

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE CUENCA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ**

*Trabajo de titulación previo  
a la obtención de título de  
Ingeniero Mecánico Automotriz*

**PROYECTO TÉCNICO:**

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO  
COMANDADO POR CONTROL INTELIGENTE PARA DISCOS DE FRENO  
EN UN VEHÍCULO LIVIANO”**

**AUTORES:**

LUIS FERNANDO BUÑAY MOROCHO  
JOSÉ BERNARDO RAMÓN CHACHO

**TUTOR:**

ING. JUAN DIEGO VALLADOLID QUITOISACA, MSc.

CUENCA - ECUADOR

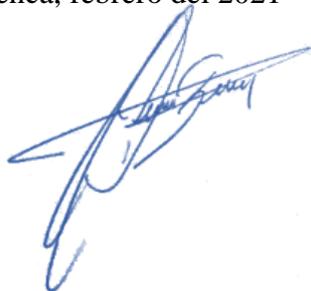
2021

## CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Luis Fernando Buñay Morocho con documento de identificación N° 0106381882 y José Bernardo Ramón Chacho con documento de identificación N° 0106481351, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO COMANDADO POR CONTROL INTELIGENTE PARA DISCOS DE FRENO EN UN VEHÍCULO LIVIANO”**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: *Ingeniero Mecánico Automotriz* en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, febrero del 2021



---

Luis Fernando Buñay Morocho  
C.I0106381882



---

José Bernardo Ramón Chacho  
C.I0106481351

## CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO COMANDADO POR CONTROL INTELIGENTE PARA DISCOS DE FRENO EN UN VEHÍCULO LIVIANO”**, realizado por Luis Fernando Buñay Morocho y José Bernardo Ramón Chacho, obteniendo el *Proyecto Técnico*, que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, febrero del 2021



-----  
Ing. Juan Diego Valladolid Quitoisaca, MSc.  
C.I. 0104821210

## DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Luis Fernando Buñay Morocho con documento de identificación N° 0106381882 y José Bernardo Ramón Chacho con documento de identificación N° 0106481351, autores del trabajo de titulación: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO COMANDADO POR CONTROL INTELIGENTE PARA DISCOS DE FRENO EN UN VEHÍCULO LIVIANO”**, certificamos que el total contenido del *Proyecto Técnico*, es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, febrero del 2021



-----  
Luis Fernando Buñay Morocho

C.I 0106381882



-----  
José Bernardo Ramón Chacho

C.I 0106481351

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis a mis padres Clever Patricio Buñay Campoverde y Rosa Albina Morocho Lupercio, quienes siempre me han apoyado incondicionalmente en términos de moral y economía, para que me convierta en un profesional.

Para mi hermano Patricio Buñay fuiste una de las principales personas que me ayudaron a terminar mi carrera profesional, aunque de vez en cuando tenemos discusiones y malos encuentros, te aprecio mucho y estoy agradecido por ser tú el ejemplo a seguir en mi vida.

En todos los años de mi carrera universitaria mi hermano James Buñay y demás familia en general siempre me brindaron el apoyo diario para continuar con mis estudios.

Ustedes han hecho una gran contribución a mi vida son un regalo de Dios y lo más preciado para mí, los quiero.

*Luis Fernando Buñay Morocho*

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, gracias a Dios por hacer posible este objetivo y llevarme hasta el final.

También me gustaría agradecer a mi consultor de Tesis el Ing. Juan Diego Valladolid

Quitoisaca por darme la oportunidad de utilizar sus conocimientos y habilidades científicas, y agradecer la paciencia del mundo por brindarme orientación durante el desarrollo de la tesis.

También quisiera agradecer a la Universidad Politécnica Salesiana por aceptar mi participación y el abrirme la puerta a la ciencia para el aprendizaje de mi profesión, así como a los diferentes profesores que me han brindado los conocimientos y el apoyo para seguir adelante.

Finalmente, agradezco también a todos los que han sido mis compañeros en todos los niveles de la Universidad, ya que han contribuido enormemente a mi deseo de continuar mi carrera gracias al compañerismo, la amistad, y el apoyo moral.

*Luis Fernando Buñay Morocho*

## **DEDICATORIA**

Esta Tesis se la dedico con todo mi corazón a mis padres, Mi madre Mónica Esther Chacho Ortiz y Mi padre José Bernardo Ramon Campoverde que con gran dedicación y esfuerzo me dieron el regalo más grande el poder darme la oportunidad de estudiar y forjarme como profesional y por apoyarme incondicionalmente.

Se lo dedico a mi familia mi querida esposa Pamela Marisol Sacta Aucapiña, y mi adorada hija Sofia Bernarda Ramón Sacta que están a mi lado apoyándome con entusiasmo incluso en los días donde era difícil ellas fueron el motor que me impulsaba seguir adelante.

***José Bernardo Ramón Chacho***

## **AGRADECIMIENTO**

Deseo agradecer sinceramente a Dios por encima de todas las cosas, por guiarme e iluminarme en el buen camino. Un agradecimiento a mi Asesor de Tesis el Ing. Juan Diego Valladolid Quitoisaca por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento científico, así como también tener la paciencia de encaminarme para desarrollar este proyecto técnico.

También a la Universidad Politécnica Salesiana por abrir las puertas de sus aulas en donde pude desarrollarme como profesional y cumplir mis objetivos,

por último, a mis maestros quienes compartieron parte de su conocimiento y aportaron en mi educación día a día.

***José Bernardo Ramón Chacho***

## Resumen

El presente proyecto técnico tiene la finalidad de elaborar un sistema de enfriamiento comandado por un control inteligente para discos de freno en un vehículo liviano.

La fase 1 de la tesis comienza con la investigación sobre estrategias de control donde se analizará entre lógica difusa y control neuronal, cuál se adapta mejor a nuestros parámetros, estas pruebas se realizarán con la ayuda del software Matlab, con sus respectivas pruebas de análisis de error, tiempo de funcionamiento entre otros, se utiliza el control neuronal, ya que nos permite realizar un entrenamiento supervisado de los parámetros, como temperatura y tiempo lo cual hace que el sistema sea más cómodo de utilizar y programar.

Terminada la fase 1, iniciará la fase 2 con el diseño del sistema a través de software CAD, se diseñará los diferentes tipos de piezas del sistema de refrigeración para esto el uso del software Inventor y SolidWorks con los cuales se realizará pruebas de resistencia aerodinámica y resistencia de materiales, los diferentes tipos de componentes permiten llevar aire hacia los discos de freno permitiendo su refrigeración. Se diseñará el sistema eléctrico con la ayuda de software CAD que permitirá el comando del sistema de control al sistema de enfriamiento, nos permitirá visualizar los datos de temperatura en tiempo real de los discos de freno.

La fase 3 comienza con la construcción del sistema de enfriamiento, para esto analizaremos diferentes tipos de materiales que presten un mejor desempeño con respecto al peso y a la maleabilidad, se optó por impresión en 3D en material ABS el resto del sistema, se fabricó en acero ASTM A-36. Se realizará un análisis del estado actual del sistema de frenos de vehículo con la ayuda de equipos que nos permitan evaluar el estado de los frenos como manómetros, calibrador pie de rey entre otros; posteriormente se realizará la construcción del sistema eléctrico que ayudará al comando de los electroventiladores, el comando y monitoreo lo realiza una red neuronal a través de un microprocesador.

La fase 4 se realizan diferentes pruebas con discos perforados y no perforados a manera de elegir unos que disipen de una manera eficiente el exceso de calor. Luego se implementarán los elementos de ventilación, piezas y sistema eléctrico en un vehículo Suzuki Forza II, posteriormente se realizarán pruebas de ruta en donde probaremos el sistema de frenos con el sistema de refrigeración y sin el mismo en los tramos Panamericana Sur- Paccha y Sinincay-Av. de las Américas permitiendo obtener un flujo de datos que serán analizados para determinar la eficiencia del sistema.

## Summary

This technical project aims to develop a cooling system commanded by an intelligent control for brake discs in a light vehicle.

Phase 1 of the thesis begins with the research on control strategies where it will be analyzed between fuzzy logic and neural control, which one best suits our parameters, these tests will be carried out with the help of MATLAB software, with their respective analysis tests of error, operating time among others, neural control is used, since it allows us to perform a supervised training of the parameters, such as temperature and time, which makes the system more comfortable to use and program.

Once phase 1 is finished, phase 2 will begin with the design of the system through CAD software, the different types of parts of the cooling system will be designed for this, the use of Inventor and SolidWorks software with which aerodynamic resistance tests will be carried out and resistance of materials, the different types of components allow air to be drawn to the brake discs, allowing them to cool. The electrical system will be designed with the help of CAD software that will allow the command from the control system to the cooling system, allowing us to view the temperature data of the brake discs in real time.

Phase 3 begins with the construction of the cooling system, for this we will analyze different types of materials that provide better performance with respect to weight and malleability, we opted for 3D printing in ABS material the rest of the system, it was manufactured in steel ASTM A-36. An analysis of the current state of the vehicle's brake system will be carried out with the help of equipment that allows us to evaluate the state of the brakes such as pressure gauges, caliper calipers among others; later, the construction of the electrical system will be carried out that will help the control of the electric fans, the command and monitoring are carried out by a neural network through a microprocessor.

In phase 4, different tests are carried out with perforating and non-perforated discs to choose ones that efficiently dissipate excess heat. Then the ventilation elements, parts and electrical system will be implemented in a Suzuki Forsa II vehicle, later the road tests will be carried out where we will test the brake system with the cooling system and without it in the Panamericana Sur- Paccha and Sinincay sections -Av. of the Americas allowing to obtain a flow of data that will be analyze to determine the efficiency of the system.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

## Contenido

1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. PROBLEMA .....	3
2.1. DELIMITACIÓN .....	3
3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	4
4. OBJETIVOS.....	5
4.1. Objetivo General.....	5
4.2. Objetivos Específicos .....	5
5. ANTECEDENTES GENERALES .....	5
5.1. Inteligencia artificial .....	5
5.2. Fanding .....	6
5.3. Frenos cerámicos .....	6
5.4. Software matlab .....	6
5.5. Software solidworks .....	6
5.6. Sistemas de control .....	6
6. ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE SOBRE ESTRATEGIAS DE CONTROL INTELIGENTE, SU DISEÑO, SIMULACIÓN E IMPLEMENTACIÓN.....	7
6.1. Introducción.....	7
6.2. Tipos de sistemas inteligentes.....	8
6.3. Lógica difusa.....	9

6.4.	Conjuntos difusos. ....	11
6.5.	Control neuronal. ....	13
6.6.	Conceptos factibles al sistema de refrigeración.....	24
6.7.	Refrigeración de frenos en el campo. ....	28
7.	DISEÑO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN PARA DISIPAR EL CALOR EN LOS DISCOS DE FRENO.....	30
7.1.	Introducción .....	30
7.2.	DISEÑO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN EN EL SOFTWARE CAD 30	
7.2.1.	Elementos de diseño para la ventilación de disco de freno. ....	30
7.2.2.	Estimación de lo elementos para redirección de aire. ....	31
7.2.3.	Evacuación de conductos y elementos de dirección de aire.....	33
7.2.4.	Evaluación de componentes de diseño para el control de temperatura ....	34
7.2.5.	Cálculo de convección forzada en los ductos de ventilación del disco de freno con aporte a la velocidad de entrada. ....	37
7.2.6.	Resultados de Ansys .....	44
7.3.	Realizar pruebas de error es ideal para industrias como automotriz, consumo, eléctrica, energía. ....	45
7.3.1.	Introducción.....	45
7.3.2.	Pruebas de consumo de energía en elementos de ventilación. ....	46
7.3.3.	Prueba de velocidad.....	46
7.3.4.	Pruebas de comportamiento de materiales, esfuerzos, fatiga, durabilidad, diseño automotriz y optimización. ....	47
7.3.5.	Propiedades físicas material aluminio .....	47

7.3.6.	Propiedades físicas Material Plástico .....	51
7.3.7.	Coeficiente de Seguridad Plástico .....	54
7.3.8.	Elección de Material.....	55
7.4.	Control inteligente aplicado en el vehículo para la disipación de calor en los discos de freno. ....	55
7.4.1.	Construcción de red neural y controlador de microprocesador.....	55
7.4.2.	Entrenamiento red neuronal.....	56
7.4.3.	Sensor temperatura infrarrojo y control de ventilación.....	59
8.	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO.....	60
8.1.	Introducción.....	60
8.2.	Construcción de los ductos en el vehículo.....	60
8.2.1.	Construcción del circuito de tuberías y alojamiento del ventilador. ....	60
8.3.	Implementación de los componentes electrónicos del sistema.....	68
8.4.	Implementación del sistema de enfriamiento en los discos de freno.....	72
8.4.1.	Guardachoque.....	72
8.4.2.	Adaptación del conducto que comunica la entrada de aire con el electroventilador al guardachoque. ....	74
8.4.3.	Adaptación del panel de control en el vehículo.....	77
8.4.4.	Adaptación del sensor infrarrojo en el vehículo.....	83
8.4.5.	TARADRADO EN LOS DISCOS.....	84
8.4.6.	Pruebas de Funcionamiento.....	86
8.5.	Proforma y compra de componentes.....	89
9.	DESARROLLAR PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS PARA DETERMINAR EL DESEMPEÑO DEL SISTEMA. ....	90

9.1.	Introducción .....	90
9.2.	Especificación de las rutas pronunciadas en la ciudad para las pruebas.....	90
9.2.1.	Selección de Ruta de prueba.....	90
9.2.2.	Rutas estratégicas pronunciadas en la ciudad para las pruebas. ....	94
9.3.	Pruebas de ventilación. ....	96
9.3.1.	Prueba de velocidad de aire .....	96
9.4.	Pruebas en el vehículo sin el sistema.....	99
9.4.1.	Prueba estática con discos no perforados. ....	99
9.4.2.	Prueba estática con discos perforados .....	100
9.5.	Pruebas en el vehículo con el control inteligente. ....	102
9.5.1.	Temperatura de control.....	102
9.5.2.	Prueba dinámica en ruta. ....	103
9.6.	Análisis del desempeño en el sistema.....	109
9.6.1.	Cálculo de eficiencia presión del sistema.....	110
9.6.2.	Cálculo de eficiencia de velocidad de aire. ....	112
9.6.3.	Cálculo de eficiencia de transferencia térmica. ....	113
9.6.4.	Eficiencia del sistema electrónico. ....	117
10.	CONCLUSIONES .....	118
11.	RECOMENDACIONES .....	120
12.	BIBLIOGRAFÍA .....	122
13.	ANEXOS Prueba de velocidades máxima estático de los electroventiladores.	124

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ejemplo de conjuntos difusos .....	12
Figura 2 Neurona humana .....	13
Figura 3 Modelo de una red neuronal artificial .....	15
Figura 4 Sistema de velocidad basado en lógica difusa .....	17
Figura 5 Almacenamiento de las reglas de inferencia en la base de conocimiento y bloques de interconexión entre las entradas y salidas.....	17
Figura 6 Estructura básica del sistema experto basado en lógica difusa.....	19
Figura 7 Modelado lógica difusa para detener un vehículo.....	20
Figura 8 Prototipo de arquitectura de control de vehículos basada en control neuronal	23
Figura 9 Cerebro- vehículo.....	24
Figura 10 Componentes del sistema de refrigeración .....	25
Figura 11 Funcionamiento del radiador del vehículo.....	27
Figura 12 Discos de frenado.....	29
Figura 13 Electroventilador .....	31
Figura 14 Ventilación dinámica de disco de frenos .....	32
Figura 15 Conducto de ventilación.....	32
Figura 16 Conducto de ventilación.....	33
Figura 17 Conducto de ventilación.....	35
Figura 18 Sensor hall de velocidad VSS. ....	36
Figura 19 Microcontrolador.....	36
Figura 20 Módulo Relay.....	37
Figura 21 Dimensiones de ducto de ventilación del disco de freno. ....	39
Figura 22 Dimensiones neumáticos vehículo.....	39
Figura 23 Diagrama del sistema de refrigeración de los discos de freno.....	44

Figura 24 Viscosidad de remolino en el ducto de ventilación.....	44
Figura 25 Temperatura en el ducto de ventilación. ....	45
Figura 26 Desplazamiento de aluminio. ....	50
Figura 27 Tensión Von Moises. ....	50
Figura 28 Factor de seguridad aluminio. ....	51
Figura 29 Desplazamiento plástico.....	54
Figura 30 Von Moises plástico.....	54
Figura 31 Estructura red neuronal. ....	56
Figura 32 Entrenamiento de neurona.....	57
Figura 33 Prueba con temperatura menor a la temperatura de control.....	58
Figura 34 Prueba con temperatura mayor a la temperatura de control.....	58
Figura 35 Sistema de conexión eléctrica. ....	59
Figura 36 Alojamiento del ventilador.....	61
Figura 37 Estructura metálica de soporte del electroventilador .....	62
Figura 38 Cortes del soporte.....	63
Figura 39 Ubicación del electroventilador .....	63
Figura 40 Extraer el plato de protección del disco de freno.....	64
Figura 41 Conducto flexible de aire .....	64
Figura 42 Construcción del plato de protección del disco de freno .....	65
Figura 43 Soldadura del acople de la tubería de ventilación de plato de protección. ....	65
Figura 44 Soporte del plato protector .....	66
Figura 45 Pulido y amolado del plato protector .....	67
Figura 46 Pintado del plato protector .....	67
Figura 47 Instalación del palto protector al sistema.....	68
Figura 48 Perforado de platina. ....	69

Figura 49 Diagrama de flujo circuito eléctrico.....	70
Figura 50 Sistema eléctrico .....	71
Figura 51 Socket de comunicación del sensor.....	71
Figura 52 Guardachoque del vehículo.....	72
Figura 53 Marcar el elemento.....	73
Figura 54 Corte de la sección marcada.....	73
Figura 55 Instalación de la impresión 3D al guardachoque .....	74
Figura 56 Entrada de aire.....	75
Figura 57 Soporte del ducto de ventilación .....	75
Figura 58 Fabricado de soporte de abrazadera .....	76
Figura 59 Soporte del ducto de ventilación con placa.....	77
Figura 60 Arduino .....	78
Figura 61 LCD Fuente: Autores .....	78
Figura 62 LED Fuente: Autores .....	79
Figura 63 Switch Fuente: Autores .....	80
Figura 64 Conexión de fusibles de los electroventiladores .....	81
Figura 65 Conexionado de circuitos .....	.81
Figura 66 Orificio de comunicación del habitáculo .....	82
Figura 67 Base y monitor del circuito eléctrico. ....	82
Figura 68 Adaptación del sensor infrarrojo y sensor hall en el vehículo .....	83
Figura 69 Instalado de sistema de enfriamiento. ....	84
Figura 70 Perforación del disco de freno.....	84
Figura 71 Avellanado del disco de freno Fuente: Autores .....	85
Figura 72 Indicador de temperatura ambiente .....	86
Figura 73 Indicador de temperatura.....	87

Figura 74 Indicador de temperatura elevado .....	87
Figura 75 Ventilación en discos Fuente: Autores.....	88
Figura 76 Temperatura y Amperaje del sistema.....	88
Figura 77 Parroquias Rurales Fuente: <a href="http://www.cuenca.gov.ec">http://www.cuenca.gov.ec</a> .....	91
Figura 78 Parroquias Urbanas Fuente: <a href="http://www.cuenca.gov.ec">http://www.cuenca.gov.ec</a> .....	92
Figura 79 Grados de Saturación en Cuenca Fuente: Dirección Municipal de Tránsito, 2015 .....	93
Figura 80 Ruta Panamericana Sur - Vía Paccha Fuente: Autores .....	95
Figura 81 Ruta Sinincay - Av. Turuhuayco Fuente: Autores .....	96
Figura 82 Prueba de velocidad estático-mínima. Fuente: Autores.....	97
Figura 83 Prueba estática con discos perforados sin sistema con discos no perforados. Fuente: Autores. ....	100
Figura 84 Prueba estática temperatura de discos de freno perforados sin sistema. Fuente: Autores. ....	101
Figura 85 Temperatura de Discos de Freno Perforados- sin Perforar. Fuente: Autores. .....	102
Figura 86 Salida de función de transferencia. Fuente: Autores.....	103
Figura 87 Temperatura de Disco de Freno sin sistema de Enfriamiento. Fuente: Autores. .....	105
Figura 88 Temperatura de Disco de Freno con sistema de Enfriamiento. Fuente: Autores. .....	106
Figura 89 Comparación de Ruta encendido y apagado el sistema. Fuente: Autores ...	106
Figura 90 Temperatura de Disco de Freno sin sistema de Enfriamiento. Fuente: Autores. .....	108

Figura 91 Temperatura de Disco de Freno con sistema de Enfriamiento. Fuente: Autores.

..... 108

Figura 92 Comparación de Ruta encendido y apagado el sistema. Fuente: Autores. .. 109

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Consumo de componentes eléctricos del sistema de ventilación. Fuente: Autores .....	46
Tabla 2 Variación de velocidades en tuberías Fuente: Autores .....	47
Tabla 3 Variación de velocidades en tuberías Fuente: Autores. ....	48
Tabla 4 Pruebas de tensión en aluminio Fuente: Autores .....	49
Tabla 5 Propiedades físicas del plástico Fuente: Autores .....	52
Tabla 6 Pruebas de tensión en el plástico Fuente: Autores .....	53
Tabla 7 Propiedades mecánicas del material Fuente: Autores .....	61
Tabla 8 Proforma de componentes Fuente: Autores .....	89
Tabla 9 Prueba de velocidades mínima estático de los electroventiladores. Fuente: Autores. ....	97
Tabla 10 Prueba de velocidades máxima estático de los electroventiladores. Fuente: Autores. ....	98
Tabla 11 Prueba de velocidad estática en máxima a 60 km/h. Fuente: Autores. ....	98
Tabla 12 Prueba de velocidad estático en mínima 60km/h. Fuente: Autores.....	99
Tabla 13 Valores de la prueba estática de enfriamiento del disco no perforado. Fuente: Autores .....	100
Tabla 14 Valores de la prueba estática de enfriamiento de perforados. Fuente: Autores. .....	101
Tabla 15 Prueba dinámica de enfriamiento del disco perforado con el sistema apagado. Fuente: Autores. ....	104

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1 Velocidad de aire en la entrada de la campana. Conducto izquierdo.....	124
ANEXO 2 Velocidad de aire en la entrada de la campana. Conducto derecho .....	124
ANEXO 3 Velocidad de aire en la salida de tubería rígida. Conducto izquierdo.....	124
ANEXO 4 Velocidad de aire en la salida de tubería rígida. Conducto derecho.....	125
ANEXO 5 Velocidad de aire en la entrada del plato de disco. Conducto Izquierdo...	125
ANEXO 6 Velocidad de aire en la entrada del plato de disco. Conducto Derecho. ...	125
ANEXO 7 Velocidad de aire en la salida de tubería rígida. Conducto Izquierdo.....	126
ANEXO 8 Velocidad de aire en la salida de tubería rígida. Conducto Derecho.....	126
ANEXO 9 Velocidad de aire en la salida de la campana. Conducto Izquierdo. ....	126
ANEXO 10 Velocidad de aire en la salida de la campana. Conducto Derecho. ....	127
ANEXO 11 Propiedades del aire a la presión de 1 atm. ....	128
ANEXO 12 Correlaciones empíricas para el número de Nusselt promedio, para convección forzada sobre los cilindros circulares y no circulares en flujo cruzado. ....	129
ANEXO 13 Número de Nusselt y factor de fricción para el flujo laminar completamente desarrollado en tubos de diversas secciones transversales. ....	130
ANEXO 14 Tablas de coeficientes de pérdida en accesorios (conductos de aire).....	131
ANEXO 15 Campana de Guardachoque .....	134
ANEXO 16 Guardapolvo .....	135
ANEXO 17 Acople Guardachoque .....	136
ANEXO 18 Programación.....	137
ANEXO 19 Fabricación ( colocación guardapolvo) .....	139
ANEXO 20 Elaboración de acoples. ....	140

## **1. INTRODUCCIÓN**

El proyecto técnico, muestra el diseño e implementación de un sistema de enfriamiento comandado por control inteligente para discos de freno en un vehículo liviano, se analizará los diferentes tipos de control inteligente. Así también el sistema de frenos en los vehículos sus principales problemas, también cada uno de sus componentes.

En el desarrollo del proyecto se busca información e investigación bibliográfica sobre la inteligencia artificial. La cual en la actualidad se lo ha aplicado al campo: industrial, mecánico y de sistemas, la cual a desarrollo un avance significativo pues se está trabajando en mecanismos que involucren la inteligencia artificial muy compleja. Los sistemas de control inteligente basados en redes neuronales han empleado la lógica difusa la cual emplea valores ni totalmente ciertos ni completamente falsos, por ende, se puede decir que se basa en la incertidumbre. En el caso del sistema de enfriamiento se opta por redes neuronales basadas en aprendizaje supervisado donde le damos los parámetros a la neurona y la respuesta que deseamos del sistema esto para minimizar el riesgo de sobrecalentamiento en discos de freno que representa un riesgo de provocar accidentes que atentan contra la seguridad de los ocupantes del vehículo.

El diseño de los diferentes tipos de piezas del sistema de refrigeración para esto el uso del software inventor. El software ANSYS nos permite realizar pruebas de fluido en los diferentes componentes, estas pruebas llevan aire al disco de freno para disipar de calor. En está fase se elabora el sistema de enfriamiento así también su fabricación e implementación para esto se analizó diferentes tipos de materiales que presten el desempeño correcto con respecto al peso y maleabilidad posteriormente se instala el sistema eléctrico y electrónico que comanda los electroventiladores. Se

determina los lugares estratégicos para las pruebas, se pondrá a prueba los frenos del vehículo, y después con la instalación del sistema de ventilación para determinar la eficiencia en la disipación de calor, adicional se realiza pruebas de velocidad de aire con el vehículo estático, y finalmente se realizará los cálculos de la eficiencia del sistema.

## **2. PROBLEMA**

Cuando el conductor ejerce fuerza sobre el pedal del freno, la energía cinética del vehículo se convierte en energía calorífica, esta cantidad de calor debe ser evacuado a través del disco de freno. El sobrecalentamiento producido por la fricción que existe entre la pastilla y disco genera pérdida de eficiencia y adherencia, fenómeno que es conocido como *fading*. Cuando los elementos de fricción llegan a un alto grado de temperatura los materiales presentan una variación de su coeficiente de adherencia. Una parada rápida de 90km/h fácilmente puede alcanzar temperaturas hasta 150°C o superiores. El accionamiento prolongado del pedal de freno por lapsos cortos de tiempo produce en el disco temperaturas entre 600°C a 800°C, esto genera que el tiempo y distancia de frenada se mayor. (Velásquez Angamarca, J. C., & Heras Castillo, C. D. 2012).

### **2.1. DELIMITACIÓN**

La investigación se delimita en la Ciudad de Cuenca en la Universidad Politécnica Salesiana de un vehículo Suzuki Forza 2, se analizará el fenómeno de sobrecalentamiento que hay en la fricción de la pastilla y disco lo cual se va a realizar un estudio del control inteligente para discos de freno, diseñar e implementar en los discos de freno en el vehículo Suzuki Forza 2.

Debido a la complejidad en la obtención de los materiales necesarios para la preparación, desde entonces se produjo la pandemia de Covid-19 lo que genero una demora, el tiempo de ejecución del proyecto técnico nos llevará un año.

La recolección de información se basará en los métodos utilizados para generar soluciones y recomendaciones en años anteriores. Esto nos permite analizar que nadie realiza un proyecto técnico con control inteligente.

Los aspectos que serán estudiados serán los discos de freno delanteros en donde se implementara el sistema de enfriamiento lo cual no se van a tomar en cuenta los frenos posteriores, como tambores y zapatas.

### **3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

Este proyecto tiene como objetivo proponer un sistema de refrigeración con el fin de mantener en una temperatura por debajo  $100^{\circ}\text{C}$  a los discos de freno de un vehículo, en condiciones donde el vehículo supere velocidades mayores a las 90km/h, y el pedal de freno tenga un uso prolongado por lapsos de tiempo cortos, mejorando el coeficiente de adherencia, buscando detener el vehículo en un tiempo y distancia menor. El control de temperatura permitirá mantener a los discos en el valor deseado, con esto podremos tener un coeficiente de adherencia que permita bajar el tiempo y por ende la distancia de frenado, además se busca disminuir la fatiga producida por sobrecalentamiento, aumentando la eficacia del líquido de freno que se ve comprometida por las altas temperaturas generadas por la fricción entre pastilla y disco de freno.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1. Objetivo General**

Diseñar e implementar un sistema de enfriamiento comandado por control inteligente para discos de freno en un vehículo.

