado en vehículos ha pasado de ser un lujo a una necesidad, especialmente en climas extremos. Los sistemas modernos no solo enfrían el aire, sino que también purifican el ambiente, manteniendo las ventanas cerradas y contribuyendo a la seguridad vial al reducir el riesgo de distracciones o somnolencia del conductor.

Estos sistemas ofrecen una serie de ventajas que incluyen la purificación del aire, proporcionando comodidad a los ocupantes al reducir la temperatura en el interior del vehículo en climas extremadamente calurosos. Además, contribuyen a la seguridad al mantener las ventanas cerradas, lo que también ayuda a mantener a los conductores alerta, disminuyendo así el riesgo de accidentes

Objetivo general

Fabricar un banco de pruebas de un sistema automatizado de climatización automotriz, mediante la implementación de sensores y actuadores, para optimizar el uso de los ductos de ventilación de un vehículo.

Objetivos específicos:

- Diseñar un habitáculo prototipado mediante software inventor para el análisis de ubicación de los componentes a instalar.
- Prototipar un habitáculo del automóvil partiendo del diseño previo para la posterior automatización del sistema de aire acondicionado.
- Implementar un sistema automatizado de control climático en el habitáculo, mediante el uso de sensores y actuadores para regular la temperatura del aire que este dentro del habitáculo.
- Evaluar el desempeño del sistema de climatización automotriz a través de diferentes condiciones de velocidad del aire y número de ocupantes, con el fin de optimizar su eficiencia y garantizar el confort térmico dentro del habitáculo.

Hipótesis

La creación de un banco de pruebas para la climatización automotriz, mediante la simulación en Software Inventor y la construcción de un habitáculo prototipo, permitirá diseñar e implementar un sistema automatizado de control climático que optimice el uso de los ductos de ventilación. Este sistema, basado en sensores de temperatura interna, número de ocupantes y velocidad del aire, junto con actuadores controlados por circuitos electrónicos, ajustará de manera dinámica y precisa las rejillas de ventilación, regulando la apertura y el flujo de aire según las condiciones del habitáculo. Además, se implementará un potenciómetro para controlar la velocidad del aire que ingresa al habitáculo, garantizando el confort térmico de los usuarios.

Estado del arte

El concepto de aire acondicionado surgió en 1842 con el propósito de mejorar el confort térmico y la calidad del aire en espacios cerrados. Lord Kelvin contribuyó significativamente al desarrollo de sistemas de refrigeración mediante la implementación de un circuito que permitía la absorción del calor a través de un gas refrigerante (Báez, 2019).

Con el paso del tiempo, las industrias automotrices se adaptaron a las necesidades de las personas creando un sistema de climatización automotriz. En un principio los sistemas no tenían una eficiencia y eran un poco toscos, pero con el tiempo fueron mejorando el flujo del aire, la intensidad con la que sale y su regulación térmica según lo necesario. La automatización en el sistema automotriz enfocado en la climatización permitió mejorar el confort del conductor como de los pasajeros, ya que existen sistemas de hasta 3 sistemas de enfriamiento como es la parte enfrente, medio y trasera de un vehículo. Actualmente, se implementa sensores inteligentes para que estos controlen la regulación del aire frío que sale, distribuyendo el aire según las necesidades específicas del entorno y los ocupantes del vehículo.

Sistema de aire acondicionado.

En la siguiente parte nos enfocaremos sobre la climatización y enfriamiento automotrices. El sistema aire acondicionado a, es un sistema que se diseñó para mantener una temperatura lo suficiente mente fría y constante en espacios cerrados, es esencial en este contexto (Service, 2020).

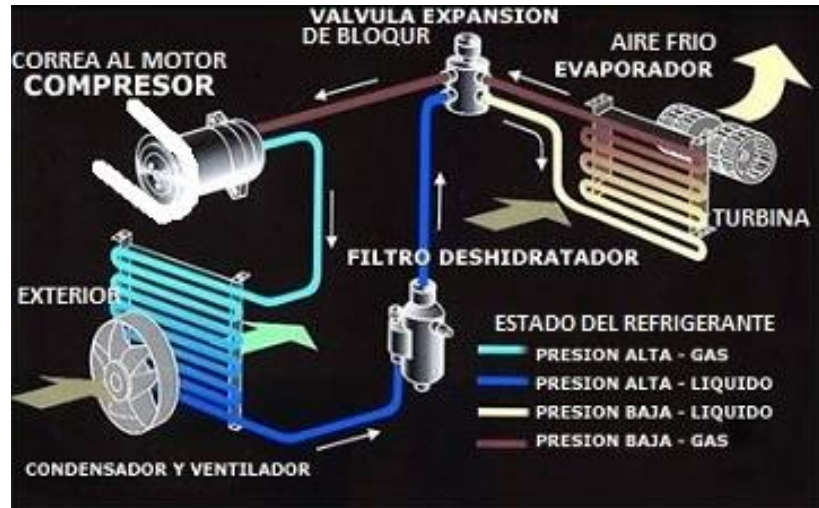
El sistema de refrigeración trabaja en un entorno cerrado e interconectado por varios componentes que trabajan en conjunto para establecer un ciclo de enfriamiento. (Acedo Zambrana, 2022).

Un sistema de aire acondicionado de hoy en día no es un lujo sino una necesidad, por los altos grados de temperatura que puede llegar el interior de un vehículo cuando este es expuesto directamente al sol. El aire acondicionado crea un ambiente frío y constante, lo que eleva la comodidad de los ocupantes y conductor dentro de este, dando una reducción de fatiga u otros síntomas durante las estancias prolongadas como el tráfico o estacionamiento bajo el sol. (Leitón, 2022).

El sistema del aire acondicionado automotriz utiliza gas refrigerante r134a que es gaseoso, pasa por un compresor transformándolo en estado líquido, que pasa al condensador para su enfriamiento porque está en alta presión. después pasa por la válvula de expansión para volver a su estado gaseoso. Mientras atraviesa el evaporador, se libera aire fresco en el interior del vehículo (Donado, 2021). Podemos visualizar en la Figura 1 el proceso explicado.

Figura 1

Simulador Aire acondicionado automotriz

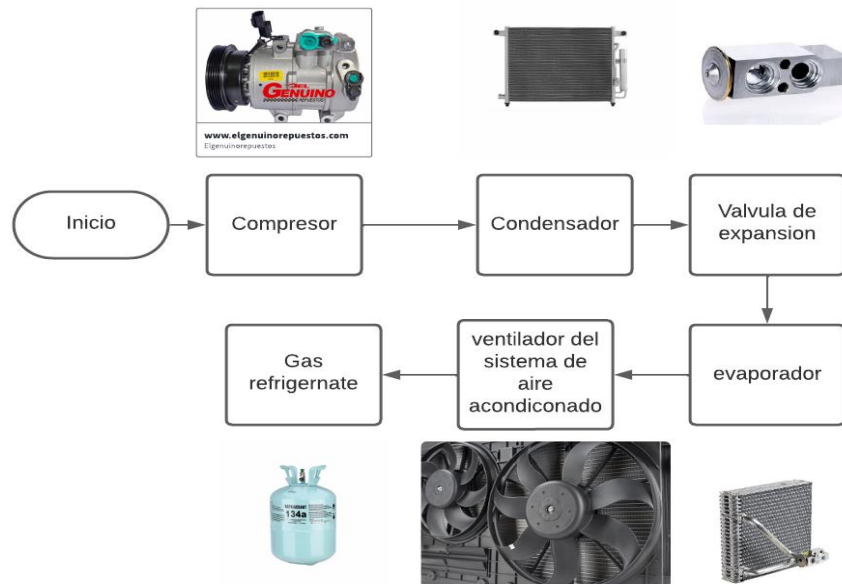


Nota: Recuperado de (Conforempresarial, 2019).

En la Figura 1 se pueden identificar las etapas de un sistema de aire acondicionado convencional. Estas etapas engloban la compresión, la condensación, la expansión y la evaporación, las cuales desempeñan un papel esencial en el procedimiento de enfriamiento y regulación de la temperatura del aire en un entorno controlado (Conforempresarial, 2019). Se muestra en el Diagrama 1 los componentes importantes del aire acondicionado automotriz.

Diagrama 1

Componentes y proceso de un sistema de aire acondicionado



El proceso comienza en el compresor, que es un componente esencial del sistema. El compresor aspira vapor de refrigerante en estado gaseoso, generalmente gas refrigerante R-134a utilizados en los carros normalmente. El compresor comprime este vapor, aumentando su presión y temperatura. El refrigerante sale del compresor en estado gaseoso y de alta presión. (Idoia Arnabat, 2019).

El vapor caliente y comprimido fluye hacia el condensador, que suele estar ubicado en la parte frontal del sistema de aire acondicionado, en la parte delantera del vehículo en el caso de sistemas automotrices. En el condensador, el refrigerante cede calor al aire circundante. Como resultado, el refrigerante se enfría y cambia de estado gaseoso a líquido. Esta liberación de calor al ambiente exterior es lo que hace que el aire dentro del vehículo se enfríe. (Valeoservice, 2023).

Desde el condensador, el refrigerante líquido de alta presión se dirige hacia la válvula de expansión. La válvula de expansión reduce drásticamente la presión del refrigerante, lo que provoca que se expanda y se enfríe considerablemente. Esto prepara al refrigerante para el siguiente paso (Profedaza, 2020).

El refrigerante frío y en estado líquido pasa a través del evaporador, que se encuentra en el interior del vehículo. El aire del habitáculo del vehículo se sopla a través del evaporador. A medida que el aire caliente del interior del vehículo pasa sobre el evaporador frío, el refrigerante absorbe el calor del aire. Como resultado, el aire se enfría y se deshumidifica, creando un ambiente interior más cómodo (Mitsubishi-motors, 2023).

El ventilador del sistema de aire acondicionado circula el aire enfriado a través de las salidas de aire del vehículo, lo que permite que los ocupantes sientan el efecto de enfriamiento (Helloauto, 2020).

El refrigerante, ahora en estado gaseoso y a baja temperatura, regresa al compresor, y el ciclo comienza de nuevo. Este proceso se repite continuamente para mantener la temperatura interior deseada.

Rango de temperatura recomendada para confort térmico.

El rango de temperatura activo que es recomendado dentro de un habitáculo de un vehículo se encuentra en el rango de 20°C y 24°C, para adultos sanos. Estos rangos de temperatura se encuentran definidos por estándares internacionales (ASHRAE 55 y ISO 7730). Aquellas se basan en temperaturas, humedades, velocidad del aire, actividad metabólica y el tipo de ropa que usa la persona.

Alkaabi et al. (2022) analiza mediante diferentes estudios que el ambiente dentro del habitáculo no es constante y temporal, ya que tiene la influencia de la radiación solar, los tipos de asientos, por lo que un sistema de climatización debe apuntar a mantener una temperatura funcional en los rangos de confort y el control de la distribución del aire.

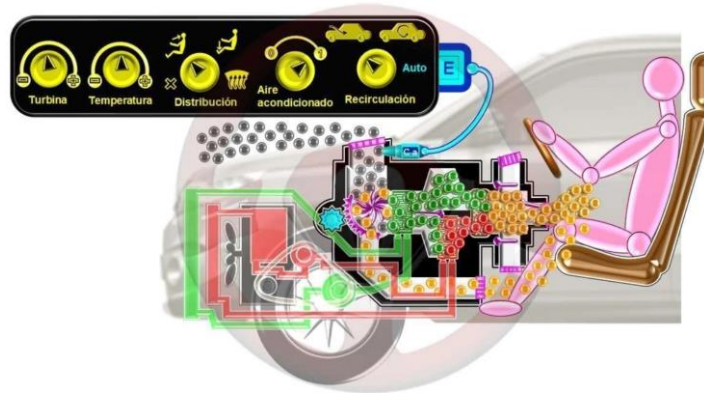
Recirculación del aire acondicionado.

Los vehículos automotrices están equipados con un sistema de control del aire que regula su ingreso, procesamiento y distribución en el habitáculo. Este sistema funciona tomando aire del exterior o reutilizando el aire interno del vehículo, dependiendo de la configuración seleccionada por el usuario. Cuando el aire es inhalado, pasa por un proceso de filtrado y acondicionamiento térmico, ajustándose a la temperatura y nivel de humedad deseados. Posteriormente, el aire es distribuido a diferentes zonas del vehículo, como el parabrisas, el área frontal, los pies o múltiples ubicaciones simultáneamente, según la preferencia del conductor y pasajeros (Murias, 2021).

La función de recirculación del aire permite reutilizar el aire interno del habitáculo en lugar de tomar aire fresco del exterior. Esto resulta especialmente útil en entornos donde la calidad del aire externo es deficiente, como en zonas de alta contaminación o en túneles, evitando la entrada de polvo, gases nocivos o malos olores. Además, el uso de la recirculación favorece una refrigeración más rápida y eficiente del interior del vehículo, ya que el sistema trabaja con aire previamente enfriado en lugar de aire caliente del exterior.

Figura 2

Recirculación automática



Nota: En este gráfico se representa una recirculación del aire acondicionado.

(Tecnología-automóvil, 2019)

Filtro deshidratador.

El filtro deshidratador cumple un papel crucial en el sistema de refrigeración al actuar como responsable de dos funciones principales: eliminar la humedad y filtrar partículas no deseadas (Climasmonterrey, 2020).

- **Captura de Humedad:** El filtro deshidratador está ubicado en la línea de refrigerante del sistema de aire acondicionado, generalmente después del evaporador y antes del compresor. Cuando el refrigerante en estado gaseoso pasa a través del filtro deshidratador, este componente comienza a absorber la humedad presente en el sistema (Hifi-filter, 2023).
- **Retención de Partículas:** El filtro lo que hace es atrapar partículas sólidas ya sea polvo, suciedad, fragmentos de aluminio entre otros, al atrapar estas partículas contribuyen con la vida útil de las piezas mecánicas. (Rgcrefrigeration, 2023).

- Prolongación de la Vida Útil: El filtro al retener humedad y partículas de suciedad contribuye con la limpieza del gas y prologándolo para una larga duración del gas refrigerante, también protegiendo al compresor, condensador y evaporador de taparse y dañarse

Correa de accesorios y poleas.

Para la instalación de un compresor de aire acondicionado es necesario una banda diferente y una polea templadora por que con este da la fuerza que necesita el compresor para su compresión interna y a su vez los demás accesorios del motor. La correa de accesorios, comúnmente conocida como correa serpentina, es un elemento esencial que transmite la potencia del motor a múltiples sistemas, como el alternador, la bomba de dirección asistida y el compresor del aire acondicionado. Por el diseño ya sea en v en estrías y más siendo flexibles y resistentes permiten que el motor funciona de manera sincronizada y eficiente. Las poleas, por su parte, Son importante por su importante distribución de fuerza mecánica que genera el motor, siendo fijas o tensoras. las poleas ayudan a mantener tensadas y fijas a las correas para evitar las desviaciones o desgastes. Si tenemos un sistema de poleas bien ajustados las correas trabajaran correctamente siempre y cuando la correa se la correcta, dándonos una optimización del rendimiento del motor y evitando fallos en la sincronización.

Un mantenimiento adecuado de la correa de accesorios y las poleas es fundamental para evitar problemas en el sistema de climatización y otros sistemas del vehículo. Con el tiempo, la correa puede desgastarse, agrietarse o perder tensión, lo que puede ocasionar ruidos, pérdida de eficiencia e incluso la falla del compresor del aire acondicionado. Por

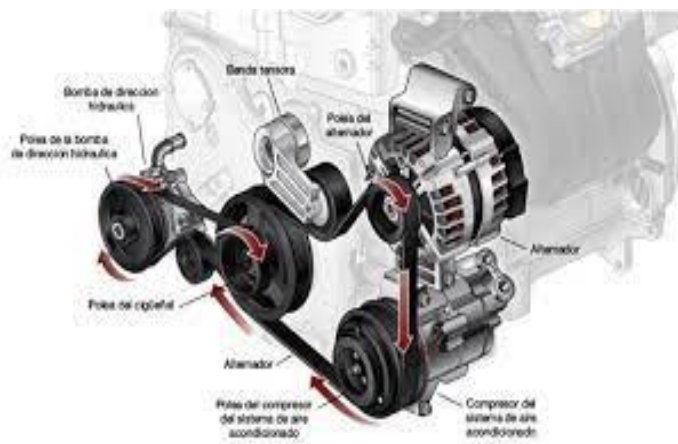
esta razón, es recomendable inspeccionar periódicamente su estado y reemplazarla según las especificaciones del fabricante.

En los vehículos modernos, algunos sistemas han incorporado tensores automáticos y materiales más resistentes en las correas para prolongar su vida útil y mejorar el rendimiento general. Esto permite una mayor eficiencia en la distribución de potencia y reduce la necesidad de ajustes frecuentes, asegurando un funcionamiento óptimo del aire acondicionado y otros sistemas automotrices.

(Autolab, 2018). Se muestra la Figura 3 como transmite la polea del motor del carro al compresor de aire acondicionado.

Figura 3

Transmisión del motor por polea hacia el compresor.



Nota: En este gráfico se representa una Transmisión del motor por polea hacia el compresor. (Autigo, 2019)

Entre las innovaciones más destacadas se encuentra el desarrollo de correas fabricadas con materiales más resistentes, como compuestos de EPDM (etileno propileno

dieno monómero), que ofrecen mayor resistencia al desgaste y temperaturas extremas (Gates Corporación, 2020). Además, la incorporación de poleas de embrague electromagnético y poleas des acopladoras ha permitido reducir las vibraciones y mejorar la eficiencia del sistema, especialmente en motores con tecnologías de arranque y parada automática.

Correa Serpentina: Esta correa, generalmente hecha de goma reforzada con tejido, es la responsable de transmitir la potencia del cigüeñal del motor a los accesorios, como el alternador, la bomba de dirección asistida, el compresor de aire acondicionado y la bomba de agua (Autingo, 2019).

Poleas: las poleas templadoras son las que mantienen fija y guiada por los canales en V o estriadas. Pueden ser de diferentes tamaños y desempeñan un papel importante en el enrutamiento y la tensión adecuada de la correa (Eurotaller, 2022).

Ductos del aire acondicionado.

Los ductos de ventilación están formados de tal manera que pueden garantizar un confort térmico a los ocupantes, especialmente en condiciones climáticas excesivo, como en ambientes fríos como calurosos. Los ductos transportan el aire ya sea caliente o frío según lo que el ocupante requiera en diferentes zonas del vehículo teniendo desde los pies, al frente, arriba o hacia el parabrisas cuando este se encuentre borroso. Los ducos permiten una uniformidad del aire para que puedan llegar con la misma intensidad en todas las zonas deseadas. Existen diferentes vehículos que ya tienen un sistema de flujo de aire en la parte trasera del vehículo son carros largos que tienen ductos traseros como un evaporador trasero para poder llegar al fondo del vehículo.

Los ductos delanteros tienen un diseño para la eficiencia y la conformidad, Según García A. (2022), el situar el evaporador cerca del tablero mejorando significativamente por que al estar en el centro del tablero puede producir un flujo de aire constante y eficiente reduciendo las pérdidas de aire. Y con una distribución correcta puede ser que cambie de caliente a frío.

Los conductos frontales son muy importantes pero muchos vehículos incorporan ductos adicionales en la parte trasera, en vehículos con gran tamaño para más personas como SUV y furgonetas. Estos sistemas permiten una distribución más homogénea del aire en todo el habitáculo, evitando zonas de temperaturas desiguales. Algunos modelos avanzados cuentan con sistemas de climatización de doble o triple zona, lo que permite ajustar la temperatura de manera independiente en distintas áreas del vehículo, brindando mayor comodidad a los ocupantes.

El mantenimiento de los ductos es esencial para garantizar la eficiencia del sistema de climatización y la calidad del aire en el interior del vehículo. Con el tiempo, estos conductos pueden acumular polvo, suciedad y microorganismos, lo que puede afectar la salud de los ocupantes y reducir la eficacia del aire acondicionado. Por ello, es recomendable realizar limpiezas periódicas y cambiar los filtros de aire de acuerdo con las especificaciones del fabricante para asegurar un funcionamiento óptimo y un ambiente limpio dentro del vehículo. Algunas características de los ductos del aire se encuentran en la Tabla 1.

Tabla 1

Diseño y Ubicación de los Ductos de Aire Acondicionado Automotriz.

Aspecto	Descripción	Consideraciones
Eficiencia y proximidad de componentes	Los elementos principales, como el evaporador, se ubican cerca del tablero delantero, reduciendo la longitud de los ductos y las pérdidas de presión y temperatura.	Diseñar ductos cortos y directos hacia la cabina delantera es más económico y sencillo que una distribución uniforme por todo el vehículo.
Distribución del flujo de aire	El diseño debe asegurar una distribución homogénea del flujo de aire en todas las zonas del habitáculo, evitando puntos fríos o calientes.	Incluir rejillas ajustables y sistemas de derivación que permitan modificar la dirección y cantidad de aire según las necesidades del ocupante.
Material de los ductos	Usar materiales aislantes y de bajo peso, como polímeros o plásticos compuestos, para evitar pérdidas de calor/frío y reducir el peso total del vehículo.	Elegir materiales resistentes a vibraciones, cambios de temperatura y corrosión para asegurar durabilidad.
Tamaño y forma de los ductos	Los ductos deben ser lo suficientemente anchos para minimizar la caída de presión y evitar restricciones en el flujo de aire.	Diseñar curvas suaves y evitar cambios abruptos en la sección de los ductos para reducir el ruido aerodinámico y mejorar la eficiencia.

Ubicación de las salidas de aire	Colocar salidas estratégicas en el tablero delantero, consola central, y laterales para asegurar el confort de todos los ocupantes.	Proveer control independiente para zonas específicas (dual o tri-zone control) mejora la experiencia del usuario.
Integración con otros sistemas	Los ductos deben ser compatibles con otros sistemas, como calefacción, ventilación y filtrado de aire, para un diseño eficiente.	Diseñar un sistema modular que permita un mantenimiento fácil y rápido.
Filtración de aire	Incorporar filtros de aire en puntos clave del sistema para eliminar partículas, polen y contaminantes.	Usar filtros reemplazables y considerar el uso de tecnología de filtración avanzada (filtros HEPA o de carbón activado).

Nota: En esta tabla vemos las características de los ductos de aire (Mexopolimeros, 2024).

• Ergonomía y Usabilidad

Desde una perspectiva ergonómica, la disposición de los ductos en la parte delantera del vehículo es fundamental para proporcionar un confort inmediato al conductor y al pasajero. La proximidad de las salidas de aire al área de control garantiza que el flujo de aire pueda ser dirigido de manera rápida y eficiente hacia las zonas más sensibles del cuerpo, como el rostro y las manos, mejorando la percepción térmica y reduciendo la fatiga en trayectos largos. Según Rodríguez (2019), el 70% de los ajustes del sistema de aire

acondicionado son efectuados por los ocupantes delanteros, lo que resalta la importancia de garantizar un fácil acceso y una alta funcionalidad en los controles de climatización.

El diseño ergonómico del sistema de ventilación no solo se enfoca en la accesibilidad de los controles, sino también en la distribución uniforme del aire en el habitáculo. La correcta colocación de los ductos permite minimizar diferencias de temperatura entre las distintas zonas del vehículo, evitando que algunos pasajeros experimenten frío excesivo mientras otros perciben una refrigeración insuficiente. En modelos avanzados, se han implementado sistemas de climatización de múltiples zonas, que permiten a cada ocupante ajustar la temperatura según sus preferencias individuales, mejorando la experiencia de confort general.

Además, la disposición de los ductos es diferentes en cada vehículo siendo un diseño único para cada marca de carro ya sea por la forma del tablero o estática, no todos los ductos de aire soplaran con la misma intensidad. Porque lo que busca un ingeniero es buscar un diseño adecuado que debe equilibrar la funcionalidad con la estética para tener una conformidad con el usuario y estos ductos usualmente traen un filtro de cabina para que retenga impurezas que pueden entrar por el exterior

Otro aspecto clave en la ergonomía del sistema de climatización es la facilidad de uso de los controles ya que existen desde perillas con engranes, pantallas táctiles entre otros según la marca del vehículo ya sea de alta gama o baja. Estas innovaciones permiten a los conductores ajustar el sistema sin distracciones, mejorando la seguridad y la comodidad en la conducción. En vehículos modernos, los sensores de temperatura y calidad del aire trabajan en conjunto con la climatización automática para ajustar de manera inteligente la

distribución del aire, asegurando un entorno óptimo sin necesidad de intervención constante por parte del usuario.

- **Consideraciones de Diseño Interior**

La incorporación de ductos en diferentes áreas del habitáculo, como las puertas, paneles laterales o incluso el techo, se ve restringida por diversas limitaciones técnicas, de espacio y consideraciones estéticas. Según un informe técnico de la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE, 2020), el diseño de los vehículos modernos busca equilibrar la funcionalidad del sistema HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning) con la armonía visual del interior, lo que ha reforzado la tendencia de concentrar la mayoría de las salidas de aire en el tablero.

Los desafíos que presentan la distribución de los ductos es la optimización dentro del tablero. Ya que la creciente demanda por la temperatura que se encuentra dentro del carro es sofocante las personas buscan obtener un mejor sistema de enfriamiento, siendo que los fabricantes busquen la priorización de diseños compactos y eficientes que no comprometan la estética del vehículo.

En diferentes aspectos encontramos la eficiencia del sistema de climatización en relación con los ductos. En pruebas realizadas por pruebas de fugas, conductos de aire y roturas son pruebas que se realizan para saber que tan bien funciona el flujo de aire cuando estos son puestos en calientes o cuando son puestos en fríos. En la parte trasera se busca optimizar el espacio poniendo difusores ocultos o microventilación, que tienen un rendimiento eficiente y no permiten comprometer el diseño de un habitáculo.

En el último punto a tratar es la personalización de los fabricantes en la distribución del aire ya que se necesita un diseño de interiores modernos. Ya que en diferentes marcas implementan una climatización de zonas múltiples o triples permitiendo el flujo del aire por todo el vehículo sin zonas de pérdida en la siguiente Figura 4 de muestran ductos de un vehículo.

Figura 4

Ducto de aire acondicionado



Nota: Muestra ductos de calefacción y aire acondicionado de la Ford f100, F150 (Auto Clásico, 2019).

Panel de control del aire acondicionado digitales.

En los mandos de calefacción han ido automatizándose de poco a poco en la interfaz de humano y máquina, teniendo controles más interactivos y eficientes. Siendo un gran salto para la tecnología, la mayoría de los vehículos actuales ahora siguen saliendo con mandos manuales, pero la mayoría ya son analógicos ofreciendo una mayor personalización y cambio más rápido de frío a caliente o al contrario (Johnson, 2021).

Estos mandos proporcionan una interacción más amigable mediante las pantallas táctiles, Según un estudio realizado por (Wang, 2022), los sistemas analógicos permiten

ajustes más precisos de temperatura y flujo de aire, porque son controlados por módulos de control que hacen el cambio en tiempo real.

En los carros modernos, los mandos de calefacción digitales se han automatizado de tal manera que pueden poner un a función de control de temperatura independiente. Permitiendo que cada ocupante de la parte delantera pueda configurar de manera autónoma la temperatura ya sea que quiera más caliente o fría, pero con las pantallas táctiles el conductor puede no solo controlar la parte delantera, sino que también controla la parte trasera si quiere que este encendió el aire acondicionado o no, ajustando los conductos correspondientes para satisfacer ambas preferencias simultáneamente como se ve en la Figura 5. (Rentingfinders, 2018).

Según Rodríguez et al. (2020), esta capacidad de control personalizado mejora significativamente la experiencia del usuario, especialmente en trayectos largos, donde las necesidades térmicas pueden variar entre los ocupantes. Además, el uso de sensores avanzados permite una calibración automática para mantener las condiciones seleccionadas con alta precisión, lo que no solo optimiza el confort sino también la eficiencia energética del sistema.

Figura 5

Control digital del aire acondicionado



Nota: En este gráfico se representa Mandos digitales (Volkswagen, 2022)

Mandos de flujo de aire.

Dado que la distribución óptima del aire en el interior del habitáculo es fundamental para maximizar el confort de los ocupantes, los controles de flujo de aire han evolucionado significativamente con el paso del tiempo. Inicialmente, estos sistemas eran rudimentarios y consistían en perillas mecánicas y deslizadores que, mediante actuadores mecánicos, regulaban la dirección del flujo de aire a través de compuertas internas (Martínez, 2019).

Los avances tecnológicos, han implementado un sistema eléctrico que incorpora sensores y actuadores motorizados, que ajustan automáticamente el flujo del aire en función a la temperatura interna del habitáculo (López A., 2021).

En sistemas modernizados el control del flujo del aire ofrece una personalización única, permitiendo seleccionar zonas específicas para que estos tengan un mayor flujo de aire y apagando y prendiendo el compresor de forma inteligente para que este tenga un

menor consumo. Por otra parte, la implementación de sensores detectando los ocupantes ayuda a que el flujo del aire dirija solo hacia las áreas ocupadas, optimizando el flujo del aire.

Los sistemas modernos de control de flujo de aire ofrecen una personalización detallada, permitiendo a los usuarios seleccionar zonas específicas del habitáculo para recibir mayor o menor ventilación. Muchos vehículos actuales cuentan con climatización automática, que ajusta de manera inteligente la intensidad y dirección del aire sin intervención del conductor, mejorando así la eficiencia del sistema HVAC y reduciendo el consumo energético innecesario. Además, la incorporación de tecnologías como la detección de ocupantes permite que el aire acondicionado dirija el flujo solo hacia las áreas ocupadas, optimizando el rendimiento y evitando desperdicio de energía.

La ausencia de una distribución adecuada o el uso ineficiente de los ajustes del flujo de aire pueden generar un consumo excesivo de energía y afectar la vida útil del sistema de climatización. Un flujo de aire mal gestionado puede provocar sobrecarga en el compresor del aire acondicionado, aumentando el desgaste de sus componentes y elevando el consumo de combustible en vehículos de combustión interna o reduciendo la autonomía en automóviles eléctricos. Por ello, los fabricantes continúan desarrollando soluciones más inteligentes y eficientes que permitan un control preciso del flujo de aire, contribuyendo no solo al confort de los pasajeros, sino también a una mayor sostenibilidad energética (Ávila, 2021). En la Figura 6 encontramos un módulo de control.

Figura 6

Mandos de calefacción



Nota: En este gráfico se representa los Mandos automotrices Toyota yaris. (Ávila, 2024).

Módulos de control electrónico

Este módulo almacena los datos provenientes de los sensores de temperatura y los ajustes realizados por el conductor o el pasajero. A partir de esta información, calcula la cantidad de enfriamiento requerida en cada zona y modifica las operaciones de los sistemas de aire acondicionado en consecuencia (Total renting, 2023). En la Figura 7 encontramos un módulo de control.

Figura 7

Módulos de control eléctrico.



Nota: En este gráfico se representa módulos de control eléctrico Toyota yaris. (Renting, 2023).

Según (Hasan, 2023) podemos ver que el ECM desempeña un papel crucial en el control y gestión de este sistema. La selección de componentes eléctricos y electrónicos adecuados para el ECM asegura un funcionamiento óptimo de un sistema de aire acondicionado. Como, por ejemplo, sensores de temperatura, actuadores y módulos de control de potencia son componentes esenciales que deben ser robustos y confiables para garantizar un rendimiento óptimo del aire acondicionado del vehículo.

Asimismo, la importancia de comprender los peores escenarios operativos y las tolerancias de los componentes se relaciona directamente con la fiabilidad del sistema de aire acondicionado. Fallas en los componentes electrónicos podrían conducir a problemas de detección de temperatura incorrecta, fallos en el control del compresor o incluso la interrupción completa del sistema de aire acondicionado, lo que resultaría en una experiencia insatisfactoria para el cliente y posiblemente en costosos problemas de garantía para el fabricante del vehículo. (Hasan, 2023).

Trampillas de aire automotriz

Según (Samer, 2022) busca presenta un nuevo enfoque para mejorar la transferencia de calor y la calidad de la mezcla en un mezclador estático utilizando generadores de vórtice flexibles (FVG). Se realiza una investigación numérica que analiza el papel de las oscilaciones de aletas elásticas en un flujo laminar bidimensional. Se comparan los FVG flexibles con los generadores de vórtice rígidos (RVG) en dos casos

con diferentes números de Reynolds. Los resultados muestran que las oscilaciones en los FVG flexibles aumentan los gradientes de velocidad y mejoran significativamente la calidad de la mezcla y la transferencia de calor en comparación con los RVG rígidos. Se observa un aumento de hasta el 98% en la calidad de la mezcla y mejoras notables en la transferencia de calor, lo que sugiere un potencial significativo para mejorar el rendimiento de intercambiadores/reactores de calor multifuncionales mediante esta técnica.

En comparativa con trampillas de aire acondicionado normales muestra una diferencia en el enfoque para mejorar la transferencia de calor y la calidad de la mezcla. Mientras que las trampillas de aire normales controlan el flujo de aire mediante la apertura y cierre de compuertas fijas, los generadores de vórtice flexibles (FVG) utilizan aletas elásticas que oscilan libremente para generar vórtices y aumentar los gradientes de velocidad, mejorando así la mezcla y la transferencia de calor. (Samer, 2022). En la Figura 8 muestra la trampilla de aire.

Figura 8

Ducto de aire acondicionado cambio calor



Nota: En este gráfico se representa ducto de aire acondicionado cambio calor a frio. (Alamy, 2018).

Actuadores de compresor independientes

En los automóviles con sistemas de doble zona, es común encontrar actuadores independientes que regulan tanto la ventilación como la operación del compresor de aire acondicionado en cada zona por separado. Esto permite que cada zona funcione de manera independiente, ajustándose a las preferencias de temperatura que haya establecido el conductor. (tecnología automóvil, 2019).

El consumo de combustible en la industria automotriz, con un enfoque específico en la reducción del consumo de energía en sistema de aire acondicionado (A/C). Se identifican los principales contribuyentes al consumo de energía del A/C, como el compresor, el ventilador del condensador y la resistencia aerodinámica.

Se busca un enfoque futurista utilizando el control predictivo de modelos (MPC) para optimizar el funcionamiento del A/C, considerando la entra del aire al habitáculo para verificar que tan bueno es el flujo del aire. Los consumos eléctricos del A/C y una mejora en el seguimiento de referencia sobre la temperatura comparándolos con los carros convencionales. Este enfoque ofrece una prometedora vía para mejorar la eficiencia energética de los vehículos y reducir su consumo de combustible. (Parent, 2024). En la Figura 9 encontramos un módulo de control.

Figura 9

Actuadores del aire acondicionado.



Notas: En la gráfica se muestra el módulo de control para cambio de posiciones. (T Parent, 2024).

Microcontrolador.

El microcontrolador es un dispositivo fundamental que se encuentra dentro de los sistemas de automatización automotriz, tiene una capacidad de ejecutar tareas específicas para el control y el procesamiento de datos de manera más eficiente. Siendo un distinguido la integración de un solo circuito la unidad de procesamiento, memorias, periféricos, lo que reduce los consumos energéticos y optimiza los desempeños (Aguayo, 2024).

Los avances tecnológicos nos han permitido que los microcontroladores puedan tener más capacidad de procesamiento y una mejor comunicación, siendo un ajuste preciso para la conexión de sistemas y la lectura en tiempo real. Por la alta compatibilidad con distintos protocolos de comunicación, su implementación es fundamental para la adquisición y gestión de datos clave que mejora el rendimiento y reduce la comunicación de la computadora de los vehículos.

En la parte automotriz, los microcontroladores cumplen con un proceso esencial por el control de diversos sistemas que emplea un vehículo, incluyendo el sistema de

climatización. Los microcontroladores son los encargados de controlar los sensores y actuadores que permiten regular variables como la temperatura, el flujo del aire entre otros, y ajustando el sistema de aire acondicionado según el ocupante lo necesite.

Por otra parte, los microcontroladores modernos permiten la ampliación de estrategias orientadas a la eficiencia energética, contribuyendo a la reducción del consumo eléctrico sin la afectación del confort térmico. Siendo esto una relevancia para los carros híbridos y eléctricos donde la gestión de energías es un factor determinante.

Arduino mega2560

Arduino Mega 2560 Siendo una plataforma de código abierto que ayuda a diseñar proyectos simples hasta complicados con su gran capacidad de procesamiento y teniendo un mayor número de pines de entradas y salidas siendo más exigente que otros tipos de Arduinos, ofreciéndonos una velocidad de lectura y transmisión de datos a través de un puerto USB, siendo una comunicación eficiente y en tiempo real pudiendo programar desde una computadora.

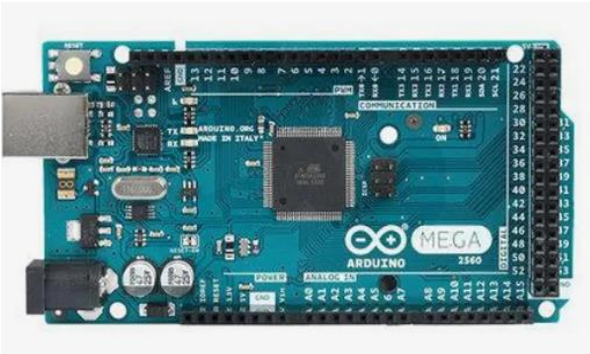
Su construcción se basa en una frecuencia de reloj de 16 MHz y contando con 256KB de memoria flash, 8KB de memoria SRAM y 4KB de memoria y esto se puede expandir sin el usuario lo desea y tiene los componentes correctos, siendo ideal para el almacenamiento y el procesamiento de grandes volúmenes de datos (Arduino, 2018).

En gran ventaja los pines extras que tiene el Arduino que son 54 que pueden usarse en función de 15 salidas PWM y 16 entradas analógicas, convirtiéndolo en una opción buena para el control de la robótica. Automatización y entre muchos más. Su compatibilidad con múltiples sensores, actuadores y módulos de comunicación, como Wi-Fi, Bluetooth y CAN

Bus, la hace especialmente útil en proyectos autónomos y educativos. Además, gracias a su naturaleza de código abierto, la comunidad de desarrolladores ha generado una amplia documentación, bibliotecas y ejemplos, facilitando su uso tanto para principiantes como para expertos en electrónica y programación. Podemos visualizar en la Figura 10 el Arduino mega.2560 y en la *Tabla 2* encontramos sus características.

Figura 10

Arduino mega



Nota: En este gráfico se representa la versión Mega2560 (Arduino, 2018).

Tabla 2

Características básicas del Arduino Mega2560.

Peso	0.05 kg
Dimensiones	10 × 10 × 10 cm
Microcontrolador	ATmega2560
Voltaje de entrada	7-12V

Pines	54 pines digitales de Entrada/Salida (14 de ellos son salidas PWM).
Entradas análogas	16
Memoria flash	256k
reloj	16MHz de velocidad

Nota: En la siguiente tabla muestra las características del Arduino mega2560 (Arduino, 2018).

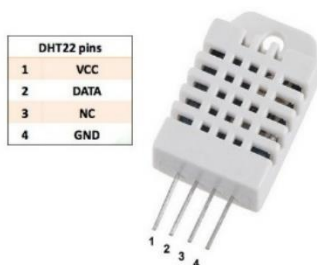
Sensor de temperatura DTH22.

En los automóviles actuales, es un dispositivo diseñado para medir la temperatura del entorno o de un objeto específico y convertir esta medición en una señal eléctrica o digital comprensible, y siendo de bajo costo. Estos sensores son ampliamente utilizados en una variedad de aplicaciones y entornos para monitorear y controlar la temperatura (Mtethomson, 2023).

El sensor DHT22 es un sensor digital que mide la temperatura con más precisión que el sensor DHT11 y son ampliamente usados en diferentes proyectos ya sea de Arduino, esp32, y varios más. Teniendo una facilidad y una buena precisión. (López & Hernández, 2022) señalan que el DHT22 emplea un protocolo de comunicación de un solo cable, lo que facilita su implementación tanto en sistemas electrónicos básicos como avanzados. Podemos visualizar en la Figura 11 Sensor DHT22 y en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** sus características.

Figura 11

Sensor de temperatura y humedad DTH22



Nota: En este gráfico se representa un sensor de temperatura y humedad DTH22 para Arduino. (Ramesh, 2021)

Tabla 3

Características básicas del Sensor de temperatura DTH22

Rango de medición	-40–80 °C
Precisión de temperatura	± 0.5°C
Pines	3 pines
Voltaje	3.3–6v

Nota: Se muestra las características básicas del Sensor de temperatura DTH22.

(robots-argentina, 2020).

Control de Motores con el Puente H IBT-2 y Arduino

El diseñado alrededor del controlador BTS7960, ofrece una solución confiable para gestionar motores de corriente continua (DC) de alta potencia utilizando plataformas como Arduino. Este módulo puede manejar corrientes de hasta 43A y operar en un rango de voltaje de 6V a 27V, lo que lo convierte en una opción excelente para aplicaciones que demandan un control preciso de motores de gran rendimiento (arduino forum, 2024).

El módulo IBT-2 se emplea en una amplia gama de aplicaciones que requieren el control de motores de alta potencia, como en robótica, para gestionar actuadores y sistemas de movimiento; en vehículos eléctricos, donde regula motores de scooters y sillas de ruedas eléctricas; y en automatización industrial, para operar cintas transportadoras y maquinaria pesada, en la Figura 12 se visualiza el módulo.

Figura 12

módulo de control de motor



Nota: En este gráfico se representa un módulo de control de motor de alto amperaje (Hessmer, 2023).

Características básicas que podemos encontrar en el módulo IBT-2 en la Tabla 4.

Tabla 4

Características básicas del módulo ibt-2

Corriente Máxima	Hasta 43A.
Rango de Voltaje de Operación	6V a 27V.
Control de Señal	Entradas compatibles con niveles TTL/CMOS.
Protecciones Integradas	Incluye protección contra sobre corriente y sobre temperatura, garantizando una operación segura.

Nota: En esta tabla se representa características básicas del módulo ibt-2 (arduino forum, 2024).

La conexión del módulo IBT-2 con Arduino se realiza configurando los pines PWM del Arduino en las entradas RPWM y LPWM del módulo para gestionar la velocidad y dirección del motor. Por ejemplo, RPWM puede conectarse al pin PWM 5 y LPWM al pin PWM 6 del Arduino, mientras que los pines R_EN, L_EN y VCC se vinculan al pin de 5V, y GND al GND del Arduino. El esquema permite el control de manera eficiente usando las señales PWM generadas desde la placa de Arduino (Hessmer, 2023).

Servo motor MG995

El servo es un actuador que es utilizado en diferentes proyectos ya sea de robótica, prototipos entre otros porque es un amplio uso en las industrias también, ya que gracias a su precisión y fiabilidad que tiene.

Son actuadores que contienen un control preciso mediante modulación de pulsos permitiendo un movimiento regular y constantes a la vez repetitivos , lo que hace tener una aplicación ideal a la industria por su confiabilidad, los engranes los ponemos encontrar desde plásticos hasta metálicos según el torque que requiera el usuario, los metálicos proporcionan una mayor robustez y resistencia al desgaste, Permitiendo convertirse en una opción ideal para los brazos robóticos, las compuertas de las rejillas de una automotor, mecanismo de posicionamiento en sistemas eléctricos (Martínez C., 2021).

Las características del MG995 ofrecen un torque máximo de 9.4kg/cm y 11 kg/cm y trabaja hasta 12v, lo que hace un dispositivo adecuado para ciertos trabajos que requieran fuerza limitada en un rango de movimiento de 0° a 180° siendo un control preciso en diferentes aplicaciones. Tiene un tiempo de respuesta activa de 5s, un control preciso de posición. Además, tiene una amplia compatibilidad con diferentes dispositivos de control como el Arduino, Raspberry Pi y entre otros dando una integración de proyectos más avanzados y educativos. A pesar de su versatilidad, es importante considerar una fuente de alimentación adecuada para evitar fluctuaciones en su desempeño y garantizar su funcionamiento óptimo en aplicaciones de alta exigencia. Podemos visualizar en la Figura 13 el servo motor MG995

Figura 13

Servo motor MG995



Nota: En este gráfico se representa el servo motor MG995 con engranes metálicos (novatronicec, 2020).

El MG995 es un servo motor de alto torque equipado con un sistema de engranajes metálicos que lo hace robusto y duradero. Sus especificaciones clave puede verse en la Tabla 5.

Tabla 5

Características básicas del servo motor MG995

Voltaje	4.8v a 7.2v
Torque máximo	9.4 kg*cm a 4.8v y 11kg*cm a 6v
Velocidad de respuesta	0.2 s/60° a 4.8v y 0.16s/60° a 6v
Ángulo de rotación	180°
Construcción interna	Engranajes metálicos para mayor durabilidad y un motor DC como elemento de accionamiento.

Nota: En esta tabla se representa las características básicas del servo motor MG995 siendo para tareas que requieren un torque moderado (López y Hernández, 2020).

Es ampliamente utilizado en robótica para controlar articulaciones de brazos robóticos, grúas miniatura y sistemas de locomoción, así como en prototipos educativos gracias a su documentación accesible y facilidad de uso, siendo esencial para enseñar control de motores y mecatrónica. En automatización, se emplea en puertas automáticas, actuadores de válvulas y sistemas de orientación de cámaras. (López y Hernández, 2020).

Sensor de Fuerza o Presión MF01

El sensor de fuerza o presión MF01 es un componente comúnmente empleado en aplicaciones que necesitan medir fuerzas o presiones de baja intensidad. Su habilidad para captar variaciones en la presión ejercida lo convierte en una opción adecuada para proyectos de electrónica y sistemas embebidos, especialmente cuando se utiliza junto con plataformas como Arduino.

Características:

El sensor MF01 varían ligeramente según el fabricante y el modelo específico, se muestra en la siguiente tabla las características en la Tabla 6.

Tabla 6

Características básicas de sensor de fuerza o presión

Fuerza de actuación mínima	30 gramos.
Rango de sensibilidad	30 gramos a 1 kilogramo.
Repetitividad	±5%.

Resistencia sin carga	20 MΩ.
Histéresis	10%.
Tiempo de respuesta	<1 ms.
Rango de temperatura de operación	-20°C a +70°C
Dimensiones	56.34 mm x 18.30 mm
Peso	1 gramo

Nota: En esta tabla se representa las características básicas de sensor de fuerza o presión sea adecuado para aplicaciones. donde se requiere una respuesta rápida y sensibilidad a fuerzas ligeras (Hetpro, 2024).

El sensor funciona como una resistencia variable que responde a la presión aplicada. Cuando no se ejerce fuerza sobre él, su resistencia es elevada, alcanzando aproximadamente 20 MΩ. Sin embargo, al aumentar la presión en su superficie, la resistencia disminuye de manera proporcional, lo que permite transformar la fuerza aplicada en una señal eléctrica cuantificable.

El sensor MF01 es un componente versátil empleado en una variedad de aplicaciones, como dispositivos de entrada sensibles al tacto, donde es esencial detectar presión; robótica, para medir fuerzas de agarre o contacto; dispositivos médicos, en equipos que monitorean presiones ligeras, como vendajes inteligentes; e instrumentación industrial, para detectar fuerzas o presiones en rangos específicos (Hetpro, 2024)

En la Figura 14 se puede visualizar el sensor de presión.

Figura 14

Sensor MF01



Nota: En este gráfico se representa Sensor MF01 son tiras flexibles que miden la presión (Mercadolibre, 2024).

Metodología

Este trabajo emplea una metodología de investigación experimental basada en un enfoque cuantitativo. El marco metodológico es el que implementa la identificación clara de variables cuantificables que se relacionan con el rendimiento y eficiencia del sistema automatizado del sistema de climatización, y así exponer las hipótesis específicas para la evaluación.

Para la medición de datos se diseña un programa que mide los registros de mediciones que recopila información objetiva como:

- La temperatura interior del vehículo.
- El consumo energético del sistema.

Los datos obtenidos se analizarán utilizando técnicas estadísticas apropiadas, como análisis de varianza que nos ayuda a determinar si existen diferencias significativas en la temperatura y el consumo energético al variar la velocidad del aire y la apertura de la rejilla, permitiendo identificar el nivel óptimo de funcionamiento del sistema.

Para la realización de las pruebas se aplican una cierta cantidad de ocupantes dentro del habitáculo prototipado, con temperaturas ambientales en ciertas zonas de calor que manda la señal para que el sistema de climatización se active, dando una justificación en el ajuste dinámico propuesto.