### **4.2. Objetivos Específicos**

- Analizar el estado del arte sobre estrategias de control inteligente, su diseño, simulación e implementación.
- Diseñar el sistema de enfriamiento a través del software CAD para la disipación de calor en los discos de freno.
- Construir los ductos del sistema de enfriamiento y sistema eléctrico para comando del control inteligente.
- Aplicar estrategias de control inteligente para implementar sistemas de enfriamiento de discos de freno en un vehículo liviano y realizar pruebas para analizar los resultados obtenidos para determinar el desempeño del sistema.

## **5. ANTECEDENTES GENERALES**

### **5.1. Inteligencia artificial**

Este es el campo científico de la computación, y su enfoque está en la creación de programas y mecanismos que pueden mostrarlo que se considera un comportamiento inteligente.

## **5.2. Fading**

Si las temperaturas de los elementos de fricción son elevadas, esta es la pérdida de eficacia del sistema de frenado.

## **5.3. Frenos cerámicos**

Está hecho de cerámica, pero no se limita a cerámica, sino también está reforzado con fibra de carbono. Esta mezcla se llama composite cerámico, que se caracteriza por una alta resistencia debido al uso de carburo de silicio. La principal cualidad de este material es su altísima dureza y resistencia al desgaste.

## **5.4. Software matlab**

Es un entorno de programación que se empaqueta como un programa de aplicación y consta de un editor de código, un compilador, un depurador y un generador de interfaz gráfica.

## **5.5. Software solidworks**

Es un software de diseño CAD 3D (diseño asistido por computadora) para modelar piezas y ensamblajes en 3D y planos en 2D. El software proporciona una serie de soluciones que cubren todos los aspectos involucrados en el proceso de desarrollo de producto. Sus productos tienen la capacidad de crear, diseñar, simular, fabricar, publicar y administrar datos de procesos de diseño.

## **5.6. Sistemas de control**

Son sistemas dinámicos y un conocimiento de la teoría de control proporcionará una base para entender el comportamiento de tales sistemas, por ejemplo, muchos conceptos de la teoría de control pueden usarse en la solución de problemas de vibración. En este sentido, la teoría de control automático no es sino una pequeña parte

de una teoría más general que estudia el comportamiento de todos los sistemas dinámicos.

## **6. ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE SOBRE ESTRATEGIAS DE CONTROL INTELIGENTE, SU DISEÑO, SIMULACIÓN E IMPLEMENTACIÓN.**

### **6.1.Introducción.**

En el capítulo se analizará el control inteligente, el cual en la actualidad se lo ha aplicado al campo: industrial, mecánico y de sistemas, en la cual su desarrollo ha alcanzado un avance significativo pues se está trabajando en mecanismos que involucren la inteligencia artificial. Los sistemas de control inteligente basados en redes neuronales, han empleado la lógica difusa la cual emplea valores ni totalmente falsos, ni totalmente ciertos, por ende se puede decir que se basa en la incertidumbre. En el caso del sistema de frenado del vehículo al momento no existe un método eficaz que permita analizar parámetros como: fuerza, temperatura, así también la deceleración por el frenado, el problema más común de este sistema es el sobrecalentamiento producido por la fricción que existe entre la pastilla y disco, esto genera pérdida de eficiencia y adherencia, de la misma forma, los elementos de fricción aumentan la temperatura lo que provoca que el tiempo de frenada sea mayor, lo que representa un riesgo de provocar accidentes que atentan contra la seguridad de los ocupantes del vehículo.

## **6.2. Tipos de sistemas inteligentes.**

Un sistema inteligente se define como un programa computacional que muestra un comportamiento similar a la inteligencia humana, cuenta con ciertos sentidos que le permiten percibir su entorno, para ello es necesario que tenga con lo siguiente: capacidad sensorial que le permitirá obtener mayores niveles de abstracción, reglas de actuación la experiencia le permitirá interpretar la propia memoria la cual requiere de un almacenaje físico y reglas de actuación. (Jiménez, 2013)

Por su parte, Aquila (2005) indica que un sistema inteligente debe contar con las siguientes capacidades básicas: razonamiento que le permitirá realizar deducciones para construir sus propias decisiones, aprendizaje que le permitirá adquirir nuevos conocimientos, a partir de sus experiencias, interacción a través de la comunicación y el entendimiento, de esta manera podrá resolver determinadas situaciones durante un proceso de aprendizaje.

Los sistemas inteligentes proporcionan soluciones técnicas prometedoras que pueden contribuir significativamente a una mejora de la calidad, la fiabilidad y la eficiencia económica, mediante la combinación local de procesamiento de señales analógicas o digitales, de modo que la función de un dispositivo o sistema se mejora considerablemente. Hoy en día su campo de acción son la Ingeniería y el mercado de productos. (Jiménez, 2013)

Este tipo de sistemas según Badaró, Ibañez y Agüero (2015) se clasifican en:

- **Sistemas Expertos Basados en reglas previamente establecidas:** trabajan comparando resultados basadas en inferencia lógica dirigida en una determinada situación lo que permitirá aportar a la solución basada en una evidencia existente.
- **Los sistemas con múltiples tipos de conocimiento:** también conocidos como sistemas híbridos, o etiquetados después de un determinado tipo de representación, por ejemplo, en una mecánica de autos es posible que se repare un daño mediante recordar un daño anterior.
- **Sistemas Expertos difusos:** tienen que ver directamente con la aplicación del método de lógica difusa, que como se indicó anteriormente la misma trabaja con incertidumbre, la matemática y los conjuntos difusos. Se conoce que este sistema se asemeja al proceso del razonamiento normal humano.

### **6.3.Lógica difusa.**

La lógica difusa es una disciplina de las matemáticas que utiliza expresiones que no son totalmente ciertas ni completamente falsas, puede ser aplicada a cualquier concepto que toma un valor dentro de la veracidad en un conjunto de valores que van desde la verdad absoluta y falsedad, es necesario indicar que lo difuso también abarca lo impreciso, borroso o vago, de tal manera que permite tratar información imprecisa. (Pérez, 2011)

Al respecto (Morales, 2002) indica que Lotfi A. Zadeh en el año de 1965 empezó a usar el concepto de lógica difusa en la Universidad de California en Berkeley, se enfocó en el uso de lógicas multivariadas que extienden a las lógicas clásicas, las cuales imponen a sus enunciados únicamente valores falso o verdadero y esto a la vez se asemeja al razonamiento humano debido a que el mismo no es completamente determinista.

El ámbito de aplicación de la lógica difusa está presente en una infinidad de aplicaciones, por ejemplo: en procesos industriales, artificiales de deducción automática, electrónicos entre otros, esto se ha dado sobre todo en países industrializados. La lógica difusa tiene un significado extenso, es necesario indicar que el mismo está asociado a cuantificadores, reglas y a la aritmética difusa, también guardan relación con la probabilidad debido a que comparten información sobre frecuencia de ocurrencias relativas de un evento bien definido. (Morales G. , 2002)

Por su parte Bonilla (2016) afirma que en su primer momento la lógica difusa aplicó una escala entre 1 y 0 ésta se caracterizó por que intervino la imprecisión y la incertidumbre, como ejemplo de ello estudios de un profesor del Departamento de

Ingeniería Eléctrica y Ciencias de la Computación de la Universidad de California, dio a conocer que la característica la lógica difusa, fue que dio paso al uso del lenguaje natural (espontáneo) enfrentándose con la imprecisión, acercándose a la intuición humana.

A continuación se dará a conocer los ámbitos en donde se ha implementado la lógica difusa, por ejemplo; Cruz y Alarcón (2017) indican que en América Central se desarrolló una investigación la cual fue aplicada al sector manufacturero la misma que se realizó utilizando las opiniones de directivos se determinó la capacidad para medir de forma satisfactoria la confianza industrial y el clima empresarial; con los resultados, se aportó a un mejor entendimiento de las opiniones y actitudes de la clase industrial trabajadora.

En concordancia a ello González (2011) permitió conocer un ejemplo de lógica difusa en España en el cual se implementó un modelo de control borroso que ayudó a la creación y desarrollo de nuevas iniciativas empresariales; ello aportó al mejoramiento en la aceptación del criterio de los evaluadores, pues los mismos se sintieron más cómodos al expresar sus opiniones mediante razonamientos lingüísticos. Así también en Cuba se efectuó un estudio sobre las herramientas de lógica difusa para la toma de decisiones en tareas del Sistema Nacional de Salud; a través de una revisión bibliográfica y documental, se obtuvo como resultado que las herramientas aplicadas en el sector de la salud no resultan útil en su gestión.

La lógica difusa en el campo de la Ingeniería según lo indican Díaz , Caba y Navarrete (2017) tiene que ver con la aplicación de sistemas que aportan a la medición del desempeño enfocadas en mejorar las calificaciones crediticias y su nivel de riesgo,

a través de la incertidumbre la cual se basa en la medición entre los valores entre 0 y 1, lo que permite dar a conocer resultados con una perspectiva más amplia, los cuales se mostrarán no totalmente ciertos ni totalmente falsos, y ello permitirá obtener un valor indeterminado de veracidad dentro de un conjunto de valores.

#### **6.4. Conjuntos difusos.**

La teoría de conjuntos difusos según lo indican Rodríguez y Huertas (2011) fue introducido por Lofti A. Zadeh en el año de 1965 fueron propuestos para representar matemáticamente la imprecisión ambigüedad inmersa en distintos campos de la vida cotidiana, a partir del uso de modelos flexibles cuyas funciones se basan en la pertenencia convertido en una forma poderosa de representar cuantitativamente y manipular la imprecisión en los problemas de toma de decisiones. Pueden representar adecuadamente parámetros imprecisos y pueden manipularse mediante diferentes operaciones en conjuntos difusos o números difusos.

Las teorías de conjuntos difusos tienen las siguientes ventajas:

- Permiten considerar vaguedad, ambigüedad, incerteza, ambivalencia.
- Reconcilian la precisión de las matemáticas con la imprecisión del mundo real.
- Permiten considerar bordes borrosos, restricciones suaves, información ambigua.
- Permiten describir y modelar fenómenos complejos o imprecisos (tales como: no- linealidades, multilazos, sistemas tempovariantes, parámetros variables en t).
- Trabajan con un espacio grande de soluciones
- Son de gran simplicidad,
- Permiten paralelismo,
- Pueden aproximar cualquier mapa o función continua.

- Bajo ciertas precauciones, puede extenderse teoremas de conjuntos usuales a conjuntos difusos. (Morales G. , 2002)

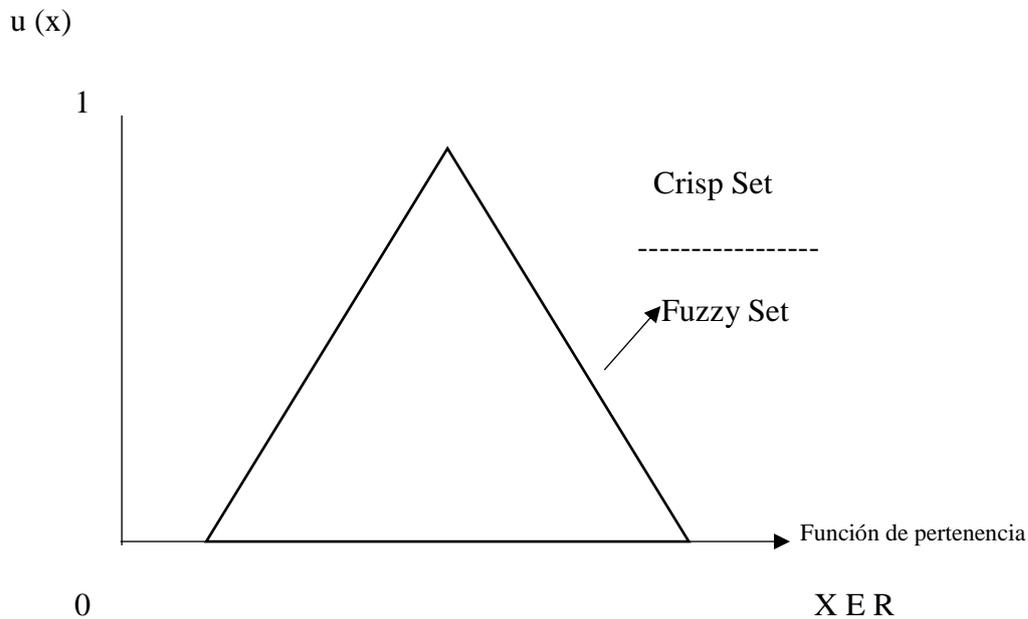


Figura 1 Ejemplo de conjuntos difusos  
Fuente: (Rodríguez & Huertas , 2011)

Se aprecia un conjunto difuso donde en el eje de abscisas se indican los elementos del conjunto universo  $X$  y en el de las ordenadas los grados de pertenencia, definiendo así la función de pertenencia  $\mu(x)$ . De la misma manera se realiza el contraste con un conjunto clásico donde la pertenencia es total. Como se puede observar en los conjuntos difusos, cada elemento tiene un grado de pertenencia asociado, representado por un número en el intervalo unitario, sus funciones de pertenencia son precisas y requieren que a cada elemento del universo de discurso le sea asignado un número real particular. (Rodríguez & Huertas , 2011)

En el campo de la Ingeniería de Control Acosta (2006) indica que la teoría de conjuntos difusos, ha permitido dar paso a la creación de controladores difusos, los

cuales han sido aplicados a procesos industriales, basados en la conversión de una política de control en el conocimiento de expertos durante la aplicación de procesos químicos o metalúrgicos, ello permitió incrementar la habilidad de interpretar secuencias lingüísticas y a partir de ellas realizar inferencias sin tener datos precisos y modelos de los procesos.

### 6.5. Control neuronal.

Desde el año 1911, la ciencia dio a conocer que las neuronas del cerebro humano conforman el componente básico del sistema nervioso, están conectadas de forma masiva entre sí, gracias a ellas está presente la inteligencia. Estas células son las más desconocidas, sin embargo, éste ha fascinado a filósofos y científicos. (Garrosa, 2019)

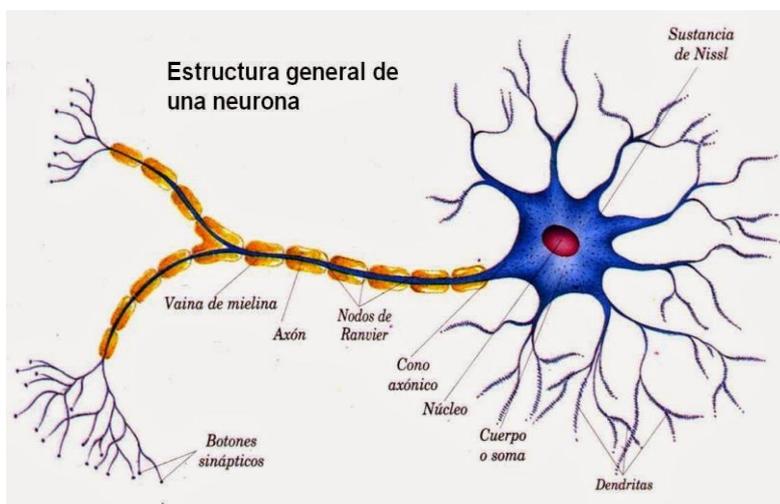


Figura 2 Neurona humana

Fuente: (Robayo , Barrera , & Polanco , 2015)

Como se puede apreciar la neurona es una célula con varias ramificaciones que se conectan entre sí.

En el campo de la tecnología, las redes neuronales están presentes en para el diseño de sistemas complejos que permiten resolver problemas abstractos, de modo que se ha tratado de que se asemejen al cerebro humano. (Robayo , Barrera , & Polanco , 2015)

Las redes neuronales artificiales tienen las siguientes ventajas:

- No linealidad; gracias a la sinapsis el procesador neuronal biológico no es lineal, el procesador neuronal artificial también utiliza la sinapsis y sólo se activa si la señal supera el umbral de activación, lo que también lo convierte en no lineal. Si la neurona es no lineal la red neuronal también lo es.
- Transformación entrada-salida; El proceso de aprendizaje de la red consiste en mostrarle un ejemplo y modificar sus pesos sinápticos de acuerdo con su respuesta. De esta forma la red tiene la capacidad de aprender y adaptarse a la transformación entrada-salida.
- Adaptabilidad; Una red neuronal es capaz de adaptar sus parámetros incluso en tiempo real.
- Tolerancia a fallas; Al existir una conectividad masiva la falla de un procesador no altera seriamente la operación.
- Uniformidad en el análisis y diseño, lo que permite garantizar características precisas.
- Analogía con las redes biológicas, lo que permite utilizar conocimientos de ambas áreas, de forma que podemos conocer mejor el funcionamiento de las redes neuronales biológicas y mejorar los sistemas de redes neuronales artificiales.

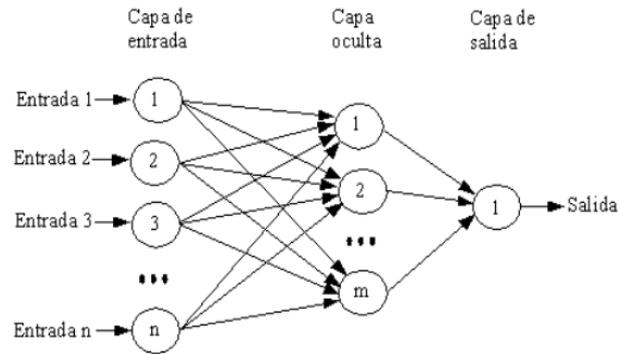


Figura 3 Modelo de una red neuronal artificial

Fuente: (Torrubia, 2010)

Ante lo indicado anteriormente, la ingeniería de control se define como una disciplina que se enfoca en la aplicación de las matemáticas para implementar el diseño de controladores y sistemas dinámicos, éstos se comporten según lo desee su usuario. Para ello es necesario conocer a cabalidad su estructura, sobre todo si se desea obtener resultados esperados. (Torrubia, 2010)

El estudio “Técnicas Difusas y Evolutivas para el Control de Vehículos en entornos Reales y Virtuales” del autor Onieva (2011) planteó como objetivo principal: Reducir el número de accidentes y permitir un mejor aprovechamiento de las vías de circulación. Para hacerlo posible se diseñó tres aplicaciones basadas en Soft Computing en el campo de los vehículos autónomos. En un primer momento se construyó un controlador difuso capaz de controlar el acelerador y freno de un vehículo autónomo a bajas velocidades, que fue adaptado para su uso en entornos urbanos. En un segundo momento se dio paso a la creación de algoritmos genéticos, con la finalidad de controlar el volante del vehículo. Finalmente se implementó una arquitectura de conducción completa, para controlar un vehículo simulado en condiciones competitivas, la cual podrá regular la velocidad del vehículo según la calzada. Se concluye que las tres aplicaciones fueron probadas y dieron excelentes resultados.

Por su parte los autores Mejia, Arellano, Vallejo y Villa (2016) plantearon un estudio denominado “Control de Velocidad de un automóvil empleando una técnica de Inteligencia Artificial” en el cual se propuso como objetivo principal. Desarrollar un algoritmo de inferencia difuso para controlar la velocidad y detectar los obstáculos que se presentan en el camino y evitar colisiones. Como resultados se obtuvo que el prototipo recogió información de su entorno para la toma de decisiones, la simulación fue diseñada en el programa Matlab y la experimentación en tiempo real se empleó Arduino empleando Java como interfaz. Ante ello se concluyó que la lógica difusa puede ser empleada como herramienta para controlar la velocidad de un vehículo lo que permitirá salvar vidas.

Para ello se desarrolló un algoritmo de inferencia difuso para controlar la velocidad y detectar los obstáculos que se presentan en el camino y evitar que el automóvil choque cuando el conductor sufre cualquier alteración de su cuerpo, la simulación está hecha en el programa Matlab y la experimentación en tiempo real con Arduino empleando Java como interfaz.

Se empleó un modelo de lógica difusa basada en las siguientes reglas de deducción que permitieron guiar la velocidad, de modo que se pueda controlar automáticamente el automóvil y con ello precautelar las vidas del conductor y sus acompañantes.

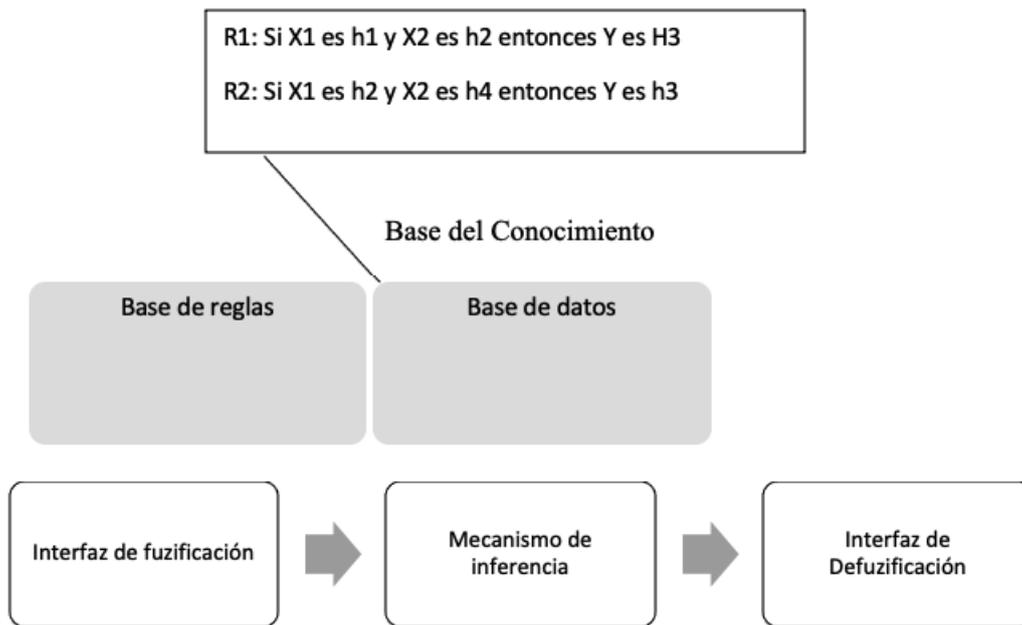


Figura 4 Sistema de velocidad basado en lógica difusa

Fuente: (Jiménez, 2013)

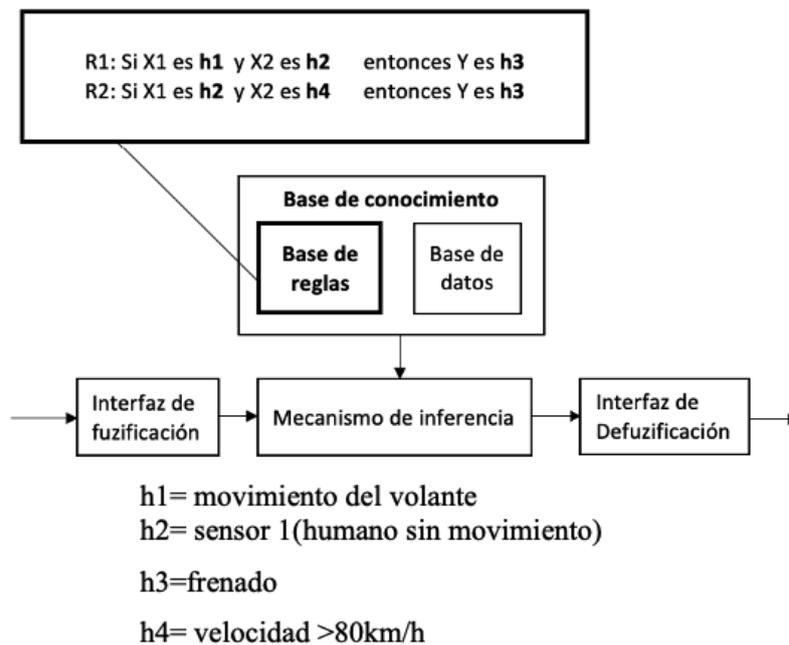


Figura 5 Almacenamiento de las reglas de inferencia en la base de conocimiento y bloques de interconexión entre las entradas y salidas.

Fuente: (Mejía, F., Arellano, A., & Vallejo, G. 2016)

Como se puede apreciar, el sistema difuso depende de sensores, en el cual el algoritmo que controla esto se basa en el principio de Mamdani<sup>1</sup> con reglas de producción para inferir la mejor regla que se adapte a esta circunstancia.

En los últimos años la inteligencia artificial según lo indican Mejia, Arellano y Vallejo (2016), ha ido desarrollando a grandes escalas, pues lo mismo en la actualidad representan sistemas difusos cuyo resultado es una herramienta orientada en modelar sistemas complejos y no lineales. Esto permite tratar temas complejos en lo que se refiere a control automático. Para hacerlo posible se recurre al método de inferencia de Mandani el cual emplea el uso de las reglas Si X Entonces Y. En el caso del sistema de frenado en el automóvil, la aplicación de un algoritmo de inferencia difuso permite controlar la velocidad y detectar los obstáculos que se presentan en el camino y evitar que el automóvil colisione en caso de que el conductor presente alguna alteración de su cuerpo. Como se puede apreciar en la siguiente Figura 6, se propuso un prototipo que recoja información de su entorno para la toma de decisiones, la simulación está hecha en Matlab y la experimentación en tiempo real con Arduino empleando Java como interfaz.

---

<sup>1</sup> El principio de Mandami debe su nombre al primer creador de un controlador difuso para crear una máquina de vapor

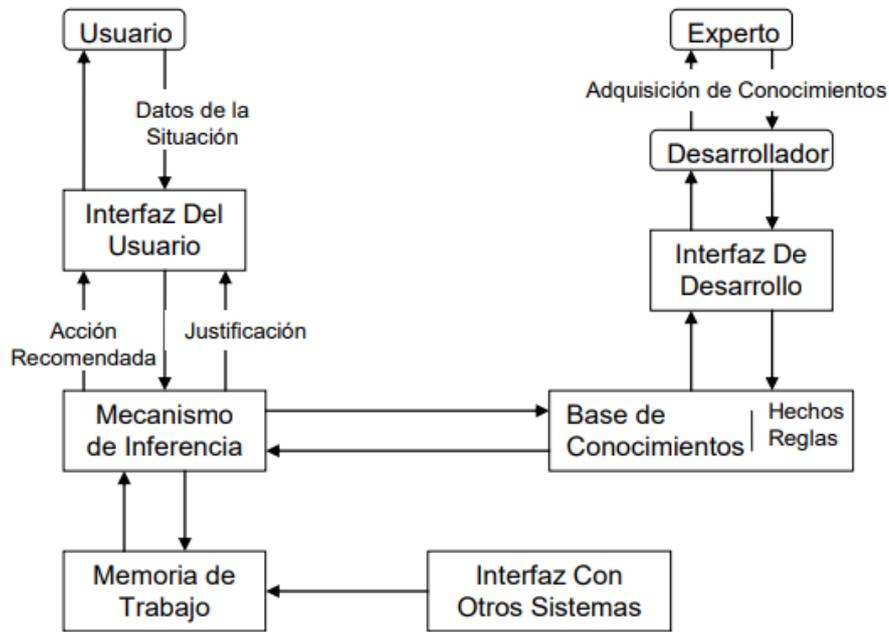


Figura 6 Estructura básica del sistema experto basado en lógica difusa

Fuente: (Mejia, Arellano, & Vallejo , 2016)

Por su parte el estudio de Onieva (2011) aplicó un método basado en lógica difusa en el sistema de frenos para evitar que las ruedas se bloqueen y frenar de manera más efectiva y mantener la tasa de deslizamiento más cercana a la relación de deslizamiento óptima alrededor de 0.2, además aplicó un difuso, adicional el Control lógico para evitar colisiones.