Para la identificación de temperaturas significativas se busca establecer resultados basadas en evidencias numéricas, según los números de ocupantes en el vehículo, las temperaturas ambientes y el consumo eléctrico del motor. Las pruebas permitirán evaluar

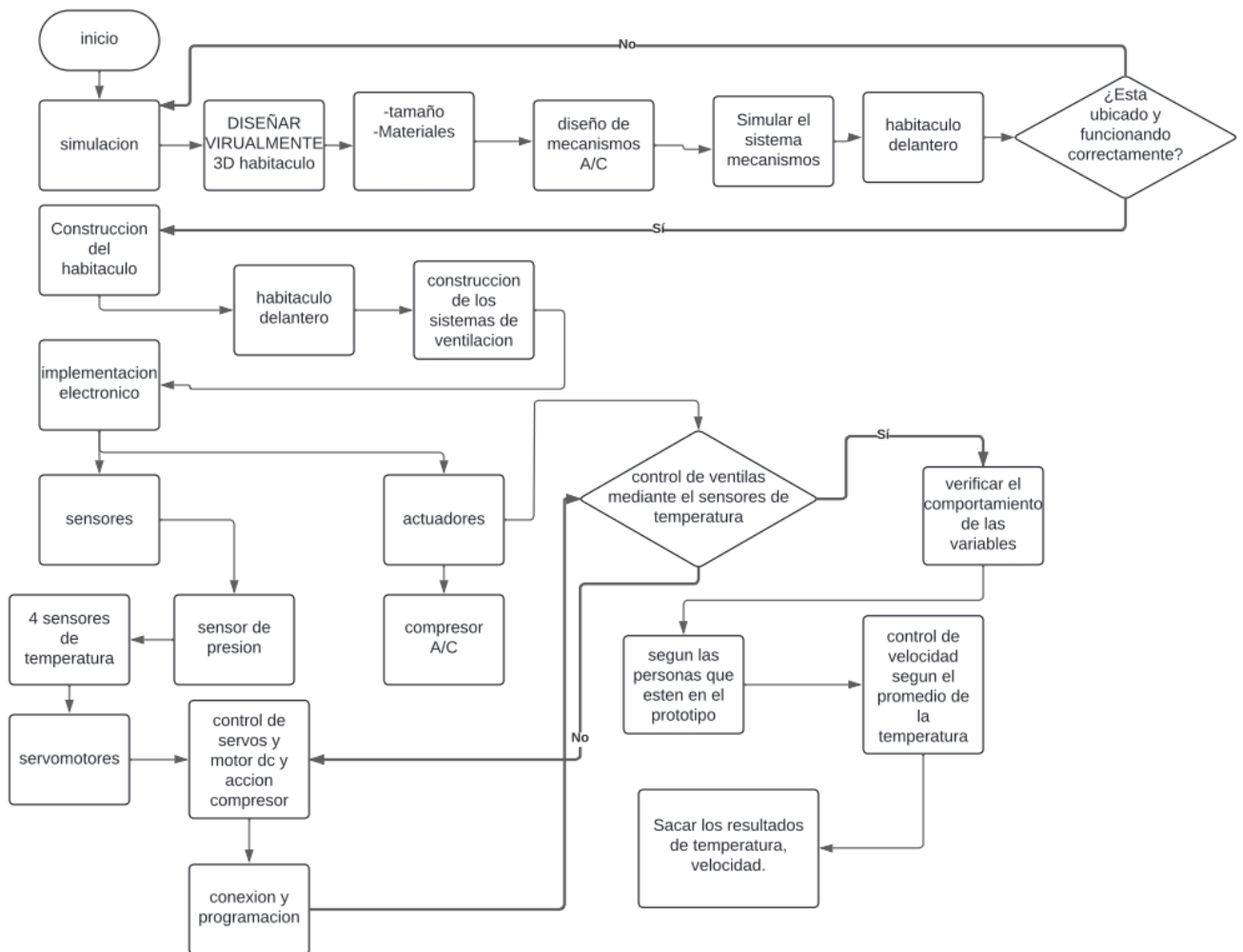
el rendimiento del sistema propuesto bajo diversas condiciones, asegurando que el ajuste dinámico del flujo de aire se optimice según la distribución y cantidad de pasajeros.

Diagrama de procesos.

En el siguiente **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra los pasos a seguir para la metodología.

Diagrama 2

Diagrama de procesos



Diseño del Habitáculo y Componentes.

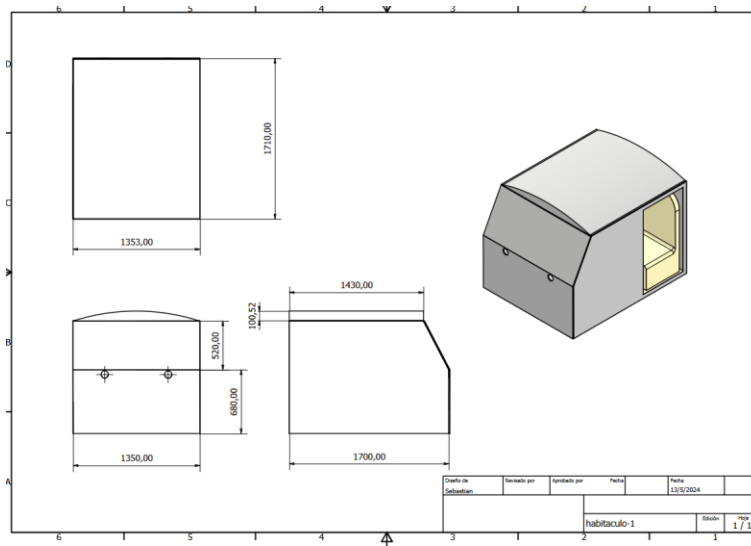
En el diseño del habitáculo se tomó las medidas del Toyota Yaris año 2002, las dimensiones del interior para después de tomar las medidas pasarlas al software de inventor. En la toma de mediciones se tomó la longitud total, el ancho, la altura y la distribución del espacio interior, asegurando que cada implemento del sistema de climatización calce bien sin la afectación de la comodidad en el conductor como los ocupantes. Considerando factores claves como la distancia a la que está el blower o el sistema prototipado del aire acondicionado, los ductos donde pasaran el aire y sin pérdidas o con pérdidas, los servomotores como engranajes encargados de cerrar y abrir las rejillas de ventilación según la zona que necesita confort.

El diseño busca mantener las condiciones que un vehículo normal tiene dentro del habitáculo, garantizando una zona de confort y temperaturas encerradas sin opción de salida, La evaluación de dimensiones del habitáculo busca ver que mejoras se puede realizar para el desempeño del sistema de climatización para que se encuentre en constante equilibrio y conformidad. La correcta distribución del aire debe ser dirigida por las rejillas que son controlados por servomotores para que se adopten a condiciones agradables para el conductor u ocupante, ya que lo que buscamos es mantener un sistema frio y constante en un lugar cerrado sin mucha carga térmica ya que esto provoca síntomas de cansancio o desconcentración.

La implementación de tecnologías de modelado en 3D facilita la simulación y validación del diseño antes de su implementación, dándonos una visibilidad más clara del espacio disponible dentro del espacio del habitáculo prototipado.

Figura 15

Diseño del habitáculo.

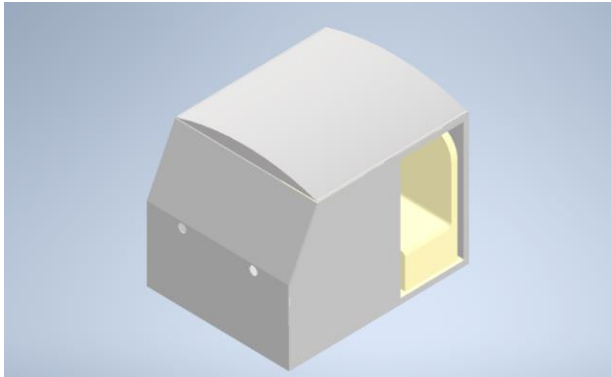


Nota: Diseño del habitáculo con sus medidas referenciales que se tomaron del Toyota Yaris año 2002.

El siguiente paso a seguir es el diseño en el software de Inventor. Teniendo un modelado 3D ayuda a crear una visibilidad más precisa y detallada de cómo se formará la estructura por la toma de datos en el Toyota Yaris. Durante esta parte se busca los espacios para ver qué tipo de entrada se podría colocar los tipos de rejillas el espacio para los asientos entre otros. Además, se realizan simulaciones y ajustes necesarios para optimizar el diseño. Siendo un enfoque detallado en la fase de dibujo por Inventor asegurando que el habitáculo que se prototípica sea funcional y no entorpezca el estudio del vehículo como se muestra en la Figura 16.

Figura 16

Diseño del habitáculo en inventor.

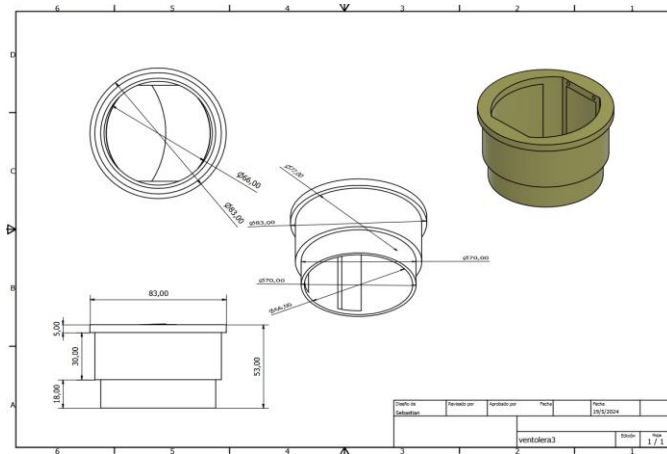


Diseño de las rejillas de ventilación.

Para la instalación de las rejillas de ventilación se tomó en consideración unas similares que son las del Spark Gm que son iguales en la entrada de air, se tomó las medidas de aquella rejilla para el diseño en Inventor, siendo un análisis detallado para la instalación y la conformidad que entra el aire al habitáculo prototipado. asegurando que todos los aspectos relevantes fueran capturados con precisión como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Figura 17

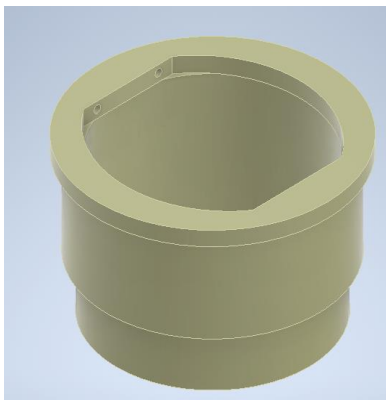
rejillas de aire acondicionado de Spark GM.



El diseño 3D ayuda a ver que la rejilla de inventor cuanto espacio y donde se instalara, sirviendo como base para la evaluación de como funcionaria e integraría esta rejilla en el habitáculo tanto de forma estética como funcional mostrado en la Figura 18.

Figura 18

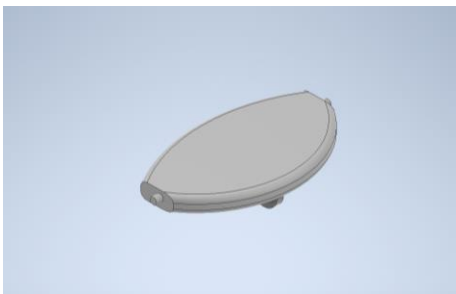
Rejilla de ventilación.



En el diseño de las ventilas, se busca la mejor forma de optimizar el espacio y la estética como a su vez el funcionamiento, se desarmo por partes para ver que partes se podrían modificar para crear la parte móvil y tener una visibilidad más agradable a la hora de insertar algún engrane o servomotor para que funciones de manera automática. Teniendo diferentes piezas de diferente tamaño y la funcionalidad de cada pieza como las aletas de ventilación mostradas en Figura 19, mientras que las rejillas de la parte inferior son la Figura 20-a-b. Esto no solo facilita el ajuste y la modificación de cada componente durante el proceso de diseño, sino que también permite realizar pruebas y simulaciones más detalladas.

Figura 19

Aletas parte superior de la rejilla.



Nota: Figura 19 a) aleta superior.

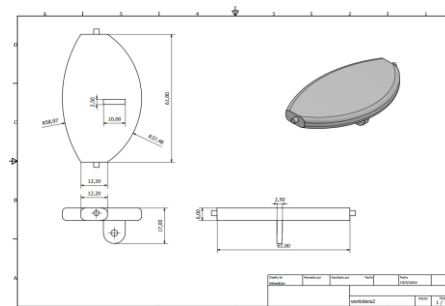
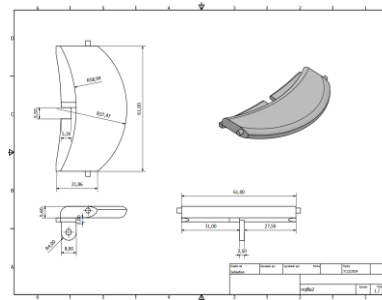
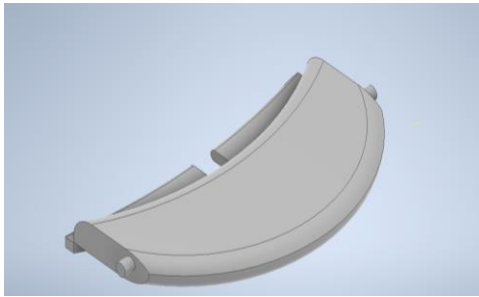


Figura 19 b) Medidas de la aleta.

Figura 20

Aletas parte inferior de la rejilla.



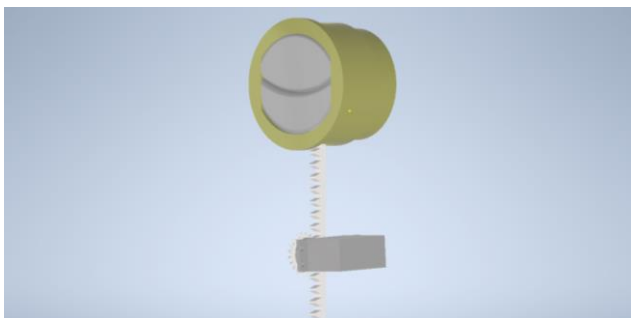
Nota: Figura 20 a) aleta creada en inventor. Figura 20 b) Medidas tomadas para el diseño.

La Figura 21 muestra la rejilla completa con aletas integradas y un sistema de cremallera y engrane, donde el servo motor controla la apertura de la ventilación, ofreciendo una vista detallada del diseño final.

Para las cremalleras y engrane se tomaron las medidas y posterior mente pasar a para el inventor CAD.

Figura 21

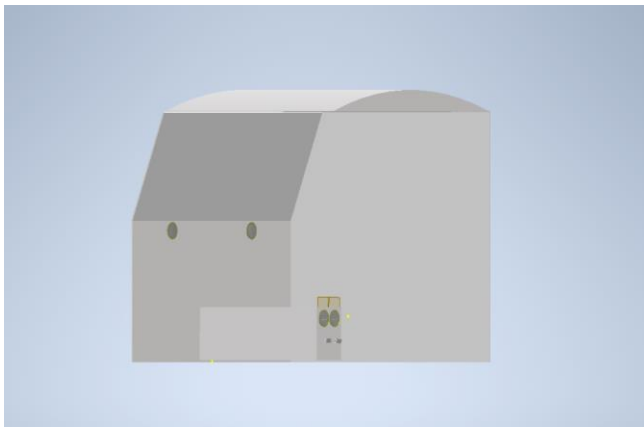
Rejillas de aire acondicionado de Spark GM.



Una vez completado el modelo, se procedió a insertarlo en el entorno virtual del habitáculo del vehículo. Esta etapa fue crucial para evaluar la estética y la funcionalidad de la rejilla en su contexto real. Se realizaron ajustes para optimizar su posición como se muestra en la Figura 22.

Figura 22

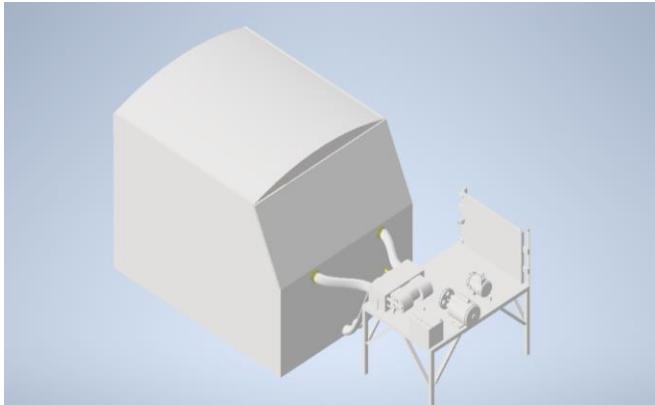
Diseño virtual del habitáculo, implementado las rejillas de aire acondicionado.



Para los ductos de aire se representan en el software inventor para ver como quedaran instalados del prototipo del aire acondicionado hacia el habitáculo, como se muestra en la Figura 23, se busca minimizar la pérdida de flujo diseñando ductos cortos y cercanos entre sí. Se utilizó un ducto flexible que conecta el evaporador con el habitáculo del prototipo, asegurando una distribución eficiente y un enfriamiento adecuado.

Figura 23

Instalación de ductos de aire en el habitáculo.



Fabricación y Ensamblaje del Habitáculo:

Se tomó como referencia los planos previamente realizados en la plataforma Inventor para la construcción física del habitáculo del vehículo. Estos planos proporcionaron una guía detallada y precisa sobre las dimensiones, formas y ubicaciones de cada componente del habitáculo se muestra en la Figura 15.

En la construcción del habitáculo prototipado se buscó diferentes tamaños formas y materias pero en si la mayor confiabilidad fue el acrílico por su carga térmica que podría retener y saber que tan eficiente es en el sistema climatizado cuando sea puesto a prueba como se muestra en la Figura 24. Esta decisión se basó en varios factores, incluyendo la durabilidad, la versatilidad y las propiedades estéticas del acrílico.

Figura 24

Partes del habitáculo de material acrílico.

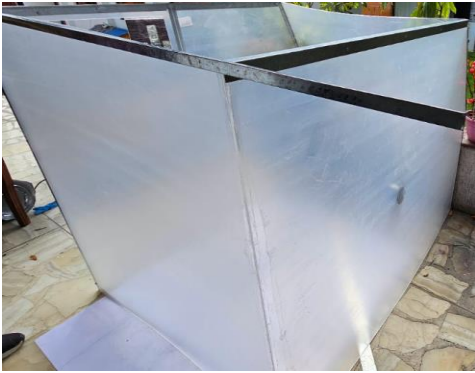


El material utilizado es acrílico por su resistencia al aire libre pudiendo mantener su apariencia y claridad en lo largo del tiempo, lo que lo hace ideal para aplicarlo en vehículo donde se crea diferentes variables. Además, su ligereza ayuda con su manipulación y su instalación cuando este construyendo.

Para las esquinas o áreas que requieren resistencia estructural, se optó por utilizar tol galvanizado angulado como se muestra en la Figura 25. Este material ofrece una combinación de robustez y durabilidad, lo que lo hace ideal para soportar cargas y proporcionar estabilidad en puntos críticos del habitáculo del vehículo.

Figura 25

Tol galvanizado.



Note: El gráfico representa el tol galvanizado angulado para que sostenga la estructura más firme. (Importaceros, 2024).

La construcción del habitáculo prototipado ya lista, buscamos las rejillas que se instalarán con sus respectivos servomotores para que el funcionamiento sea correcto y el confort del interior del vehículo sea estable en la siguiente Figura 26 se muestra donde serán instaladas las rejillas.

Figura 26

Construcción del habitáculo.



Nota: Figura 26 a) exterior del habitáculo.



Figura 26 b) Interior del habitáculo.

Cuando el cuarto climatizado esté completo, ellos realizarán los huecos para las rejillas y las mangas, asegurándose de que cada abertura esté perfectamente alineada para garantizar una circulación óptima del aire y el paso adecuado de las conducciones como muestra la Figura 27.

Figura 27

Huecos para las rejillas.

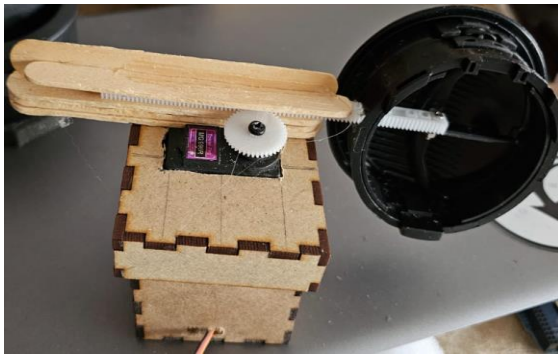


Se implementa dos ductos más para la parte interna del habitáculo

Las rejillas para controlar por medio del servomotor se instalarán estratégicamente, permitiendo una regulación precisa del flujo de aire. Gracias a la tecnología del servomotor, estas rejillas podrán ajustarse automáticamente para mantener condiciones óptimas dentro del espacio climatizado, asegurando comodidad y eficiencia energética como se muestra en la Figura 28.

Figura 28

Mecanismo e instalación de las rejillas de ventilación



Nota: Figura 28 a) Sistema de apertura para rejillas.

Figura 28 b) Rejillas internas

Se instalan los ductos de aire en la rejilla, asegurando una conexión firme y eficiente. Esta integración permite una distribución uniforme del aire, mejorando la circulación y manteniendo un ambiente confortable y bien ventilado como se muestra en las Figura 29.

Figura 29

Instalación de ductos y rejillas.



Los ductos también van conectados a la salida del aire, como pueden ver en el prototipo de la Figura 30. Esta configuración garantiza una entrega eficaz del aire acondicionado a todas las áreas deseadas, optimizando el rendimiento del sistema de climatización y asegurando un ambiente confortable y bien distribuido.

Figura 30

Salida del aire por el evaporador.



En la parte interna, para que el aire llegue a los pasajeros de atrás, se propondrá que los ductos tengan que ir por el medio, por donde va la caja de cambios de un carro. Esta disposición garantizará una distribución equitativa del aire acondicionado, mejorando la comodidad de todos los ocupantes del vehículo y asegurando que el flujo de aire sea eficiente y uniforme como muestra la Figura 31

Figura 31

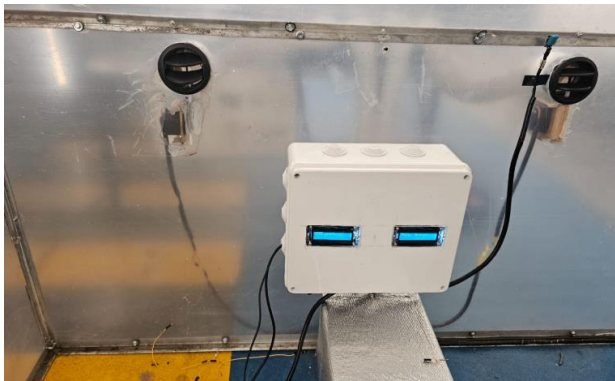
Ducto interior del habitáculo.



Pasmos al circuito eléctrico en la cual el servomotor será el encargado de controlar el cierre y apertura de las rejillas, ajustándose automáticamente dependiendo del número de ocupantes como muestra la Figura 32. Esta tecnología permitirá una regulación precisa del flujo de aire, asegurando que se distribuya de manera óptima para maximizar la comodidad de todos los pasajeros en el vehículo.

Figura 32

Instalación de las rejillas de aire delanteras



Se utiliza un Arduino Mega, como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, para el control de temperatura, empleando el sensor DHT22, para medir la temperatura del ambiente. En la recopilación de datos de temperatura, se muestran en los LCD en la Figura 34 se muestra como la temperatura de cada sensor en tiempo real monitoreando en constante y preciso. Los datos también son mostrados en la computadora por medio del programa de Arduino. También permite ver qué tanto es el flujo del aire que entra en el habitáculo por la energía que se manda al blower. Prendiendo el compresor del aire acondicionado todo el sistema comienza a funcionar desde los ventiladores que van al radiador hasta la compresión del compresor asegurando que el interior del habitáculo se

encuentre en un esta frio y estable, mejorando así la eficiencia del sistema y proporcionando un entorno agradable para los ocupantes. Esta integración tecnológica permite una gestión inteligente y eficaz del clima interior.

Figura 33

Arduino mega.



Para el monitoreo de la temperatura dentro del habitáculo encontramos que las pantallas LCD muestran los valores promedios y a su vez muestran la velocidad con la que el blower se encuentra soplando para el enfriamiento del habitáculo sabiendo así que tan efectivo puede ser este.

Implementación del Sistema de Control Climático.

Para el control del sistema climático dentro del habitáculo prototipado, se requirió la implementación de diferentes sensores y actuadores para el monitoreo en tiempo real y su reacción, para saber qué tipo de temperatura se encuentra en el habitáculo tenemos los sensores de temperatura DTH22, que nos permite monitorear la temperatura en diferentes partes y monitoréalo para saber qué tipo de acción debería tomar qué tipo de flujo de vería entrar en la zona con más calor o si la zona está estable, todo esto es procesado por el

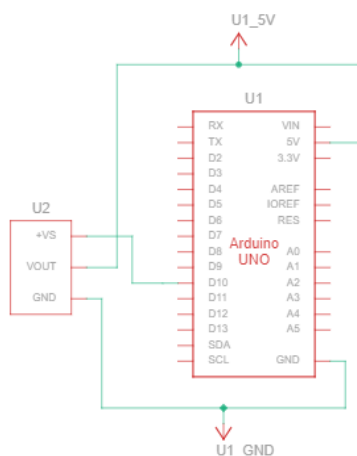
Arduino mega leyendo las lecturas que mandan y mandando señales para que los actuadores comiencen a ajustar el aire de entrada y el tempo de encendido del compresor del aire acondicionado.

La conexión se basa en señales de entrada como señales de salida desde el Arduino y para un control de las rejillas se busca una fuente de energía un poco más elevada que sería los 12v desde una fuente de poder, pero también puede ser puesta por una batería de carro, pero se necesita de varios tipos de protectores por el amperaje que este tiene.

En la recolección de datos podemos encontrar nos con diversos problemas desde señales falsas o con interrupciones por eso se le agrega una resistencia de $4.7k\Omega$, asegurando lecturas precisas y rápidas al momento del funcionamiento del prototipo.

Diagrama 3

Circuito de temperatura.



Para leer los datos del sensor DHT22, necesitas instalar la librería DHT de Adafruit `#include "DHT.h"` la instalación y el código se encuentra en el Anexo 1 mientras que en la

Figura 34 se encuentra la temperatura en el lcd.

Funcionamiento del código:

1. Inicialización: Configura la comunicación serial a 9600 baudios y el sensor DHT22.
2. Lectura y Espera: Lee la humedad y temperatura cada 2 segundos.
Pero solo se selecciona los datos de temperatura para poder sacar su promedio.
3. Validación: Verifica si las lecturas son válidas.
4. Salida: Imprime los valores de temperatura en el monitor serial o muestra un mensaje de error si hay un problema con el sensor.

Figura 34

Control de temperatura y pantallas LCD.



Para que funcione el LCD 1602 hay que incluir la librería LiquidCrystal_I2C que nos permite controlar la pantalla LCD con interfaz I2C del código.

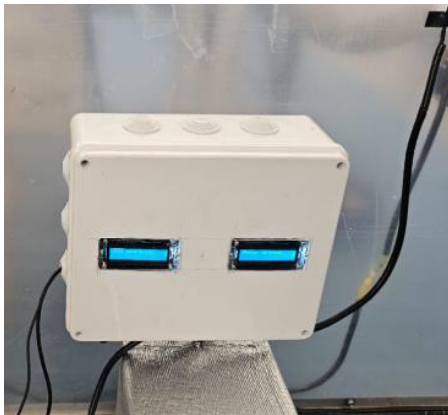
El código propuesto ayuda a que la tarjeta lea los datos de temperatura en tiempo real y los mande a la pantalla LCD cada 2s, teniendo una idea de cómo funciona este prototipado dentro del habitáculo. Teniendo los valores leídos manda la señal para que este mismo ajuste la temperatura ideal en cada sitio que se encuentra el ocupante de manera dinámica en el sistema de climatización, permitiendo mantener condiciones óptimas de confort dentro del habitáculo.

Como lo mencionamos anterior mente con las pantallas LCD podemos visualizar correctamente los parámetros ambientales dentro del habitáculo prototipado, para una mejor identificación de cuando existe alguna fluctuación en la temperatura y saber cómo este actúa rápidamente para su corrección.

De este modo, el sistema no solo optimiza la experiencia de los ocupantes, sino que también contribuye a una gestión energética más eficiente al evitar sobrecargas innecesarias en el sistema de aire acondicionado. En la siguiente Figura 35 vemos como se instaló los LCD frente del habitáculo para tener mejor visibilidad.

Figura 35

Instalación LCD en el habitáculo.



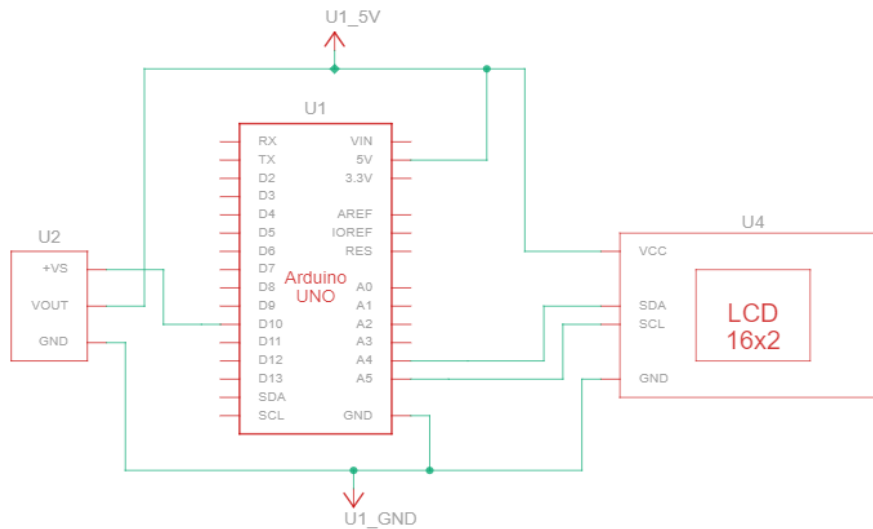
La pantalla LCD I2C utiliza un adaptador I2C, que simplifica la conexión a solo cuatro cables:

- VCC: Alimentación de la pantalla (5V del Arduino)
- GND: Tierra (GND del Arduino)
- SDA: Datos del bus I2C (20 en Mega)
- SCL: Reloj del bus I2C (21 en Mega)

En el Diagrama 4 se muestra la conexión del LCD 1602.

Diagrama 4

Diagrama de conexión LCD.



En esta sección se gestiona la detección de las personas presentes en el habitáculo, ya sea una o dos, mediante el uso de un sensor de presión como se muestra en la Figura 36. Para garantizar la precisión y evitar interferencias, se incorpora una resistencia y un capacitor en la conexión física, lo que minimiza el ruido y asegura que las lecturas sean lo más precisas posible. El sensor de presión se activa al detectar una determinada fuerza en este caso un determinado peso para mandar activar el sistema de climatización que se mantiene en reposo, comenzando a leer que variables tienen la temperatura el número de ocupantes y según lo leído manda la intensidad de aire frio que debe entrar al habitáculo como regular el ángulo de las rejillas si necesitas más entrada o menos entrada en ciertos lugares, asegurando un funcionamiento coordinado y eficiente del sistema. El código se encuentra en el Anexo 3.

Figura 36

Sensores de presión colocación.



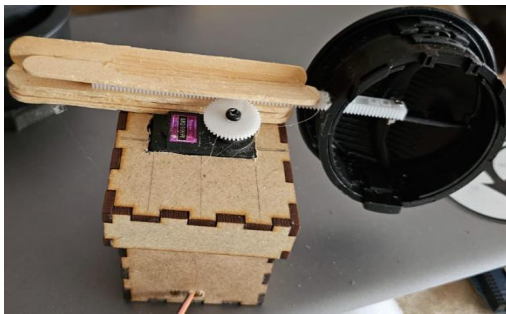
Los servomotores de la (Figura 37) se activarán únicamente cuando la placa de Arduino mande la señal y este para que mande la señal tiene que llegar la lectura de que una persona este sentada ya sea de piloto o copiloto para que comience a funcionar sino los servomotores como el motor se mantendrá en estado de reposo. Estos servomotores, a su vez, controlan la apertura de las rejillas de ventilación, permitiendo que el flujo de aire ingrese de manera óptima al habitáculo.

El sistema está diseñado para que las rejillas alcancen un ángulo máximo de apertura de 60°, lo que evita el riesgo de daños estructurales en las rejillas y protege a los servomotores de un sobreesfuerzo que podría comprometer su durabilidad. Este enfoque no solo garantiza la eficiencia en la distribución del aire, sino que también prolonga la vida útil de los componentes mecánicos. Además, el control individual de los sensores de

temperatura permite personalizar el flujo de aire en diferentes zonas del habitáculo. El código de programación del servomotor se encuentra en el Anexo 4.

Figura 37

Servo motor MG995 con engranes metálicos



Para el control del motor de corriente continua (DC), inicialmente se utilizó un módulo L298N. Sin embargo, tras realizar pruebas, se observó que el motor requería un mayor voltaje para funcionar de manera óptima. Por este motivo, se optó por utilizar el módulo IBT-2, que ofrece una mayor capacidad de manejo de voltaje y corriente, ideal para motores de alta potencia como el blower.

El sistema de control funciona conectando el módulo IBT-2 al Arduino, utilizando los pines VCC, R_EN y L_EN, que reciben una señal de 5V para habilitar el funcionamiento del módulo. Además, el pin RPWM del IBT-2 es responsable de controlar la dirección y velocidad del motor, mientras que la fuente de alimentación para el motor se conecta directamente a una batería de 12V. El Arduino, a través de su salida PWM, regula el voltaje enviado al motor, permitiendo ajustar su velocidad según los requisitos del sistema.

El control de velocidad del motor se realiza en función de las lecturas de diferentes sensores DHT22, conectado a los pines digitales 6, 7, 8, 9 del Arduino. Este sensor mide la temperatura, y su valor se utiliza para definir la velocidad del motor en tres rangos:

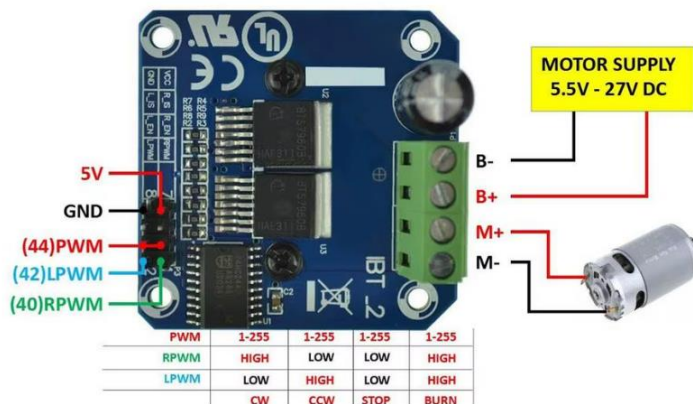
- **Velocidad baja:** Si la temperatura está entre 16°C y 20°C.
- **Velocidad media:** Si la temperatura se encuentra entre 20°C y 24°C.
- **Velocidad máxima:** Si la temperatura supera los 25°C.

El promedio de las mediciones del DHT22 garantiza un control más estable y preciso, evitando fluctuaciones repentinas en la velocidad del motor. Este enfoque permite que el sistema adapte dinámicamente el flujo de aire generado por el motor blower, asegurando un ambiente confortable en el habitáculo.

Con esta configuración, el módulo IBT-2 y el Arduino trabajan en conjunto para proporcionar un control eficiente del motor DC, optimizando tanto su rendimiento como su durabilidad el módulo se muestra en la Figura 38.

Figura 38

Módulo de control de motor de alto amperaje.



Nota: En este gráfico se representa el control de alto amperaje para el blower. (Hessmer, 2023).

La implementación del sistema de climatización automatizado fue desarrollada utilizando un microcontrolador Arduino como unidad central de procesamiento. El sistema integra múltiples componentes electrónicos, incluyendo sensores, servomotores, un motor DC, y pantallas LCD, para monitorear y controlar las condiciones del habitáculo. A continuación, se describen las etapas clave del diseño y funcionamiento el código final se encuentra en el anexo 5

Ya teniendo todos los módulos, sensores, actuadores, etc. Pasamos a las pruebas de funcionamiento para que todo esté funcionando correctamente y poder sacar resultados.

- Sensores de Fuerza Resistiva (FSR):

Dos sensores FSR fueron conectados a los pines analógicos del Arduino para detectar la presencia de ocupantes en el habitáculo. Los valores de resistencia de los FSR se leen continuamente, y se establece un umbral para determinar si una persona está presente. Si no se detectan ocupantes, los servos se cierran, el motor se apaga, y los LCD indican la ausencia de actividad.

- Sensores de Temperatura (DHT22):

Cuatro sensores DHT22 se utilizaron para medir la temperatura en diferentes puntos del habitáculo. Estos sensores están conectados a pines digitales del Arduino y envían datos de temperatura en tiempo real. El sistema calcula el promedio de las lecturas para determinar las condiciones generales del habitáculo.

- Control de Servomotores:

Cuatro servomotores, asignados a pines PWM del Arduino, controlan la apertura de las rejillas de ventilación. La apertura de cada servo se ajusta automáticamente en función de la temperatura medida por los sensores DHT22 correspondientes. Un rango de temperaturas fue definido para aperturas específicas, desde 0° (completamente cerrado) hasta 60° (máxima apertura).

- Control del Motor DC:

El motor DC utilizado para el blower es controlado mediante el pin PWM del Arduino. La velocidad del motor se ajusta automáticamente según el promedio de la temperatura en el habitáculo:

Velocidad baja: Temperaturas entre 16°C y 20°C.

Velocidad media: Temperaturas entre 21°C y 24°C.

Velocidad alta: Temperaturas superiores a 25°C.

Si la temperatura promedio desciende por debajo de 16°C, el motor se apaga automáticamente.

- Indicadores Visuales (Pantallas LCD y LED):

Dos pantallas LCD I2C fueron integradas para mostrar información en tiempo real:

LCD 1: Muestra el número de ocupantes detectados y la cantidad de servos activos.

LCD 2: Indica el promedio de temperatura y la velocidad actual del motor blower.

Un LED adicional sirve como indicador visual de funcionamiento del motor.

- Estructura del Código:

El sistema está programado en un bucle continuo donde se realizan las siguientes acciones:

Lectura de los FSR para determinar la ocupación.

Monitoreo de las temperaturas con los sensores DHT22.

Cálculo del promedio de temperatura.

Ajuste de los servomotores y control del motor blower con base en las lecturas.

Actualización de los LCD con información del sistema.

- Optimización y Seguridad:

Se incorporó un capacitor y una resistencia en las conexiones de los sensores para minimizar el ruido y garantizar lecturas precisas. Además, los límites de apertura de los servos y las velocidades del motor fueron definidos cuidadosamente para evitar daños mecánicos y prolongar la vida útil de los componentes.

La conexión de todo el circuito se encuentra conectado en el Arduino Mega, pero todos tienen que estar organizados ya sean salidas y entradas de los pines digitales para tener una mejor organización como muestra la Anexo 6.

Tabla 7, mientras que la programación se encuentra en el Anexo 6.

Tabla 7

Pines de conexión en el Arduino

Tipo	Pin	Uso
Digital	1	No utilizado
Digital	2	Servo 1
Digital	3	Servo 2
Digital	4	Servo 3
Digital	5	Servo 4

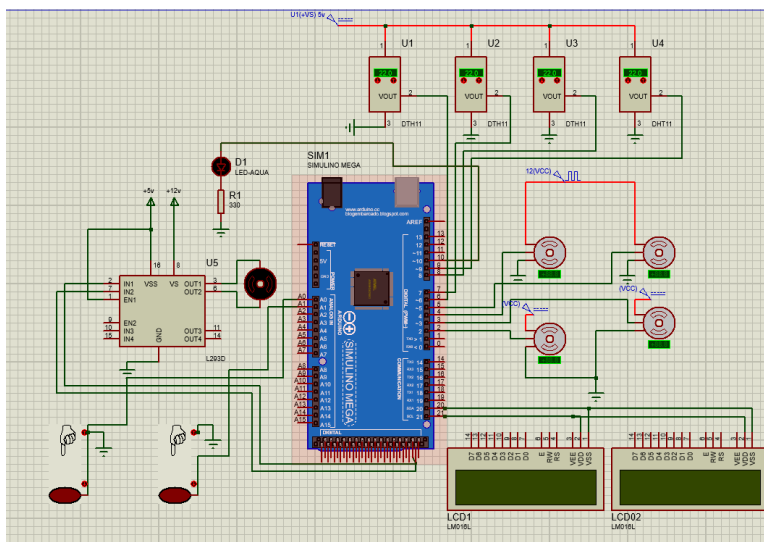
Digital	6	DHT22 Sensor 1
Digital	7	DHT22 Sensor 2
Digital	8	DHT22 Sensor 3
Digital	9	DHT22 Sensor 4
Digital	10	LED indicador
Digital (PWM)	11	Motor DC
Digital	12	No utilizado
Digital	13	LED AC indicador
Digital	14	No utilizado
Digital	15	No utilizado
Digital	16	No utilizado
Digital	17	No utilizado
Digital	18	No utilizado
Digital	19	No utilizado
Digital (I2C)	20	LCD SDA
Digital (I2C)	21	LCD SCL
Digital	22	Motor DC IN3
Digital	23	Motor DC IN4
Digital	24	Motor DC ENB
Analógico	A0	FSR402 Persona 1
Analógico	A1	FSR402 Persona 2
Fuente	5V	Alimentación para sensores

Fuente	GND	Tierra común
--------	-----	--------------

Podemos ver las conexiones de todos los dispositivos utilizados en el proyecto todos teniendo una señal del 5v, para los módulos que necesitan de más voltaje se conectan a una diferente fuente de energía de 12v. como muestra el circuito electrónico del control del a Diagrama 5.

Diagrama 5

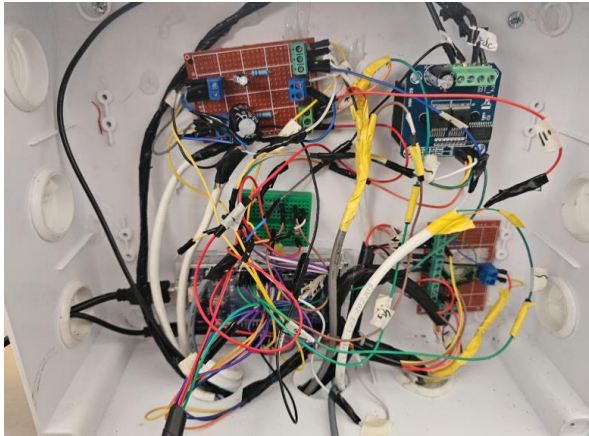
Conexión completa de los dispositivos utilizados en el prototipo del habitáculo.



La conexión se encuentra en una caja de conexiones de plástico para tener todo instalado en el habitáculo se encuentra el Arduino los módulos de control de velocidad los que controlan los servomotores como lo muestra la Figura 39.

Figura 39

Conexión física dentro de la caja.



Análisis para el control de temperatura

Aquí se llevó a cabo un análisis para determinar las ubicaciones óptimas de los sensores de temperatura dentro del habitáculo, con el objetivo de obtener mediciones precisas que permitan calcular promedios confiables y garantizar un ambiente térmico en condiciones óptimas.

Inicialmente, los sensores se colocaron en los costados del habitáculo para evaluar su eficiencia. Sin embargo, los resultados mostraron un promedio superior a los 25°C debido a la acumulación de calor en esas áreas y a un flujo de aire insuficiente, que tendía a dirigirse hacia la parte trasera del habitáculo. Por esta razón, se descartó esta ubicación. Posteriormente, se realizaron pruebas con sensores instalados en dos nuevas posiciones estratégicas: en la parte delantera, a una altura elevada (como se observa en la Figura 40), y en la parte trasera, debajo de los asientos. Los sensores delanteros también arrojaron un promedio de 22°C, evidenciando una reducción lenta de la temperatura debido a una

distribución desigual del flujo de aire en esas áreas. En contraste, los sensores ubicados debajo de los asientos traseros mostraron resultados más favorables, ya que el flujo de aire de las rejillas impactaba directamente en esa zona, permitiendo un enfriamiento más rápido y eficiente. Esta ubicación demostró ser óptima para controlar tanto la velocidad del motor como la apertura de las rejillas de ventilación, logrando un ambiente más confortable y una regulación térmica efectiva.

Figura 40

Sensores de temperatura frente del habitáculo.



Se decidió colocar los dos sensores restantes debajo de las rejillas de aire acondicionado en la parte delantera del habitáculo mientras que los otros dos se colocaron en los asientos se puede ver en la figura 49, con el objetivo de que pudieran recibir el aire frío directamente y lograr una temperatura más baja. Como resultado, se obtuvo una temperatura en la parte delantera de hasta 21°C. Al mismo tiempo, el promedio de temperatura de los cuatro sensores distribuidos por todo el habitáculo fue de 22°C, lo cual resultó ser adecuado para mantener un ambiente confortable y equilibrado en el interior del vehículo.

Lógica de control del sistema de climatización.

El sistema tiene como finalidad la regulación de la ventilación y la entrada del aire según la apertura de las rejillas dentro del habitáculo en función a la temperatura interna con la presencia de ocupantes, buscando la optimización del confort térmico y un poco el consumo energético. Se empleó una lógica de actuaciones que se basan en diferentes condiciones integrados en el Arduino mega, que implementa la información de las temperaturas de los sensores DHT22, sensores de presión FSR, servomotores y el control del blower o ventilador que va en el evaporador.

Control está paralizado hasta que este detecte alguna presencia u ocupante mediante los sensores FSR encontrados en los asientos del habitáculo prototipado. Si no se detecta ninguna persona no se abrirán las rejillas de ventilación, el motor ventilador del evaporador se mantendrá apagado, en si el sistema automatizado está en modo reposo. Este control ayuda al principio de eficiencia energética de la climatización automotriz, ya que así se evita el funcionamiento innecesario del sistema cuando no existen ocupantes (ISO 14505-2:2006).

Los detectores DTH22 miden la temperatura en 4 zonas del habitáculo prototipado. El sistema recoge los datos de los 4 sensores y saca un promedio térmico de las lecturas y ejecutan acciones sobre el control de los servos y la velocidad del blower. Siendo una función se basa en reglas de actuación discretas, que se establecieron conforme a los rangos de temperatura recomendada por el confort térmico de automotriz, siendo situada la temperatura confort entre los 20° y 24°C por estándares internacionales (ASHRAE 55 y ISO 7730).

Velocidad del motor de ventilación:

El control del motor o blower es por medio de la modulación de PWM y de igual manera depende de una temperatura promedio de los 4 sensores.

$\leq 20^{\circ}\text{C}$: Tiene una velocidad baja de (PWM = 10)

$20\text{-}24^{\circ}\text{C}$: Una velocidad que es variable de forma lineal entre los 10 y 180.

$\geq 25^{\circ}\text{C}$: una velocidad máxima del motor con PWM = 225.

Este control proporciona una respuesta gradual de la ventilación evitando cambios bruscos y teniendo un ambiente térmicamente estable.

Diseño de Experimentos

Para evaluar la eficiencia del prototipo de aire acondicionado automotriz, se llevarán a cabo diversos experimentos dentro del habitáculo del vehículo. El objetivo principal es determinar qué tan efectivo es el sistema para mantener un ambiente climatizado controlado, analizando variables como la temperatura, la distribución del flujo de aire en diferentes condiciones de funcionamiento. Se realizarán pruebas en escenarios con distintas temperaturas ambientales, para la verificación y la capacidad del sistema de responder a variaciones térmicas. Además, se compararán los resultados obtenidos con mediciones de referencia de un sistema de climatización convencional, evaluando tiempos de enfriamiento y estabilidad térmica en cada caso.