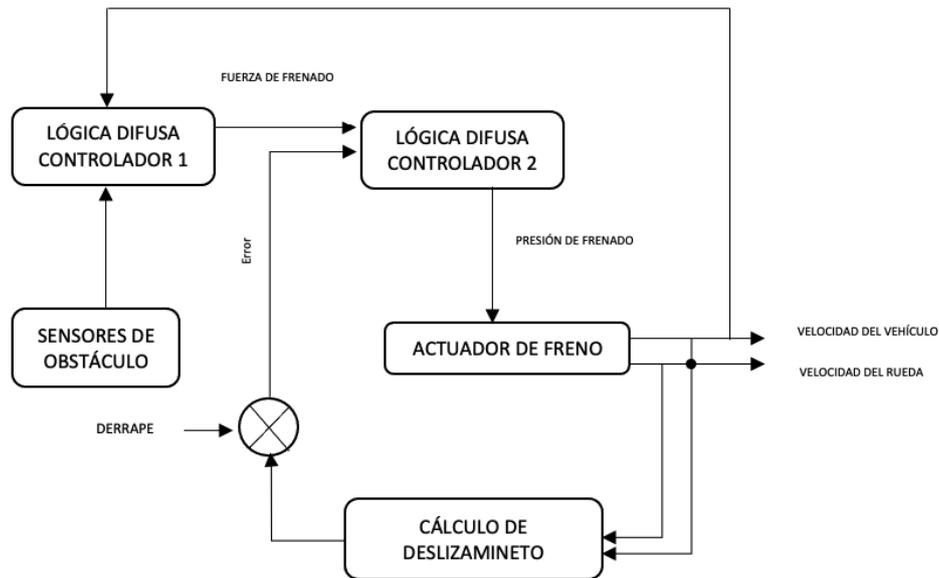


Figura 7 Modelado lógica difusa para detener un vehículo

Fuente: (Onieva, 2011)

En la figura 7 se puede apreciar que el sistema modelado utiliza dos controladores de lógica difusa para realizar acciones. El primer controlador decide si detener el automóvil o reducir la velocidad del mismo, dependiendo de la distancia del obstáculo y la velocidad en ese momento. El segundo toma la fuerza de frenado como entrada para decidir la intensidad y la relación de deslizamiento que se debe mantener para evitar el bloqueo de la rueda. La regulación de deslizamiento entre el neumático del automóvil y la carretera para evitar derrapes se controla cuando los sensores de las ruedas detectan una desaceleración repentina que causa una diferencia en la velocidad de las ruedas y del vehículo. El sistema de detección de obstáculos tiene tres sensores ultrasónicos (dos a los lados del automóvil mientras uno está frente al automóvil).

En lo que respecta al uso del control neuronal en el campo de la ingeniería el autor Garrosa (2019) en su Tesis Doctoral titulada “Sistema experto de frenada de un vehículo automóvil basado en redes neuronales artificiales” se planteó como objetivo principal: Pronosticar el comportamiento de los sistemas de estimación a través de Redes Neuronales Artificiales en función de las condiciones de contorno que gobiernan

la maniobra de frenada. El diseño tuvo la capacidad de simular los resultados reales recogidos por los sensores con el fin de caracterizar una frenada de cualquier naturaleza y pudiendo ser utilizado en condiciones reales de circulación. Se pudo conocer que gracias a los sistemas de visión que montan los automóviles actuales, es posible obtener información de la distancia frontal del mismo hasta un punto (objeto en la calzada, otro vehículo, etc).

Por su parte Castillo, Cabrera, Carabias y Simón (2018) en su artículo titulado “Estimación de parámetros en sistema de frenado” en el cual se planteó como objetivo principal: Diseñar una nueva arquitectura de frenado basada en el uso de servo válvulas proporcionales. Para hacerlo posible se empleó el algoritmo de control que se basa en el uso de técnicas de estimación de parámetros mediante filtro de Kalman extendido y redes neuronales y de control de la presión de frenado a través de bloques borrosos optimizados mediante algoritmos genéticos. Una vez probada se obtuvo como resultado el éxito en el banco de ensayo de neumáticos adaptado para la realización de ensayos de frenada.

El autor Morales (2016) llevó a cabo un proyecto que se tituló “Diseño de un estimador de Angulo de balanceo de un vehículo industrial” para lo cual se utilizó redes neuronales artificiales (RNA) como método alternativo para la estimación de variables dinámicas que afectan a la seguridad activa de los vehículos. Se comparan dos arquitecturas de redes neuronales con el fin de determinar cuál de ellas ofrece mejores resultados. La primera es la llamada Perceptrón Multicapa, la cual es una de las redes neuronales más comunes, mientras que la segunda son los llamados Mapas Auto organizados (SOM: Self-Organizing Map). Los resultados muestran que ambas

arquitecturas proporcionan pequeños errores en las estimaciones teniendo el Perceptrón Multicapa la ventaja de obtener una convergencia más rápida.

El estudio de Ochoa y Navarro (2017) titulado “ Análisis estadístico de fallas en el sistema de frenado de vehículos livianos para lo cual se desarrolló un modelo basado en redes neuronales artificiales para diagnosticar fallas en los componentes de las bombas del sistema de enfriamiento, a través de la técnica predictiva de análisis de vibraciones mecánicas se pudo dar paso al diseño de modelos; el primero uno basado en el perceptrón y el otro en la red feedforward; posterior a esto se comparan y aunque los resultados con ambas redes son satisfactorios se valida patrones con la red neuronal por tener un mejor comportamiento durante las fase de desarrollo y presentar menos errores en comparación con la otra red, llegando a demostrar la efectividad de las redes neuronales en el diagnóstico de fallos y la importancia que tiene el uso de este tipo de metodologías para mejorar a confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad de los equipos, por ende los resultados en los indicadores de las áreas de mantenimiento, confirmando que las redes neuronales artificiales son un poderosa herramienta en el seguimiento, diagnóstico e inclusive la predicción de fallos en equipos.

Un ejemplo del control neuronal y su arquitectura de control para el sistema de frenado de un vehículo es el propuesto por Canseco (2013) este autor planteó el diseño de un controlador difuso basado en el tiempo estimado de colisión, obtenido a través de un sistema de visión, y la probabilidad de bloqueo de la rueda, obtenida a través del vehículo. Para ello se propuso tres etapas: percepción, planificación y accionamiento.

- Primera etapa: denominada percepción todas las entradas sensoriales vienen del medio ambiente y los sensores del vehículo a bordo se adquieren. El vehículo está equipado con un sistema de posicionamiento global diferencial (DGPS) y una unidad de medición de inercia (IMU) que se utilizan para guiar el vehículo.
- Segunda etapa: planificación en la misma se implementarán estrategias de control, a través de diferentes controladores difusos y control neuronal que permitan que realizar las maniobras en función de los datos ambientales de la etapa anterior.
- Tercera etapa: actuación - ejecuta los objetivos recibidos de la etapa de planificación, y modifica las salidas generadas como voltaje niveles que pueden enviarse a los actuadores. Específicamente, este es el valor a aplicar al piloto electro-proporcional.

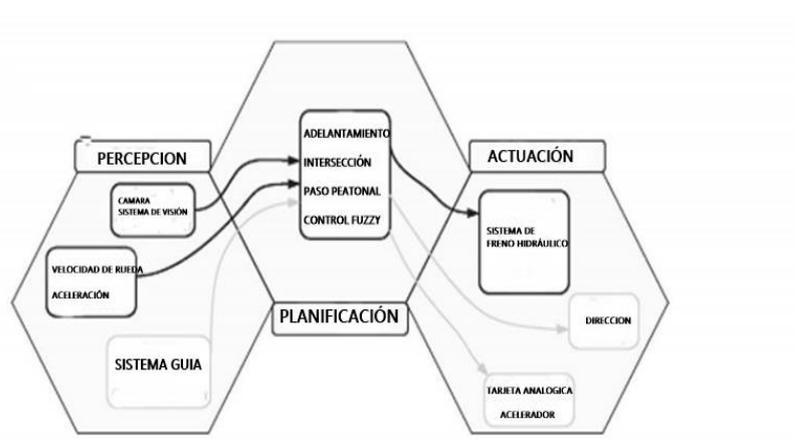


Figura 8 Prototipo de arquitectura de control de vehículos basada en control neuronal

Fuente: (Canseco, 2013)

Los resultados de la aplicación de este prototipo es que el controlador difuso modifica la presión aplicada en la rueda para evitar el bloqueo, de modo que si se detecta al peatón temprano la presión de salida es menor. Sin embargo, si el peatón se detecta muy cerca, la presión de salida aumenta.

Por su parte Nissan lanzó al mercado en 2018 Brain-to-Vehicle technology (Tecnología a cerebro del vehículo) este sistema permitirá que el cerebro humano se

conecte al auto, lo que permitirá la interacción con el conductor, de manera que este pueda ser sustituido por un piloto automático. Este proyecto permitirá medir la actividad cerebral para obtener la anticipación al movimiento. (Bit Brain, 2018)

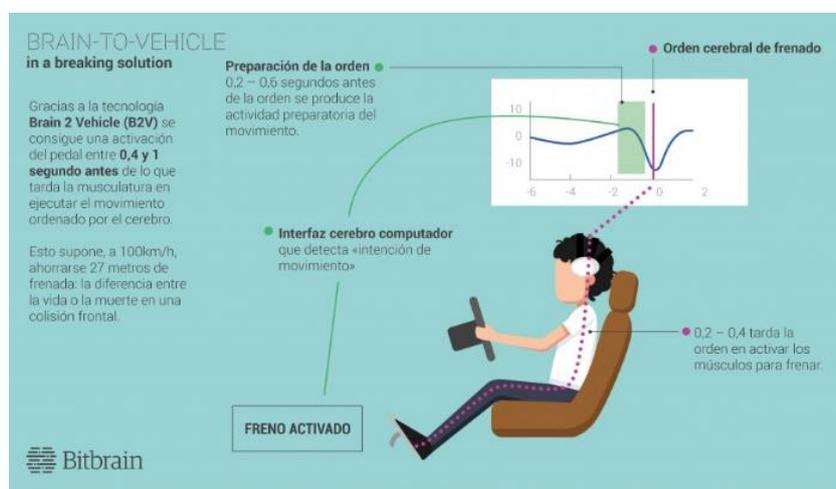


Figura 9 Cerebro- vehículo

Fuente: (Bit Brain, 2018)

El automóvil se desempeñará a partir de un control compartido con el conductor lo cual les permitirá compartir la conducción para aumentar la experiencia y la seguridad.

## 6.6. Conceptos factibles al sistema de refrigeración.

El sistema de enfriamiento del automóvil es responsable de eliminar el exceso de calor y mantener la temperatura correcta dentro del motor mientras el mismo está en funcionamiento. Permite alcanzar la temperatura adecuada después del arranque y a mantenerlo funcionando a la temperatura más eficiente, si presenta una falla, puede causar una serie de problemas; tales como sobrecalentamiento, juntas del ventilador, bloqueos del motor, entre otros. La inspección regular y diligente del nivel de refrigerante y los componentes del sistema de enfriamiento es la mejor manera de garantizar que el motor no presente un riesgo de sobrecalentamiento y otros daños

graves. Sin embargo, si, desafortunadamente, tiene un automóvil viejo que ha sido severamente dañado por una falla catastrófica del sistema de enfriamiento. (Cabrera & Tigre, 2016)

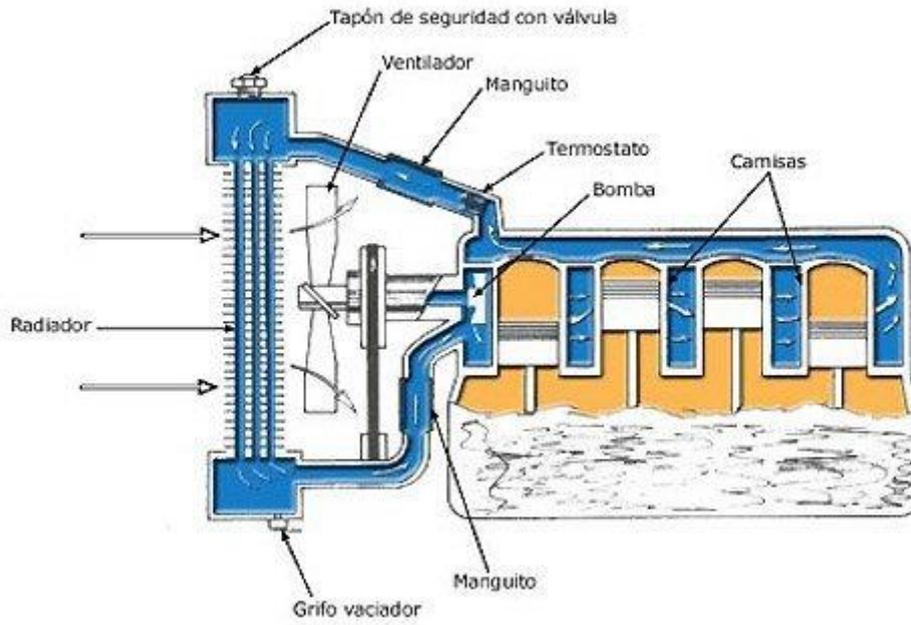


Figura 10 Componentes del sistema de refrigeración

Fuente: <https://espaciocoche.com>

Los componentes del sistema de enfriamiento según lo indica Carranza (2007) son:

- Refrigerante: es el protagonista del sistema de enfriamiento, este líquido absorbe todo el calor a medida que fluye a través del paso del motor. Recoge el calor y lo pasa al radiador.
- Ventilador de enfriamiento: esta parte se encuentra en la parte delantera del vehículo. Cuando el refrigerante comienza a calentarse, se enciende y finalmente se apaga una vez que el refrigerante está frío.

- Radiador: es el encargado de transferir todo el calor acumulado. Por lo tanto, es responsable de tomar calor del refrigerante y descargarlo al aire exterior. Tiene una tapa que mantiene una cierta presión sobre el sistema de enfriamiento.
- Termostato: es una válvula que mide la temperatura del refrigerante. Enciende y apaga el ventilador. Técnicamente controla el funcionamiento de todo el sistema de enfriamiento.
- Mangueras: estas son las secciones de tubería del sistema de enfriamiento. Son mangueras de goma que conectan el radiador al motor.
- Bomba de agua: esta unidad simple mantiene el refrigerante en funcionamiento mientras el motor sigue funcionando. Tiene una junta de sellado para evitar fugas de refrigerante. La refrigeración del motor cumple la función de hacer circular agua en todo el circuito. De esta forma se acelera el transporte y disipación de calor.
- Núcleo del calentador: el refrigerante caliente también se usa cuando el interior del automóvil necesita calefacción. Aquí es donde entra el núcleo del calentador. Es una versión más pequeña del disipador térmico, excepto que se encuentra debajo del tablero.

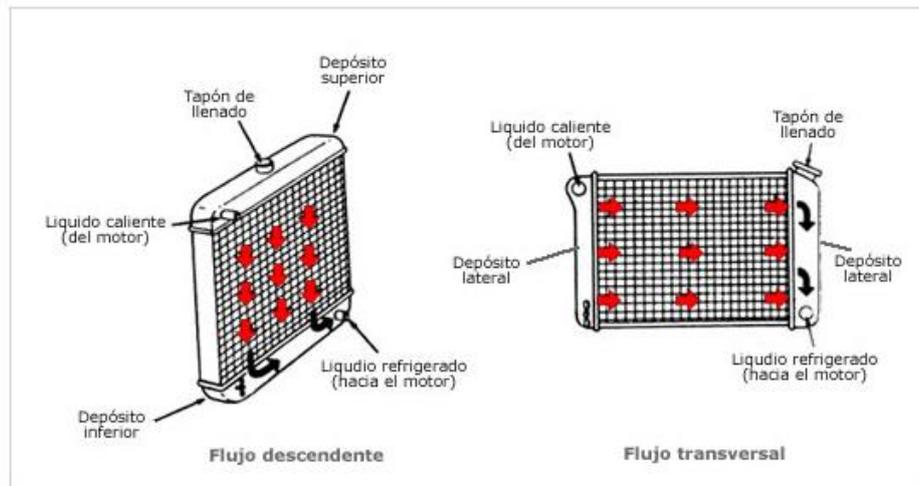


Figura 11 Funcionamiento del radiador del vehículo

Fuente: (Romero & Carranza, 2007)

Como se puede apreciar en la Figura 11, el radiador es una parte esencial del sistema de refrigeración. Consta de dos válvulas, una de las cuales pueden abrirse hacia arriba y comunicarse con la atmósfera cuando se genera sobrepresión por aumento de temperatura. Cuando la temperatura cae repentinamente y hace que la presión de aire baje, otra válvula se abre hacia abajo y conecta el radiador a la atmósfera. Esto aumentará la temperatura de ebullición del agua hasta unos 120°C. (Cabrera & Tigre, 2016)

El radiador se adaptará a los cambios de temperatura del motor cuando ésta aumenta, y el motor también aumentará la temperatura del líquido refrigerante, generando así cierta presión dentro de él. Si el vapor de agua se ha concentrado en gran cantidad, se puede generar una sobrepresión, lo que provocará presión dentro del radiador hasta llegar a reventarlo. Cuando el motor está en marcha y se detiene repentinamente, genera un vapor en el interior del radiador, creando así un vacío interno, que dificulta la perfecta circulación del agua en el circuito. (Romero & Carranza, 2007)

Existen dos tipos de circuitos de refrigeración:

- **Abiertos:** cuando el circuito de refrigeración se comunica a través de las válvulas de paso (del tapón de llenado) con la atmósfera, produce la evacuación del vapor interno a la atmósfera y retornando aire al interior del depósito cuando ocurre la condensación. Este sistema tiene el inconveniente de que el líquido del circuito se pierde durante la evaporación y evacuación, el circuito debe llenarse con frecuencia (especialmente en verano) para restaurar su volumen, lo que conlleva un mejor mantenimiento del sistema.
- **Cerrados:** Por el contrario, el radiador no lleva tapón de llenado y se comunica mediante un tubo con un pequeño depósito auxiliar llamado "depósito de expansión", este contiene refrigerante líquido y absorbe los gases de la evaporación a través del tubo de conexión con el enfriador, que se licua cuando entran en contacto con el líquido. Cuando se genera vacío interno, el líquido procedente del depósito de expansión pasa al radiador para restablecer el circuito sin perder líquido por condensación. (Cabrera & Tigre, 2016)

### **6.7.Refrigeración de frenos en el campo.**

El sistema de frenos es el componente más importante en lo que respecta a la seguridad del automóvil, pues de él depende la detención total o parcial del vehículo y por ende el resguardo del conductor y sus pasajeros, su utilidad tiene que ver en la fricción al momento de detener al vehículo, su principio radica en la presión hidráulica la cual ejerce presión a las pastillas del freno contra el disco de hierro fundido. Este proceso ocasiona calor alto durante el frenado lo que incrementa la temperatura por

fricción, este calor se dispersa por el aire, está determinado por factores ambientales y debido a ello el proceso de corrosión se acelera rápidamente. (Garcia, 2017)

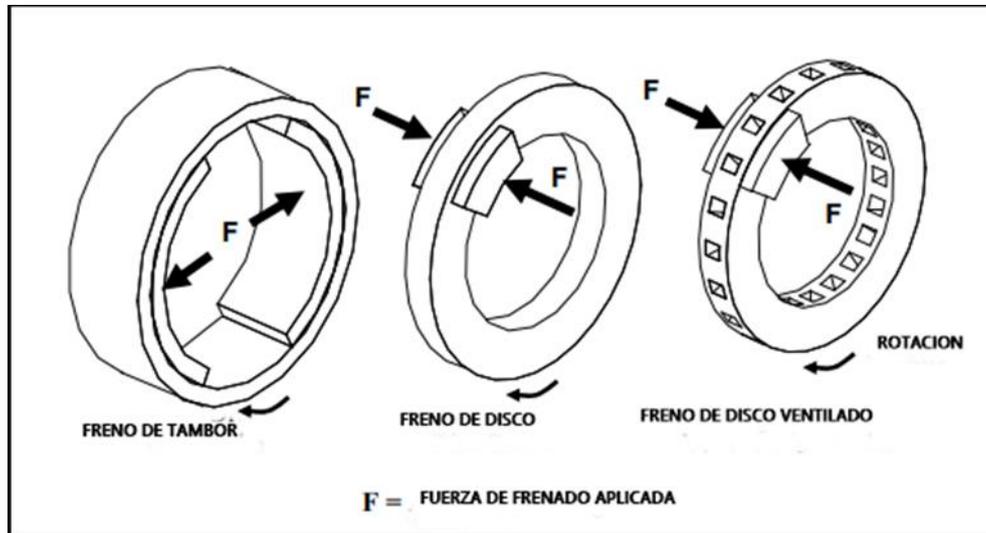


Figura 12 Discos de frenado

Fuente: (Garrosa, 2019)

En los canales de disco se presenta la mayor parte de la transferencia de calor desde el disco, uno de los inconvenientes más comunes en este sistema es el sobrecalentamiento. Hay dos superficies en el sistema de frenado del vehículo que causan fricción entre la pastilla y el disco, éstas son las áreas más calientes ya que el calor es generado allí, son grandes y están expuestas, lo que significa que son fáciles de enfriar, el calor de fricción también se conduce a través del espesor del disco a los canales. Las pastillas de freno son relativamente pequeñas y debido a su material no absorben mucha energía térmica. (Garrosa, 2019)

## **7. DISEÑO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN PARA DISIPAR EL CALOR EN LOS DISCOS DE FRENO.**

### **7.1.Introducción**

En este capítulo se diseñan los diferentes tipos de piezas del sistema de refrigeración para esto el uso del software inventor. Para las pruebas de resistencia aerodinámica y resistencia de materiales se utilizará el software ANSYS con los cuales permita llevar aire fresco hacia los discos de freno permitiendo la disipación de calor. Se diseñará el sistema eléctrico con la ayuda de software Proteus y Matlab que permitirá el desarrollo del sistema de control al sistema de enfriamiento, adicionalmente este sistema permitirá visualizar en tiempo real los datos de temperatura de los discos de freno.

### **7.2.DISEÑO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN EN EL SOFTWARE CAD**

#### **7.2.1. Elementos de diseño para la ventilación de disco de freno.**

En este apartado se analiza los electroventiladores que tienen un motor eléctrico que mueve un sistema de aletas que permite redireccionar el aire tomado del ambiente hacia los discos de freno Figura 13. Lo que se busca es disminuir la temperatura generada por la fricción entre pastilla y disco que puede alcanzar entre los 230 a 240 °C en situaciones de frenado repentino, con la evoluciones de los vehículos y con la meta de alcanzar velocidades cada vez más altas, esto involucra un aumento de la energía cinética, que afecta directamente la prestación del disco de freno. Los discos se dotaron de conductos de ventilación en el centro y también la perforación, se estima que la disipación de calor puede alcanzar los  $740 \text{ W/cm}^2$ .

El propósito de este sistema es disipar el calor máximo localizado en los discos y pastillas, lo cual se realiza perforaciones en las superficies para generar limpieza de la pastilla y refrigeración del disco.



Figura 13 Electroventilador

Fuente: <https://www.euautorecambios.es>

### **7.2.2. Estimación de los elementos para redirección de aire.**

Existen muchas maneras para redireccionar el aire frío al disco de freno, y de todos estos métodos que podemos analizar en este apartado, se analizarán algunos escenarios.

Entre una de las más sencillas y baratas es de disponer una aleta fijada a la mordaza de modo que cuando el vehículo este en marcha, el aire golpee las aletas y sea redirigido al disco de freno, los inconvenientes en este tipo de redireccionamiento se puede analizar que una pequeña parte del aire se redirecciona, también que el ángulo de la aleta va a depender del área de contacto del aire con el disco.



Figura 14 Ventilación dinámica de disco de frenos

Fuente: <http://kashima.campuseina.com>

El enfriamiento se realiza principalmente en vías rectas, cuando el vehículo circula a velocidades superiores a 70 km/h estas velocidades y conductos permite que el aire entre con un alto flujo y choque con los discos de freno enfriándolos, para un vehículo que circula en curvas, largadas y deceleraciones. Esto con lleva a realizar un estudio necesario entre dimensiones y disposición para que el aire permita enfriar los discos de forma eficiente, en un vehículo de F1 la carrocería está diseñada y fabricada para que estos conductos, en un vehículo particular hay se realiza una adaptación para la instalación.



Figura 15 Conducto de ventilación.

Fuente: <http://clubgta.creatufuro.com>

### 7.2.3. Evacuación de conductos y elementos de dirección de aire.

El conducto diseñado para introducir aire en el área del disco se estudió en función de la cantidad de aire que puede transmitir y la velocidad del vehículo. El conducto debe estar hecho de materiales flexibles para poder incorporar en el vehículo y tener una mejor manipulación y que se pueda adaptar al movimiento direccional. Se dice que el ingreso de aire debe ser lo mas grande posible para aumentar la velocidad de flujo, y luego estrangular la velocidad y la presión a través del conducto flexible.

Para transportar el aire del ambiente a los discos de freno es ideal tener en cuenta que los conductos deberían ser lo más rectos posible y en el caso de codos con radios uniformes Figura 16. Cuando un fluido pasa a través de una tubería se generan perdidas de energía por rozamiento (esto se convierte en calor), esto se puede traducir como pérdida de presión. Al final de la tubería debe estar conectado al plato de protección del disco. Se realizará un corte con taladro al mismo diámetro del conducto, comenzamos a cortar una pequeña lata circular y soldamos en la protección del plato, que debe asegurarse con una brida.

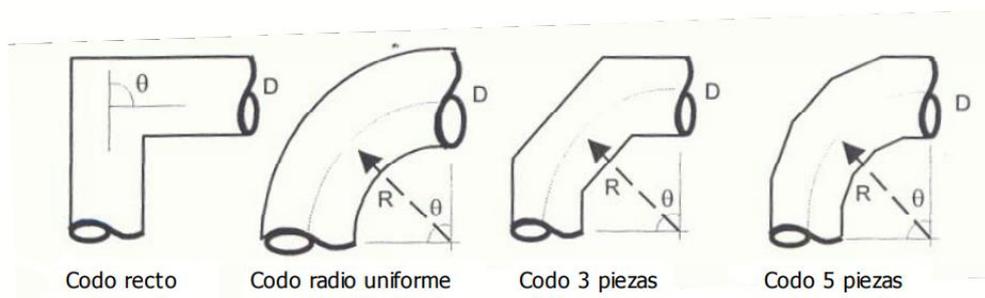


Figura 16 Conducto de ventilación.

Fuente: <http://clubgta.creatufuro.com>

Para el sistema de refrigeración se toma en cuenta un clima lluvioso, ya que en esta situación el sistema podría enviar un gran caudal de agua directamente a los discos de freno. Si el disco es enfriado bruscamente podría cambiar las propiedades de este, provocando fisuras. Para evitar que el agua golpee directamente con el disco y conociendo las características del material que se usara, de esta forma, perforamos agujeros de tamaño adecuado en la parte inferior para que el agua que ingresa y golpea la pared de la tubería sea llevada al fondo y drenada.

#### **7.2.4. Evaluación de componentes de diseño para el control de temperatura**

Para comprender como cambia la temperatura en el disco de freno, debemos tener componentes que puedan medir e informar esta condición.

El circuito electrónico tendrá sensores de temperatura, procesadores y actuadores, que son responsables de controlar la entrada de aire cuando el disco excede el nivel de temperatura fuera del rango normal. El dispositivo electrónico puede medir la radiación electromagnética infrarroja, ya que existe una gran variedad de sensores en el medio el que se va a utilizar es un sensor por captación infrarroja.

El sensor infrarrojo es capaz de medir la radiación infrarroja que emiten los cuerpos. Los diferentes cuerpos reflejan una pequeña cantidad de radiación, para los ojos del ser humano esto resulta invisible es un tema complejo a diferencia de aparatos electrónicos, ya que se encuentran en un rango espectral justo por debajo de la luz visible.

##### **7.2.4.1. Sensor MLX90614**

El sensor tiene una etapa de amplificación y digitación para la señal de la membrana. La salida del sensor es lineal y compensa los cambios en la temperatura ambiente.

Sensor MLX90614 integra un circuito de filtro de ruido, un convertidor A / D de resolución de 17 bits y un procesador de señal digital, que puede proporcionar un

amplio rango de trabajo para objetos de  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $380\text{ }^{\circ}\text{C}$ , con una precisión de  $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , con un protocolo de comunicación SMBUS (I2C), incorporado ADC de 17 bits, este sensor no necesita componentes adicionales.



Figura 17 Conducto de ventilación.