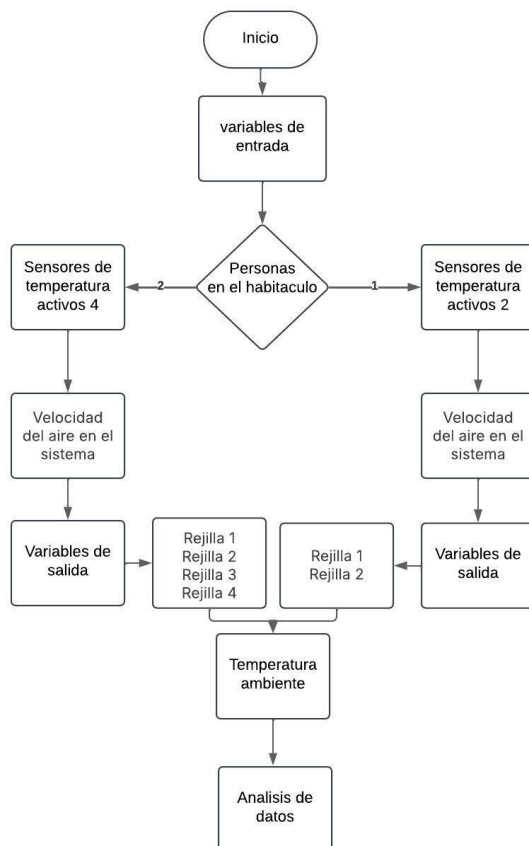
Cada experimento será documentado con el uso de sensores DHT22 para la recolección de datos de temperatura, mientras que sensores de velocidad del aire permitirán analizar la distribución del flujo dentro del habitáculo. Se programará el microcontrolador Arduino Mega 2560 para registrar y procesar la información, facilitando el análisis de

patrones de enfriamiento y eficiencia energética del sistema. También se estudiará los sensores necesarios que necesitan el habitáculo, verificando que tan eficiente puede ser al momento de controlar la temperatura en diferentes zonas. Finalmente, los datos recopilados serán interpretados mediante herramientas de análisis estadístico, permitiendo ajustar y optimizar el rendimiento del sistema para lograr una climatización uniforme y eficiente.

En el siguiente Diagrama 6 de flujo visualizaremos el proceso del experimento, para entender como las variables de entrada pueden afectar las variables de salida.

Diagrama 6

Diagrama de flujo del proceso de experimento.



Para iniciar deberíamos de saber cuántas personas tendremos en el habitáculo ya sea una o dos personas, según esto se activarán los sensores de temperatura que se encuentran instalados dentro del habitáculo dos en la parte del frente y dos en la parte trasera.

Para sacar los datos tendremos diferentes tipos de datos ya sea la temperatura por cada sensor en su zona, la velocidad del aire al entrar, la apertura de las rejillas de ventilación, en tiempo de apagado del compresor para saber su consumo eléctrico y a su vez cuanto es el tiempo que tarda en llegar la zona de confort establecida entre los 20° a 24°C.

Tendremos 4 variables de salidas, siendo las rejillas de ventilación que pueden cambiar su posición según cense los sensores, con un máximo de tres posiciones, como muestra la En el presente capítulo se presentarán y analizarán los resultados obtenidos durante las pruebas experimentales del prototipo de climatización automotriz, Se consideró la temperatura presente en la zona del laboratorio automotriz del campus Miguel de Cervantes de la Universidad Internacional SEK. El análisis se centra en el comportamiento térmico en el habitáculo, considerando un tiempo necesario para alcanzar el rango de confort térmico de (20 – 24°), la estabilidad que alcanza la temperatura y la uniformidad térmica. Los resultados se evalúan en diferentes condiciones de ocupación y franjas horarias, con el fin de determinar el desempeño del prototipo.

En las pruebas que se realicen serán en diferentes horas del día como, por ejemplo: 10:00, 2:00, 5:00. A estas horas se tomará la temperatura ambiente para saber qué tanta temperatura puede cambiar dentro del habitáculo.

Buscamos evaluar el comportamiento del habitáculo bajo distintas condiciones de ocupantes (1 o 2) personas, también a diferentes cargas térmicas (alta, media, baja). Se analiza la variabilidad térmica que se encuentre en el habitáculo y que tan efectivo es la respuesta de los sensores encargados del control de las rejillas.

El proceso consta de 6 pruebas divididas en tres bloques y 3 más de comparativas de las primeras 3 pruebas con una persona, las siguientes 3 con dos personas y a su vez la comparativa final de estas dos, para saber su diferencia y sacar los valores esperados.

En todas las pruebas se registran temperaturas interiores y exteriores en diferentes horas del día. También se mide la temperatura de las rejillas que son controladas automáticamente por los sensores, y se evalúa si la temperatura interna se mantiene estable, si se encuentra dentro del confort como cuánto tiempo está en confort.

Resultados

En el presente capítulo se presentarán y analizarán los resultados obtenidos durante las pruebas experimentales del prototipo de climatización automotriz. Se consideró la temperatura presente en la zona del laboratorio automotriz del campus Miguel de Cervantes de la Universidad Internacional SEK. El análisis se centra en el comportamiento térmico en el habitáculo, considerando un tiempo necesario para alcanzar el rango de confort térmico de $(20 - 24^{\circ})$, la estabilidad que alcanza la temperatura y la uniformidad térmica. Los resultados se evalúan en diferentes condiciones de ocupación y franjas horarias, con el fin de determinar el desempeño del prototipo.

Prueba 1 Tiempo que alcanza el rango de confort (20-24°C).

En la siguiente prueba se toma en cuenta al ocupante en el habitáculo como se ve en la Figura 41 para ver que tanto puede variar la temperatura en el habitáculo con una persona, se sacan los datos del Anexo 9 y Tabla 40. Datos prueba 1.

Figura

41

Un ocupante en el habitáculo a las 10:00.



Prueba 1 Condiciones de ensayo.

Tabla 8. Condiciones de ensayo prueba 1.

Parámetros	Valor
Hora	10:00 – 10:10
Duración	10 minutos.
Personas	1
Velocidad del motor	85 RPM

Servos activos	Servo1 y Servo2
Sensores	Temp1, Temp2, Temp3, Temp4,
Variable analizada	Temperatura promedio del habitáculo

Nota: Valores sacados de la primera prueba en tiempo real.

Se consideró como ingreso el rango de confort en el instante que la temperatura promedio se encuentra entre 20 y 24°C. En la siguiente Tabla 9 se muestran los resultados

Tabla 9. Resultados prueba 1.

Inicio del ensayo	Primer ingreso a confort
10:00	10:01
Temperatura promedio	Temperatura promedio
19.53°C	20.00°C

El prototipo alcanza el confort térmico en aproximadamente 1 minuto lo que pone en evidencia la rápida respuesta ante condiciones iniciales per de igual manera está en confort porque se encuentra con una temperatura fría.

Tiempo de estabilidad dentro del rango del rango de confort.

La estabilidad de confort se define como el periodo continuo en que la temperatura promedio se mantiene dentro del rango de los 20-24°. En la siguiente Tabla 10 veremos los periodos detectados.

Tabla 10. Periodos detectados prueba 1.

Periodo	Hora aproximada	Duración estimada
---------	-----------------	-------------------

Racha 1	10:01	2s
Racha 2	10:03	39s
Total		41s

Aunque el sistema ingresa al rango de confort, este no se mantiene de forma prolongada durante el ensayo inicial, el control prioriza una temperatura más baja y estable que es cercana a los 18.6 – 18.8°C.

Uniformidad térmica.

Se evaluó la uniformidad térmica mediante la diferencia máxima entre sensores:

Ecuación 1 Uniformidad térmica prueba 1.

$$\Delta\tau = \max(Temp1, Temp2, Temp3, Temp4) - \min(Temp1, Temp2, Temp3, Temp4)$$

Tabla 11. Uniformidad térmica prueba 1.

Ensayo completo	Régimen estable ($\geq 10:06$)
Promedio	Promedio
3.20°C	3.83°C
Máximo	Máximo
7.8°C	4.10°C

En la fase estable, la diferencia térmica en diferentes zonas del habitáculo se mantiene constante y controlada, evidenciando una distribución adecuada del aire sin un cambio grande.

Desviación estándar térmica.

Se evaluará la desviación estándar de la temperatura para promediar la estabilidad del sistema en la Tabla 12 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 12. Desviación estándar térmica prueba 1.

Periodo	σ (°C)
Ensayo completo (10 min)	0.61
Desde 10:05 en adelante	0.10
Régimen permanente	0.054

Nota: Siendo la desviación estándar inferior a 0.1°C en régimen demuestra el control térmico altamente estable.

Perfil térmico por sensor.

En el siguiente Tabla 13 tenemos los mínimos y máximos y la media de cada sensor de temperatura.

Tabla 13. Estadísticos por sensor prueba 1.

Sensor	Min (°C)	Max (°C)	Media (°C)
Temp1	18.0	26.6	19.37
Temp2	17.4	20.5	18.54
Temp3	19.6	21.2	20.63
Temp4	17.1	20.7	18.44

Temp1 es más sensible a perturbaciones térmicas, mientras que Temp2 presenta comportamiento más estable. Los sensores restantes mantienen valores coherentes con la mezcla de aire frío y caliente.

Consumo eléctrico del motor eléctrico monofásico de corriente alterna (AC).

Compresor trabaja = 1 a 2 min.

Se abaja el compresor = 1 min.

Con lo establecido, el duty cycle f del compresor queda en un rango:

Ecuación 2

$$f = \frac{t_{ON}}{t_{ON} + t_{OFF}}$$

El ciclo de trabajo del compresor se calculó en la *Ecuación 2*.

Si ON = 1min y OFF = 1 min $f = 1/(1 + 1) = 0.50$ (50%)

Si ON = 2 min y OFF = 1min $f = 2/(2 + 1) = 0.667$ (66.7%)

Consumo eléctrico estimado

Tomamos los promedios dados en la tabla.

Motor solo: $I = 7.56A$ $P_{OFF} = 831.6W$.

Compresor ON: $I = 10.93A$ $P_{ON} = 1202.3W$

Ecuación 3

$$P_{prom} = P_{ON} \times f + P_{OFF} \times (1 - f)$$

La potencia promedio del sistema se determina mediante la *Ecuación 3*, en el ciclo del compresor nos dice que está apagado y prendido un minuto 1016.95W mientras que cuanto el compresor este prendido dos minutos este consumo es de 1078.73W.

Con el ciclo del compresor obtenido el consumo energético estimado del sistema de los 10 minutos se ubica entre los 0.169 y 0.180 kWh a(110v). usando la potencia estimada. En el Anexo 15 están las fotos del amperaje.

Prueba 2 Tiempo de respuesta térmica del habitáculo con 1 ocupante a las 2:00.

En la prueba 2 se realizó a las 2pm de igual manera con un ocupante, adecuando una franja horaria de alta carga térmica ya que existe una alta radiación solar y temperatura ambiental. Teniendo como objetivo evaluar el desempeño del prototipo de climatización bajo condiciones desfavorables, analizando diferentes tiempos de respuesta, la estabilidad dentro del habitáculo, y su consumo eléctrico.

El tiempo de respuesta a entrar en 20-24°C.

El inicio del ensayo fue a las 2 de la tarde, mientras que el ingreso a confort promediando en el Anexo 10, Tabla 41 de $\leq 24^{\circ}\text{C}$, el tiempo que entro a la zona de confort fue de 2:03, en si fue de 3 minutos que se demoró en entrar a la zona de confort con respecto a la prueba de la mañana tubo un mayor tiempo de respuesta por la carga térmica.

Tiempo de estabilidad en confort (20-24°C).

Los resultados se muestran en la Tabla 14 la estabilidad de confort.

Tabla 14. Estabilidad de confort prueba 2.

Métrica	Valor
Tiempo continuo en confort	6 minutos
Salidas del rango	ninguna

Nota: Siendo sólido para las condiciones de calor que se propuso a las 2 de la tarde.

Uniformidad técnica.

Se expone los Valores representativos en la Tabla 15.

Tabla 15. Uniformidad térmica prueba 2.

Fase.	Uniformidad aproximada.
Pico térmico inicial	11.4°C
Entrada a confort	7.0°C
Régimen permanente	3.5-4.0°C

La mejora de la uniformidad térmica es de 65-70 % desde el pico térmico. En respuesta a la diferencia térmica entre zonas del habitáculo que disminuye gradualmente hasta los valores inferiores de 4°C en el régimen permanente.

Desviación estándar térmica.

Se calcula cuantitativamente y confirmada por estabilidad numérica como muestra la Tabla 16.

Tabla 16. Desviación térmica prueba 2.

Periodo	$\sigma(^{\circ}\text{C})$
Toda la prueba	0.45
Confort de 2:03 a 2:09	0.12
Régimen permanente final	0.05

Nota: Siendo un valor aceptable para el confort automotriz dentro del habitáculo.

Perfil térmico por sensor.

Tabla 17. Perfil térmico por sensor prueba 2.

Sensor	Rango (°C)	Observación
Temp1	22.6-24.1	Zona caliente
Temp2	19.5-20.7	Zona fría estable
Temp3	21.0-22.2	Más estable
Temp4	18.5-20.0	Zona fría

Se observa en la Tabla 17 que en cada zona es diferente el rango de temperatura, pero se mantienen en el confort ya sea que en una zona se mantenga del bajo de confort no perjudica porque lo que queremos es bajar la carga térmica.

Consumo eléctrico del motor eléctrico monofásico de corriente alterna (AC) a las 2pm.

Corrientes por estado de compresor apagado o prendido, organizadas en la Tabla 18. En el Anexo 16 están las fotos del amperaje.

Tabla 18. Consumo eléctrico prueba 2.

Estado del compresor	Corriente (A)
Compresor OFF	7.95
Compresor ON – arranque/pico	10.835
Compresor ON – estabilizado	8.38

Nota: valores sacados de forma física para verificar el consumo.

La potencia eléctrica instantánea se calcula mediante la Ecuación 4 Potencia eléctrica.

Ecuación 4 Potencia eléctrica

$$P = V * I$$

OFF

$$P_{OFF} = 110 \times 7.95 = 874.5W$$

ON (estable)

$$P_{ON} = 110 \times 8.38 = 921.8W$$

Energía por estado

OFF (6 min = 0.1h)

$$E_{OFF} = 0.875 \times 0.1 = 0.087kWh$$

ON (4 min = 0.0667h)

$$E_{ON} = 0.9218 \times 0.0667 = 0.061kWh$$

Consumo eléctrico total

$$E_{TOTAL} = 0.087 + 0.061 = 0.148kWh$$

Siendo el consumo eléctrico total del sistema durante el ensayo de 10 minutos fue de una aproximado de 0.15kWh, considerando los ciclos reales de los compresores que apagan y encienden cada cierto tiempo o por temperatura.

Prueba 3 Tiempo que alcanza y mantiene el rango de confort (20-24°) con 1 ocupante a las 5:00.

En la prueba 3 se realizó a las 5pm del día donde aún se mantiene un cierto porcentaje de radiación solar, de igual manera mantenemos a un solo ocupante dentro del habitáculo en el Anexo 11, Tabla 42 está la de promedios por minuto.

En la presente prueba de igual manera se analizan azara diferentes tiempos de respuesta, la estabilidad dentro del habitáculo, y su consumo eléctrico como las anteriores pruebas.

Tiempo para entrar en 20-24°C

El tiempo para entrar en confort correspondiente al intervalo transcurrido desde el inicio de la prueba hasta la primera entrada de temperatura promedio del habitáculo considerando térmicamente confortable a los (20-24°C).

El sistema entra en el rango de confort es un minuto después que entra con el valor de 50.8-21.0°C.

Tiempo de estabilidad en confort.

El tiempo de estabilidad representa el intervalo durante el cual el sistema se mantiene en el rango de temperatura sin presentar oscilaciones significativas.

En este caso el sistema mantiene una condición térmica confortable de 7 minutos consecutivos, lo cual demuestra una elevada estabilidad durante este periodo de prueba en la tarde.

Uniformidad térmica.

Se expone los Valores representativos de la Tabla 19.

Tabla 19. Uniformidad térmica prueba 3.

Tmax °C	Tmin °C	ΔT espacial °C
17.7	16.3	1.4°C

Los valores de delta T menores a 2°C indican una gran uniformidad dentro del habitáculo.

Desviación estándar.

Se calculó la desviación estándar de la temperatura promedio, solo donde se encuentra el periodo estable mostrada en la Tabla 20.

Tabla de estabilidad térmica.

Tabla 20. Estabilidad térmica prueba 3.

Parámetro	Valor
Tprom media	18.2°C
Térmica	0.15°C

Nota: el resultado en si es que nos da σ 0.05°C, nos muestra una estabilidad en el rango deseado.

Perfil térmico por sensor.

Se evalúa los cambios individuales de cada sensor de temperatura del 1 al 4 como muestra la Tabla 21.

Tabla 21. Perfil térmico por sensor prueba 3.

Sensor	Temperatura final (°C)
Temp1	17.3

Temp2	17.3
Temp3	17.3
Temp4	16.4

Los sensores se juntan progresivamente, el habitáculo se encuentra frío en si no existe zonas calientes teniendo un confort térmico global.

Consumo eléctrico del motor eléctrico monofásico de corriente alterna (AC) a las 5pm

Corrientes por estado de compresor apagado o prendido como muestra la Tabla 22.

En el Anexo 17 están las fotos del amperaje.

Tabla 22. Consumo eléctrico prueba 3.

Estado del compresor	Corriente (A)
Compresor OFF	8.26
Compresor ON – arranque/pico	9.45
Compresor ON – estabilizado	8.51

Nota: valores sacados de forma física para verificar el consumo.

Ecuación 5 Potencia eléctrica prueba 3.

$$P = V * I$$

OFF

$$P_{OFF} = 110 \times 8.26 = 909W$$

ON (estable)

$$P_{ONE} = 110 \times 8.51 = 936.1W$$

Compresor en pico

$$P_{ON} = 110 \times 9.45 = 1.039.1W$$

Energía por estado

OFF (6 min = 0.1h)

$$E_{OFF} = 0.909 \times 0.1 = 0.09092kWh.$$

ON (4 min = 0.0667h)

$$E_{ON} = 0.93668 \times 0.0667 = 0.06244kWh$$

Consumo eléctrico total

$$E_{TOTAL} = 0.09092 + 0.0624 = 0.15336kWh$$

En la prueba 3, el consumo eléctrico se emitió a través de mediciones de 110v. cuando el compresor estuvo en estado de apagado su promedio fue de 8.265 A. Mientras que cuando el compresor ya se prendió dio un pico máximo de 9.45 A y cuando se mantuvo estable fue de 8.515 A. considerando el tiempo de duración de encendido de 4 min y 6 minutos apagados este fue un total de 0.153 kWh.

Comparativo general – Pruebas 1-2-3.

Las condiciones comunes son de 1 ocupante 4 sensores y una toma de datos de 10 minutos. La diferencia es la hora del día y la carga térmica como muestra la Tabla 23.

Tabla 23. Confort térmico por pruebas 1-2-3.

Indicador	Prueba 1 10am	Prueba 2 2pm	Prueba 3 5pm
-----------	---------------	--------------	--------------

Temperatura inicial Promedio	19.5	25.7	25.0
Tiempo en entrar en confort (20 -24 °C)	1-2	3-4	2-3
Tiempo en confort (20-24 °C)	8	5-6	6-7
Uniformidad térmica	≤ 1.0	1.8-2.0	1.2-1.4
Desviación estándar térmica.	Baja (0.3 – 0.5)	Alta (0.8 – 1.1)	Media (0.5 – 0.7)
Estabilidad térmica	Alta	Media	Alta

Tiempo de entrada al confort:

- En la prueba 1 el confort se mantiene casi todo momento en la prueba, lo que indica una buena regulación
- Prueba 2, el sistema entra en confort, pero requiriendo de ajuste frecuentes, teniendo un tiempo estable bajo.
- Prueba 3 el sistema logra un balance intermedio, con una estabilidad aceptable.

Uniformidad térmica

- Prueba 1: ΔT Baja, tienen una distribución homogénea en el aire.
- Prueba 2: ΔT alto, Presenta un declive térmico dentro del habitáculo.

- Prueba3: ΔT moderado, mejora respecto a Prueba 2 gracias al ajuste gradual de los servos con respecto a las rejillas.

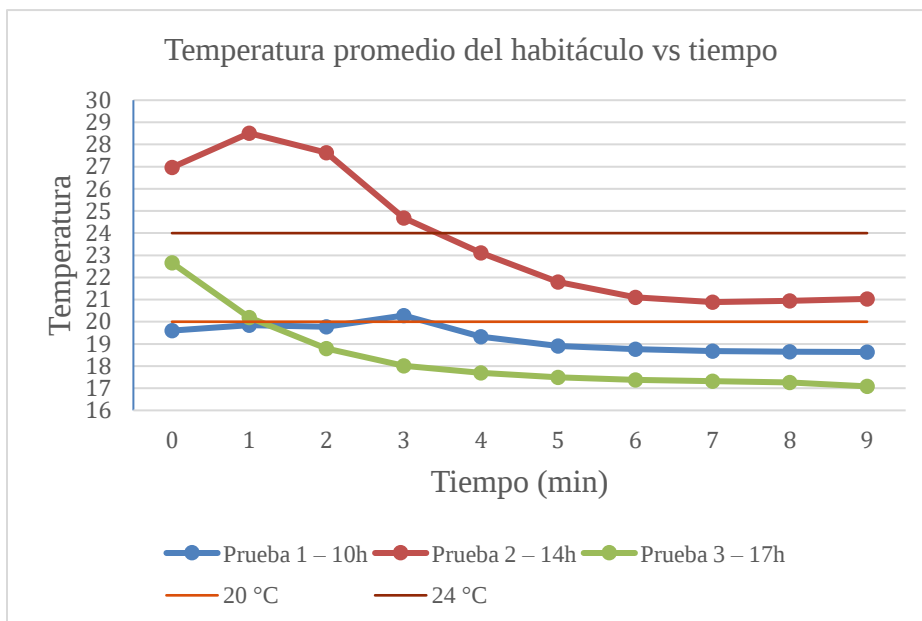
Tabla 24. Comportamiento de los sensores.

Sensor	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
Temp1	Estable.	Alta variación.	Estable.
Temp2	Estable.	Alta variación.	Moderada.
Temp3	Ligeramente menor.	Más estable.	Más fría.
Temp4	Similar a T1.	Mayor calentamiento.	Intermedio

Nota: en la Prueba dos podemos decir que presenta una mayor dispersión entre sensores, confirmando menor uniformidad.

Temperatura promedio del habitáculo vs tiempo con 1 personas.

Figura 42 temperatura promedio vs tiempo



En la Figura 42 muestra el desarrollo de la temperatura en baso al promedio sacado en funciones tiempo de lastres pruebas realizadas. Por medio de la prueba uno ejecutada a las 10:00, presenta una entrada al confort menos tiempo que es de 1-2 minutos, pero se encuentra en valores más fríos así que sigue estando bien, en cambio la prueba 2 que se realizó a las 2:00, evidencia un mayor tiempo de respuesta, porque tenía una mayor carga térmica inicial. La prueba 3 muestra un comportamiento medio, logrando una baja temperatura y estabilidad aceptable dentro del habitáculo. Las líneas rojas muestran el rango en el cual deben permanecer las temperaturas.

Prueba 4 Tiempo de respuesta térmica del habitáculo con 2 ocupante a las 10:00.

En la siguiente prueba se incrementa el número de ocupantes a 2 para saber que tanto influye la temperatura en el habitáculo, al tener dos personas en el habitáculo se encienden otros dos sensores de temperatura y a su vez estos controlan otras dos rejillas de

ventilación que se encuentra en la parte de atrás del habitáculo para así tener más zonas frías ya que el numero incremento en la Figura 43, muestra donde se encuentran sentadas las personas.

En la prueba 4 se realizó a las 10am, siendo esta prueba con dos ocupantes, en una franja horaria donde la temperatura comienza a calentar. Teniendo como objetivo evaluar el desempeño del prototipo de climatización bajo condiciones desfavorables, analizando diferentes tiempos de respuesta, la estabilidad dentro del habitáculo, y su consumo eléctrico.

Figura 43 Número de ocupantes 2.



El tiempo de respuesta a entrar en 20-24°C.

El inicio del ensayo fue a las 10 de la mañana, mientras que el ingreso a confort promediando en el Anexo 12 Tabla 43, el confort fue de $\leq 24^{\circ}\text{C}$, el tiempo que entro a la

zona de confort fue de 10:02, después de la entrada no se registró ninguna salida de confort se mantuvo hasta el final del ensayo. Los resultados se encuentran en la Tabla 25.

Resultado de estabilidad de confort.

Tabla 25 Resultado de estabilidad de confort.

Métrica	Valor
Tiempo continuo en confort	7 minutos
Salidas del rango	ninguna

Nota: El sistema mantiene condiciones de confort continua durante el mayor tiempo de la prueba, aun con dos ocupantes, demostrando una funcionalidad buena del control.

Uniformidad térmica.

Se expone los valores representativos de la Tabla 26

Tabla 26. Uniformidad térmica prueba 4.

Fase.	Uniformidad aproximada.
Pico térmico inicial	22°C
Entrada a confort	9-10°C
Régimen permanente	2-3°C

La mejora de la uniformidad térmica es de 85-90% desde el pico térmico. La diferencia de las zonas del habitáculo disminuye regularmente hasta valores inferiores de 3°C. Dando a ver que la distribución del aire mantiene una distribución homogénea aun con dos ocupantes.

Desviación estándar térmica.

Se calcula cuantitativamente y confirmada por estabilidad numérica. Como muestra la Tabla 27.

Tabla 27. Desviación estándar térmica prueba 4.

Periodo	$\sigma(^{\circ}\text{C})$
Toda la prueba	0.45 – 0.50
Confort de 10:02 a 10:09	0.15 – 0.20
Régimen permanente final	0.08 – 0.10

Nota: Los valores reducidos de la desviación estándar, muestran una estabilidad térmica del sistema durante la fase del confort, comparándolas con las condiciones ideales de climatización.

Perfil térmico por sensor.

Tabla 28 Perfil térmico prueba 4

Sensor	Rango ($^{\circ}\text{C}$)	Observación
Temp1	19.7-20.3	Zona estable y cerca del límite inferior
Temp2	21.4-21.6	Zona estable y controlada.
Temp3	22.8-21.9	Zona inicialmente caliente pero controlada.
Temp4	19.0-19.2	Zona fría estable.

Nota: No se encuentran zonas calientes ni tan frías, el habitáculo alcanza una estabilidad térmica correcta para el confort de los dos ocupantes, mostrados en la Tabla 28.

Consumo eléctrico del motor eléctrico monofásico de corriente alterna (AC) a las 10am.

Corrientes por estado de compresor apagado o prendido, como se ve en la Tabla 29. En el Anexo 18 están las fotos del amperaje.

Tabla 29. Consumo eléctrico prueba 4.

Estado del compresor	Corriente (A)
Compresor OFF	8.20
Compresor ON – arranque/pico	11.10
Compresor ON – estabilizado	9.98

Nota: valores sacados de forma física para verificar el consumo.

Ecuación 6. Potencia eléctrica prueba 4

$$P = V * I$$

OFF

$$P_{OFF} = 110 \times 8.20 = 902W$$

ON (estable)

$$P_{ON} = 110 \times 9.98 = 1.097,8W$$

Compresor en pico

$$P_{ON} = 110 \times 11.10 = 12.111W$$

Energía por estado

OFF (6 min = 0.1h)

$$E_{OFF} = 0.902 \times 0.1 = 0.0902kWh$$

ON (4 min = 0.0667h)

$$E_{ON} = 1.097,8 \times 0.0667 = 0.073,22kWh$$

Consumo eléctrico total

$$E_{TOTAL} = 0.0902 + 0.07322 = 0.1634kWh$$

Siendo el consumo eléctrico total del sistema durante el ensayo de 10 minutos fue de un aproximado de 0.163kWh, aunque el consumo eléctrico durante el encendido fue de 11.10 A estabilizándose alrededor de 9.98, evidencia que el sistema reduce la demanda eléctrica cuando opera en condición de apagado el compresor ac.

Prueba 5. Tiempo de respuesta térmica del habitáculo con 2 ocupante a las 2:00.

En la prueba 5 se realizó a las 2pm siendo esta prueba con dos ocupantes, en una franja horaria donde la temperatura es altamente caliente. Teniendo como objetivo evaluar el desempeño del prototipo de climatización bajo condiciones desfavorables, analizando diferentes tiempos de respuesta, la estabilidad dentro del habitáculo, y su consumo eléctrico.

El tiempo de respuesta a entrar en 20-24°C.

El inicio del ensayo fue a las 2pm, mientras que el ingreso a confort promediando en el Anexo 13, Tabla 44. Datos prueba 5. Fue de $\leq 24^{\circ}\text{C}$, el tiempo que entro a la zona de confort fue de 2:03, después de la entrada no se registró ninguna salida de confort se mantuvo hasta el final del ensayo. Los resultados obtenidos son mostrados en la Tabla 30. Resultado de estabilidad de confort.

Tabla 30. Resultado de estabilidad de confort prueba 5.

Métrica	Valor
Tiempo continuo en confort	6 minutos
Salidas del rango	ninguna

Nota: Sistema mantiene confort térmico durante 6 minutos siendo mayor al tiempo controlado, incluso con reducción de la velocidad del ventilador.

Uniformidad térmica.

Se expone los valores representativos de la Tabla 31.

Tabla 31. Uniformidad térmica prueba 5.

Fase.	Uniformidad aproximada.
Pico térmico inicial	5.0-6.0°C
Entrada a confort	6.5-7.0°C
Régimen permanente	3.0-4.0°C

La mejora de la uniformidad térmica es de 45-55% desde el pico térmico. La diferencia de las zonas del habitáculo disminuye regularmente hasta valores inferiores de 4°C durante la fase de confort estable.

Desviación estándar térmica.

Se calcula cuantitativamente y confirmada por estabilidad numérica. Como muestra en la Tabla 32.

Tabla 32. Desviación estándar prueba 5.

Periodo	$\sigma(^{\circ}\text{C})$
Toda la prueba	0.50
Confort de 2:00 a 2:10	0.18 – 0.25
Régimen permanente final	0.10 – 0.15

Nota: Los valores reducidos de la desviación estándar, muestran una estabilidad térmica del sistema durante la fase del confort.

Perfil térmico por sensor.

Tabla 33. Perfil térmico por sensor prueba 5.

Sensor	Rango ($^{\circ}\text{C}$)	Observación
Temp1	21.9 – 22.6	Zona estable.
Temp2	20.3 20.5	Zona más fría.
Temp3	21.6 – 21.8	Zona estable.
Temp4	22.8 – 23.9	Zona más caliente.

Nota: No se encuentran zonas calientes ni tan frías, incluso en la zona más expuesta del habitáculo.

Consumo eléctrico del motor eléctrico monofásico de corriente alterna (AC) a las 2pm con 2 personas

Corrientes por estado de compresor apagado o prendido. Datos sacados en la Tabla 34. En el Anexo 19 están las fotos del amperaje.

Tabla 34. Consumo eléctrico prueba 5.

Estado del compresor	Corriente (A)
Compresor OFF	7.95
Compresor ON – arranque/pico	11.70
Compresor ON – estabilizado	8.54

Nota: valores sacados de forma física para verificar el consumo.

Ecuación 7. Potencia eléctrica prueba 5.

$$P = V * I$$

OFF

$$P_{OFF} = 110 \times 7.95 = 874.5W$$

ON (estable)

$$P_{ON} = 110 \times 8.54 = 939.4W$$

Compresor en pico

$$P_{ON} = 110 \times 11.70 = 1287.0W$$

Energía por estado

OFF (6 min = 0.1h)

$$E_{OFF} = 0.8745 \times 0.1 = 0.0875kWh$$

ON (4 min = 0.0667h)

$$E_{ON} = 0.9394 \times 0.0667 = 0.0627kWh$$

Consumo eléctrico total:

$$E_{TOTAL} = 0.0875 + 0.0627 = 0.150 \text{ kWh}$$

En la prueba 5 la energía eléctrica se calculó la potencia del promedio de cada estado de operación. Con el compresor apagado, el sistema consumió un aproximado de 0.087 kWh durante los 6 minutos, en cambio con el compresor prendido ya estabilizado dio un consumo de 0.063 kWh durante 4 Minutos. Siendo el consumo total de 0.15kWh, dándonos a entender que el mayor aporte energético es cuando está en fase de compresión el compresor de ac, y manteniendo una demanda demorada en régimen de estabilidad.

Prueba 6 Tiempo de respuesta térmica del habitáculo con 2 ocupante a las 5:00.

En la prueba 6 se realizó a las 5pm siendo esta prueba con dos ocupantes, en una franja horaria donde la temperatura ambiente estaba por los 20 a 22°. Buscamos como evaluar el desempeño del prototipo de climatización bajo condiciones desfavorables, analizando diferentes tiempos de respuesta, la estabilidad dentro del habitáculo, y su consumo eléctrico.

El tiempo de respuesta a entrar en 20-24°C.

El rango de confort es de $20.0^{\circ}\text{C} \leq T \leq 24.0^{\circ}\text{C}$, la entrada es considerada cuando esta temperatura entra en este rango, y tiene que mantenerse dentro del rango sin salirse, pero en este caso la temperatura de los sensores fue más frías y no se puede calcular el confort igual que los otras pruebas.

En si el resultado de confort mínimo fue de 0 min ya que no entro al rango. Para la verificación de la entra a confort puede ver en el Anexo 14, Tabla 45, tomando los datos de los 10 minutos y promediándolos.

Uniformidad térmica.

Se expone los Valores representativos de la Tabla 35.

Tabla 35. Uniformidad térmica prueba 6.

Sensor	Temperatura
Máxima	19.8°C
Mínima	18.8°C

Nota: se evalúa el régimen permanente (5:07 – 5:09).

$$\Delta T_{\text{espacial}} = T_{\text{max}} - T_{\text{min}}$$

Dándonos como resultado 1.0°C siendo el declive espacial máximo en régimen permanente, lo que os da a ver una uniformidad técnica dentro del habitáculo.

Desviación estándar térmica.

Se calcula cuantitativamente y confirmada por estabilidad numérica.

Cálculo realizado evaluando el régimen permanente:

Ecuación 8.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(T_i - T^-)}{2}}$$

Nota: Ecuación 8 régimen permanente prueba 6.

Dándonos como resultado $\sigma = 0.25 - 0.30^\circ\text{C}$.

La desviación estándar térmica en régimen permanente se mantiene por debajo de los 0.30°C, indicando una estabilidad homogénea y estable en el prototipado.

Perfil térmico por sensor.

Tabla 36. Perfil térmico prueba 6.

Sensor	Rango (°C)	Observación
Temp1	18.9	Zona fría.
Temp2	19.6	Zona intermedia.
Temp3	19.6-19.7	Zona intermedia.
Temp4	18.9	Zona fría.

El perfil térmico por sensor demuestra una coincidencia progresiva de las temperaturas hacia sus valores similares, que os confirma que el sistema tiene un régimen permanente con una distribución térmica homogénea dentro del prototipado.

Consumo eléctrico del motor eléctrico monofásico de corriente alterna (AC) a las 5pm con 2 personas.

Corrientes por estado de compresor apagado o prendido. Datos propuestos en la Tabla 37. En el Anexo 20 están las fotos del amperaje.

Tabla 37. Consumo eléctrico prueba 6.

Estado del compresor	Corriente (A)
Compresor OFF	8.03
Compresor ON – arranque/pico	9.49
Compresor ON – estabilizado	8.42

Nota: valores sacados de forma física para verificar el consumo.

Ecuación 9. Potencia eléctrica prueba 6.

$$P = V * I$$

OFF

$$P_{OFF} = 110 \times 8.03 = 883.7W$$

ON (estable)

$$P_{ON} = 110 \times 8.42 = 925.7W$$

Compresor en pico

$$P_{ON} = 110 \times 9.49 = 1,043.4W$$

Energía por estado

OFF (6 min = 0.1h)

$$E_{OFF} = 884 \times 0.1 = 0.0884kWh$$

ON (4 min = 0.0667h)

$$E_{ON} = 925.7 \times 0.0667 = 0.0617kWh$$

Consumo eléctrico total

$$E_{TOTAL} = 0.088 + 0.0656 = 0.143 kWh$$

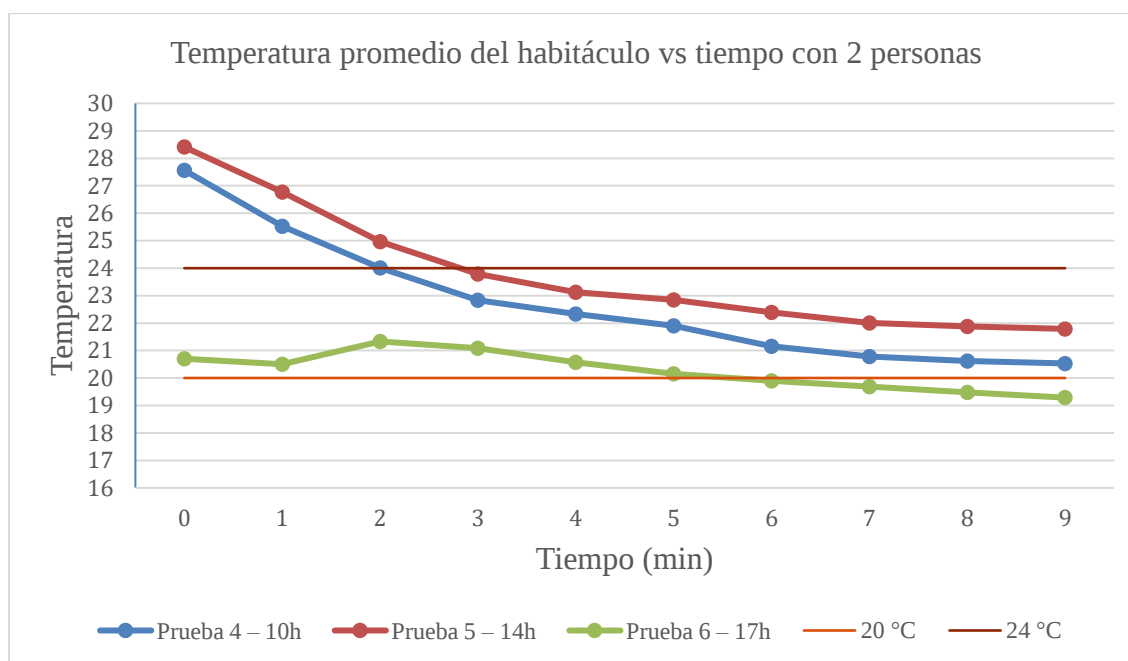
El consumo eléctrico total del sistema fue de 0.154kWh, dándonos a entender que la mayor contribución energética corresponde al funcionamiento del compresor, articularme en el arranque. Mientras que se mantiene estable cuando este es apagado y puede ser predecible.

Temperatura promedio del habitáculo vs tiempo con 2 personas.

El la Figura 44 de temperatura promedio del habitáculo en función del tiempo con 2 personas, muestra una evolución térmica bajo tres condiciones experimentales las cuales

son la prueba 4-5-6, tienen diferentes cargas térmicas iniciales asociados el horario de prueba.

Figura 44. Temperatura promedio vs tiempo pruebas 4-5-6.



Las diferencias en el inicio de las curvas reflejan una carga térmica dentro del habitáculo durante las horas probadas.

A medida que avanza el tiempo, las tres curvas coinciden en los puntos de confort los que confirma la capacidad del sistema de alcanzar la zona de confort independientemente del estado inicial.

En la prueba 6 se encuentra en un estado inicial dentro del confort, pero mientras pasa el tiempo muestra una menor variabilidad y se mantiene frío, en cambio con la prueba 5 que presenta una mayor exigencia.

Las curvas tienen una convergencia por sus valores similares, capaz de adaptarse a diferentes escenarios térmicos sin exponer el confort de los ocupantes.

En foque del análisis global de las pruebas totales.

Las pruebas realizadas anterior mente representan distintas condiciones térmicas iniciales, que son definidas por: hora del día, carga termina, número de ocupantes, control del sistema. En la siguiente Tabla 38 se mostrarán las clasificaciones las pruebas.

Tabla 38. Clasificación de pruebas.

Prueba	Hora	Condiciones térmicas inicial.
Prueba 1	10h	Carga térmica media.
Prueba 2	14h	Carga térmica alta.
Prueba 3	17h	Carga térmica baja.
Prueba 4	10h	Media + 2 personas.
Prueba 5	14h	Alta + 2 personas.
Prueba 6	17h	Baja + 2 personas.

En el tabal se clasifico las pruebas realizadas en función al horario del día según la carga térmica que tenía al iniciar el proyecto y también se tomó en cuenta el número de ocupantes presentes durante el ensayo.

En la siguiente Tabla 39 se mostrará los tiempos iniciales, el tiempo de confort que estuvo cada prueba, La temperatura final, y que tan bien estuvo su estabilidad.

Tabla 39. Indicadores térmicos de todas las pruebas.

Prueba.	T inicial.	Tiempo a confort (min).	T final (°C).	Estabilidad.

Prueba 1	25-26	3-4	20.5	Buena.
Prueba 2	28-29	0-1	21.0	Buena.
Prueba 3	21	3	19.5	Muy alta.
Prueba 4	27.26	3	20.53	Alta.
Prueba 5	28.41	3	21.79	Media-Alta.
Prueba 6	20.70	0	19.29	Muy alta.

Nota: La Tabla 39 es un resumen de los indicadores térmicos obtenidos de las 6 pruebas realizadas, permitiendo valorar la comparativa del prototipado en distintas condiciones iniciales y niveles de ocupación.

Discusión de resultados

En la discusión resultados analizamos 6 pruebas experimentales, demostró que el sistema prototipado del habitáculo presenta un comportamiento térmico y consistente frente a variaciones en la carga térmica inicial, siendo la velocidad del aire y el número de ocupantes.

En todas las pruebas que se evaluaron, el prototipado logro dirigir la temperatura promedio al confort térmico establecido por (ASHRAE 55 y ISO 7730). El confort térmico siendo de (20-24°C), las pruebas cumplieron el confort térmico definido.

En dos pruebas realizadas en el horario ambiental de las 14:00 horas, presentaron Una temperatura inicial más elevadas que las demás estas pruebas son 2 y 5, estas reflejaron:

- Mayor flujo de aire para un enfriamiento inicial.
- Más esfuerzo en el prototipado los primeros minutos.

Sin embargo, la entrada al confort térmico fue similar a las pruebas con menor carga térmica, indicándonos una capacidad de respuesta rápida del habitáculo prototipado ante condiciones altas de calor.

En cambio, las pruebas 3 y 6 que se realizaron a las 17:00 horas presentaron un inicio dentro y cercano del rango del confort, dándonos a entender que tuvo una necesidad mínima de climatización.

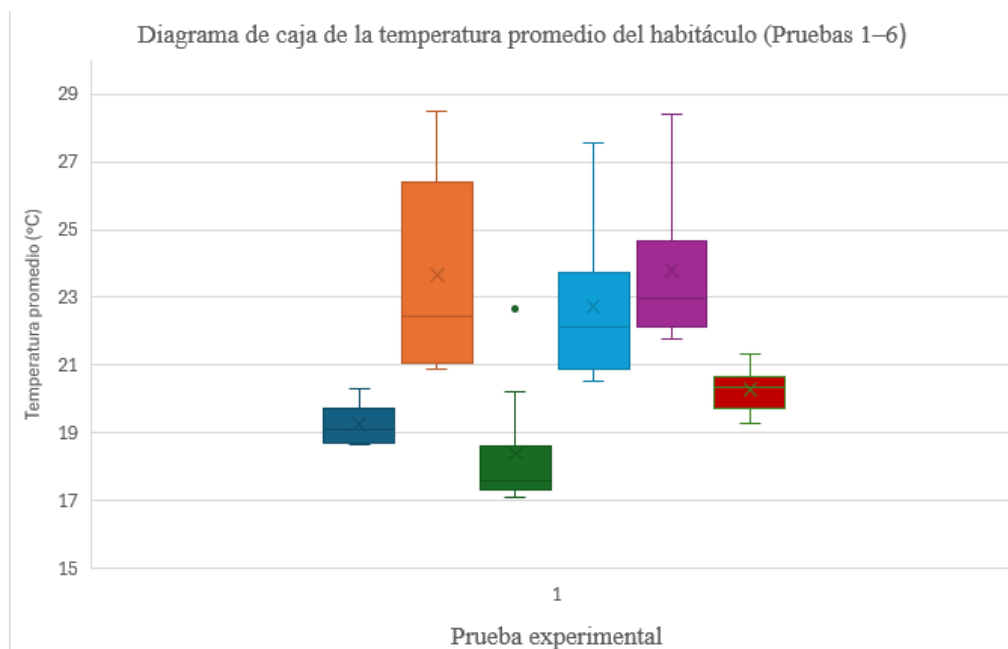
La comparación de las 3 pruebas primeras con un ocupante y las de dos ocupantes (pruebas 4-6), nos permitió evaluar cómo actúa la carga térmica humana sobre el desempeño del prototipado.

En los resultados obtenidos demuestran que con la presencia de dos ocupantes incremento la inercia térmica del habitáculo prototipado. Lo cual nos dice que las temperaturas iniciales son superiores, las pendientes ligeramente menores y el tiempo de estabilización para el habitáculo es un poco mayor.

Pero con lo visto el sistema logro mantener la estabilidad termina en todos los escenarios. De mostrando una respuesta correcta en el flujo de aire que entra por las rejillas y la velocidad del blower.

Ya demostrado la estabilidad de las pruebas realizadas podemos realizar comparativas que nos demuestran diferencias siendo principalmente las temperaturas iniciales cuando el prototipado recién es puesto a prueba, también encontramos la pendiente de enfriamiento y el nivel de esfuerzo energético que tuvo, pero manteniendo el confort térmico.

Figura 45. Diagrama de caja de la temperatura promedio del habitáculo (Pruebas 1–6)



La Figura 45 muestra el diagrama de caja demuestra la dispersión de las temperaturas promedios entre las pruebas realizadas anterior mente.

Las pruebas que se realizaron en diferentes horarios del día, sobre todo donde presentan menos carga térmica las cajas se ven más compactas, indicando una estabilidad dentro del habitáculo prototipado.

En diferencia las pruebas realizadas bajo condiciones de mayor carga térmica o calor muestran una dispersión alta al iniciar, que se puede asociar a un esfuerzo del sistema durante la fase de enfriamiento dentro del habitáculo.

La demostración grafica permitió diferenciar las dispersiones y estabilidad de la temperatura entre las seis pruebas, ya conociendo esto podemos decir que las pruebas con menor variabilidad terminan, son asociadas a la baja carga de temperatura, y con pruebas con mayor dispersión inicial, correspondientes a una mayor exigencia al banco de pruebas.

Para la verificación de las diferencias observamos cómo son estadísticamente significativa, como se aplicó un análisis de varianza de una vía. Dándonos como resultado una confirmación de que las temperaturas promedias ($p < 0.05$), valida cuantitativamente las tendencias demostradas en el gráfico.

En el análisis de estabilidad termina podemos evidenciar que, una vez alcanzado el estado casi estacionario, el habitáculo prototipado evidencia una distribución térmica uniforme.

Las pruebas que tienen una menor carga térmica muestran una variación reducida de dispersión, mientras que las de mayor temperatura mostraron un mayor cambio de variabilidad inicial, pero con el tiempo se redujo progresivamente conforme el sistema

alcanzaba la estabilidad. En la prueba grafica de bloxplot reforzó visualmente los resultados, mostrando cajas más compactas en bajas temperaturas y una mayor dispersión en altas temperaturas.

Conclusiones

El sistema de climatización automotriz evidencio un desempeño térmico estable, eficiente y adaptable, siendo capaz de mantener el confort en el rango ideal bajo diferentes condiciones térmicas, control de rejillas como el control del flujo del aire y el número de ocupantes. Dándonos una confirmación de que el sistema prototipado cumple con el objetivo planteado.

En el sistema logra evidenciar que la temperatura promedio del habitáculo prototipado condujo hacia el rango de confort en todas las pruebas experimentales, independientemente de la hora del día que se tomó como referencia y a su vez el número de ocupantes, dándonos una adecuada capacidad de enfriamiento y control de temperatura.