Fuente: [http:// www.melexis.com/](http://www.melexis.com/)

#### 7.2.4.2.Sensor de velocidad VSS.

El VSS (Vehicle Speed Sensor) sensor de velocidad del vehiculo es un captador, esta instalado en el transeje a través del cual pasa el cable del velocímetro. Proporciona una señal de CA(Coriente Alterna) al ECM (Electronic Control Module), que se interpreta como la velocidad a la que está el vehículo.

Tanto como la velocidad de la rueda o la velocidad del eje de la salida de la caja de cambios lo puede medir un sensor llamado VSS. A medida que aumenta la velocidad del vehículo, la frecuencia y el voltaje aumentan, por lo que el ECM convertirá el voltaje a Km/h y se usará para cálculos. Se pueden leer Km/h con el monitor OTC. Tiene un imán giratorio en su interior que puede generar una onda senoidal de CA proporcional a la velocidad del vehículo. Cada revolución del eje producirá 8 ciclos, y su resistencia debe ser de 190 a 240 ohmios. La señal de este sensor también se utiliza para frenos ABS.

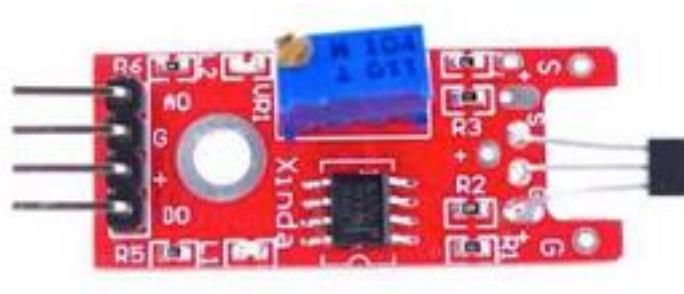


Figura 18 Sensor hall de velocidad VSS.

Fuente: <http://www.foroswift.com.ar>

### 7.2.4.3. Microcontrolador

Arduino Mega es probablemente el microcontrolador más potente de las placas de 8 bits, apto para trabajos ya algo más complejos aunque tengamos que sacrificar un poco de espacio. Tiene 54 pines digitales utilizados como entrada/ salida; 16 entradas analógicas, un oscilador de cristal de 16 Mhz, una conexión USB, un botón de reinicio y una entrada para alimentar la placa. Cuenta con el microcontrolador Atmega2560 con más memoria para el programa, más RAM.

La comunicación entre la computadora y el arduino se realiza a través del puerto serie. Tiene un convertidor de serie USB, por lo solo necesita conectar el dispositivo a la computadora mediante cable USB, al igual que el cable que usa una impresora.



Figura 19 Microcontrolador.

Fuente: <https://arduino.cl/>

#### 7.2.4.4. Módulo Relay

El relé es un dispositivo electromagnético. Se utiliza como interruptor controlado por un circuito en el que, con la ayuda de una bobina y electroimán. Se facilita un conjunto de uno o más contactos, lo que permite abrir o cerrar otros circuitos independientes.

Dado que el relé puede controlar el circuito de salida con una potencia superior a la entrada, puede considerarse como un amplificador eléctrico en un sentido amplio.

Esto es lo que quiere decir: 10A 250VAC: la intensidad máxima de la corriente de conexión (voltaje igual o menor a 250VAC) es 10<sup>a</sup>, y así sucesivamente SRD-05VDC-SL-C: El voltaje de la señal del circuito de control es 5V.



Figura 20 Módulo Relay.

Fuente: <https://www.puntoflotante.net/>

#### 7.2.5. Cálculo de convección forzada en los ductos de ventilación del disco de freno con aporte a la velocidad de entrada.

La velocidad inicial ideal del vehículo es de 70 km/h o 19.44 m/s. Esta velocidad del aire se guiará a la parte central del disco de freno a través del conducto.

Para hacer que el disco disipe mejor el calor, la velocidad de aire que ingresa en el conducto de ventilación debe aumentarse, como resultado se incrementa el coeficiente  $h$  que es la transferencia de calor. De esta forma, también aumentará la pérdida de calor del disco al medio ambiente.

La velocidad media del disco sin utilizar ningún medio para forzar la entrada de aire es de 2.56 m/s cuando la velocidad del vehículo es de 19.44 m/s. La disipación de calor se logra a un ritmo más rápido, y se debe instaurar uno nuevo. La velocidad de entrada del conducto de ventilación altera a la velocidad media.

En toda la sección, el flujo de aire a través del conducto de ventilación del disco es el mismo, la velocidad de salida es la que cambia:

$$Q = \pi \cdot a \cdot D1 \cdot C_{1m} = \pi \cdot b \cdot D2 \cdot C_{2m} \quad (1)$$

En donde:

**$Q$ : Caudal de aire del interior del álabe ( $m^3/s$ ).**

**$a$ : Ancho de rodete a la entrada del flujo(m).**

**$D1$ : Diámetro de ingreso (m).**

**$C_{1m}$ : Velocidad absoluta del fluido a la salida del canal (m/s).**

**$b$ : Ancho del rodete a la salida del flujo (m).**

**$D2$ : Diámetro de salida (m).**

**$C_{1m}$ : Velocidad absoluta del fluido a la salida del canal (m/s).**

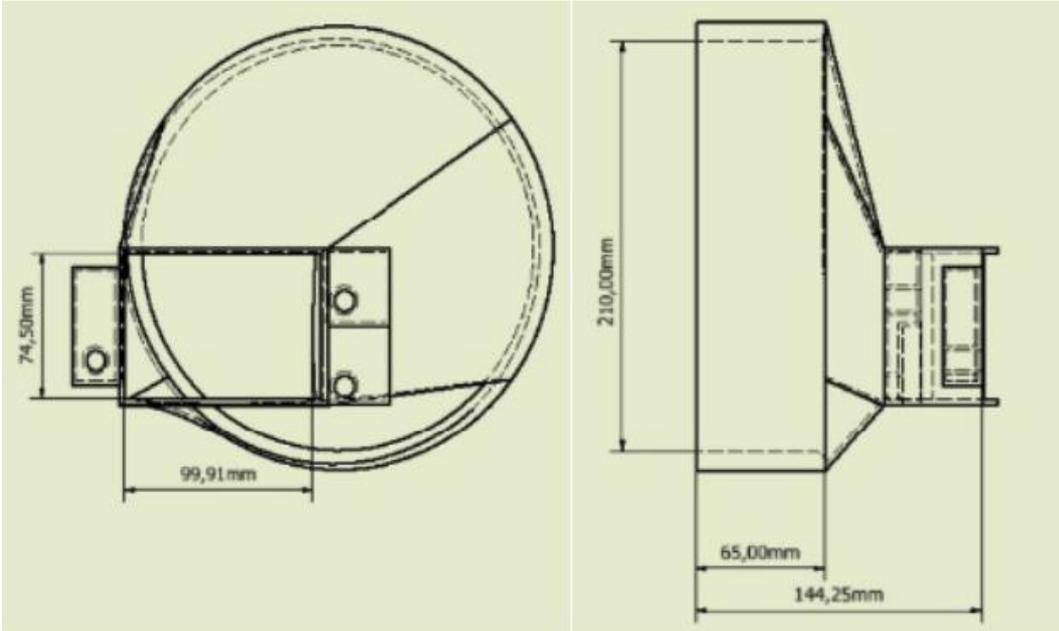


Figura 21 Dimensiones de ducto de ventilación del disco de freno.

Fuente: Autores

Dimensiones de ducto de ventilación del disco de freno.

Si reemplazamos los valores conocidos y resolvemos la velocidad al ingreso, entonces se obtiene.

$$C_{1m} = \frac{\pi \cdot b \cdot D2}{\pi \cdot a \cdot D1} \cdot C_{2m}$$

$$C_{1m} = \frac{\pi \cdot 210\text{mm} \cdot 99.92\text{mm}}{\pi \cdot 74.5\text{mm} \cdot 99.92\text{mm}} \cdot C_{2m}$$

$$C_{1m} = 2.81C_{2m}$$

La velocidad angular del disco



Figura 22 Dimensiones de los neumáticos.

Fuente: Autores

**Designación de los neumáticos = 185/60 R14**

**Relación Nominal de Aspecto = RNA = 0.60**

$$r = \frac{1}{2}(R \cdot 25,4 + \text{RNA} \cdot b_n) \quad (2)$$

En donde:

**R = Radio del neumático en (plg).**

**RNA= Relación nominal de aspecto (%).**

**b<sub>n</sub>= Ancho del neumático (mm).**

A continuación:

$$r = \frac{1}{2}(R \cdot 25,4 + \text{RNA} \cdot b_n)$$

$$r = \frac{1}{2}(14 \cdot 25,4 + 0,60 \cdot 185)$$

$$r = 233,3 \text{ mm} = 0,2333 \text{ m}$$

$$\varnothing = 0,4666\text{m}$$

El perímetro de la rueda es el siguiente:

$$P = \pi \cdot \varnothing \quad (3)$$

$$P = \pi \cdot 0,466\text{m}$$

$$P = 1,46\text{m}$$

Calculamos el número de revoluciones de las ruedas por segundo a una velocidad de 19,44 m/s.

$$\text{Rpm} = \left(\frac{L}{P}\right) \quad (4)$$

En donde:

**L: Distancia recorrida por el neumático(m)**

**P: Perímetro del neumático (m)**

$$\text{RPS} = \left( \frac{19,44\text{m}}{1,46\text{m}} \right) = 13.31$$

$$\text{RPM} = 798,6$$

Entonces la velocidad angular es:

$$\omega = \frac{(\text{RPM} \cdot 2\pi)}{60} \quad (5)$$

$$\omega = \frac{(798,6 \cdot 2\pi)}{60}$$

$$\omega = 83,62 \frac{\text{rad}}{\text{seg}}$$

Velocidad de entrada.

La velocidad angular que se obtiene en el cálculo anterior es de 70 km/h y del disco es 0,215m del diámetro interior entonces el radio ( $r_i$ ) es 0.1075m.

Entonces la velocidad absoluta del álabe es:

$$\mu_1 = \omega \cdot r_i \quad (6)$$

En donde:

**$\mu_1$ : Velocidad absoluta del alabe (m/s).**

**$\omega$ : Velocidad angular del disco (rad/s).**

**$r_i$ : Radio interno del disco (m).**

Y la velocidad absoluta es:

$$\mu_1 = 83,62 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \cdot 0,1075\text{m}$$

$$\mu_1 = 8,98\text{m/s}$$

A continuación, la velocidad absoluta que ingresa a la tubería es la suma de la velocidad de avance del vehículo y velocidad de inercia de giro.

$$C_{1m} = V_{\text{giratorio}} + V_{\text{avance}} \quad (7)$$

$$C_{1m} = 8,98\text{m/s} + 19,44\text{m/s}$$

$$C_{1m} = 28,42\text{m/s}$$

La velocidad absoluta de salida es:

$$C_{2m} = \frac{C_{1m}}{2,88} \quad (8)$$

$$C_{2m} = \frac{28,42\text{m/s}}{2,88}$$

$$C_{2m} = 9,86\text{m/s}$$

La velocidad media es calculada por medio de la siguiente ecuación:

$$V_m = \frac{C_{1m} + C_{2m}}{2} \quad (9)$$

$$V_m = \frac{28,42\text{m/s} + 9,86\text{m/s}}{2}$$

$$V_m = 19,14\text{m/s}$$

Cálculo de presión dinámica de la tubería

Para el estudio se realiza un estudio dinámico de presión y temperatura, para el sistema de enfriamiento completo desde la toma de aire hasta la comunicación del disco de freno. Para la presión se establece la ecuación:

$$PD = \frac{v^2}{2 \cdot g} \cdot \frac{\rho}{1000} \quad (10)$$

$$PD = \frac{(15,88\text{m/s})^2}{2 \cdot 9,8\text{m/s}^2} \cdot \frac{1,204\text{m/s}}{1000}$$

$$PD = 0,0154\text{mcda} = 151,01\text{Pa}$$

En donde:

**PD: Presión dinámica en el sistema (m de columna de agua mca).**

**V: Velocidad del aire (m/s).**

**g: Aceleración gravitatoria (m/s<sup>2</sup>).**

**$\rho$  : Densidad del aire (Kg/m<sup>3</sup>).**

**$\Delta P$ : Diferencia de presión (Pa).**

**C: Coeficiente de pérdida de la campana adimensional.**

**$v_p$ : Velocidad en la sección de salida de la campana.**

$$v_p = \frac{Q}{A_A} \quad (11)$$

$$v_p = \frac{0,1\text{m}^3/\text{s}}{0,006296\text{m}^2}$$

$$v_p = 15,88\text{m/s}$$

Se puede observar que la tubería principal ha alcanzado los 15,88 m/s de los 19,44 m/s supuestos originalmente. La diferencia de presión se calcula a esta velocidad.

$$\Delta P = C \cdot \rho \cdot \frac{V_p^2}{2} \quad (12)$$

$$\Delta P = 0,214 \cdot 1,204\text{kg/m}^2 \cdot \frac{(15,88\text{m/s})^2}{2}$$

$$\Delta P = 32,49\text{Pa}$$

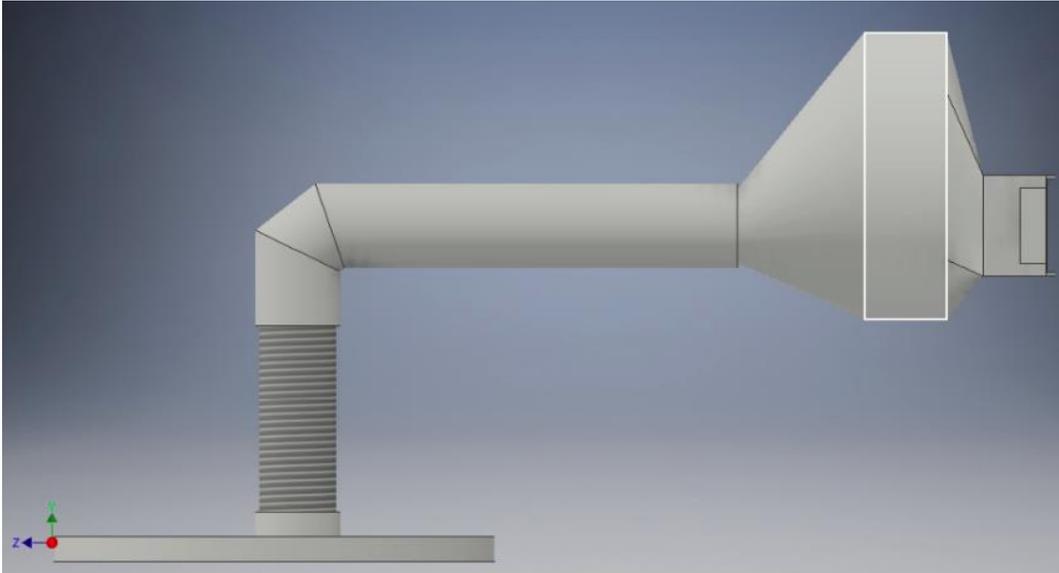


Figura 23 Diagrama de refrigeración de discos de freno.

Fuente: Autores

En la Figura 23 se puede ver que el tamaño de la tubería principal debe permitir la entrada de la máxima cantidad de aire, se busca tener un buen flujo, cuando el aire es guiado al disco de freno, su velocidad y presión deben aumentarse, por lo que la tubería está restringida y el circuito del ventilador eléctrico debe estar conectado directamente al circuito principal.

### 7.2.6. Resultados de Ansys

Según los datos obtenidos con fórmulas para determinar el flujo de entrada.

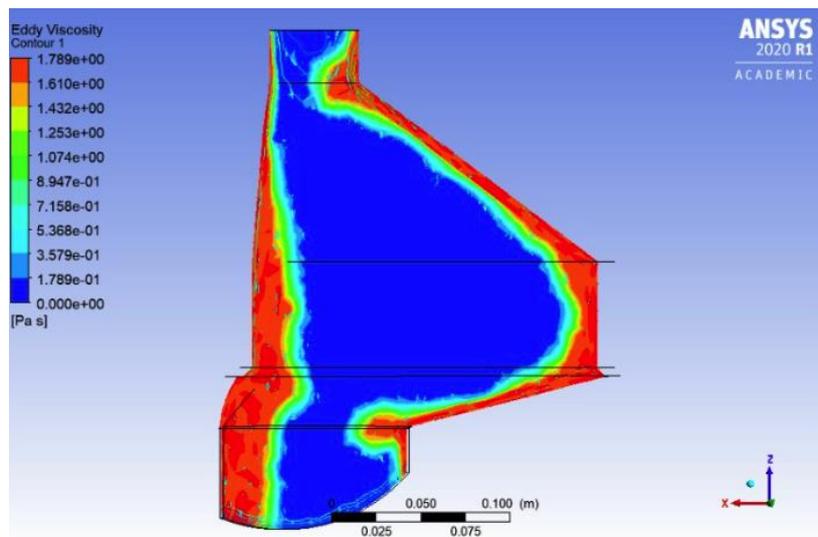


Figura 24 Viscosidad de remolino en el ducto de aire.

Fuente: Autores

Se puede ver que a la velocidad de entrada de 28,42m/s, en la entrada de aire se genera remolinos con viscosidades entre los 1.61 Pa·s y 1.789 Pa·s.

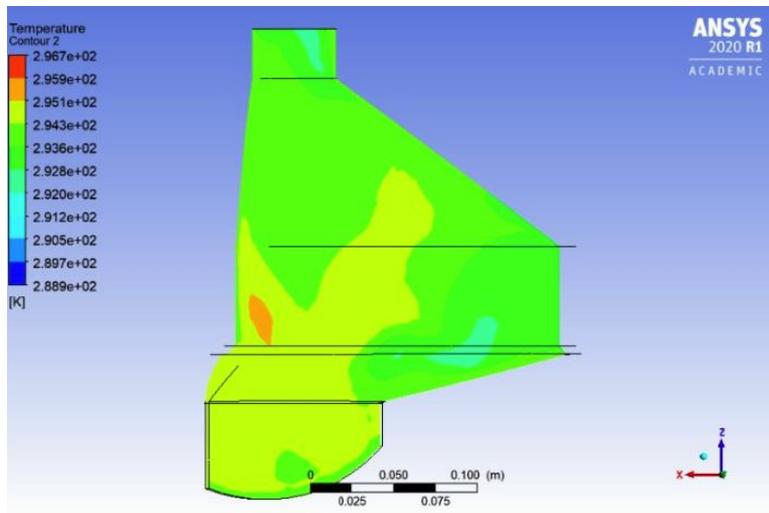


Figura 25 Temperatura en el ducto de ventilación.

Fuente: Autores

Como podemos ver en la Figura 25, con una presión de atmosférica 1,204m/s y una temperatura de 22 °C, observamos que la temperatura se mantiene entre 21.85 °C y 18.85 °C cuando la velocidad de entrada es de 28,42m/s.

### **7.3.Realizar pruebas de error es ideal para industrias como automotriz, consumo, eléctrica, energía.**

#### **7.3.1. Introducción**

El propósito de este trabajo es proponer un control neuronal para un modelo de referencia cuya estructura interna se cambia de un sistema lineal de primer orden a un sistema de segundo orden, para lo cual se aplica una red neuronal recurrente. Una de las características de las redes neuronales utilizadas es que sus pesos son limitados, lo que asegura su estabilidad durante el proceso de entrenamiento. En el primer esquema, se usa una red neuronal para identificar el sistema de estructura variable, y en el

segundo esquema, se usan dos redes neuronales para separar el reconocimiento de cada subsistema.

### 7.3.2. Pruebas de consumo de energía en elementos de ventilación.

Los componentes eléctricos consumen energía en el sistema, pues esto se visualiza en el consumo de combustible en el vehículo, lo que pasaría a ser una desventaja, por eso la importancia de conocer este valor.

Tabla 1 Consumo de componentes eléctricos del sistema de ventilación.  
Fuente: Autores

<b>ELEMENTOS</b>	<b>CONSUMO EN ARRANQUE (A)</b>	<b>CONSUMO FUNCIONAL (A)</b>
Electro ventilador derecho	4,4	3,5
Electro ventilador Izquierdo	4,4	3,2
Otros	0,75	0,5

### 7.3.3. Prueba de velocidad.

La velocidad del aire en simulación, los datos característicos de Ansys se muestran en m/s. Para realizar mejores mediciones para todas las pruebas se coloca en diferentes posiciones del tubo de ventilación. Para cada sección de medición, el sistema siempre está conectado a la entrada del plato protector del disco.

Tabla 2 Variación de velocidades en tuberías  
Fuente: Autores

<b>PRUEBA DE VELOCIDAD</b>		
	<b>CONDUCTO IZQUIERDO</b>	<b>CONDUCTO DERECHO</b>
Velocidad de aire en la campana	6,8 m/s	7,1 m/s
Velocidad de aire en la salida de tubería rígida	5,6 m/s	5,9 m/s
Velocidad de aire en la salida de reducción	13,8 m/s	13,2 m/s
Velocidad de aire en la entrada del plato de disco	11,9 m/s	11,7 m/s

#### **7.3.4. Pruebas de comportamiento de materiales, esfuerzos, fatiga, durabilidad, diseño automotriz y optimización.**

##### Resultados estructura

Los resultados se obtienen analizando tres factores importantes en el diseño; Tensión de Von Mises, Desplazamiento, Coeficiente de Seguridad. Estos factores pueden orientar si el material se encuentra en condiciones de realizar un trabajo específico, y observar cuales son los puntos críticos gráficamente. El análisis se realizó con la ayuda de AUTODESK INVENTOR, y los resultados obtenidos se muestran a continuación.

#### **7.3.5. Propiedades físicas material aluminio**

Para las propiedades de los materiales, el aluminio y los plásticos elaboraremos en software Ansys para determinar las características de cada material. La masa de aluminio es de 6,34324 kg, la densidad es de 2,7 g/cm<sup>3</sup> y el área es de 816540 mm<sup>2</sup>.

Tabla 3 Variación de velocidades en tuberías  
Fuente: Autores.

Material	Aluminio 6061
Densidad	2,7 g/cm <sup>3</sup>
Masa	6,34324 kg
Área	816540 mm <sup>2</sup>
Volumen	2349350 mm <sup>3</sup>
Centro de gravedad	x=29,0501 mm y=-107,967 mm z=468,942 mm

El aluminio tiene una densidad de masa 2,7 g/cm<sup>3</sup>, un límite de elasticidad  $2.75 \times 10^8$  Pa, y una resistencia máxima a tracción  $3.10 \times 10^8$ . Con las características generales se tendrá una tensión como resultado de Módulo de Young  $6.89 \times 10^{10}$  Pa un coeficiente de Poisson 0,33 su y un Módulo cortante  $2.59023 \times 10^{10}$  Pa.

Tabla 4 Pruebas de tensión en aluminio  
Fuente: Autores

Nombre	Aluminio 6061	
General	Densidad de masa	2,7 g/cm <sup>3</sup>
	Límite de elasticidad	275 MPa
	Resistencia máxima a tracción	310 MPa
Tensión	Módulo de Young	68,9 GPa
	Coefficiente de Poisson	0,33 su
	Módulo cortante	25,9023 GPa

El desplazamiento es mostrado en la Figura 26, el análisis de funcionamiento se utiliza una presión 100000 MPa, donde en la parte izquierda de la figura la escala de colores muestra un rango. Se puede observar el material de aluminio tiene un desplazamiento máximo de 755 mm en la campana sucede en el centro, siendo los puntos más afectados, mientras que en la parte inferior no se aprecia que exista desplazamiento.

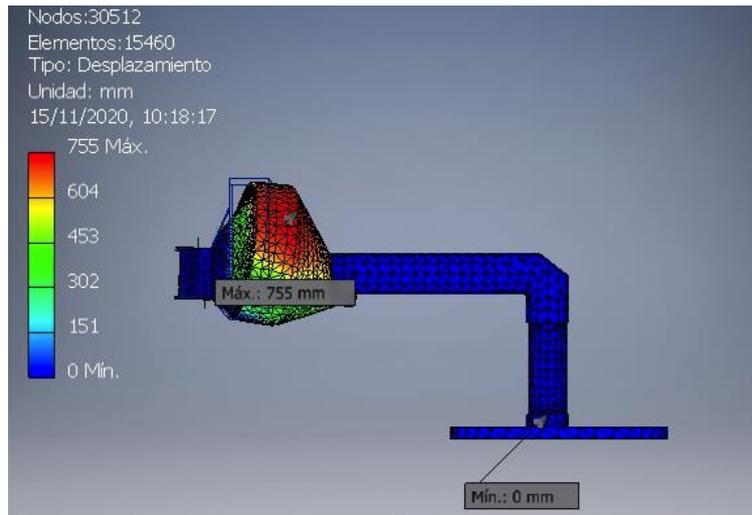


Figura 26 Desplazamiento de aluminio.

Fuente: Autores

La tensi3n máxima de Von Mises, basada en la teoría de la energía de corte de la máxima energía de deformaci3n. La teoría establece que cuando la tensi3n de Von Moises es igual al límite de tensi3n, el material dúctil comenzar a ceder en un punto. En la mayoría de los casos, el límite elástico se utiliza como límite de tensi3n. En este caso, se puede observar que el color principal es el azul, y se pueden conocer los puntos de fuerza máxima y mínima en la construcci3n.

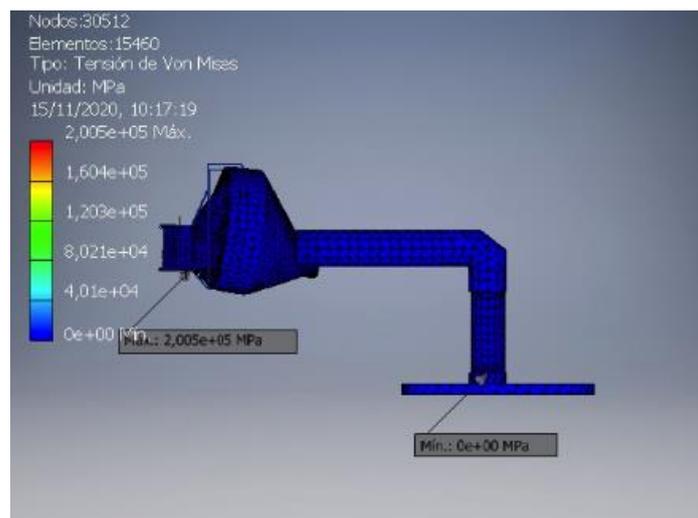


Figura 27 Tensi3n Von Moises.

Fuente: Autores

El factor de seguridad es el cociente entre el valor calculado de la capacidad máxima de un sistema y el valor real a que está expuesto. Por esta razón, es un número mayor que 1, lo que significa que la estructura excede sus requisitos o usos. El factor de seguridad viene determinado por el punto más débil del elemento, independientemente de si tiene un factor de seguridad más alto en otros puntos de la estructura.

Como su nombre indica, esto brinda seguridad a los usuarios, pero debe tenerse en cuenta que la estructura fue creada para un propósito específico y puede soportar una cierta cantidad de fuerza "x", si se da un mal uso a este diseño, el factor de seguridad puede cambiar considerablemente, lo que puede provocar daños estructurales y posiblemente accidentes.

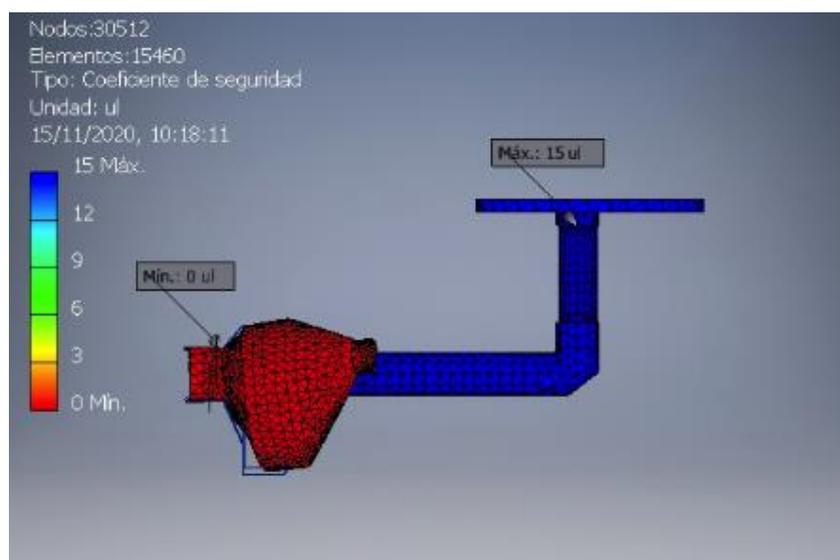


Figura 28 Factor de seguridad aluminio.