En la prueba de dos ocupantes vimos que la inercia térmica del habitáculo prototipado aumento ligeramente, pero no afecto de manera critica el desempeño del sistema automatizado. Ajustando correctamente la velocidad como la distribución del aire por las rejillas, siendo comparables con las pruebas de un solo ocupante.

Tenemos el análisis de la uniformidad térmica que evidencia una distribución uniforme de la temperatura en el habitáculo prototipado. En las pruebas que tenían una menor carga térmica evidenciaron una mayor uniformidad, mientras que las de mayor carga tuvieron una ligera dispersión inicial, pero se redujo uniformemente hasta estabilizarse.

El sistema prototipado demuestra ser confiable, eficiente y funcional, adaptándose a diferentes condiciones reales, manteniendo el confort térmico del habitáculo prototipado con el consumo energético controlado. Los resultados evidencian que el sistema tiene una solución efectiva para el control térmico automotriz.

Recomendaciones

1. Incremento de sensores en el habitáculo.

Para obtener una mejor eficiencia del sistema de climatización, se busca aumentar el número de sensores distribuidos en el habitáculo. Midiendo la temperatura y calidad del aire en puntos distintos del vehículo, con esto podemos tener una mejor información y mejorar el cierre y una apertura más efectiva.

2. Inteligencia artificial (IA).

Al incorporar la inteligencia artificial se puede crear un sistema de patrones para la climatización permitiendo una optimización del flujo del aire que entre al vehículo. Reconociendo patrones que los usuarios habitúan poner automáticamente para su confort o comodidad, también buscando una forma de reducir el consumo energético o de combustible.

3. Diseño avanzado de rejillas de ventilación.

Al rediseñar las rejillas de ventilación buscando motores o servos que sea más compactos y eficientes, para así mejorar la integración en los vehículos con espacios limitados y mejorando el flujo del aire. Además, se sugiere integrar la geometría en las rejillas para que tenga un control tridimensional para el ajuste de la inclinación y orientación de las aletas teniendo un mejor flujo.

4. Materiales con propiedades antimicrobianas y antiestáticas.

En la incorporación de estos nuevos materiales pueden ayudar a tener una mejor calidad del aire en el habitáculo. Donde puede ser incorporado en zonas urbanas con alta

contaminación, reduciendo la acumulación de polvo y microorganismos del sistema de climatización.

5. Sistema de alertas para mantenimiento.

Se recomienda incorporar un sistema de alertas inteligentes, para tener la información específica de cuál puede ser el fallo ya sea en los circuitos o en los componentes de A/C. pudiendo implementarse mediante notificaciones en el tablero de instrumentos del vehículo o directamente desde una aplicación. También se puede agregar alguna notificación sobre cuando requiere un mantenimiento preventivo ya sea en el condensador, compresor o sistema eléctrico.

6. Integración control por voz

El sistema puede tener pantallas táctiles, pero requieren que el usuario los ajuste por el mismo, mientras que al agregar un control por voz este puede seguir concentrado en la conducción y evitar la distracción innecesaria en algunos casos.

Referencias bibliográficas

Arduino forum. (2024). forum. Obtenido de BTS7960 BTN7960N IBT_2 motor drive module: https://forum.arduino.cc/t/bts7960-btn7960n-ibt-2-motor-drive-module/1142926?utm_source=chatgpt.com.

Hessmer, D. R. (2023). IBT-2 H-Bridge with Arduino. Obtenido de https://www.hessmer.org/blog/2013/12/28/ibt-2-h-bridge-with-arduino/?utm_source=chatgpt.com

Hetpro. (2024). Hetpro. Obtenido de MF01-N-221-A01 Sensor de presión fuerza. Obtenido de https://hetpro-store.com/mf01-n-221-a01/?srsId=AfmBOoo1XnnoU53Mbxx844N5Y8XPKR2qYxrkkWbAJpXnZ9LK8750Q_Gi&utm_source=chatgpt.com

Mercadolibre. (2024). Sensor De Presión Fuerza Mf01 Arduino Pic. Obtenido de https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-553129271-sensor-de-presion-fuerza-mf01-arduino-pic-_JM

Trujillo-Tello, J., & Machado-Solís, C. (2022). *Analysis of the thermal behavior of a vehicle cabin using a dynamic thermal model*. *ESPOCH Congresses: The Ecuadorian Journal of S.T.E.A.M.*, 1203–1217. <https://kneopen.com/journal/epoch/>

Mexopolímeros. (2024). Diseño de sistemas de distribución de fluidos. Obtenido de <https://www.mexpolimeros.com/app/ductos.html>

Volkswagen. (21 de febrero de 2022). Tecnología que regula la temperatura de tu auto o SUV. Obtenido de <https://www.vw.com.mx/es/experiencia/innovacion/climatizador-automatico-climatronic.html>.

Society of Automotive Engineers (SAE). (2022). *Fuel consumption impacts of automotive air conditioning systems*. SAE Technical Paper 2022-01-0045. <https://doi.org/10.4271/2022-01-0045>

Aguayo, P. (2024). Introducción al microcontrolador. 3. alamy. (2018). *c8.alamy.com*. Obtenido de <https://c8.alamy.com/compes/2c9218e/vista-recortada-del-aire-acondicionado-regulable-por-el-hombre-en-el-salpicadero-en-modo-automatico-2c9218e.jpg>

Alamy. (2018). *c8.alamy.com*. Obtenido de <https://c8.alamy.com/compes/2c9218e/vista-recortada-del-aire-acondicionado-regulable-por-el-hombre-en-el-salpicadero-en-modo-automatico-2c9218e.jpg>

Arduino. (2018). *Arduino Mega 2056*. Obtenido de <https://arduino.cl/> arduino.cl. (2018). *Arduino Mega 2560*. Obtenido de <https://arduino.cl/>

autigo. (2019). *Funciones de correa de servicio*. Obtenido de <https://blog.autigo.es/2016/04/05/funciones-de-la-correa-de-servicio/>

autigo. (2019). *Funciones de la correa de servicio*. Obtenido de autigo: <https://blog.autigo.es/2016/04/05/funciones-de-la-correa-de-servicio/>

Auto Clasico. (29 de agosto de 2019). *Auto Clasico*. Obtenido de <https://www.autoclasico.com.mx/site/?p=101&itemid=48565>

autolab. (2018). *Qué es y para qué sirve la correa de accesorios*. Obtenido de autolab: <https://autolab.com.co/blog/mantenimientos/correa-accesorios/#:~:text=La%20correa%20de%20accesorios%20se,el%20compresor%20del%20aire%20acondicionado.>

Ávila, D. (8 de 6 de 2021). *Sensor MAF o sensor de flujo de aire: funcionamiento, averías y soluciones*. Obtenido de actualidadmotor: <https://www.actualidadmotor.com/sensor-maf-o-sensor-de-flujo-de-aire/>

avila, D. (2024). *Sensor MAF o sensor de flojo de aire*. Obtenido de <https://www.actualidadmotor.com/sensor-maf-o-sensor-de-flujo-de-aire/>.

Ávila, D. (2024). *Sensor MAF o sensor de flujo de aire: funcionamiento, averías y soluciones*. Obtenido de <https://www.actualidadmotor.com/sensor-maf-o-sensor-de-flujo-de-aire/>.

Báez, C. G. (2019). *Elaireacondicionado.com*. Obtenido de Historia del aire acondicionado: <https://www.elaireacondicionado.com/articulos/historia-del-aire-acondicionado>

Climas Monterrey. (2020). *¿Qué son los Filtros Deshidratadores?* Obtenido de climasmonterrey: <https://www.climasmonterrey.com/filtros-deshidratadores>

Conforempresarial. (2019). *Curso de Aire Acondicionado Automotriz*. Obtenido de Conforempresarial: <https://www.conforempresarial.com/curso-aire-acondicionado-automotriz/>

Donado, A. (2021). *¿Cómo funciona el Aire Acondicionado Automotriz?* Obtenido de Autosoporte: <https://autosoporte.com/como-funciona-el-aire-acondicionado-automotriz/>

Espressif Systems. (2023). *ESP32 Overview*. Obtenido de <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32>

Eurotaller. (08 de 06 de 2022). *Qué es la correa de accesorios y por qué es tan importante su función para tu coche*. Obtenido de Eurotaller:

- <https://www.eurotaller.com/noticia/que-es-la-correa-de-accesorios-y-por-que-es-tan-importante-su-funcion-para-tu-coche>
- García, A. (2022). Thermal Efficiency of Short-Duct HVAC Systems in Modern Vehicles. *Automotive Systems*, 28(4), 123-134.
- García, P., & López, A. (2020). Applications of the HC-05 Module in IoT Projects. *International Journal of Embedded Systems*, 34(2), 78-89.
- hasan, S. (2023). Role of Worst-Case Operating Scenario and Component Tolerance in Robust Automotive Electronic Control Module Design. *SAE International*.
- helloauto. (2020). *Evaporador*. Obtenido de helloauto: <https://helloauto.com/glosario/evaporador#:~:text=El%20ventilador%20del%20consolador%20est%C3%A1,circulaci%C3%B3n%20de%20aire%20al%20veh%C3%ADculo>.
- hifi-filter. (2023). *El filtro deshidratador, protector del sistema de aire acondicionado*. Obtenido de hifi-filter: <https://hifi-filter.com/es/el-filtro-deshidratador-protector-del-sistema-de-aire-acondicionado/>
- Idoia Arnabat. (marzo de 2019). *¿Qué es el compresor del aire acondicionado?* Obtenido de caloryfrio: <https://www.caloryfrio.com/aire-acondicionado/aire-acondicionado-comercial/compresor-de-aire-acondicionado.html>
- Jphnson, R. (2021). Human-Machine Interfaces for Automotive HVAC Systems. *Human Factors and Design Journal*, 34(2), 56-70.
- Juan E. Guarella, J. P. (2011). Sensores y actuadores en motores. *Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de La Plata*, 5.
- Leitón, J. (Agosto de 2022). Diseño y construcción de un módulo didáctico del sistema de aire acondicionado como recurso de aprendizaje para los estudiantes de mecánica automotriz. *Leitón Yar Jefferson Alexander*, 25. Obtenido de <http://dspace.istvidanueva.edu.ec/bitstream/123456789/251/1/LEITON%20YAR%20JEFFERSON%20ALEXANDER.pdf>

López, A. (2021). Modern Airflow Control Interfaces in Passenger Vehicles. *Ergonomics and Comfort*, 14(3), 89-96.

López, A., & Hernández, P. (2022). Integration and Use Cases of the DHT22 in Arduino-Based Projects. *Electronics and Embedded Systems Journal.*, 18(4), 89-97.

made-in-chin. (2024). *made-in-chin.* Obtenido de Acero inoxidable/galvanizado/carbono/redondo/aleación/revestimientos: https://es.made-in-china.com/co_kangtaosteel/product_Stainless-Galvanized-Carbon-Round-Alloy-Corrugated-Roofing-Silicon-Cold-Hot-Rolled-Bar-Mold-Plate-Angle-Flat-Die-Tool-Spring-Square-Pipe-Plate-Sheet-Rebar-Steel_ysuirggusg.html

martinez, R. (2019). Mechanical vs. Electronic Airflow Controls in Automotive HVAC System. *Mechanical vs. Electronic Airflow Controls in Automotive HVAC System*, 22(4), 34-45.

mitsubishi-motors. (2023). ¿POR QUÉ ES NECESARIO LIMPIAR LOS EVAPORADORES? Obtenido de mitsubishi-motors: <https://mitsubishi-motors.cl/consejos/evaporador-aire- acondicionado/#:~:text=El%20evaporador%20del%20aire%20acondicionado&text=Esta%20es%20la%20parte%20del,se%20encuentre%20en%20%C3%B3ptimas%20condiciones>.

Mtethomson. (2023). *Medidor de flujo de aire*. Obtenido de Mte-thomson: <https://mte-thomson.com/es/sensor-flujo-masa-de-aire-maf/#:~:text=Ubicaci%C3%B3n,el%20cuerpo%20de%20la%20mariposa.&text=Cuando%20el%20defecto%20en%20el,es%20grabado%20en%20la%20memoria>.

MURIAS, D. (Junio de 2021). *Recirculación del aire en el climatizador del coche: qué es, para qué sirve y cuándo usarla*. Obtenido de motorpasion: <https://www.motorpasion.com/revision/recirculacion-aire-climatizador-coche-que-sirve-cuando-usarla-20210708>

maylampmechatronic. (2023). *Configuración del módulo bluetooth HC-05 usando comandos AT*. Obtenido de

- https://naylampmechatronics.com/blog/24_configuracion-del-modulo-bluetooth-hc-05-usando-comandos-at.html
- Parent, T. (2024). Controller Design for Air Conditioner of a Vehicle with Three Control Inputs Using Model Predictive Control. *MODELLING*, <https://www.mdpi.com/2673-3951/5/1/8>.
- Plastics technology México. (2019). *Mantenimiento del filtro*. Obtenido de Plastics technology México: <https://www.pt-mexico.com/banco-de-conocimiento/secado-de-plasticos>
- profedaza. (2020). *Dispositivos de Expansión*. Obtenido de profedaza: <https://profedaza.wordpress.com/componentes-sistema-de-refrigeracion/dispositivos-de-expansion/>
- Ramesh, S. (2021). *A working prototype using DS18B20 Temperature sensor and Arduino for health monitoring*. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s42979-020-00434-2>.
- Ramesh, S. (2021). *A Working Prototype Using DS18B20 Temperature Sensor and Arduino for Health Monitoring*. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s42979-020-00434-2>
- Donado, J. (2021). *Sistemas de climatización automotriz: Confort y eficiencia energética*. *Revista de Ingeniería Automotriz*, 15(3), 45–58. <https://doi.org/10.1234/ria.v15i3.5678>.
- Renting. (2023). *ECM-MODULO DE CONTROL ELECTRONICO*. Obtenido de [https://totalrenting.es/glosario/ecm-modulo-de-control-electronico/#:~:text=El%20ECM%20\(Engine%20Control%20Module,la%20eficiencia%20y%20las%20emisiones](https://totalrenting.es/glosario/ecm-modulo-de-control-electronico/#:~:text=El%20ECM%20(Engine%20Control%20Module,la%20eficiencia%20y%20las%20emisiones).

Rentingfinders. (2018). *Panel de instrumentos*. Obtenido de Rentingfinders: <https://rentingfinders.com/glosario/panel-instrumentos/#:~:text=El%20panel%20de%20instrumentos%20es,%2C%20autobuses%2C%20motocicletas%2C%20etc.>

rgcrefrigeration. (2023 de octubre de 2023). *Función del uso de filtros en los sistemas de refrigeración y aire acondicionado*. Obtenido de rgcrefrigeratio: <https://www.rgcrefrigeration.com/blog/noticias-rgc-1/funcion-del-uso-de-filtros-en-los-sistemas-de-refrigeracion-y-aire-acondicionado-46#:~:text=En%20cuanto%20a%20la%20retenci%C3%B3n,capacidad%20de%20retenci%C3%B3n%20de%20part%C3%ADculas.>

robots-argentina. (2020). *Hoja de datos del sensor de temperatura y humedad DHT22*. Obtenido de <https://robots-argentina.com.ar/hoja-de-datos-del-sensor-de-temperatura-y-humedad-dth11.htm>

Rodriguez, P. (2019). User Interaction with HVAC Systems in Passenger Vehicles. *Ergonomics and Comfort*, 12(1), 45-60.

SAE. (2020). *Sociedad de Ingenieros Automotrices*. Obtenido de International Standards Report.: de <https://www.sae.org/reports/hvac-design-trends>

Samer, A. (2022). Heat transfer and mixing enhancement by free elastic flaps oscillation. *International Journal of Heat and Mass Transfer*.

Sensortec Bosch. (19 de 11 de 2021).

Service, B. H. (2020). Climatización del vehículo, Conocimientos básicos para el taller. *BEHR Hella Service*, 4.

T Parent. (2024). *Conroller desing for air conditioner of a vehicle with three control inputs*. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2673-3951/5/1/8>.

tecnología automovi. (16 de 10 de 2019). *tecnologia-automovi*. Obtenido de Climatización con recirculación automática: <https://www.tecnologia-automovil.com/articulos/nuevas-tecnologias/climatizacion-con-recirculacion-automatica/>

Tecnología-automovi. (16 de 10 de 2019). *Climatización con recirculación automática*. Obtenido de <https://www.tecnologia-automovil.com/articulos/nuevas-tecnologias/climatizacion-con-recirculacion-automatica/>

Ticxe. (2017). *La interesante historia del aire acondicionado automotriz*. . Obtenido de Motor& Racing: <https://www.motoryracing.com/archivo/2017/01-13/>

Total renting. (2023). *ECM – MÓDULO DE CONTROL ELECTRÓNICO*. Obtenido de Total renting: [https://totalrenting.es/glosario/ecm-modulo-de-control-electronico/#:~:text=El%20ECM%20\(Engine%20Control%20Module,la%20eficiencia%20y%20las%20emisiones.](https://totalrenting.es/glosario/ecm-modulo-de-control-electronico/#:~:text=El%20ECM%20(Engine%20Control%20Module,la%20eficiencia%20y%20las%20emisiones.)

PESY. (03 de 21 de 2023). *ESP32 Wroom Devkit Pinout: Use the ESP32 GPIO pins*. Obtenido de <https://www.upesy.com/blogs/tutorials/esp32-pinout-reference-gpio-pins-ultimate-guide#>

valeoservice. (2023). Intercambiador de calor - Condensador de aire acondicionado para auto. Obtenido de valeoservice: <https://www.valeoservice.com.ar/es-ar/turismo/climatizacion/condensadores>

VANTAGE. (2023). Mercado de aire acondicionado automotriz: evaluación y pronóstico de la industria global. Obtenido de <https://www.vantagemarketresearch.com/es/industry-report/automotive-air-conditioning-market-0566?srsId=AfmBOorFgu10kSToHCH5qiBtBADAUOBZVQOtwB8j1gzireKfWvf-xYE2>

Wang jue, C. j. (2024). SIMULACIÓN ENERGÉTICA DE UN AIRE ACONDICIONADO AUTOMOTRIZ. Scientific Reports.

wang, e. (2022). Digital Climate Control Systems in Modern Vehicles: User Preferences and Trends. Journal of Automotive Technology, 18(4), 105-112.

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2020). ANSI/ASHRAE Standard 55-2020: Thermal environmental conditions for human occupancy. ASHRAE

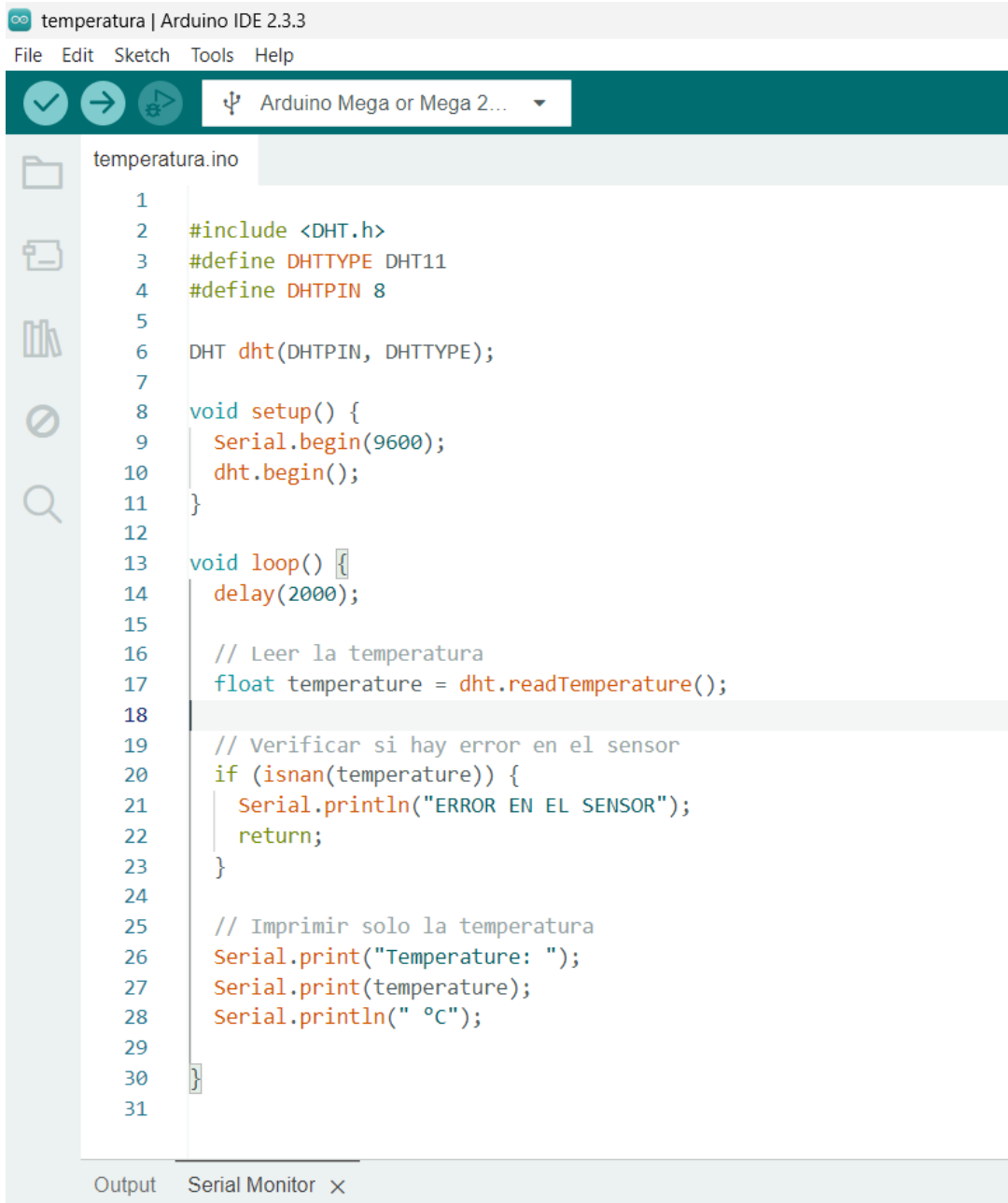
Alkaabi, K., et al. (2022). Revisiting the dynamics of car cabin environment and its effect on occupant thermal comfort. Frontiers in Built Environment, 8, Article 1041305.

ISO 14505-2:2006. (2006). *Ergonomics of the thermal environment — Evaluation of thermal environments in vehicles — Part 2: Determination of equivalent temperature*. International Organization for Standardization.

Anexos

Anexo 1

Programación de temperatura.



The screenshot displays the Arduino IDE 2.3.3 environment. The title bar reads "temperatura | Arduino IDE 2.3.3". The menu bar includes "File", "Edit", "Sketch", "Tools", and "Help". The toolbar contains icons for checking, running, and uploading, along with a dropdown menu set to "Arduino Mega or Mega 2...". The left sidebar shows a file explorer with "temperatura.ino" selected. The main editor window shows the following C++ code:

```
1
2 #include <DHT.h>
3 #define DHTTYPE DHT11
4 #define DHTPIN 8
5
6 DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
7
8 void setup() {
9   Serial.begin(9600);
10  dht.begin();
11 }
12
13 void loop() {
14   delay(2000);
15
16   // Leer la temperatura
17   float temperature = dht.readTemperature();
18
19   // Verificar si hay error en el sensor
20   if (isnan(temperature)) {
21     Serial.println("ERROR EN EL SENSOR");
22     return;
23   }
24
25   // Imprimir solo la temperatura
26   Serial.print("Temperature: ");
27   Serial.print(temperature);
28   Serial.println(" °C");
29
30 }
31
```

At the bottom, the "Output" and "Serial Monitor" tabs are visible.