Fuente: Autores

### 7.3.6. Propiedades físicas Material Plástico

La masa del plástico es de 2,49031 kg, la densidad es de 1,06 g/cm<sup>3</sup> y el área es de 816540 mm<sup>2</sup>.

Tabla 5 Propiedades físicas del plástico  
Fuente: Autores

<b>Material</b>	<b>Plástico ABS</b>
<b>Densidad</b>	1,06 g/cm <sup>3</sup>
<b>Masa</b>	2,49031 kg
<b>Área</b>	816540 mm <sup>2</sup>
<b>Volumen</b>	2349350 mm <sup>3</sup>
<b>Centro de gravedad</b>	x=29,0501 mm y=- 107,967 mm z=468,942 mm

El plástico tiene una densidad de masa 1,06 g/cm<sup>3</sup>, un límite de elasticidad  $2.0 \times 10^7$  Pa, y una resistencia máxima a tracción  $2.96 \times 10^7$ . Con las características generales se tendrá una tensión como resultado de Módulo de Young  $2.24 \times 10^9$  Pa un coeficiente de Poisson 0,38 su y un Módulo cortante  $8.11594 \times 10^6$  Pa.

Tabla 6 Pruebas de tensión en el plástico  
Fuente: Autores

Nombre	Plástico ABS	
General	Densidad de masa	1,06 g/cm <sup>3</sup>
	Límite de elasticidad	20 MPa
	Resistencia máxima a tracción	29,6 MPa
Tensión	Módulo de Young	2,24 GPa
	Coefficiente de Poisson	0,38 su
	Módulo cortante	0,811594 GPa

Se utiliza una presión 100000 MPa para el análisis de rendimiento como se puede ver la Figura 29, el límite que puede aceptar es 13780mm para que este no se averíe. Finalmente, se puede comprobar que los mayores desplazamiento del material de plástico en los extremos de la campana sobre lo que incide directamente el viento. El desplazamiento máximo es de 22966,9 mm lo que determina el punto más crítico de la pieza con esta presión.

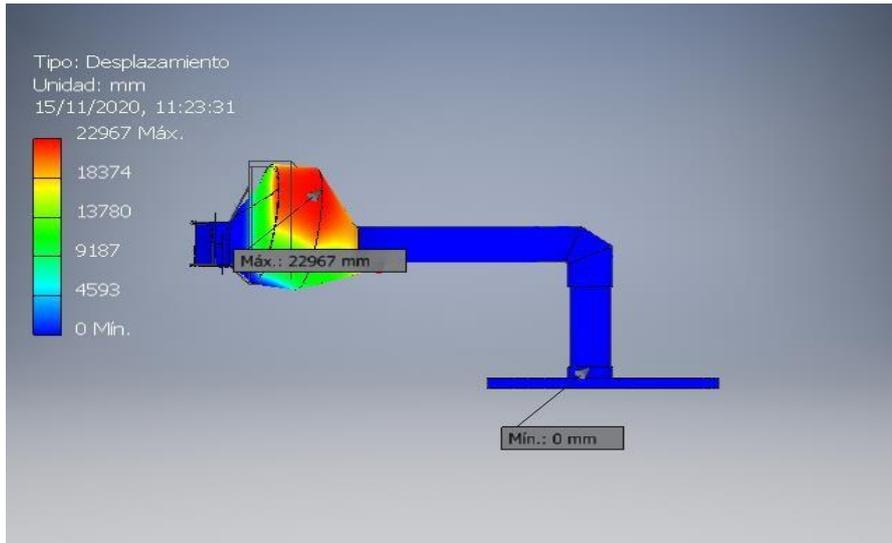


Figura 29 Desplazamiento plástico.

Fuente: Autores

### 7.3.7. Coeficiente de Seguridad Plástico

El coeficiente de seguridad aplicado se muestra, con la escala de colores mostrando un área donde el mínimo es 0 en rojo y el máximo es 15 de azul. Se visualiza que existe un factor de seguridad menor en la zona de entrada de presión que en el resto del componente.

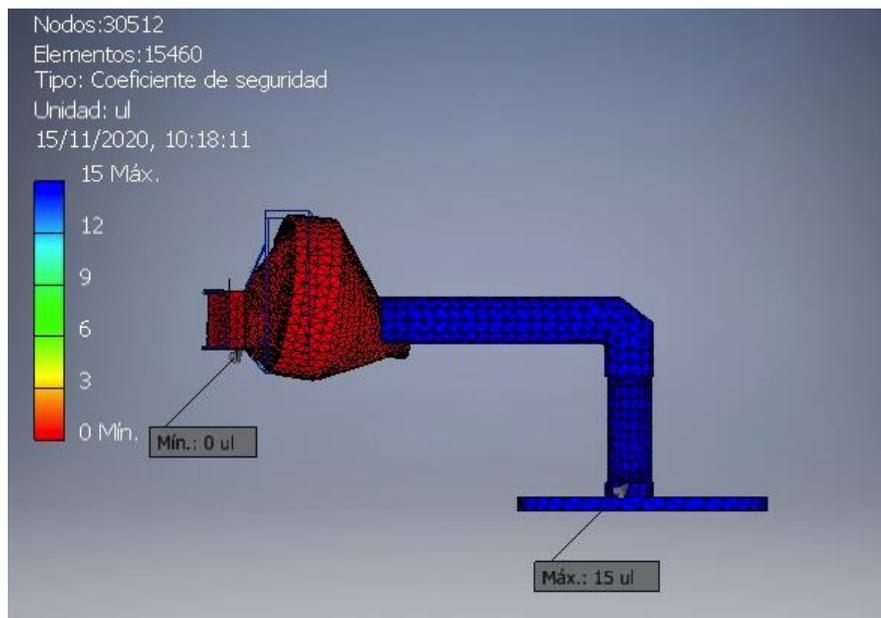


Figura 30 Von Moises plástico.

Fuente: Autores

### **7.3.8. Elección de Material.**

A través de la primera simulación de flexión, se encontró que se obtuvo el mejor factor de seguridad. Durante la prueba de esfuerzo representativa de Von Moisés, el prototipo diseñado no mostró que ningún punto del mecanismo excediera la tensión de rotura con el material de aluminio.

Así mismo, las deformaciones equivalentes son distintas dependiendo del material esto se produce en los extremos de la campana sobre las que incide directamente el viento con independencia de la posición en la que se encuentre el eje. La posición del eje sólo va a influir en la magnitud del desplazamiento. En cualquier caso, el desplazamiento máximo es de 755 mm, un desplazamiento asumible para un elemento flexible como el aluminio; con respecto al plástico tiene un desplazamiento máximo es de 22966,9 mm se recomienda el aluminio.

El factor de seguridad de la estructura es de 15, lo que significa que la resistencia que puede soportar es de 15 veces mayor que el valor calculado, se debe trabajar bajo la fuerza previamente establecida para evitar cualquier tipo de riesgo lo que se recomienda el material del aluminio.

## **7.4. Control inteligente aplicado en el vehículo para la disipación de calor en los discos de freno.**

### **7.4.1. Construcción de red neural y controlador de microprocesador.**

Con el uso del software Matlab se diseñará la red neuronal capaz de controlar el enfriamiento de los discos de freno, basado en un modelo computación cuya estructura de capaz se asemeja a la estructura de una neurona del cerebro, una red neuronal puede reconocer patrones, clasificar datos y pronosticar eventos futuros, con un entrenamiento previo de datos.

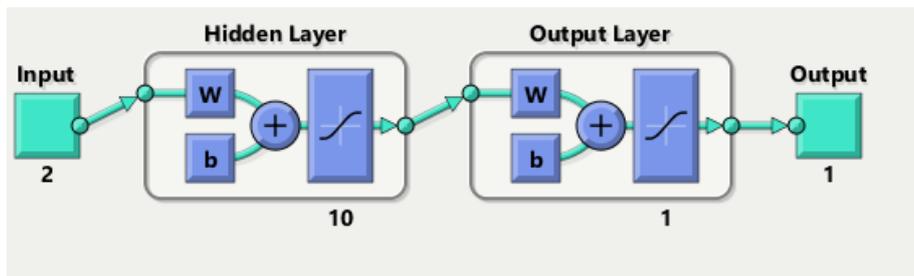


Figura 31 Estructura red neuronal.

Fuente: Autores

Para el sistema de control se utiliza la herramienta machine Learning o aprendizaje automático, se usa esta forma de inteligencia artificial ideal para un conjunto posibles de acciones y determinar un objetivo o decisión correcta, con ello lograremos que el sistema pueda tomar decisiones de forma autónoma. Los datos que utilizamos son todas las posibles temperaturas que puede alcanzar un disco de freno en un acción de frenado, la cual pueda detener un vehículo de 100km/h a 0km/h, de posibles 0°C a 200°C

#### 7.4.2. Entrenamiento red neuronal.

La neurona en la primera capa recibe como entrada los datos reales que alimentan a la red neuronal, a esta capa se le llamara capa de entrada. Por otro lado, la última capa se la conoce como capa de salida, para el entrenamiento de la red neuronal se ajusta cada uno de los pesos de las entradas a todas las neuronas de esta forma las respuestas de la capa de salida se ajusten los mejor posible a los datos que conocemos.

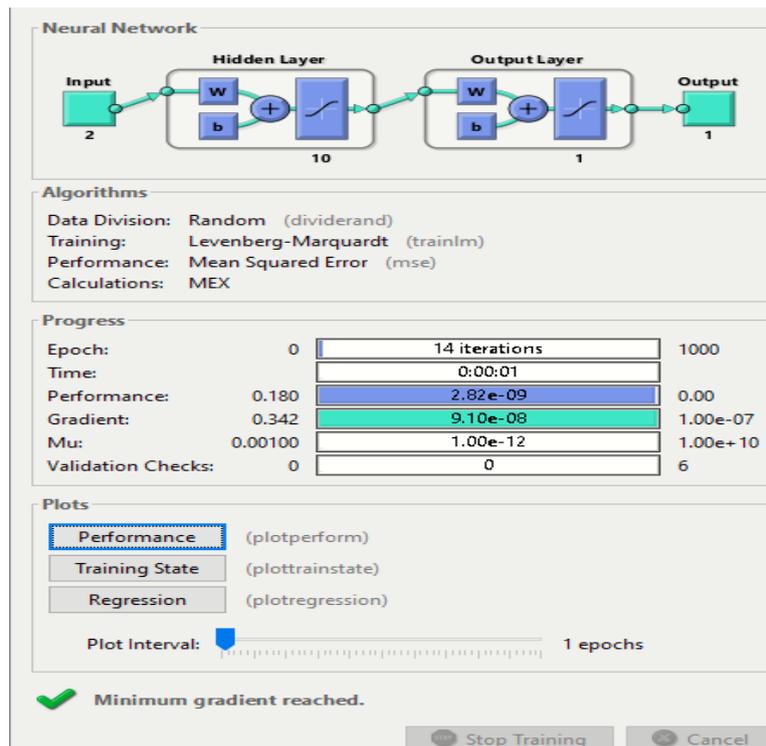


Figura 32 Entrenamiento de neurona.

Fuente: Autores

La red neuronal es entrenada con conjunto y subconjunto de datos con los cuales para cada uno de los parámetros la red neuronal se determina mediante un sensor de temperatura óptico si el disco se está calentando de esta manera tomara la decisión de enfriar el disco mediante un relé que comanda un electroventilador enviando aire para refrigerar los discos.

Se realizan pruebas en las cuales determinaremos si nuestra red neuronal puede tomar la decisión correcta al tomar un valor menor a la temperatura de control y en este caso enviar la respuesta de una unidad, para no encender el sistema de enfriamiento.

```

Main.m x matlab.m x +
1
2 %input = [20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45
3 %target = [1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0
4
5 input = [20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46
6          35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35
7
8 target = [1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
9
10 output = sim(pruebauno, [33;35])
11
<
Command Window
0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
Columns 221 through 240
1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
Columns 241 through 246
0 0 0 0 0 0
output =
1.0000
fx >>

```

Figura 33 Prueba con temperatura menor a la temperatura de control.

Fuente: Autores

Para el segundo caso tomamos un valor superior a nuestra temperatura de control y la respuesta tendrá que ser un cero, esto la comunicación con un microcontrolador enviara la señal para encender nuestro sistema de enfriamiento.

```

Main.m x matlab.m x +
1
2 %input = [20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45
3 %target = [1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0
4
5 input = [20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46
6          35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35
7
8 target = [1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
9
10 output = sim(pruebauno, [39;35])
11
<
Command Window
0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
Columns 221 through 240
1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
Columns 241 through 246
0 0 0 0 0 0
output =
1.2206e-09
fx >>
script Ln 10 Col 27

```

Figura 34 Prueba con temperatura mayor a la temperatura de control.

Fuente: Autores

De esta forma la red neuronal esta lista para tomar decisiones, se procede utilizar un microcontrolador “Arduino mega” al cual se conecta un sensor óptico de

temperatura y un relé, el Arduino mega será controlador por la red neuronal “IA” que comandará un ventilador en base a los datos tomado por un sensor de temperatura.

### 7.4.3. Sensor temperatura infrarrojo y control de ventilación.

Para el diseño del sistema eléctrico se toma el microcontrolador que permite procesar el comportamiento de la temperatura tomada por lo sensores de temperatura infrarrojos instalados a centímetros del disco de freno. Los sensores infrarrojos tienen una comunicación I2C que es un protocolo de comunicación serial, incluye dos cables SDA Y SCL. Esto permite conectar más de un sensor a la misma comunicación de manera que se puede saber la temperatura en los 2 discos de freno para una misma entrada de comunicación.

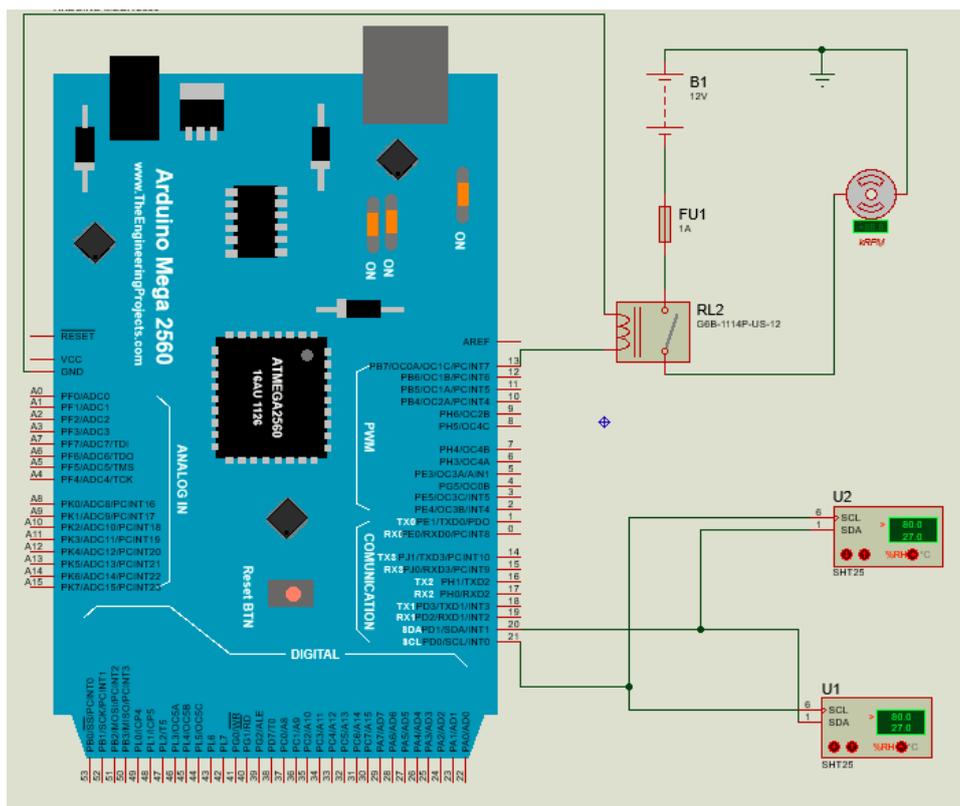


Figura 35 Sistema de conexión eléctrica.

Fuente: Autores

## **8. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO.**

### **8.1.Introducción.**

En el presente capítulo se elabora el sistema de enfriamiento así también su fabricación e implementación para esto se analizó diferentes tipos de materiales que presten el desempeño correcto con respecto al peso y maleabilidad esto apporto un punto importante al momento de la fabricación de los componentes también se implementó el sistema eléctrico que es comandado y monitoreado por una red neuronal que es capaz de detectar la temperatura y accionar los electroventiladores en fases tanto en mínimas como altas revoluciones.

### **8.2.Construcción de los ductos en el vehículo.**

Para los discos de freno calientes hay muchas maneras de redirigir aire fresco. Uno de los más económicos y sencillos es tener un alabe en forma de aleta y fijarlo colocandolo a la mordaza para que el aire se dirija al disco cuando el vehículo este en movimiento. Una desventaja es que no existe restricción de lo que golpea con el disco. De modo que a corto plazo se puede producir daños en la superficie.

#### **8.2.1. Construcción del circuito de tuberías y alojamiento del ventilador.**

El sistema de enfriamiento se comienza con la construcción de soporte frontal para el ventilador eléctrico que comunica el aire exterior con el interior del sistema.

Este se realizó mediante impresión en 3D se optó por este método de fabricación por el poco espacio que dispone el vehículo y necesita que todo encaje con una holgura mínima acorde a las dimensiones del vehículo.

Teniendo en cuenta la impresión en 3D, la pieza se fabricó con ABS un filamento termoplástico que a diferencias de otros como el PLA su resistencia a los impactos es

mucho mayor y la temperatura de resistencia esta entre  $-20^{\circ}\text{C}$  y  $80^{\circ}\text{C}$ , ya que es una pieza que está en contacto con un constante golpe de aire.



Figura 36 Alojamiento del ventilador

Fuente: Autores

Para el resto del sistema de conductos a excepción de los tubos corrugados, se tomo la decisión de construirlos de acero ASTM A-36 (NTC 1920) según la Tabla 7, su alta soldabilidad, permite que se pueda soldar con cualquier tipo de electrodo recubierto de acero al carbono, se puede generar un doblado de la forma que necesite el fabricante, tiene la mayor fuerza de tracción y puedes soportar cargas elevadas.

Tabla 7 Propiedades mecánicas del material

Fuente: Autores

<b>PROPIEDADES MECÁNICAS ACERO ASTM A-36 (NTC 1920)</b>	
Límite de fluencia mínima	2530 $\text{kg}/\text{cm}^2$
Resistencia a la tracción	4080-5620 $\text{kg}/\text{cm}^2$
Dolado a $180^{\circ}$	Bueno
Soldabilidad	Buena

Para dar soporte posterior al ventilador eléctrico, la estructura metálica adopta una forma cónica esto hace que se adapte al mismo con las dimensiones correctas la unión del soporte frontal del electroventilador y se agrega una conexión para el ducto del disco de freno como se puede apreciar en la Figura 37 adicional, se realiza un pulido con un cepillo de acero para eliminar las imperfecciones y generar un excelente acabado.



Figura 37 Estructura metálica de soporte del electroventilador

Fuente: Autores

Se elabora un plegado y acabado de la estructura metálica, los elementos que componen el conducto de ventilación se cortaron con mayores medidas para facilitar el montaje, todo ello es gracias al acero que permite realizar todo este tipo de procesos para obtener un excelente acabado.

Con ayuda de las herramientas mecánicas, se procede un corte longitudinal en la sección cónica como se muestra en la Figura 38, y además, se realiza las curvas con la dobladora de los elementos de acero dulce para el ensamblaje.



Figura 38 Cortes del soporte

Fuente: Autores

Se debe considerar la ubicación del ventilador eléctrico ya que la forma de sus aletas solo dirigirá el aire en una dirección.



Figura 39 Ubicación del electroventilador

Fuente: Autores

Para direccionar el aire hacia el disco de freno necesitamos extraer el guardapolvo del vehículo, lo cual es necesario sacar el sacar los ejes, terminales, suspensión, plato. Para así sacar la manzana y extraer el guarda polvo este proceso serio al otro lado de la misma manera.



Figura 40 Extraer el plato de protección del disco de freno.

Fuente: Autores

Los conductos de aire se clasifican de acuerdo con la cantidad de aire que transportan, el diámetro del conducto debe ser de 3 in y debe estar hecho de material flexible para adaptarse al movimiento direccional.



Figura 41 Conducto flexible de aire

Fuente: Autores

Se realiza una construcción de un guarda polvo y diseño con las dimensiones que se requiere para la estructura, para cortar de forma que es necesario un agujero en el protector del disco se elabora con el proceso de oxicorte.



Figura 42 Construcción del plato de protección del disco de freno

Fuente: Autores

Adicional, soldamos en el orificio un tubo del mismo diámetro que facilite la sujeción de la manguera, para ello ocupamos un tubo de 3 in, los elementos se sueldan para formar un elemento.



Figura 43 Soldadura del acople de la tubería de ventilación de plato de protección.

Fuente: Autores

Se coloca un soporte en el plato protector para así sujetar este elemento con los pernos que sujetan el amortiguador y la araña para mantener estable este elemento.



Figura 44 Soporte del plato protector

Fuente: Autores

Pulido y amolado para eliminar imperfecciones de los elementos. Este se crea mediante la soldadura que se les da a los elementos para unir.

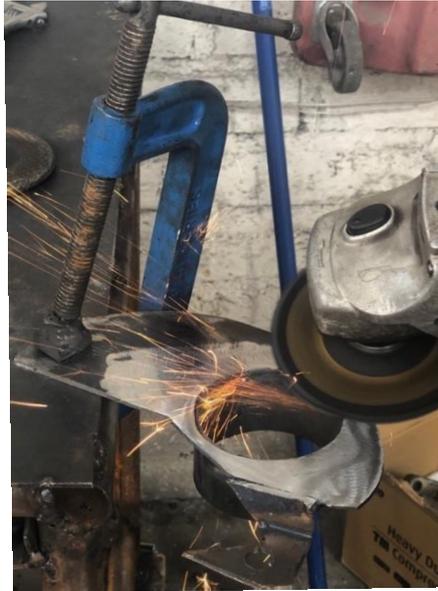


Figura 45 Pulido y amolado del plato protector

Fuente: Autores

Para mejorar los elementos pintamos cada uno y así darles una estética a los elementos. Aquí es donde se coloca la manguera flexible, con el fin de tener movilidad ya que la dirección de aire debe ser curvada para acoplarse al protector del disco de freno, por lo que, además también debe adaptarse al movimiento de giro del vehículo.



Figura 46 Pintado del plato protector

Fuente: Autores

El plato protector se coloca sobre la manzana sujetando con los pernos del amortiguador para que estos con el movimiento del vehículo permanezcan estáticos.



Figura 47 Instalación del palto protector al sistema.

Fuente: Autores

### **8.3. Implementación de los componentes electrónicos del sistema.**

Para la implementación de control inteligente, se ubica el soporte de la pantalla led en la consola central del vehículo el soporte es diseñado en acero de 1mm de espesor, en el mismo estará ubicado el botón que dé inicio una pantalla que indique el consumo de amperaje de los electroventiladores la temperatura de los discos y velocidad del vehículo.

Se elige una platina de acero de 1mm de espesor, la cual se corta y perfora para poder colocar la pantalla LCD que indica la temperatura del sistema así también un switch el cual da paso a la alimentación del relé que activa los electroventiladores, la consola central es perforada en la ubicación donde el conductor tenga fácil acceso.



Figura 48 Perforado de platina.

Fuente: Autores

El sistema comienza con el registro de temperatura de los discos de freno por medio del sensor infrarrojo y la velocidad del vehículo por medio del sensor hall, estos datos son visualizados en una pantalla LCD por medio del Arduino Mega 2560, el cual se comunica con la neurona en Matlab en este caso se utiliza una temperatura de  $70^{\circ}\text{C}$ , la neurona esta entrenada de forma que al registrar un aumento de temperatura gradual después de los  $60^{\circ}\text{C}$  hasta los  $70^{\circ}\text{C}$  enviara una señal a un micro relé que dará paso a encender el ventilador en bajas revoluciones, pasado esta temperatura el sistema electroventilador encenderá en altas revoluciones.

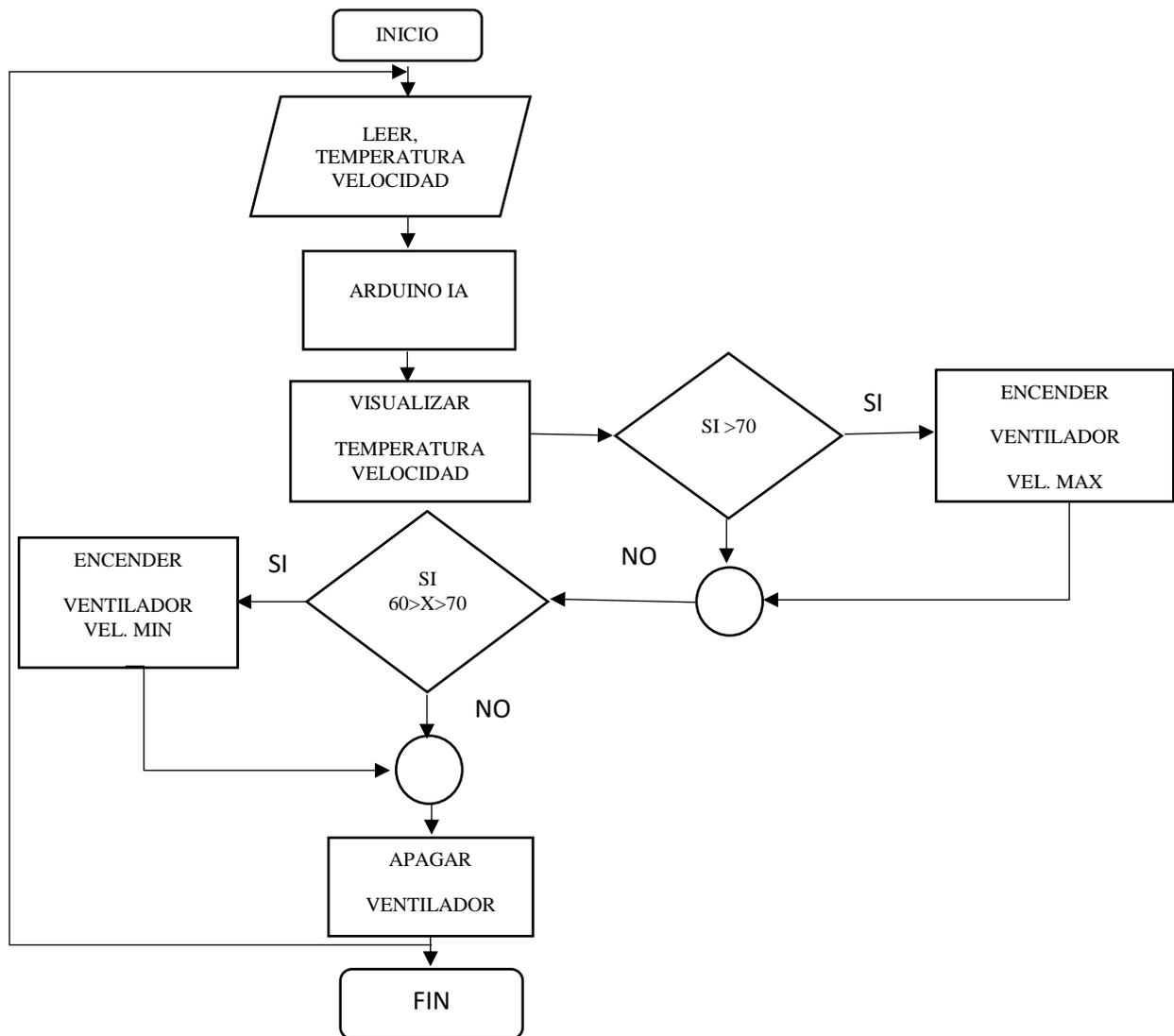


Figura 49 Diagrama de flujo circuito eléctrico.

Fuente: Autores

El cableado del sistema eléctrico se conecta desde el positivo de los electroventiladores al positivo de la batería con un fusible de 15 A, el comando de los electroventiladores se realizará en el GND ya que estos funcionaran en 2 velocidades mínima y max, estas serán controladas por la red neuronal.

En el micropocesdor arduino se conectan los 3 sensores, 2 infrarrojos de temperatura y un sensor Hall. La señal de salida para comando de los electroventiladores será el pin 11 y 12 se activará microrele.

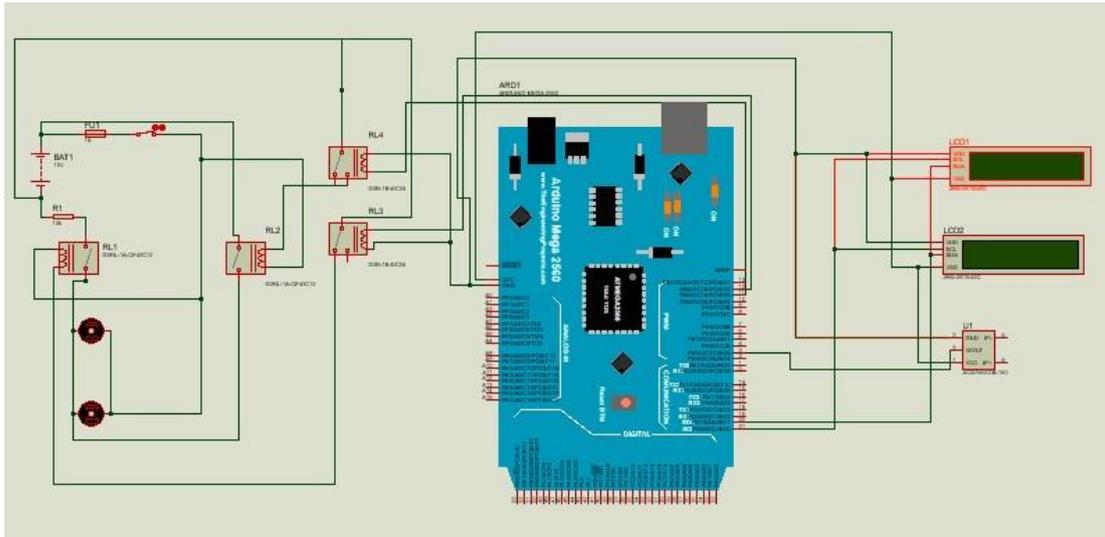


Figura 50 Sistema eléctrico

Fuente: Autores

A los sensores de temperatura infrarrojos se les suelda los cables y colada un socket que facilita la comunicación del sensor con el cableado principal, en cada uno de los puntos de suelda que se realiza se procede al aislamiento con protector termo fundente.



Figura 51 Socket de comunicación del sensor.

Fuente: Autores

Se procede a la fabricación del cableado principal que tiene que recorrer desde el frente del vehículo, pasando por los discos de freno y terminando en la cabina donde se hará el monitoreo del sistema.

#### **8.4. Implementación del sistema de enfriamiento en los discos de freno.**

##### **8.4.1. Guardachoque**

El guardachoque del vehículo liviano se ha modificado para tener una entrada de aire en la parte inferior. En este caso, se realiza algunos cortes para ensamblar el soporte del electroventilador.



Figura 52 Guardachoque del vehículo

Fuente: Autores

Se realiza cortes no invasivos al frontal del vehículo para que pueda encajar el conjunto del electroventilador.



Figura 53 Marcar el elemento

Fuente: Autores

Con la amoladora se realizan cortes en la sección marcada como se muestra en la Figura 54, estos cortes no afectan el compacto del vehículo. De manera que no afecta la estructura del vehículo y por el poco espacio se procede a recortar esta zona para colocar los soportes y electroventiladores, por lo que se eligió esta posición ya que es la más adecuada, se hizo puntos de fijación extras para los soportes del electroventiladores.

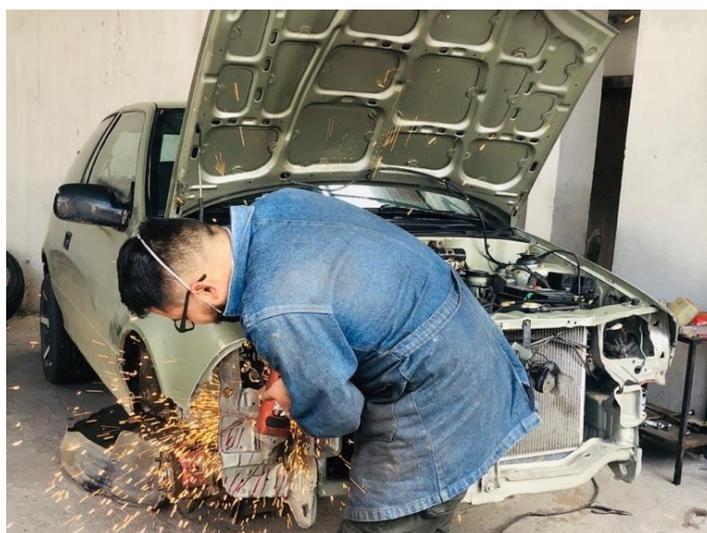


Figura 54 Corte de la sección marcada

Fuente: Autores

#### **8.4.2. Adaptación del conducto que comunica la entrada de aire con el electroventilador al guardachoque.**

Para ajustar estos elementos, se hace una platina para sujetar el guardachoque con la impresión 3D, y luego se fijan con pernos y tuercas a estos elementos para mantenerlos estables, soportando así el ventilador eléctrico.



Figura 55 Instalación de la impresión 3D al guardachoque

Fuente: Autores

El momento que todo encaja bien, podemos apreciar como esta terminado la entrada de aire de modo que estaría listo la parte frontal del vehículo.



Figura 56 Entrada de aire

Fuente: Autores

En un tubo pequeño se realizan cortes longitudinales para poder introducir las mangueras que atraviesen el metal, permitiendo de esta manera la sujeción en el vehículo, lo que ayuda a evitar fricciones con diferentes componentes y permite la ejecución cómoda de las operaciones que se producen durante la prueba o conducción. Este componente va sujeto a la carrocería mediante pernos y tuercas.



Figura 57 Soporte del ducto de ventilación

Fuente: Autores

Es necesario hacer una placa de acuerdo al tamaño requerido para el soporte del ducto, lo que ayuda a proteger el elemento y se desplace dependiendo la situación de

giro y este no genere daños, con el taladro se perfora un agujero en la placa y así poder sujetar con una tuerca al perno del amortiguador.



Figura 58 Fabricado de soporte de abrazadera

Fuente: Autores

De la misma forma, se realiza otra pieza similar a la Figura 59, pero ahora se complementa la platina con este soporte, y estos componentes se conectan entre sí mediante soldadura, de manera que el ducto de aire se puede fijar, y se acopla con los pernos del soporte del amortiguador. Este mismo proceso es aplicado al otro lado de la dirección.

Con la finalidad de los ductos se movilizan con el amortiguador.



Figura 59 Soporte del ducto de ventilación con placa

Fuente: Autores

### 8.4.3. Adaptación del panel de control en el vehículo

El circuito principal de control de temperatura está compuesto por el microcontrolador ATMEGA 2560. Puede ser alimentado a través de la conexión USB o con una fuente de alimentación externa. El Arduino Mega posee algunos pines para la alimentación del circuito aparte del adaptador para la alimentación:

- VIN: La placa puede recibir alimentación a través de este pin.
- 5V: Podemos obtener un voltaje de 5V y una corriente de 40 mA desde este pin.
- GND: Ips pines de tierra.

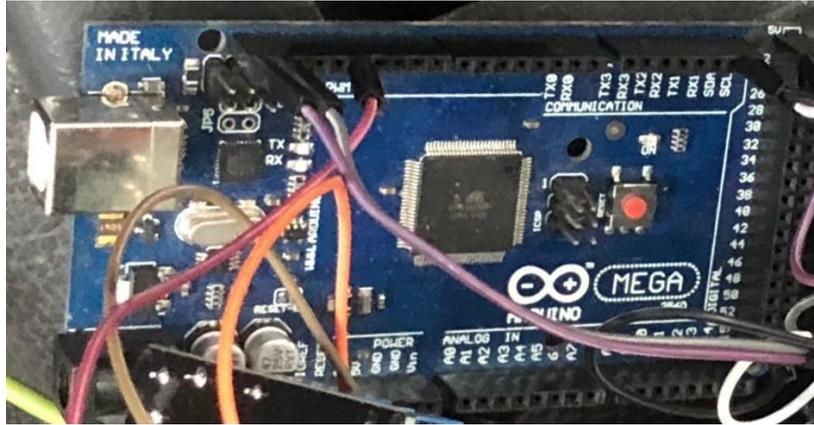


Figura 60 Arduino

Fuente: Autores

La pantalla tiene una retroiluminación de LED y puede mostrar dos filas con hasta 16 caracteres en cada fila, la pantalla está diseñada para mostrar texto.

En este Kit es necesario soldar el módulo adaptador I2c a la pantalla LED, el controlador de LCD I2C es un dispositivo que nos permite controlar una pantalla a través del bus I2C.



Figura 61 LCD

Fuente: Autores

Nos ayuda a visualizar el voltaje de la batería y el consumo de amperaje de los electroventiladores.



Figura 62 Multímetro

Fuente: Autores

Se utilizan dos LED de alto brillo para indicar cuando el ventilador eléctrico gira a alta velocidad, se iluminará de rojo y, a baja velocidad, se iluminará de verde.



Figura 63 LED

Fuente: Autores

Para proteger el circuito y proporcionar una mayor comodidad para el encendido del circuito, se instala un switch de paso de corriente en la consola de control del sistema.

Este elemento se encarga de enviar la señal al relé de la batería.



Figura 64 Switch  
Fuente: Autores

La batería suministra la energía, por este motivo el sistema está protegido por un fusible de 15 A por un posible caso de corto circuito, después se instala el Switch que comunica el voltaje de la batería con el resto del sistema eléctrico.



Figura 65 Fusibles de protección.

Fuente: Autores.

Una vez que se completa las conexiones del circuito, izquierdo y derecho del electro ventiladores se ensamblan cableados desde la batería, el cable se puede enrollar para mejorar la visibilidad.



Figura 66 Conexionado de circuitos

Fuente: Autores

El orificio de conexión del habitáculo del vehículo se utiliza para conducir el cableado del circuito, el control de señales de sensores y electroventiladores al interior del monitor del sistema de refrigeración.



Figura 67 Orificio de comunicación del habitáculo

Fuente: Autores

La base del circuito y el monitor están ubicados en la consola de la palanca de cambios, que está atornillada para brindar estabilidad y facilitar su operación.



Figura 68 Base y monitor del circuito eléctrico.

Fuente: Autores

#### 8.4.4. Adaptación del sensor infrarrojo en el vehículo

Se perforan orificios en el plato que protege el disco de freno, colocando al sensor infrarrojo y sensor hall, cada uno se emperna al plato protector para dar sujeción a los sensores.



Figura 69 Adaptación del sensor infrarrojo y sensor hall en el vehículo

Fuente: Autores

Después de que todos los conductos estén listos con todos los componentes instalados y calibrados, procedemos a colocar en el vehículo en la parte inferior delantera. Los mismos agujeros de la carroceía del automóvil se utilizan para evitar mecanizar otros. Los limitadores de aire se instalaron en el plato de la suspensión del vehículo con bridas, es necesario fijar a las mangueras flexibles en la placa protectora del disco.



Figura 70 Instalado de sistema de enfriamiento.

Fuente: Autores

#### 8.4.5. TARADRADO EN LOS DISCOS.

Una vez que se ha construido la tubería de ventilación, ahora se perforan los discos de freno.



Figura 71 Taladrado en los discos.

Fuente: Autores

Cabe destacar que se debe tener cuidado con el diámetro, ya que atraviesa el canal de ventilación del propio disco, se utiliza un taladro de mesa para hacer los agujeros e los lugares estratégicos del disco de freno, para evitar aristas, después de finalizar se realiza un avellanado.

El propósito principal del avellanado es evitar los puntos calientes en el disco de freno, ya que un agujero tiene un borde y es aquí donde se concentra las altas temperaturas, mientras que un agujero avellanado tiene dos bordes, aliviando tensiones. Hay tres tipos de mecanizado de agujeros.

- a) Agujero sin avellanar; es la zona que en donde se localiza altas temperaturas presentan una arista de  $90^\circ$ .
- b) Agujero avellanado; Tiene dos aristas, y el ángulo puede ser menor a  $90^\circ$  En este tipo, al concentrarse la temperatura en las dos aristas, se elimina el las tensiones por las altas temperaturas.
- c) Agujero sin aristas; el agujero no tiene bordes, por lo que no habrá puntos calientes porque la temperatura se distribuye uniformemente en la curvatura.



Figura 72 Avellanado del disco de freno  
Fuente: Autores

#### 8.4.6. Pruebas de Funcionamiento

Se utiliza un indicador de temperatura para saber a cuantos grados se encuentra el disco de freno a una temperatura ambiente, a la que la temperatura puede alcanzar los 19 °C.



Figura 73 Indicador de temperatura ambiente

Fuente: Autores

Para aumentar la temperatura del disco de freno, se realiza diferentes operaciones de frenado, y luego se coloca el indicador de temperatura para distinguir el aumento de temperatura, que resulta en 64 °C.



Figura 74 Indicador de temperatura

Fuente: Autores

Para seguir aumentando la temperatura del disco, seguimos presionando el pedal del freno para obtener así una temperatura de 82 °C.



Figura 75 Indicador de temperatura elevado

Fuente: Autores

Para facilitar la comprensión, se colocó cinta alrededor del disco para demostrar el contenido de la señal de aumento de temperatura y se produce el encendido de los electroventiladores para enfriar los discos de freno.



Figura 76 Ventilación en discos  
Fuente: Autores

En donde los electroventiladores consumen un amperaje total de 6.23 A.



Figura 77 Temperatura y Amperaje del sistema  
Fuente: Autores

### 8.5.Proforma y compra de componentes.

En la siguiente proforma se especifica el costo de los elementos que se utilizan para la construcción e implementación del sistema de enfriamiento, tanto para el sistema de ductos y la implementación del control inteligente.

Tabla 8 Proforma de componentes  
Fuente: Autores

<b>N:</b>	<b>DENOMINACIÓN</b>	<b>CANT.</b>	<b>COSTO UNIT. (USD)</b>	<b>VALOR TOTAL (USD)</b>
1	Transporte	-	80	80
2	Guardachoque Gti	1	180	180
3	Mano de obra	2	400	800
4	Cable	10	0,75	7,5
5	Electroventiladores	2	30	60
6	Horas impresión 3D	48	3	144
7	Microprocesador	1	25	25

8	Sensores de temperatura infrarrojos	2	20	40
9	Cañería flexible	2	15	30
10	Pantalla LED	1	20	20
11	Multímetro	1	11	11
12	Sensor Hall	1	20	20
13	Tubo de acero ASTM 1M (3"x 2Mm)	2	8	16
14	Plancha acero ASTM A1x1x0.003m	1	12	12
15	Cono	2	35	70
16	Resistor	1	20	20
18	Protector corrugado para cable	8	1,25	10
19	Switch	2	2	4
20	Insumos	1	50	50
21	Consola del Susuki	1	40	40
<b>SUBTOTAL (USD)</b>				<b>1639,5</b>

IMPREVISTOS (25%)	60
<b>TOTAL (USD)</b>	<b>1699,5</b>

## **9. DESARROLLAR PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS PARA DETERMINAR EL DESEMPEÑO DEL SISTEMA.**

### **9.1.Introducción**

En el presente capítulo, se determina los lugares estratégicos para las pruebas, se pondrá a prueba el sistema de frenos del vehículo sin un sistema de enfriamiento, después con la instalación del sistema de ventilación para determinar la eficiencia en la disipación de calor, adicional se realiza pruebas de velocidad de aire con el vehículo estático en donde se especificara cada ducto, y finalmente se realizara los cálculos de la eficiencia del sistema.

### **9.2.Especificación de las rutas pronunciadas en la ciudad para las pruebas.**

#### **9.2.1. Selección de Ruta de prueba**

##### **Situación actual de la ciudad de Cuenca**

Azuay está ubicada en la zona austral de la Sierra ecuatoriana, fundada el 12 de Abril de 1557, actualmente es la tercera Ciudad más poblada e importante del Ecuador después de Quito y Guayaquil.

##### **División política**

Cuenca está dividida en 15 parroquias urbanas y en 21 parroquias rurales, son representadas por las Juntas Parroquiales ante el Municipio de Cuenca.

La división geográfica de Cuenca es la siguiente:

1) Molleturo, 2) Chaucha, 3) Sayausí, 4) Chiquintad, 5) Checa, 6) San Joaquín, 7) Baños, 8) Sinincay, 9) Octavio Cordero Palacios, 10) Sidcay, 11) Llacao, 12) Ricaurte, 13) Cuenca, 14) Paccha, 15) Nulti, 16) Turi, 17) El Valle, 18) Santa Ana, 19) Tarqui, 20) Victoria del Portete, 21) Cunbe, 22) Quingeo.

**Parroquias Rurales mapa:**

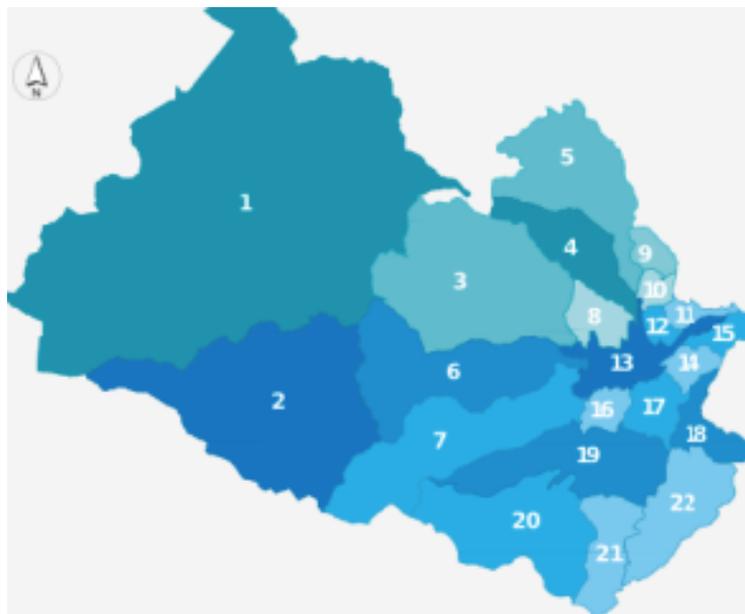


Figura 78 Parroquias Rurales  
Fuente: <http://www.cuenca.gov.ec>

**El sector Urbano se encuentra compuesto por las siguientes parroquias:**

1) San Sebastián, 2) El Batán, 3) Yanuncay, 4) Bellavista, 5) Gil Ramírez Dávalos, 6) El Sagrario, 7) San Blas, 8) Cañaribamba, 9) Sucre, 10) Huaynacapac, 11) Hermano Miguel, 12) El Vecino, 13) Totoracocha, 14) Monay, 15) Machángara.

### **Parroquias Urbanas mapa:**

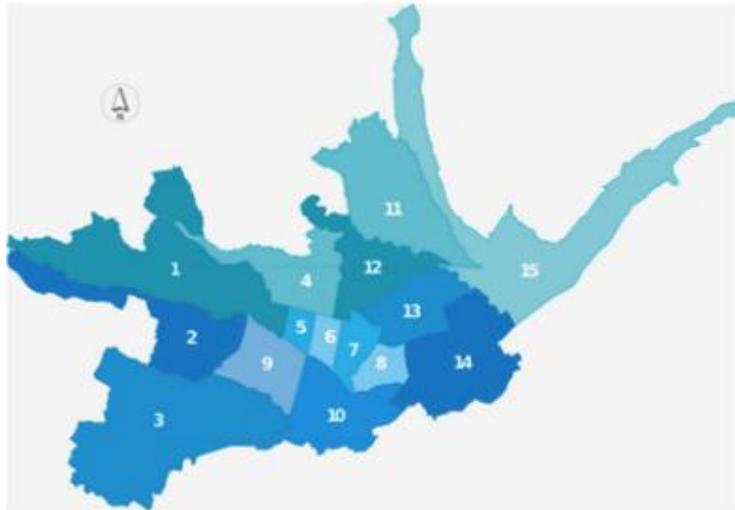


Figura 79 Parroquias Urbanas  
Fuente: <http://www.cuenca.gov.ec>

Una vez explicado su división y su ubicación, procedemos a elegir las rutas para las pruebas del tema propuesto.

Según la publicación de (Diario Mercurio, 2016) (enero- noviembre), 83.309 vehículos se matricularon, según la EMOV EP, existiendo aproximadamente 111.000 unidades en toda la Ciudad, además son 90.000 los vehículos que ingresan al Centro Histórico a diario ya sea públicos o privados.

### **Grado de saturación**

Se establece que, el nivel de saturación de la Ciudad de Cuenca durante las horas pico se muestra en la siguiente Figura 80.

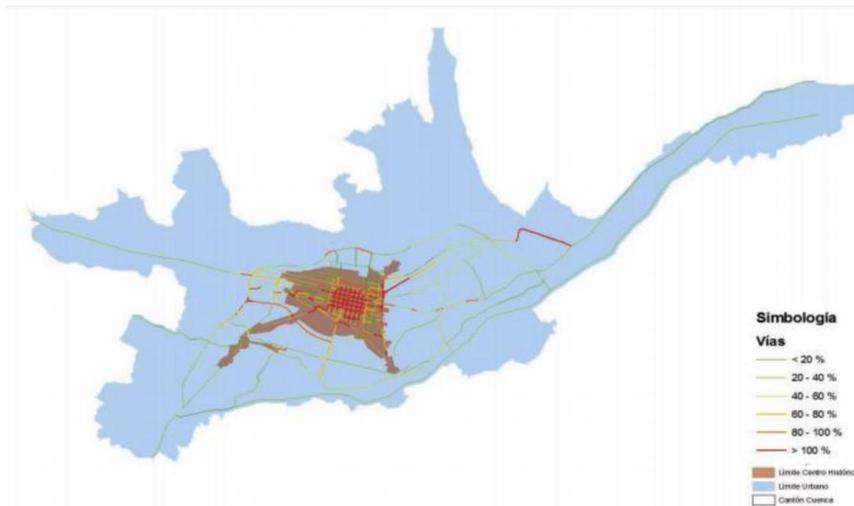


Figura 80 Grados de Saturación en Cuenca  
Fuente: Dirección Municipal de Tránsito, 2015

Según la Figura 80 (Dirección Municipal de Transporte de Cuenca, 2015), los resultados son los siguientes:

- Entre el 61% de las carreteras, del 20 al 60% de las carreteras están congestionadas y el 80% de las carreteras tienen más capacidad de la que pueden soportar.
- La capacidad vial total de la Ciudad de Cuenca supera el 13%, correspondiente a calles especificadas del centro histórico de Cuenca, el mismo patrón se puede apreciar las avenidas como la Ordoñez Lasso, 12 de Abril, Huayna Capac y además en la calle Condamine.

Debido a la implementación del “Tranvía” por las calles de la ciudad, esto se ve afectado en muchos lugares, lo que ha resultado una gran cantidad de vehículos, provocando alta cantidad de tráfico vehicular, en especial un tramo de la Avenida de las Américas, o calles del Centro Histórico como la Gran Colombia y Mariscal Lamar. (Dirección Municipal de Tránsito, 2015)

Llegando a la conclusión las pruebas se realizarán por las afueras de la ciudad para realizar por la elevada cantidad de tráfico vehicular que existe en el Centro Histórico.

### **9.2.2. Rutas estratégicas pronunciadas en la ciudad para las pruebas.**

Vamos a iniciar con una de las parroquias rurales, de las cuales la escogida para dar inicio es la parroquia bastante conocida en la ciudad de Cuenca que es Paccha.

Se encuentra ubicada a 10 kilómetros de la ciudad de Cuenca, está a 2600 m.s.n.m al noroeste de la ciudad. Paccha está conectada con la ciudad de Cuenca a través de dos vías de primer orden como son la Panamericana y la Vía Cuenca -Azogues.

El análisis se basa en una trayectoria extensa, la primera ruta es desde la autopista Cuenca-Azogues que inicia desde la Circunvalación Sur y finaliza en la vía Paccha se puede alcanzar un límite permitido de 100 km/h hasta llegar al punto de Ucubamba este trayecto es directo consta 13.1 km después se ingresara para la Vía Paccha lo que es una pendiente pronunciada 2,4 km desde Ucubamba hasta Paccha, en este trayecto se realizaran las pruebas con el control inteligente y sin el control inteligente y viceversa las trayectorias.

Para la obtención de datos se accionará el pedal del freno continuamente y se analizaran los datos.

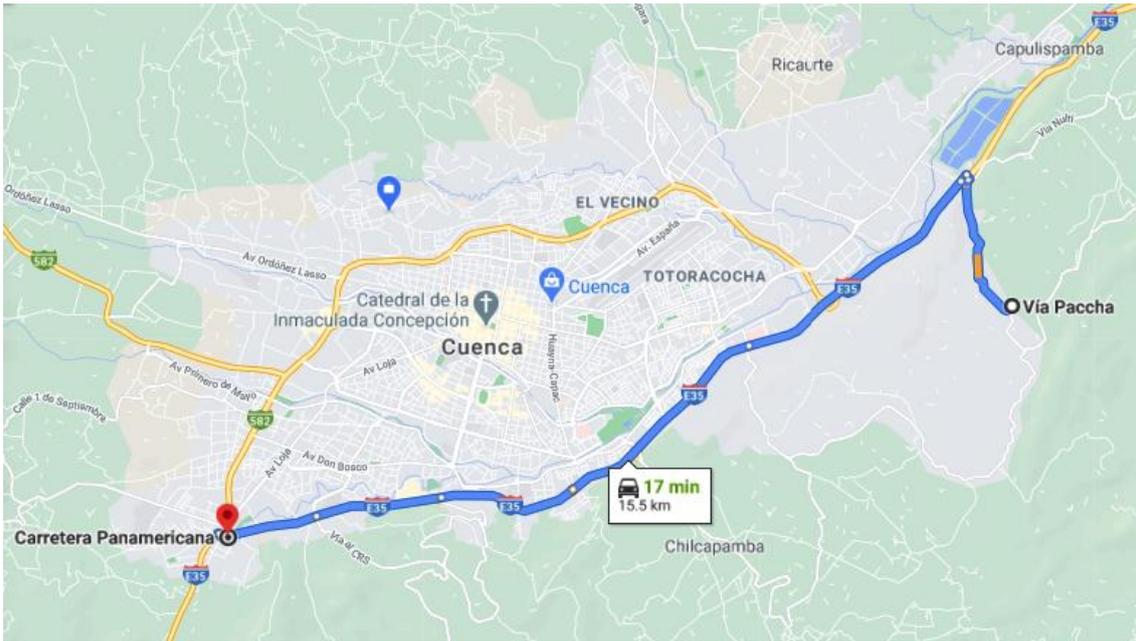


Figura 81 Ruta Panamericana Sur - Vía Paccha  
Fuente: Autores

A continuación, se va a determinar la segunda prueba, se eligió la parroquia Sinincay esta localizada al noroeste de Cuenca, a 6 kilómetros de distancia del Centro Histórico.

Se inicia la prueba desde la parroquia Sinincay en donde existen curvas y pendientes pronunciadas lo que se realizara a una velocidad de 60 – 70 km/h, esta velocidad nos permitirá recolectar los datos que necesitamos para generar una tabla de valores, se finalizara en la Avenida Turuhuayco.