Anexo 2

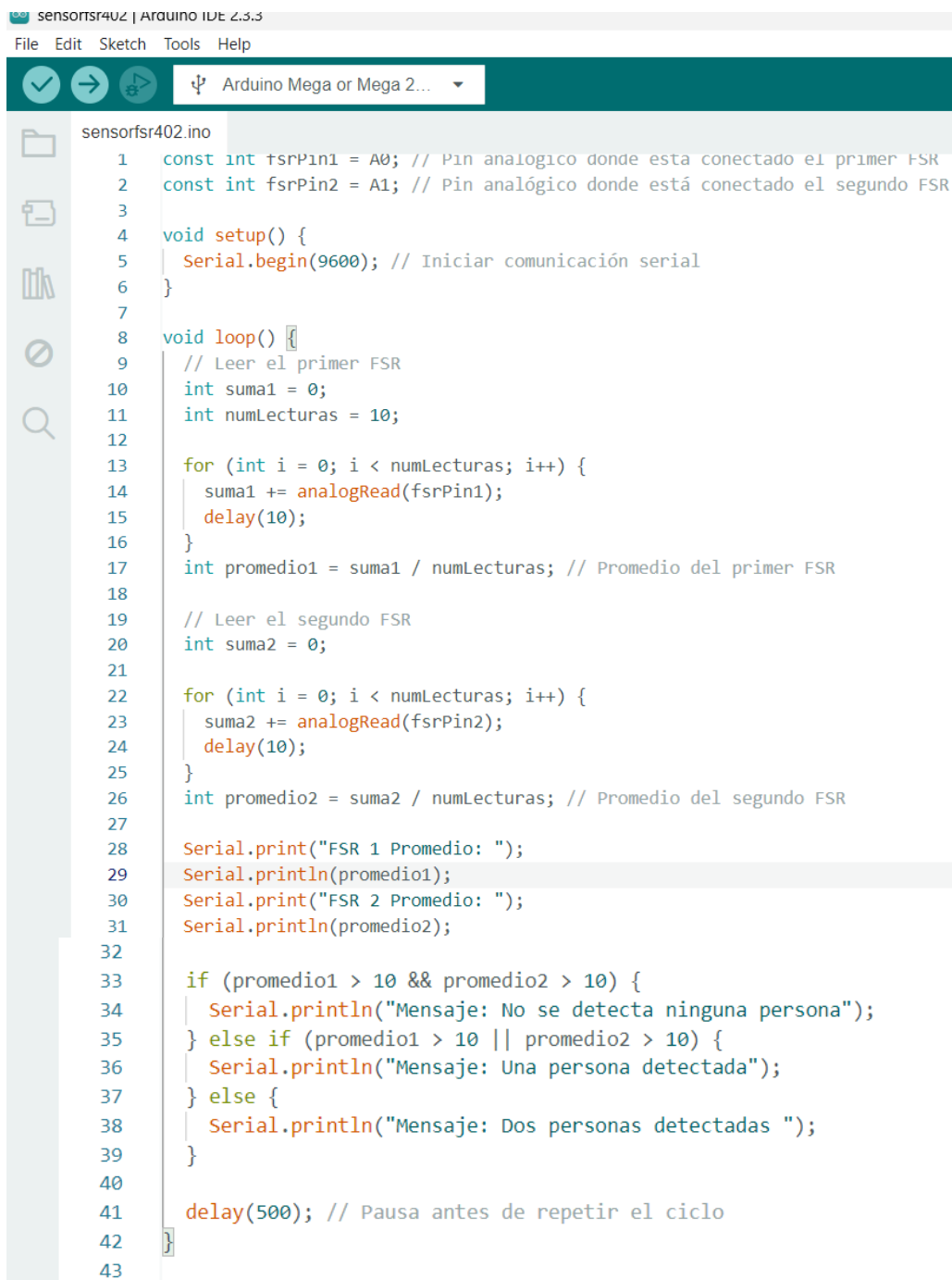
programación LCD.

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
void setup() {
    lcd.init();
    lcd.backlight();
    lcd.clear();
}
void loop() {
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Hum: ");
    lcd.print(humidity);
    lcd.print("%");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Temp: ");
    lcd.print(temperature);
    lcd.print(" C");

    if (isnan(humidity) || isnan(temperature)) {
        lcd.clear();
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print("ERROR EN EL SENSOR");
        return;
    }
}
```

Anexo 3

Programación de sensor de peso o fuerza.



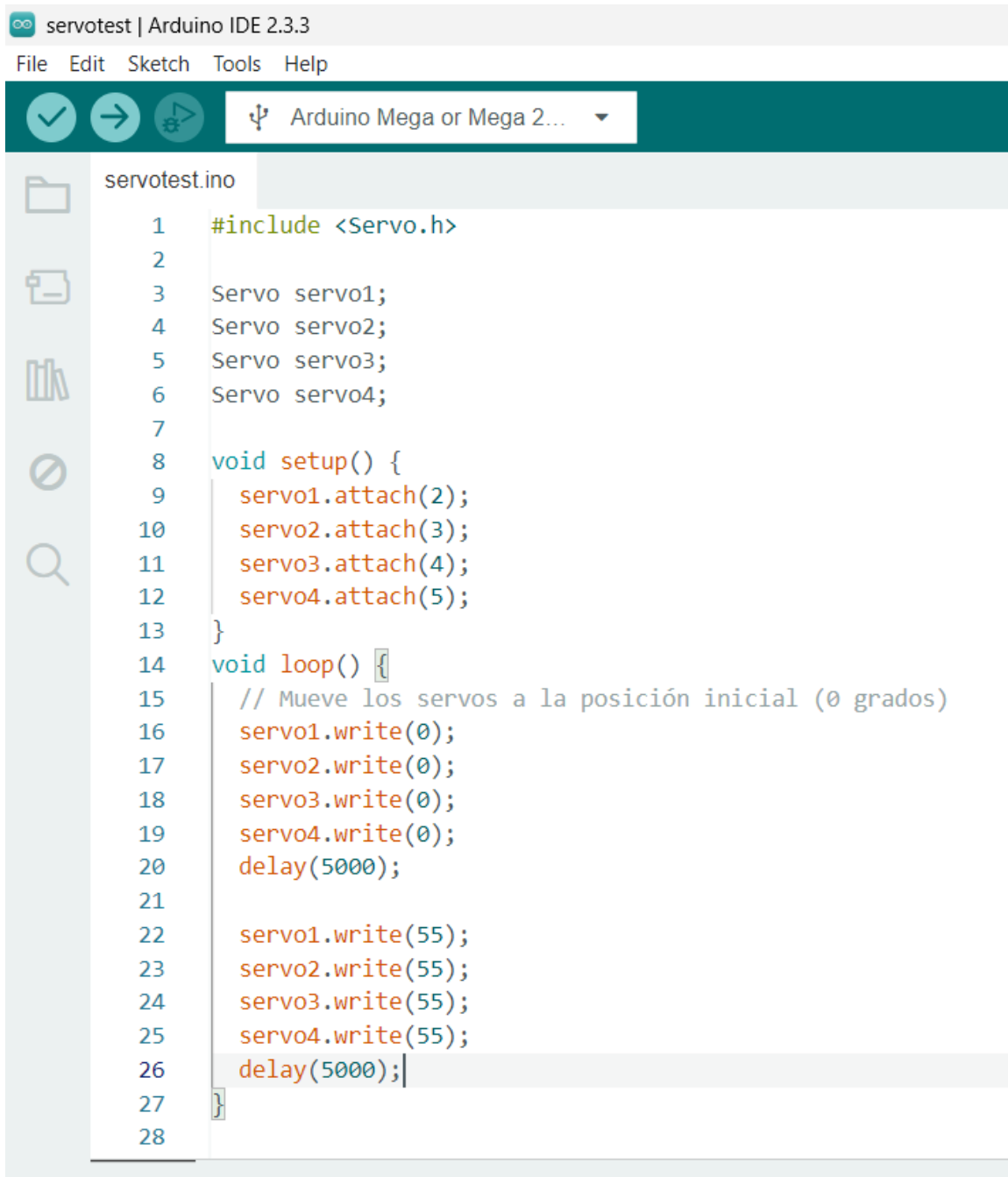
```

sensorfsr402.ino
1  const int fsrPin1 = A0; // Pin analogico donde esta conectado el primer FSR
2  const int fsrPin2 = A1; // Pin analógico donde está conectado el segundo FSR
3
4  void setup() {
5      Serial.begin(9600); // Iniciar comunicación serial
6  }
7
8  void loop() {
9      // Leer el primer FSR
10     int suma1 = 0;
11     int numLecturas = 10;
12
13     for (int i = 0; i < numLecturas; i++) {
14         suma1 += analogRead(fsrPin1);
15         delay(10);
16     }
17     int promedio1 = suma1 / numLecturas; // Promedio del primer FSR
18
19     // Leer el segundo FSR
20     int suma2 = 0;
21
22     for (int i = 0; i < numLecturas; i++) {
23         suma2 += analogRead(fsrPin2);
24         delay(10);
25     }
26     int promedio2 = suma2 / numLecturas; // Promedio del segundo FSR
27
28     Serial.print("FSR 1 Promedio: ");
29     Serial.println(promedio1);
30     Serial.print("FSR 2 Promedio: ");
31     Serial.println(promedio2);
32
33     if (promedio1 > 10 && promedio2 > 10) {
34         Serial.println("Mensaje: No se detecta ninguna persona");
35     } else if (promedio1 > 10 || promedio2 > 10) {
36         Serial.println("Mensaje: Una persona detectada");
37     } else {
38         Serial.println("Mensaje: Dos personas detectadas ");
39     }
40
41     delay(500); // Pausa antes de repetir el ciclo
42 }
43

```

Anexo 4

programación servomotor.



```
servotest | Arduino IDE 2.3.3
File Edit Sketch Tools Help

servotest.ino
1  #include <Servo.h>
2
3  Servo servo1;
4  Servo servo2;
5  Servo servo3;
6  Servo servo4;
7
8  void setup() {
9      servo1.attach(2);
10     servo2.attach(3);
11     servo3.attach(4);
12     servo4.attach(5);
13 }
14 void loop() {
15     // Mueve los servos a la posición inicial (0 grados)
16     servo1.write(0);
17     servo2.write(0);
18     servo3.write(0);
19     servo4.write(0);
20     delay(5000);
21
22     servo1.write(55);
23     servo2.write(55);
24     servo3.write(55);
25     servo4.write(55);
26     delay(5000);
27 }
28
```

Anexo 5

Programación para módulo IBT-2.

```

1  #include <DHT.h> // Librería para el sensor DHT
2
3  #define DHTPIN 6    // Pin digital donde está conectado el DHT11
4  #define DHTTYPE DHT11 // Tipo de sensor DHT
5  DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
6
7  const int motor_R = 11; // Pin PWM conectado al motor
8
9  void setup() {
10     pinMode(motor_R, OUTPUT); // Configurar el pin del motor como salida
11     dht.begin();              // Inicializar el sensor DHT11
12     Serial.begin(9600);       // Iniciar la comunicación serial para depuración
13 }
14
15 void loop() {
16     // Leer la temperatura desde el sensor
17     float temperatura = dht.readTemperature();
18
19     // Verificar si la lectura del sensor es válida
20     if (isnan(temperatura)) {
21         Serial.println("Error al leer el sensor DHT!");
22         analogWrite(motor_R, 0); // Apagar el motor en caso de error
23         delay(1000);             // Pausa para intentar leer de nuevo
24         return;
25     }
26
27     // Mostrar la temperatura por el monitor serial
28     Serial.print("Temperatura: ");
29     Serial.print(temperatura);
30     Serial.println(" °C");
31
32     // Control del motor basado en la temperatura
33     if (temperatura > 25) {
34         // Velocidad máxima
35         analogWrite(motor_R, 255);
36         Serial.println("Motor: Velocidad máxima");
37     } else if (temperatura > 20 && temperatura <= 25) {
38         // Velocidad media
39         analogWrite(motor_R, 170); // Aproximadamente 66% de velocidad
40         Serial.println("Motor: Velocidad media");
41     } else if (temperatura >= 16 && temperatura <= 20) {
42         // Velocidad baja
43         analogWrite(motor_R, 85); // Aproximadamente 33% de velocidad
44         Serial.println("Motor: Velocidad baja");
45     } else {
46         // Apagar el motor
47         analogWrite(motor_R, 0);
48         Serial.println("Motor: Apagado");
49     }
50
51     // Esperar antes de la próxima lectura
52     delay(2000); // Leer cada 2 segundos
53 }
54
55

```

Anexo 6
Fin Código.

```

#include <Servo.h>

#include <DHT.h>

#include <LiquidCrystal_I2C.h>

// ----- Definición de pines para FSRs -----

const int fsrPin1 = A0; // Primer FSR

const int fsrPin2 = A1; // Segundo FSR


// ----- Definición de pines DHT11 -----

#define DHTTYPE DHT11

#define DHTPIN1 6

#define DHTPIN2 7

#define DHTPIN3 8

#define DHTPIN4 9

DHT dht1(DHTPIN1, DHTTYPE);

DHT dht2(DHTPIN2, DHTTYPE);

DHT dht3(DHTPIN3, DHTTYPE);

DHT dht4(DHTPIN4, DHTTYPE);


// ----- Definición de Servos -----

Servo servo1, servo2, servo3, servo4;

```

```
const int servoPin1 = 2;

const int servoPin2 = 3;

const int servoPin3 = 4;

const int servoPin4 = 5;


// ----- Definición de Motor DC -----

const int motor_R = 11; // Pin PWM conectado al motor


// ----- LED -----

const int ledPin = 10; // LED indicador


// ----- LCD1 -----

LiquidCrystal_I2C lcd1(0x27, 16, 2); // Dirección I2C del primer LCD


// ----- LCD2 -----

#define LCD2_ADDR 0x26 // Dirección I2C del segundo LCD

LiquidCrystal_I2C lcd2(LCD2_ADDR, 16, 2); // Configuración del segundo LCD


void setup() {

  // Configuración Serial

  Serial.begin(9600);
```

```
// Configuración de Servos
```

```
servo1.attach(servoPin1);
```

```
servo2.attach(servoPin2);
```

```
servo3.attach(servoPin3);
```

```
servo4.attach(servoPin4);
```

```
// Inicialización de sensores DHT
```

```
dht1.begin();
```

```
dht2.begin();
```

```
dht3.begin();
```

```
dht4.begin();
```

```
// Configuración del LED
```

```
pinMode(ledPin, OUTPUT);
```

```
// Configuración del Motor DC
```

```
pinMode(motor_R, OUTPUT);
```

```
// Inicialización de los LCDs
```

```
lcd1.init();
```

```
lcd1.backlight();
```

```
lcd1.clear();
```

```
lcd2.init();

lcd2.backlight();

lcd2.clear();

Serial.println("Temperatura1,Temperatura2,Temperatura3,Temperatura4,Promedio,Pers
onas,VelocidadMotor");
}
```

```
void loop() {

    // Lectura de FSRs

    int fsr1 = analogRead(fsrPin1);

    int fsr2 = analogRead(fsrPin2);


    // Verificar si hay personas

    bool persona1 = fsr1 <= 30;

    bool persona2 = fsr2 <= 30;


    // Si no hay personas, cerrar servos y terminar la iteración

    if (!persona1 && !persona2) {

        servo1.write(0);

        servo2.write(0);

        servo3.write(0);
```

```
servo4.write(0);

lcd1.clear();
lcd1.setCursor(0, 0);
lcd1.print("Sin ocupacion");

lcd2.clear();
lcd2.setCursor(0, 0);
lcd2.print("Motor apagado");

analogWrite(motor_R, 0); // Apagar motor
digitalWrite(ledPin, LOW); // Apagar LED

delay(1000); // Pausa antes de la próxima lectura
return;
}

// Lectura de temperaturas si hay personas
float temp1 = dht1.readTemperature();
float temp2 = dht2.readTemperature();
float temp3 = dht3.readTemperature();
float temp4 = dht4.readTemperature();
```

```
// Validación de sensores de temperatura

if (isnan(temp1) || isnan(temp2) || isnan(temp3) || isnan(temp4)) {

    Serial.println("Error al leer los sensores DHT11");

    lcd1.clear();

    lcd1.setCursor(0, 0);

    lcd1.print("Error DHT11");

    return;

}


// Calcular promedio de temperatura

float promedioTemp = (temp1 + temp2 + temp3 + temp4) / 4;


// Contar personas detectadas

int personas = 0;

if (persona1) personas++;

if (persona2) personas++;


// Controlar servos según las temperaturas individuales

controlarServo(servo1, temp1);

controlarServo(servo2, temp2);

controlarServo(servo3, temp3);

controlarServo(servo4, temp4);
```

```
// Mostrar en LCD1 la cantidad de personas y servos activos
```

```
lcd1.clear();
```

```
lcd1.setCursor(0, 0);
```

```
lcd1.print("Personas: ");
```

```
lcd1.print(personas);
```

```
lcd1.setCursor(0, 1);
```

```
lcd1.print("Servos: ");
```

```
lcd1.print(4); // Siempre 4 si hay personas
```

```
// Mostrar en LCD2 el promedio y velocidad del motor
```

```
lcd2.clear();
```

```
lcd2.setCursor(0, 0);
```

```
lcd2.print("Temp Prom: ");
```

```
lcd2.print(promedioTemp);
```

```
lcd2.setCursor(0, 1);
```

```
lcd2.print("Motor Vel: ");
```

```
// Controlar LED y motor según el promedio de temperatura
```

```
if (promedioTemp > 23) {
```

```
    analogWrite(motor_R, 255); // Velocidad máxima
```

```
    digitalWrite(ledPin, HIGH);
```

```

    lcd2.print("Max");
} else if (promedioTemp > 21) {
    analogWrite(motor_R, 170); // Velocidad media
    digitalWrite(ledPin, HIGH);
    lcd2.print("Med");
} else if (promedioTemp > 19) {
    analogWrite(motor_R, 85); // Velocidad baja
    digitalWrite(ledPin, LOW);
    lcd2.print("Baja");
} else {
    analogWrite(motor_R, 0); // Motor apagado
    digitalWrite(ledPin, LOW);
    lcd2.print("Apagado");
}

delay(1000); // Pausa antes de la próxima iteración
}

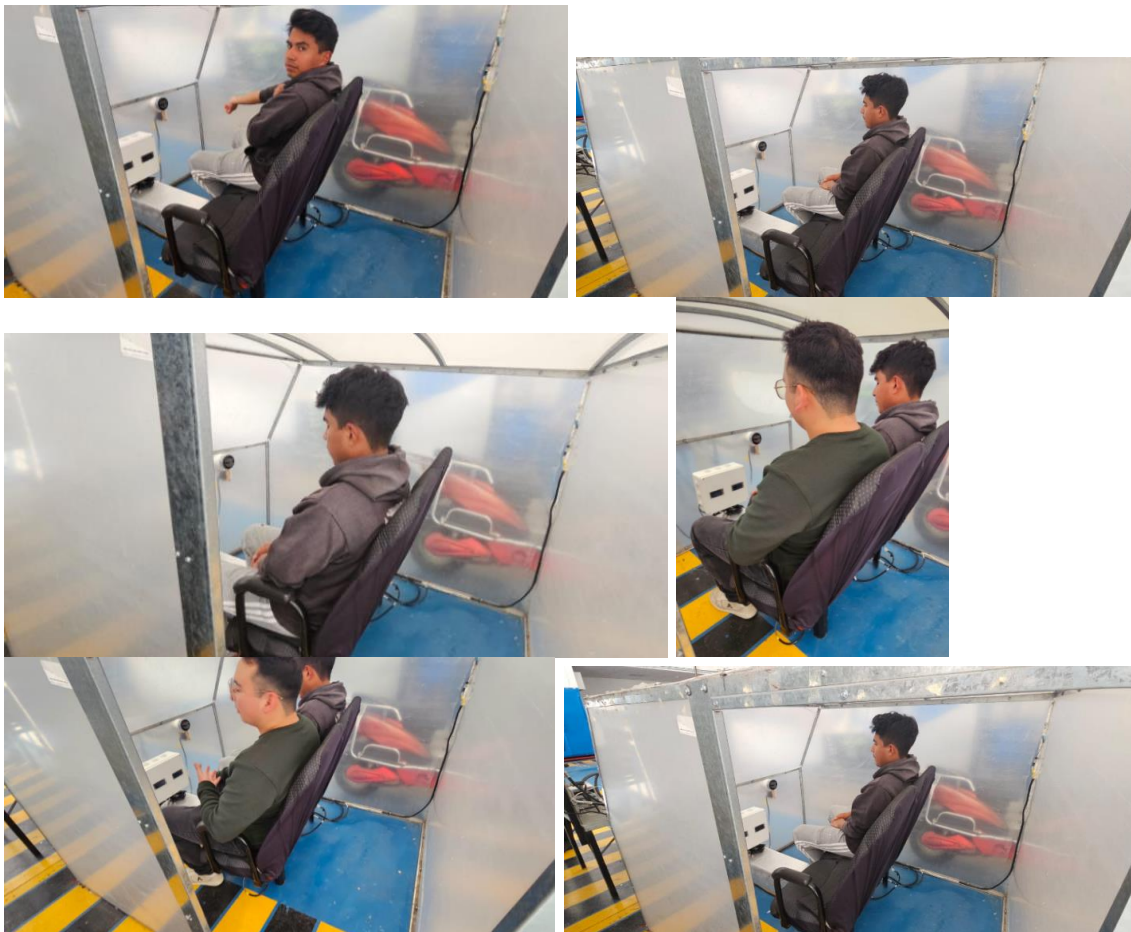
// Función para controlar servos según temperatura
void controlarServo(Servo servo, float temperatura) {
    if (temperatura < 15) {
        servo.write(0);
    }
}

```

```
} else if (temperatura >= 19 && temperatura < 21) {  
    servo.write(20);  
}  
} else if (temperatura >= 21 && temperatura < 23) {  
    servo.write(40);  
}  
} else if (temperatura >= 23) {  
    servo.write(60);  
}  
}  
}
```

Anexo 7

Fotos personas en el habitáculo.





Anexo 8 Prototipo Aire Acondicionado.



Anexo 9 datos prueba 1.

En la Tabla 40 se indica solo los promedios que se sacó de la recolección de datos de Excel.

Tabla 40. Datos prueba 1.

Tiempo (min)	Prueba 1 – 10h
0	19,6023077
1	19,8421429
2	19,7796552
3	20,2817857
4	19,3328571
5	18,9014286
6	18,7592857
7	18,6760714
8	18,6510714
9	18,6337037

Anexo 10. Datos prueba 2.

En la Tabla 41 se indica solo los promedios que se sacó de la recolección de datos de Excel.

Tabla 41. Datos prueba 2.

Tiempo (min)	Prueba 2 – 14h
0	26,965
1	28,5105263
2	27,6331579
3	24,6878947
4	23,1068421
5	21,7989474
6	21,0978947
7	20,8868421
8	20,9368421
9	21,03

Anexo 11. Datos prueba 3

En la Tabla 42 se indica solo los promedios que se sacó de la recolección de datos de Excel.

Tabla 42. Datos prueba 3.

Tiempo (min)	Prueba 3 – 17h
0	22,6557143
1	20,1940909
2	18,797619
3	18,0086364
4	17,6963636
5	17,4913636
6	17,38
7	17,3163636
8	17,2654545
9	17,0838095

Anexo 12. Datos prueba 4.

En la Tabla 43 se indica solo los promedios que se sacó de la recolección de datos de Excel.

Tabla 43. Datos prueba 4.

Tiempo (min)	Prueba 4 – 10h
0	27,5645161
1	25,5234375
2	24,0053125
3	22,83625
4	22,33
5	21,8965625
6	21,1521875
7	20,78
8	20,6209375
9	20,5312903

Anexo 13. Datos prueba 5.

En la Tabla 44 se indica solo los promedios que se sacó de la recolección de datos de Excel.

Tabla 44. Datos prueba 5.

Tiempo (min)	Prueba 5 – 14h
0	28,4111111
1	26,7771429
2	24,96
3	23,7832143
4	23,1303571
5	22,8446429
6	22,3939286
7	22,0110714
8	21,8739286
9	21,7886207

Anexo 14. Datos prueba 6.

En la Tabla 45 se indica solo los promedios que se sacó de la recolección de datos de Excel.

Tabla 45. Datos prueba 6.

Tiempo (min)	Prueba 6 – 17h
0	20,7047826
1	20,50125
2	21,3316667
3	21,0816667
4	20,5715385
5	20,1504167
6	19,89375
7	19,6833333
8	19,4830769
9	19,2858621

Anexo 15. fotos de amperaje prueba 1.



Anexo 16. Fotos de amperaje prueba 2.



Anexo 17. Fotos de amperaje prueba 3.



Anexo 18. Fotos de amperaje prueba 4.



Anexo 19. Fotos de amperaje prueba 5.



Anexo 20. Fotos de amperaje prueba 6.