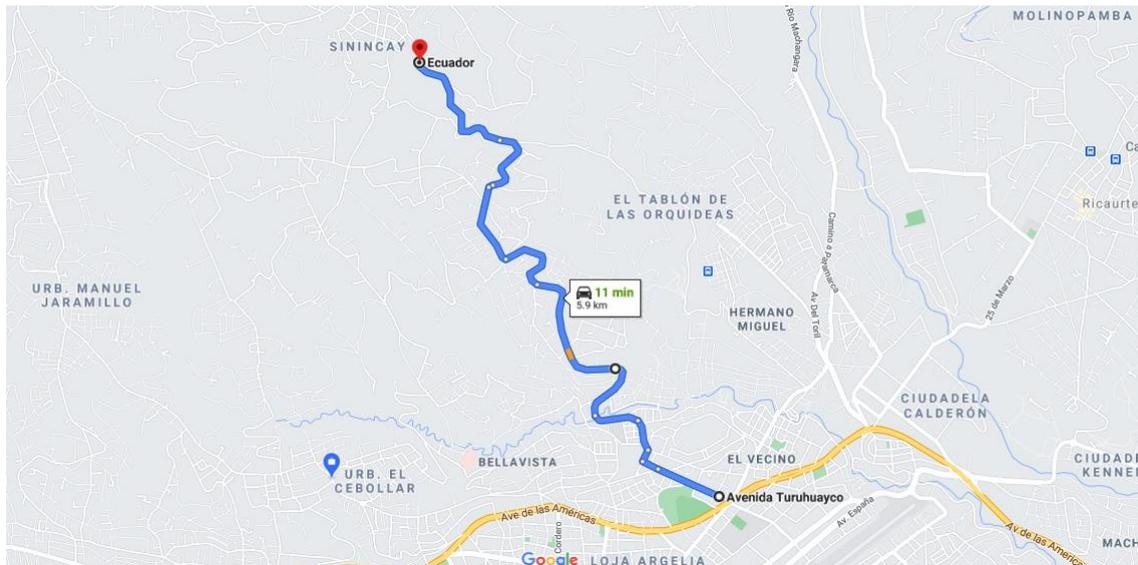


Figura 82 Ruta Sinincay - Av. Turuhuayco  
Fuente: Autores

### 9.3. Pruebas de ventilación.

Con el sistema en funcionamiento, se procede a realizar pruebas de medición en diferentes puntos del sistema de ventilación de la velocidad del aire, con el afán de conocer la efectividad del sistema y sus tuberías. Las pruebas se realizarán con el vehículo estático y prueba en ruta.

#### 9.3.1. Prueba de velocidad de aire

Las pruebas de velocidad se realizarán en diferentes puntos del sistema donde se utilizará un anemómetro para no entorpecer la medición esto se realiza en una sola posición determinada, se puede visualizar los datos en m/s.

Una vez realizado las pruebas de velocidad estático los electroventiladores en mínima obtenemos la siguiente tabla:

Tabla 9 Prueba de velocidades mínima estático de los electroventiladores.  
Fuente: Autores.

<b>PRUEBA DE VELOCIDAD ESTÁTICO MÍNIMA</b>		
	<b>CONDUCTO IZQUIERDO</b>	<b>CONDUCTO DERECHO</b>
Velocidad de aire en la entrada de la campana	5,4 m/s	5 m/s
Velocidad de aire en la salida de tubería rígida	4,5 m/s	4,7 m/s
Velocidad de aire en la entrada del plato de disco	7,65 m/s	7,84 m/s

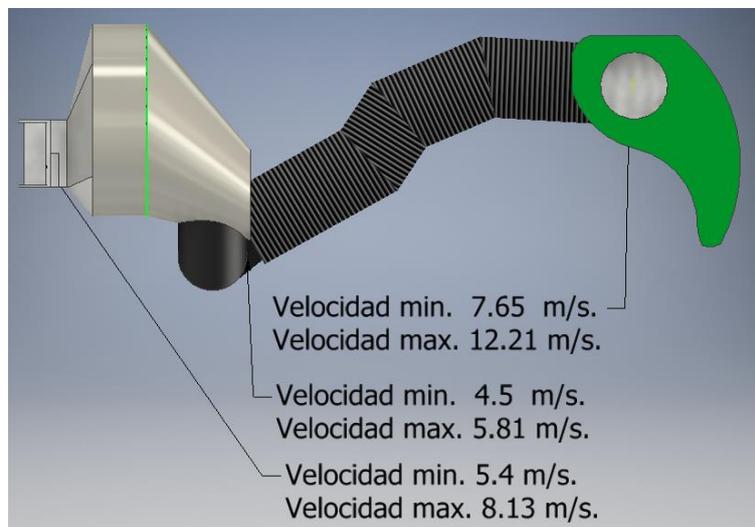


Figura 83 Prueba de velocidad estático-mínima.  
Fuente: Autores.

La prueba de velocidad estática en máxima de los electroventiladores da como resultado lo siguiente:

Tabla 10 Prueba de velocidades máxima estático de los electroventiladores.  
Fuente: Autores.

<b>PRUEBA DE VELOCIDAD ESTÁTICO-MÁXIMA</b>		
	<b>CONDUCTO IZQUIERDO</b>	<b>CONDUCTO DERECHO</b>
Velocidad de aire en la entrada de la campana	8,13 m/s	8,52 m/s
Velocidad de aire en la salida de tubería rígida	5,81 m/s	5,95 m/s
Velocidad de aire en la entrada del plato de disco	12.21 m/s	11.98 m/s

El vehículo embancado se lleva a cabo una velocidad de 60 km/h, los electroventiladores en máxima se genera una tabla de resultados:

Tabla 11 Prueba de velocidad estática en máxima a 60 km/h.  
Fuente: Autores.

<b>PRUEBA DE VELOCIDAD 60 km/h MÁXIMO</b>		
	<b>CONDUCTO IZQUIERDO</b>	<b>CONDUCTO DERECHO</b>
Velocidad de aire en la entrada de la campana	15 m/s	15.86 m/s
Velocidad de aire en la salida de tubería rígida	13,38 m/s	13,14 m/s
Velocidad de aire en la entrada del plato de disco	15,67 m/s	15,01 m/s

El vehículo embancado se genera una velocidad de 60 km/h, los electroventiladores en mínima se genera una tabla de resultados:

Tabla 12 Prueba de velocidad estático en mínima 60km/h.  
Fuente: Autores.

<b>PRUEBA DE VELOCIDAD ESTÁTICO 60 km/h MÍNIMA</b>		
	<b>CONDUCTO IZQUIERDO</b>	<b>CONDUCTO DERECHO</b>
Velocidad de aire en la entrada de la campana	10,40 m/s	10,38 m/s
Velocidad de aire en la salida de la campana	10,40 m/s	10,38 m/s
Velocidad de aire en la entrada del plato de disco	12.6 m/s	12,87 m/s

Se realiza un análisis, durante el cuál se puede determinar que la velocidad de los ventiladores eléctricos no es la misma, aunque las construcciones de los ductos son las mismas. Esto significa que en los motores existe una variación de resistencia, el que produce mayor flujo de aire, genera mas rpm por ende la resistecia en el bobinado del motor es menor.

#### **9.4.Pruebas en el vehículo sin el sistema.**

##### **9.4.1. Prueba estática con discos no perforados.**

Se realiza una prueba como se observa en la Figura 84 con discos sin perforar, con el vehículo estático. Se mantiene caliente los discos de freno izquierdo y derecho en 104.3 °C y en 102,4 °C, respectivamente y prueba se realiza en marcha a una velocidad que está a un promedio de 60 km/h. se es toma un tiempo de 7 minutos y 96 segundos en alcanzar 70 °C según la tabla de resultados:

Tabla 13 Prueba estática de enfriamiento de los discos no perforados.  
Fuente: Autores

Temperatura ambiente	21.2 °C
Temperatura inicial del disco de freno izquierdo	104.3 °C
Temperatura inicial del disco de freno derecho	102.4 °C
Velocidad promedio	60 km/h
Tiempo de enfriamiento	7 min, 96 seg

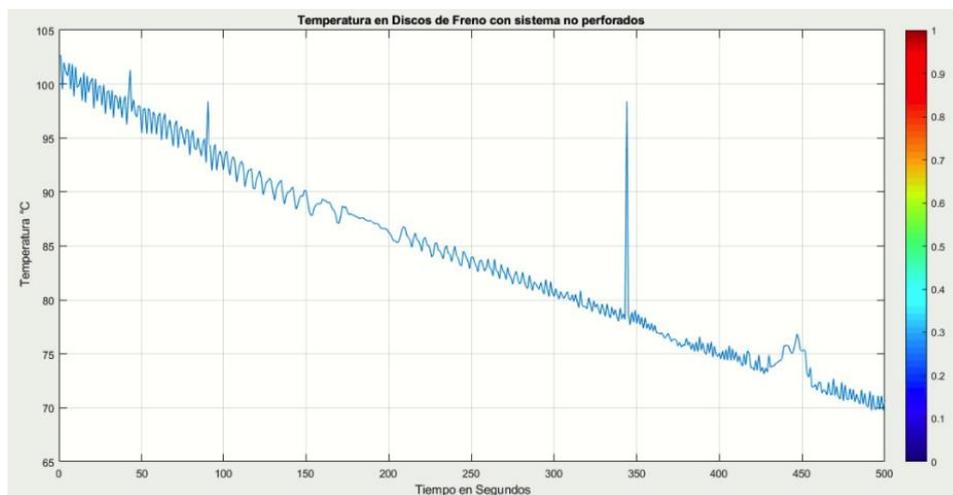


Figura 84 Prueba con sistema para discos sin orificios.  
Fuente: Autores.

#### 9.4.2. Prueba estática con discos perforados

Se puede ver en la Figura 85 que el disco perforado fue probado estáticamente para obtener los datos. La temperatura que mantiene el disco de freno tanto derecho como izquierdo se mantiene entre los 106.2 °C y 103.8 °C, respectivamente, y se estableció en 60 km/h. Se estima que tarda 4 min y 58 segundos en alcanzar los 70 °C.

Tabla 14 Prueba estática de enfriamiento discos perforados.

Fuente: Autores.

<b>Temperatura ambiente</b>	<b>21.2 °C</b>
<b>Temperatura inicial del disco de freno izquierdo</b>	<b>106.2°C</b>
<b>Temperatura inicial del disco de freno derecho</b>	<b>103.8 °C</b>
<b>Velocidad promedio</b>	<b>60 km/h</b>
<b>Tiempo de enfriamiento</b>	<b>4 min, 58 seg</b>

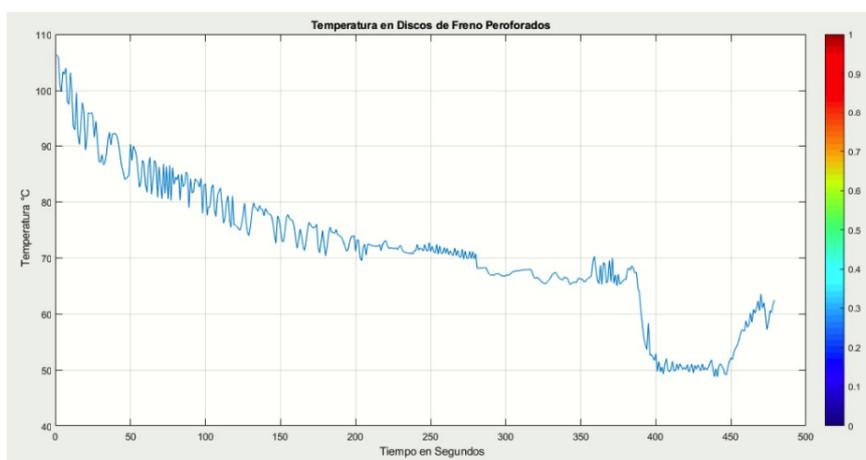


Figura 85 Prueba estática de temperatura en discos perforados sin sistema.

Fuente: Autores.

Se puede ver en la Figura 86 que el tiempo de enfriamiento del disco perforado es más corto que el disco no perforado. Esto se debe a que el disco perforado tiene mayor ventilación y el aire puede pasar a través de los orificios, ocasionando que la transferencia de calor se da más rápido dando así una diferencia de tiempo de 3 min y 38 segundos con respecto al disco no perforado.

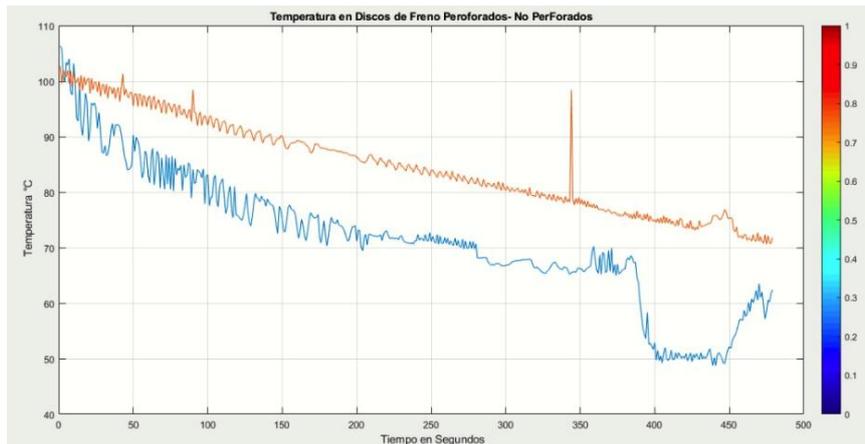


Figura 86 Discos de Freno Perforados- sin Perforar.  
Fuente: Autores.

Se realiza una prueba estática con el sistema de control encendido con discos utilizando únicamente discos perforados ya que estos muestran una mejor disipación en temperatura de esta manera podemos calibrar la temperatura de control de tal manera que la red neuronal de nuestro sistema pueda mantener una temperatura. Según (Velásquez Angamarca, J. C., & Heras Castillo, C. D. (2012).) la temperatura donde los discos de freno entregan sus mejores prestaciones esta entre 70 ° C y 90 ° C, a temperaturas más bajas el sistema es deficiente ya que a mayor temperatura el agarre es mayor así también lo hace la fuerza de frenado, y así también a mayor temperatura el agarra es menor y por consecuente la fuerza de frenado.

## 9.5.Pruebas en el vehículo con el control inteligente.

### 9.5.1. Temperatura de control

La temperatura de control utilizada para el sistema neuronal es de 70 ° C en donde la neurona es entrenada para ser capaz de mantener la temperatura la temperatura adecuada para el sistema, la red neuronal activará el máximo de revoluciones del motor en estado 1, el sistema estará apagado en estado 0 y entre 1 y 0 el sistema encenderá

los electroventiladores en bajas revoluciones. Esto le permite al sistema mantener la temperatura de los discos con una ventilación previa a que haya un alza de temperatura.

$$f(t) = \begin{cases} 1, & T \geq 70 \\ t, & 70 > T > 60 \\ 0, & T \leq 60 \end{cases}$$

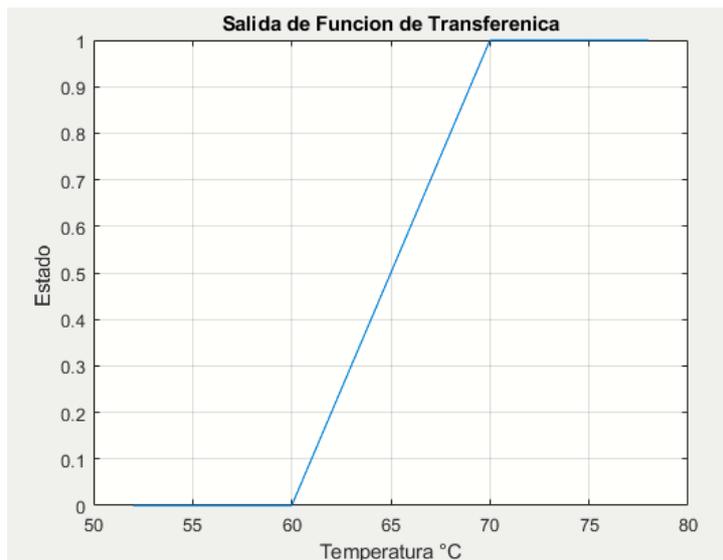


Figura 87 Salida de función de transferencia.  
Fuente: Autores.

## 9.5.2. Prueba dinámica en ruta.

### 9.5.2.1. Ruta Panamericana Sur - Vía Paccha sistema apagado.

La prueba se realiza con el sistema apagado, en una ruta seleccionada donde podamos alcanzar los 100 km/h o cercanos permisible, el sistema de enfriamiento está desinstalado y la temperatura será monitoreado mediante nuestro sistema eléctrico, lo que se pretende con esta prueba es ver el comportamiento de la temperatura de los discos en recta y en pendiente.

Tabla 15 Prueba dinámica de discos perforados con el sistema apagado.  
Fuente: Autores.

Temperatura ambiente	20,5 °C
Temperatura del disco de freno (LCD)	31 °C
Velocidad promedio	100 km/h
Temperatura final del disco de freno (LCD)	82,2 °C

La Figura 88 muestra la trayectoria Panamericana Sur - Vía Paccha sistema apagado. Se inicia desde el control sur a una velocidad de 80 km/h en un tiempo 2 minutos hasta llegar al redondel Doce de Octubre y se realiza un breve frenado permitiendo ceder el paso a los vehículos en un tiempo de 5 segundos, el vehículo se acelera a 80 km/h hasta el redondel del Mall del Río, se aplica un frenado momentáneo de 5 segundos, para seguir avanzando la Autopista a una velocidad de 80 km/h.

Se llega al redondel de Santa María del Vergel se aplica un frenado de 5 segundos, aceleramos a 100 km/h y realizando frenados progresivos para aumentar el grado de temperatura, la velocidad se redujo a 20 km/h para ingresar a la entra Vía Paccha, se acelera hasta ascender la pendiente en donde se llega a la ubicación mencionada en donde descenderemos hasta la entrada a Paccha a una velocidad 60 km/h, y pisaremos el pedal del freno tanto como sea necesario.

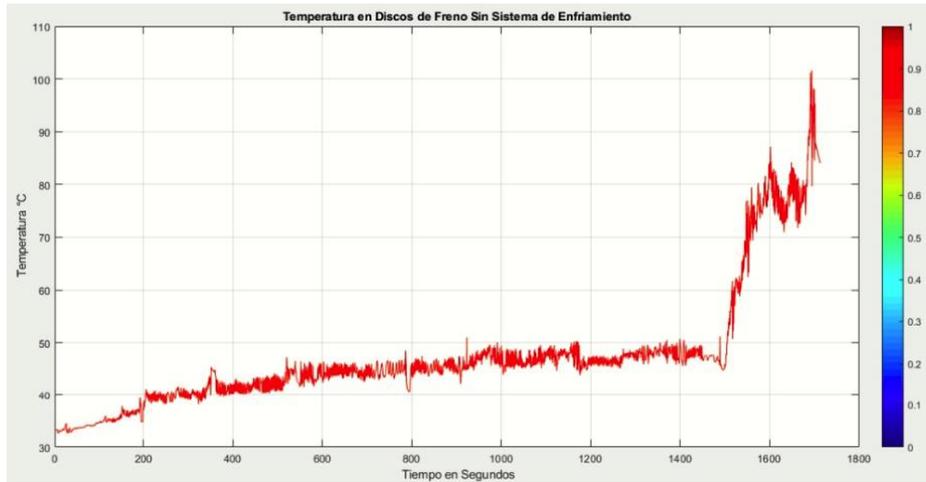


Figura 88 Temperatura de Disco de Freno sin sistema de Enfriamiento.  
Fuente: Autores.

**9.5.2.2.Ruta Panamericana Sur - Vía Paccha sistema encendido.**

Las pruebas se realizan con los discos perforados en el vehículo con el sistema encendido en las rutas designadas, se calentaron a la misma temperatura y se enfriaron según la siguiente tabla:

Tabla 7 Prueba dinámica con disco perforado con sistema encendido.  
Fuente: Autores.

Temperatura ambiente	20,5 °C
Temperatura del disco de freno (LCD)	33 °C
Velocidad promedio	100 km/h
Temperatura final del disco de freno (LCD)	44,3 °C

Se cumple la misma trayectoria de la Figura 88, pero con el sistema encendido, se puede observar que la temperatura de la Figura 89 no supera los 50 °C, en donde no tenemos una elevación de temperatura eso es gracias a la implementación del sistema de enfriamiento.

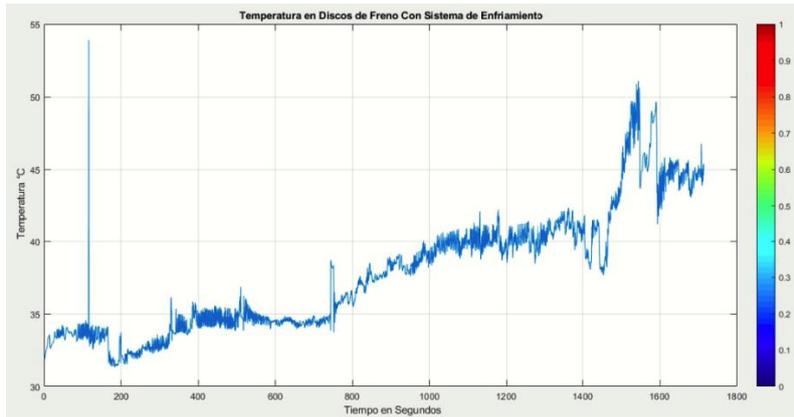


Figura 89 Temperatura de Disco de Freno con sistema de Enfriamiento.  
Fuente: Autores.

### 9.5.2.3.Comparación Ruta Panamericana Sur - Vía Paccha sistema encendido y apagado.

Se puede distinguir con claridad lo que ocurre en la Figura 90. La temperatura de disco de freno sin el sistema de enfriamiento alcanza un máximo 101 °C punto 2, a diferencia de la temperatura del sistema de enfriamiento encendido en el punto 1 se acciona el sistema lo que permite enfriar los discos de freno, en donde se genera una temperatura máxima de 50 °C.

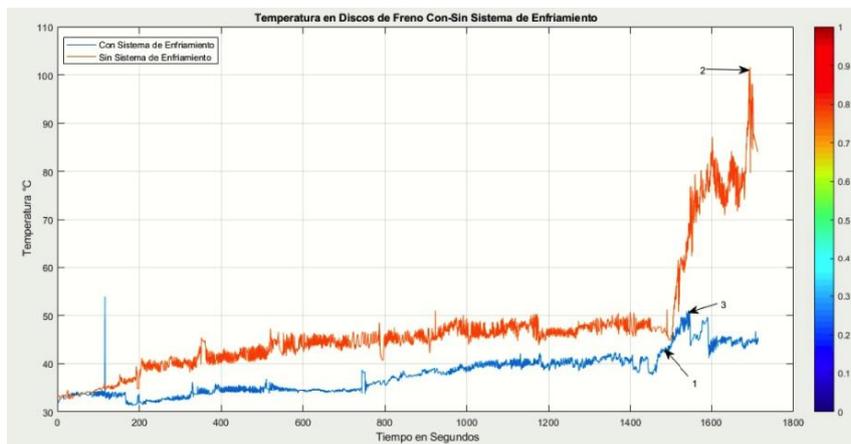


Figura 90 Comparación de Ruta encendido y apagado el sistema.  
Fuente: Autores

#### 9.5.2.4.Ruta Sinincay - Av. Turuhuayco sistema apagado.

La segunda ruta seleccionada corresponde a Sinincay- Av. Turuhuayco, la temperatura ambiente es de 18 °C. El sistema de enfriamiento está apagado. Según la Tabla 8, la temperatura del disco de freno que empezamos la prueba es de 19 °C:

Tabla 8 Prueba dinámica de disco perforado con el sistema apagado.  
Fuente: Autores.

Temperatura ambiente	18 °C
Temperatura del disco de freno (LCD)	19 °C
Velocidad promedio	100 km/h
Temperatura final del disco de freno (LCD)	69.8 °C

La prueba 3 Sinincay- Av. Turuhuayco, La velocidad promedio comienza en 65 km/h por un lapso de 1 minuto, donde la velocidad se disminuye para ascender la pendiente que existe a 50 km/h en 1 minuto, se reduce la velocidad para pasar un rompe velocidades a continuación se sigue a una velocidad de 50 km/h. Continuamos conduciendo siguiendo recto, donde se podrá descender a 70 km/h, y luego se aplica varios frenados para ver el comportamiento de las temperaturas como sea posible. Después se disminuye la velocidad para pasar un rompe velocidades y nos estacionamos 1 minuto y 50 segundos esperando el semáforo que inicie en verde, avanzamos a una velocidad de 70 km/h a una distancia de 2,5 km por un tiempo de 5 minutos. Se reduce la velocidad para pasar un rompe velocidades en donde ascendemos 500 m para girar a la Av. Turuhuayco se recorre 190 metros un breve frenado por el Pare que hay, verificamos que no hay carros y continuamos a una velocidad de 90 km/h por 1 minuto. En donde se realiza frenados agresivos para verificar el comportamiento, al finalizar la prueba se realiza un frenado fuerte para el estacionamiento, y se recolecta datos con el carro estacionado por varios minutos.

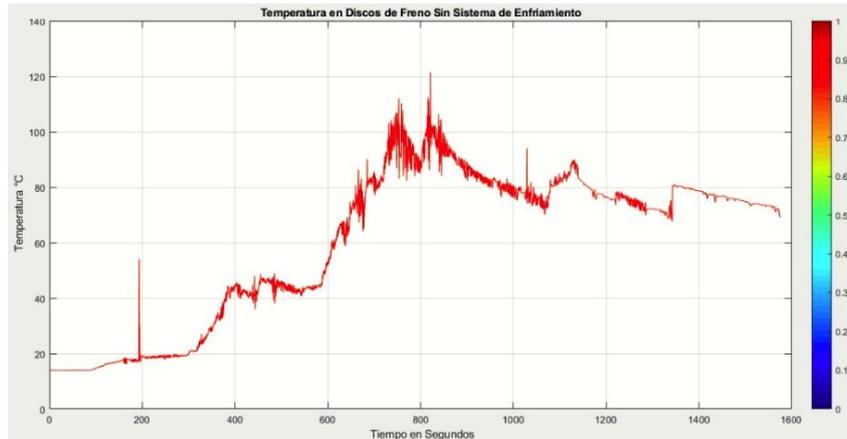


Figura 91 Temperatura de Disco de Freno sin sistema de Enfriamiento.  
Fuente: Autores.

### 9.5.2.5.Ruta Sinincay - Av. Turuhuayco sistema encendido

El sistema de enfriamiento está encendido. Según la Tabla 9, la temperatura del disco de freno que empezamos la prueba es de 34,5 °C:

Tabla 9 Prueba dinámica con disco perforado con el sistema encendido.  
Fuente: Autores.

Temperatura ambiente	18 °C
Temperatura del disco de freno (LCD)	34,5 °C
Velocidad promedio	100 km/h
Temperatura final del disco de freno (LCD)	49,8 °C

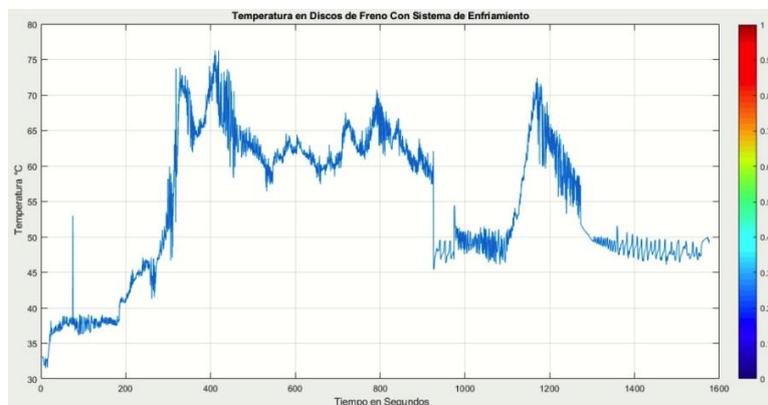


Figura 92 Temperatura de Disco de Freno con sistema de Enfriamiento.  
Fuente: Autores.

Se diferencia el comportamiento de la Ruta Sinincay - Av. Turuhuayco, como se puede apreciar en la Figura 93. El sistema apagado alcanza una temperatura máxima de 120 °C, punto 3, en este tramo se ha realizado una frenada agresiva, a los 13 minutos y 50 segundos durante el descenso.

Cuando el sistema está encendido, existe dos picos máximos, el primero alcanza una temperatura promedio 75 °C, punto 1, a los 7 minutos y 8 segundos, la segunda temperatura máxima que alcanza 71 °C, punto 2, a los 18 minutos y 66 segundos. En estos tramos, el sistema funciona y enfría brinda los mejores resultados para la implementación desarrollada.

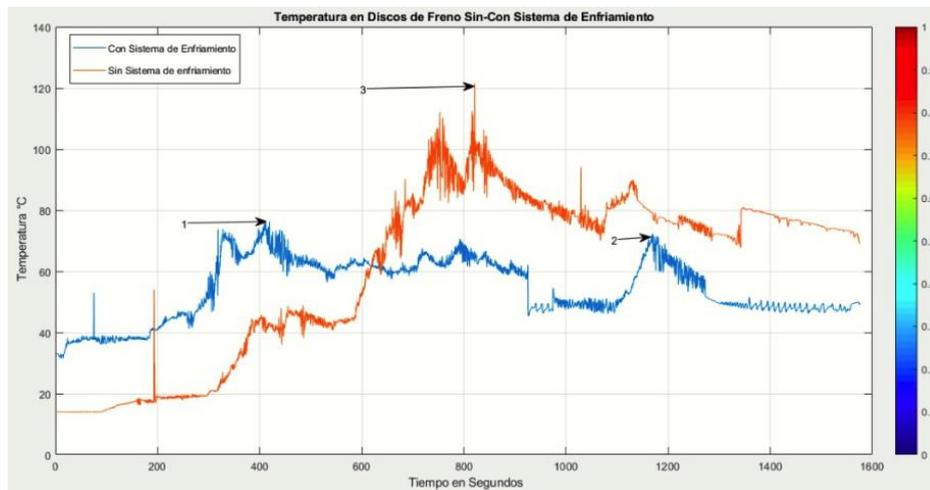


Figura 93 Comparación de Ruta encendido y apagado el sistema.  
Fuente: Autores.

## 9.6. Análisis del desempeño en el sistema.

Para el análisis de eficiencia, del sistema se toma la expresión siguiente.

En donde:

**$\eta$ : Eficiencia del sistema (adimensional)**

**$\omega_{sate}$ : Trabajo que sale**

**$\omega_{entra}$ : trabajo que entra**

$$\eta = \frac{\omega_{\text{sale}}}{\omega_{\text{entra}}} \quad (13)$$

Para el análisis de desempeño del sistema se considerará, la velocidad de aire, la presión del sistema y la transferencia de calor.

### 9.6.1. Cálculo de eficiencia presión del sistema.

Para el análisis de presión tomaremos los datos previamente calculados del Capítulo 7.2.5. ecuación 11:

**PD: Presión dinámica en el sistema (metros de columna de agua mcda).**

**$\Delta P$ : Diferencia de presión (Pa).**

**PE: Presión Estática (1atm - 101325Pa).**

**PS: Presión de entrada del sistema.**

**PF: Presión al final del sistema.**

$$PS = PD + PE \quad (14)$$

$$PS = 151.01 \text{ Pa} + 101325\text{Pa}$$

$$PS = 101476,01\text{Pa}$$

Siendo la Presión final.

$$PF = PS - \Delta P \quad (15)$$

$$PF = 101476,01\text{Pa} - 32,49\text{Pa}$$

$$PF = 101443,52\text{Pa}$$

Cálculo de presión dinámica para la tubería.

La presión dinámica se expresa en metros de altura de columna de agua y se utiliza en la siguiente ecuación:

$$PD = \frac{V^2}{2 \times g} \times \frac{\rho}{1000} \quad (16)$$

En donde:

**PD:** Es la presión dinámica en el sistema mcd ( metros de columna de agua)

**V:** Es la velocidad de aire (m/s).

**g:** Es la aceleración gravitatoria ( $m/s^2$ ).

**$\rho$ :** Es la densidad de aire ( $Kg/m^3$ ).

**Entonces la presión:**

$$PD = \frac{\left(\frac{8,30m}{s}\right)^2}{2 \times 9,8m/s^2} \times \frac{1,204Kg/m^3}{1000}$$

$$PD = 0.00432 \text{ mcd} \approx 42,36 \text{ Pa}$$

La presión total del sistema se basa en presión estática que viene a ser la presión atmosférica ( $P_{atm}$ ), que es el peso del aire sobre la superficie de la Tierra. Los científicos determinaron que la presión atmosférica al nivel del mar es igual a 101.325 Pascales. Entonces la presión total es:

$$P_{total} = PD + P_{atm} \quad (17)$$

$$P_{total} = 42,36 \text{ Pa} + 101325 \text{ Pa}$$

$$P_{total} = 101.367,36 \text{ Pa}$$

$$P_{final} = P_{total} - \Delta P \quad (18)$$

$$P_{final} = 101367,36 \text{ Pa} - 32,49 \text{ Pa}$$

$$P_{final} = 101334,87 \text{ Pa}$$

En donde:

**$\eta$ :Eficiencia del sistema (adimensional).**

**$P_{final}$ : Trabajo que sale.**

**$PF$ : Trabajo que entra.**

$$\eta = \frac{P_{final}}{PF} \quad (19)$$
$$\eta = \frac{101334,87 \text{ Pa}}{101443,52 \text{ Pa}}$$
$$\eta = 0.99$$

La eficiencia que logra el sistema con respecto a la presión dentro de las tuberías del sistema es del 99% esto se logra ya que las pérdidas de presión en el sistema son las mínimas

#### 9.6.2. Cálculo de eficiencia de velocidad de aire.

$$\Delta(\%) = \frac{w_{sale}}{w_{entra}} \quad (20)$$

En donde:

**$\Delta(\%)$ : Incremento porcentual (%).**

**$w_{sale}$ : Trabajo que sale.**

**$w_{entra}$ : Trabajo que entra.**

$$\Delta(\%) = \frac{15,86}{8,13}$$

$$\Delta(\%) = 195\%$$

El aumento de eficiencia con respecto a la velocidad de aire en porcentaje es de 195%, es decir a la salida de nuestro sistema ganamos un 95% con respecto a la velocidad de aire que entra. La velocidad va a incrementar gradualmente según el vehículo vaya incrementando la velocidad.

### 9.6.3. Cálculo de eficiencia de transferencia térmica.

El diámetro hidráulico promedio es:

$$Dh = \frac{D_{hE} + D_{hS}}{2} \quad (21)$$

En donde:

$D_{hE}; D_{hS}$  Diámetro hidráulico (m)

$D$ : Diámetro del tubo (m)

El diámetro hidráulico de entrada según su definición es:

$$Dh_E = \frac{4Ac}{p} \quad (22)$$

Para un tubo circular, queda como:

$$D_{hE}; D_{hS} = \frac{4 \frac{\pi D^2}{4}}{\pi D} \quad (23)$$

El diámetro hidráulico de entrada se calcula:

$$D_{hE} = \frac{4 \frac{\pi(0,21m)^2}{4}}{\pi(0,21m)} =$$

$$D_{hE} = 0,2099 \text{ m}$$

Y el diámetro hidráulico de salida es:

$$D_{hs} = \frac{4 \frac{\pi D^2}{4}}{\pi D}$$

$$D_{hs} = \frac{4 \frac{\pi(0,08m)^2}{4}}{\pi(0,08m)} =$$

$$D_{hs} = 0,0709m$$

Con los valores obtenidos calculamos el diámetro hidráulico según la ecuación (25):

$$Dh = \frac{D_{hs} + D_{hE}}{2} \quad (24)$$

$$Dh = \frac{0,2099m + 0,0709m}{2} =$$

$$Dh = 0,1404m$$

El Número de Reynolds se calcula según la fórmula del diámetro externo de disco, y el método es el siguiente:

$$Re = \frac{V_m \times D}{\nu} \quad (25)$$

Dónde:

**Re:** Número de Reynolds (adimensional).

**$V_m$ :** Velocidad de aire. = 2,99 m/s.

**D:** Diámetro del disco de freno = 0,25735m

**$\nu$ :** Viscosidad cinemática del fluido a 42 °C ( $m^2/s$ ).

Entonces se calcula:

$$Re = \frac{2,99 \times \frac{m}{s} \times 0,25735m}{1,72 \times 10^{-5}m^2/s} =$$

$$Re = 44737,000578$$

De acuerdo con la Tabla 8-1 de las correlación empírica de Nusselt del libro de Yunus A. Cengel sobre transferencia de calor en el ANEXO 12, dado que el número de Reynolds del tubo de 3in es 3,66 Nusselt es:

Usando este valor de Nusselt, podemos determinar el coeficiente de convección utilizando la siguiente fórmula:

$$h = \frac{k}{D} Nu \quad (26)$$

En donde:

**h:** Es el coeficiente de convección ( $m^2\text{°C}$ ).

**D:** Diámetro del disco de freno (m).

**k:** Es la conductividad térmica a 42 °C.

$$h = \frac{0,02625 \frac{W}{m\text{°C}}}{0,008859 m} \times 3,66 =$$

$$h = 10,84 \frac{W}{m^2\text{°C}}$$

A continuación, encontramos el área superficial de la periferia del disco lo que es:

$$A_s = P \times e = \pi \times D \times e \quad (27)$$

En donde:

**P: Es el perímetro del disco de freno (m).**

**e: Es el espesor del disco (0,012m).**

$$A_s = \pi \times 0.235 \times 0,012m$$

$$A_s = 0.008859m^2.$$

Usando estos valores, se determina la velocidad de pérdida de calor desde la periferia del disco de freno al medio ambiente:

$$\dot{Q}_1 = h \times A_s \times \Delta T \quad (28)$$

$$\dot{Q}_1 = h \times A_s \times (T_s - T_\infty) \quad (29)$$

$$\dot{Q}_1 = 10.84 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \times 0.008859m^2 \times (120^\circ C - 90^\circ C)$$

$$\dot{Q}_1 = 2.88 W$$

$$\dot{Q}_2 = h \times A_s \times (T_s - T_\infty) \quad (30)$$

$$\dot{Q}_2 = 10.84 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \times 0.008859m^2 \times (78^\circ C - 60^\circ C)$$

$$\dot{Q}_2 = 1.72 W$$

Incremento porcentual de transferencia de disipación en el disco:

$$\Delta(\%) = \frac{\dot{Q}_1}{\dot{Q}_2} \quad (31)$$

$$\Delta(\%) = \frac{2.88 W}{1.72 W}$$

$$\Delta(\%) = 167\%$$

Como se puede apreciar el incremento porcentual del sistema de enfriamiento con respecto a no tener sistema es del 67%

#### **9.6.4. Eficiencia del sistema electrónico.**

El sistema de control electrónico de velocidad y temperatura se ha colocado correctamente en las ruedas delanteras, por lo que los datos de temperatura de los discos de freno izquierdo y derecho se pueden recopilar en curvas pronunciadas, por lo que se pueden obtener resultados precisos dando el valor promedio, por lo que la eficiencia del sistema de control es del 99%.

## 10. CONCLUSIONES

- El funcionamiento del sistema de enfriamiento del disco, se analiza la eficiencia del 95% con respecto a la velocidad de aire es decir que el diseño planteado se adapta muy bien a las necesidades del sistema.
- La disminución del calor con el sistema de enfriamiento es notoria, pues se logra disipar hasta un 67% más de calor que sin un sistema de enfriamiento, cabe recalcar que la temperatura ambiente rol importante al momento de disipar la temperatura.
- Entre los objetivos planteados se logra demostrar, que la ventilación en discos de freno juega un rol muy importante, en las pruebas de ruta, el sistema puede mantener a los discos a una temperatura menor a 80 °C, se observa que los electroventiladores abastecen satisfactoriamente el grado de enfriamiento necesario para que los discos no pierdan adherencia
- Las pruebas de ruta se realizaron sin el sistema de enfriamiento en una frenada para detener el vehículo a 100 km/h los discos alcanzan temperaturas de hasta 150°C, a esta temperatura la fuerza de frenado disminuye, para disipar en algo esta temperatura el vehículo a los 80 km/h tendría que frenar consecutivamente algo que en circunstancias normales no sucede.
- En este proyecto se estudió algunos métodos que pueden ayudar a la disipación de temperatura en los discos de freno, de manera que se pueda optar por una opción donde el vehículo siga teniendo las mismas prestaciones, cabe recalcar

que también el material utilizado es muy importante porque depende de la disipación del calor y adherencia.

- La mayoría de los vehículos que se puede ver hoy en día, dispones de freno con disco en las 4 ruedas, esto por uno de los inconvenientes que poseen de disipación de calor en los sistema de freno con tambor que por lo general son aplicados a los ejes posteriores y al estar cerrados el calor aumenta incluso al punto de perdida de frenos total o parcial por ebullición de líquido de frenos.
- Hay diferentes métodos para la disipación de temperatura en los discos de freno, por lo general los sistemas mas comunes vienen instalados de fabrica en los vehículos como discos hiperventilados, donde el disco tiene aletas las cuales ayudan a disipar mejor la temperatura o discos de carbono que de un valor elevado pero pueden alcanzar temperaturas de 700 °C y no perder sus prestaciones de adherencia, estos se los pude ver en vehículos deportivos.

## 11. RECOMENDACIONES

- La investigación realizada deja un punto de partida el cual invita a estudiantes que deseen ampliar su formación académica a continuar, en donde se recomienda ampliar la investigación a vehículos que exijan mayor demanda en el sistema de freno, y en un ambiente de circuito controlado para un estudio en donde se determine una temperatura que deje un mínimo de error a las 4 ruedas.
- Se recomienda profundizar en el sistema de freno con un estudio de fenómenos que se producen al aplicar el pedal, es aspectos importantes como cargas diagonales que se producen al pisar el freno consecutivamente cuando se gira.
- El proyecto pretende que se abran nuevas investigaciones, en nuevas formas de ventilar los discos de freno donde se pueda utilizar el sistema de acondicionamiento o climatización de un vehículo.
- La pérdida de adherencia se produce a altas temperaturas, se recomienda en condiciones de manejo en descensos pronunciados, utilizar freno motor si se depende únicamente del freno se puede generar pérdida de adherencia en los discos.
- Se recomienda un cambio de elementos de fricción en el sistema de frenos como pastillas, zapatas en discos y tambores si no necesita un cambio realizar rectificación, que asegure un acoplamiento de los elementos, esto genera una mejor adherencia y un óptimo frenado.

- Se recomienda prestar atención a las vibraciones. Si siente que el automóvil vibra al frenar a alta velocidad, es una señal que las pastillas o los discos podrían tener alteraciones, reduciendo su efectividad. Además preste atención a la profundidad y altura del pedal de freno. Si se hunde más de lo habitual, significa que existe desgaste de las pastillas o falta de líquido de freno. Revisar antes de conducir el nivel de líquido de freno y revisar las pastillas. Antes de conducir se debe revisar el nivel del líquido de freno y el estado de las pastillas de freno.
- Al momento de conducir si se requiere mucha fuerza de frenado, significa que las pastillas están dañadas, lo podría producir un deterioro de los disco. Se debe evitar que se deformen lo que se recomienda un remplazo de pastillas. Si se escucha un sonido fuerte al frenar, puede deberse a que las pastillas de freno están oxidadas o los repuestos son de mala calidad. Se debe limpiar con una lija o que se lubrique todo el sistema de frenos.
- Después de cada mantenimiento y cuando el automóvil está apagado, asegúrese de presionar el pedal varias veces para que el líquido de frenos vuelva a circular por todo el sistema y esté listo cuando se conduzca.

## 12. BIBLIOGRAFÍA

- Bit Brain*. (2018). Obtenido de <https://www.bitbrain.com/es/blog/interfaz-cerebro-computador-automovil>
- Cabrera, F., & Tigre, E. (2016). *Diseño y Construcción de los sistemas de refrigeración del vehículo* . Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/13257/1/UPS-CT006846.pdf>
- Canseco, R. (2013). *CONTROL DE UN SISTEMA DE FRENOS* . Obtenido de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/3866/1/Tesis.pdf>
- Garcia, R. (2017). *Estudio térmico en tres frenos de disco ventilados, utilizando el análisis de elementos finitos*. Obtenido de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/55663/63524>
- Garrosa, M. (2019). *Sistema experto de frenada de un vehículo automóvil basado en redes neuronales artificiales*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=254921>
- Jiménez, C. (2013). *Los sistemas inteligentes*. Obtenido de <https://en.calameo.com/read/004596089d805e1d87e0c>
- Meganeboy, D. (2011). *Rerigeracion del motor*. Obtenido de <http://www.aficionadosalamecanica.com/refrigeracion-motor.htm>
- Mejia, F., Arellano, A., & Vallejo , G. (2016). *Control de Velocidad de un automóvil empleando una técnica de Inteligencia Artificial*. Obtenido de <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:g8dHYmPsxRcJ:https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/Infociencia/article/download/974/pdf+&cd=2&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec>
- Morales, G. (2002). *Introducción a la lógica difusa*. Obtenido de <http://delta.cs.cinvestav.mx/~gmorales/ldifll/ldifll.pdf>
- Onieva, E. (2011). *Técnicas Difusas y Evolutivas para el Control de Vehículos en entornos Reales y Virtuales*. Obtenido de <http://digital.csic.es/handle/10261/38851>
- Pérez, R. (2011). *Conceptos fundamentales de lógica difusa* . Obtenido de <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6887/04Rpp04de11.pdf>
- Robayo , F., Barrera , A., & Polanco , L. (2015). *Desarrollo de un controlador basado en redes neuronales*. Obtenido de <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:GlcDfuoJZhcJ:https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5432136.pdf+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec>
- Sears, F., Zemansky, M., Young, H.D., Freedman, R.A. (2009) *Física Universitaria volumen 1, 12a edición*. Pearson Educación, México.

- Rodriguez , M., & Huertas , Y. (2011). *CONJUNTOS DIFUSOS –JHS*. Obtenido de <http://www2.elo.utfsm.cl/~elo377/documentos/CONJUNTOS%20DIFUSOS.pdf>
- Romero, C., & Carranza, A. (2007). *LEMENTOS DE DISEÑO DE SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO DE MOTORES DECOMBUSTIÓN INTERNA*. Obtenido de <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:enYxDtE28VYJ:https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4808029.pdf+&cd=15&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec>
- Velásquez Angamarca, J. C., & Heras Castillo, C. D. (2012). *Diseño, construcción e implementación de un sistema de ventilación para los discos de freno de un vehículo y sistema de control de temperatura (Bachelor's thesis)*.
- Torrubia, S. (2010). *REDES NEURONALES MULTIMODELO APLICADA AL CONTROL DE SISTEMAS* . Obtenido de [https://ddd.uab.cat/pub/trerecpro/2013/hdl\\_2072\\_207064/TorrubiaCaravacaSergioR-ETISa2009-10.pdf](https://ddd.uab.cat/pub/trerecpro/2013/hdl_2072_207064/TorrubiaCaravacaSergioR-ETISa2009-10.pdf)

**13. ANEXOS Prueba de velocidades máxima estático de los electroventiladores.**

**ANEXO 1 Velocidad de aire en la entrada de la campana. Conducto izquierdo**



**ANEXO 2 Velocidad de aire en la entrada de la campana. Conducto derecho**



**ANEXO 3 Velocidad de aire en la salida de tubería rígida. Conducto izquierdo.**



**ANEXO 4 Velocidad de aire en la salida de tubería rígida. Conducto derecho.**



**ANEXO 5 Velocidad de aire en la entrada del plato de disco. Conducto Izquierdo.**



**ANEXO 6 Velocidad de aire en la entrada del plato de disco. Conducto Derecho.**



**ANEXO 7 Velocidad de aire en la salida de tubería rígida. Conducto Izquierdo.**



**ANEXO 8 Velocidad de aire en la salida de tubería rígida. Conducto Derecho.**



**Prueba de velocidad estático en mínima 60km/h.**

**ANEXO 9 Velocidad de aire en la salida de la campana. Conducto Izquierdo.**



**ANEXO 10 Velocidad de aire en la salida de la campana. Conducto Derecho.**



**ANEXO 11 Propiedades del aire a la presión de 1 atm.**

**TABLA A-15**

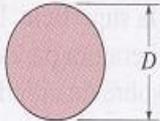
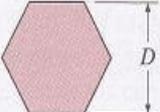
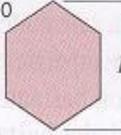
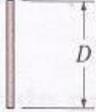
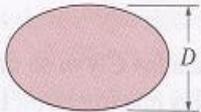
Propiedades del aire a la presión de 1 atm

Temp., T, °C	Densidad, $\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	Calor específico, $c_p$ , J/kg · K	Conductividad térmica, k, W/m · K	Difusividad térmica, $\alpha$ , m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>	Viscosidad dinámica, $\mu$ , kg/m · s	Viscosidad cinemática, $\nu$ , m <sup>2</sup> /s	Número de Prandtl, Pr
-150	2.866	983	0.01171	$4.158 \times 10^{-6}$	$8.636 \times 10^{-6}$	$3.013 \times 10^{-6}$	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	$8.036 \times 10^{-6}$	$1.189 \times 10^{-6}$	$5.837 \times 10^{-6}$	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	$1.252 \times 10^{-5}$	$1.474 \times 10^{-5}$	$9.319 \times 10^{-6}$	0.7440
-40	1.514	1 002	0.02057	$1.356 \times 10^{-5}$	$1.527 \times 10^{-5}$	$1.008 \times 10^{-5}$	0.7436
-30	1.451	1 004	0.02134	$1.465 \times 10^{-5}$	$1.579 \times 10^{-5}$	$1.087 \times 10^{-5}$	0.7425
-20	1.394	1 005	0.02211	$1.578 \times 10^{-5}$	$1.630 \times 10^{-5}$	$1.169 \times 10^{-5}$	0.7408
-10	1.341	1 006	0.02288	$1.696 \times 10^{-5}$	$1.680 \times 10^{-5}$	$1.252 \times 10^{-5}$	0.7387
0	1.292	1 006	0.02364	$1.818 \times 10^{-5}$	$1.729 \times 10^{-5}$	$1.338 \times 10^{-5}$	0.7362
5	1.269	1 006	0.02401	$1.880 \times 10^{-5}$	$1.754 \times 10^{-5}$	$1.382 \times 10^{-5}$	0.7350
10	1.246	1 006	0.02439	$1.944 \times 10^{-5}$	$1.778 \times 10^{-5}$	$1.426 \times 10^{-5}$	0.7336
15	1.225	1 007	0.02476	$2.009 \times 10^{-5}$	$1.802 \times 10^{-5}$	$1.470 \times 10^{-5}$	0.7323
20	1.204	1 007	0.02514	$2.074 \times 10^{-5}$	$1.825 \times 10^{-5}$	$1.516 \times 10^{-5}$	0.7309
25	1.184	1 007	0.02551	$2.141 \times 10^{-5}$	$1.849 \times 10^{-5}$	$1.562 \times 10^{-5}$	0.7296
30	1.164	1 007	0.02588	$2.208 \times 10^{-5}$	$1.872 \times 10^{-5}$	$1.608 \times 10^{-5}$	0.7282
35	1.145	1 007	0.02625	$2.277 \times 10^{-5}$	$1.895 \times 10^{-5}$	$1.655 \times 10^{-5}$	0.7268
40	1.127	1 007	0.02662	$2.346 \times 10^{-5}$	$1.918 \times 10^{-5}$	$1.702 \times 10^{-5}$	0.7255
45	1.109	1 007	0.02699	$2.416 \times 10^{-5}$	$1.941 \times 10^{-5}$	$1.750 \times 10^{-5}$	0.7241
50	1.092	1 007	0.02735	$2.487 \times 10^{-5}$	$1.963 \times 10^{-5}$	$1.798 \times 10^{-5}$	0.7228
60	1.059	1 007	0.02808	$2.632 \times 10^{-5}$	$2.008 \times 10^{-5}$	$1.896 \times 10^{-5}$	0.7202
70	1.028	1 007	0.02881	$2.780 \times 10^{-5}$	$2.052 \times 10^{-5}$	$1.995 \times 10^{-5}$	0.7177
80	0.9994	1 008	0.02953	$2.931 \times 10^{-5}$	$2.096 \times 10^{-5}$	$2.097 \times 10^{-5}$	0.7154
90	0.9718	1 008	0.03024	$3.086 \times 10^{-5}$	$2.139 \times 10^{-5}$	$2.201 \times 10^{-5}$	0.7132
100	0.9458	1 009	0.03095	$3.243 \times 10^{-5}$	$2.181 \times 10^{-5}$	$2.306 \times 10^{-5}$	0.7111
120	0.8977	1 011	0.03235	$3.565 \times 10^{-5}$	$2.264 \times 10^{-5}$	$2.522 \times 10^{-5}$	0.7073
140	0.8542	1 013	0.03374	$3.898 \times 10^{-5}$	$2.345 \times 10^{-5}$	$2.745 \times 10^{-5}$	0.7041
160	0.8148	1 016	0.03511	$4.241 \times 10^{-5}$	$2.420 \times 10^{-5}$	$2.975 \times 10^{-5}$	0.7014
180	0.7788	1 019	0.03646	$4.593 \times 10^{-5}$	$2.504 \times 10^{-5}$	$3.212 \times 10^{-5}$	0.6992
200	0.7459	1 023	0.03779	$4.954 \times 10^{-5}$	$2.577 \times 10^{-5}$	$3.455 \times 10^{-5}$	0.6974
250	0.6746	1 033	0.04104	$5.890 \times 10^{-5}$	$2.760 \times 10^{-5}$	$4.091 \times 10^{-5}$	0.6946
300	0.6158	1 044	0.04418	$6.871 \times 10^{-5}$	$2.934 \times 10^{-5}$	$4.765 \times 10^{-5}$	0.6935
350	0.5664	1 056	0.04721	$7.892 \times 10^{-5}$	$3.101 \times 10^{-5}$	$5.475 \times 10^{-5}$	0.6937
400	0.5243	1 069	0.05015	$8.951 \times 10^{-5}$	$3.261 \times 10^{-5}$	$6.219 \times 10^{-5}$	0.6948
450	0.4880	1 081	0.05298	$1.004 \times 10^{-4}$	$3.415 \times 10^{-5}$	$6.997 \times 10^{-5}$	0.6965
500	0.4565	1 093	0.05572	$1.117 \times 10^{-4}$	$3.563 \times 10^{-5}$	$7.806 \times 10^{-5}$	0.6986
600	0.4042	1 115	0.06093	$1.352 \times 10^{-4}$	$3.846 \times 10^{-5}$	$9.515 \times 10^{-5}$	0.7037
700	0.3627	1 135	0.06581	$1.598 \times 10^{-4}$	$4.111 \times 10^{-5}$	$1.133 \times 10^{-4}$	0.7092
800	0.3289	1 153	0.07037	$1.855 \times 10^{-4}$	$4.362 \times 10^{-5}$	$1.326 \times 10^{-4}$	0.7149
900	0.3008	1 169	0.07465	$2.122 \times 10^{-4}$	$4.600 \times 10^{-5}$	$1.529 \times 10^{-4}$	0.7206
1 000	0.2772	1 184	0.07868	$2.398 \times 10^{-4}$	$4.826 \times 10^{-5}$	$1.741 \times 10^{-4}$	0.7260
1 500	0.1990	1 234	0.09599	$3.908 \times 10^{-4}$	$5.817 \times 10^{-5}$	$2.922 \times 10^{-4}$	0.7478
2 000	0.1553	1 264	0.11113	$5.664 \times 10^{-4}$	$6.630 \times 10^{-5}$	$4.270 \times 10^{-4}$	0.7539

**ANEXO 12 Correlaciones empíricas para el número de Nusselt promedio, para convección forzada sobre los cilindros circulares y no circulares en flujo cruzado.**

**TABLA 7-1**

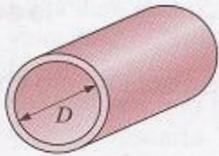
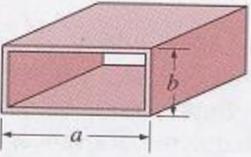
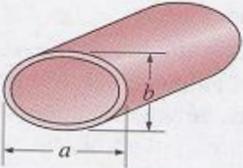
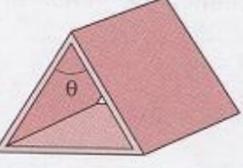
Correlaciones empíricas para el número de Nusselt promedio, para convección forzada sobre cilindros circulares y no circulares en flujo cruzado (tomado de Zukauskas, Ref. 14, y Jakob, 1949)

Sección transversal del cilindro	Fluido	Rango de Re	Número de Nusselt
<p>Círculo</p> 	Gas o líquido	0.4-4 4-40 40-4 000 4 000-40 000 40 000-400 000	$Nu = 0.989Re^{0.330} Pr^{1/3}$ $Nu = 0.911Re^{0.385} Pr^{1/3}$ $Nu = 0.683Re^{0.466} Pr^{1/3}$ $Nu = 0.193Re^{0.618} Pr^{1/3}$ $Nu = 0.027Re^{0.805} Pr^{1/3}$
<p>Cuadrado</p> 	Gas	5 000-100 000	$Nu = 0.102Re^{0.675} Pr^{1/3}$
<p>Cuadrado (inclinado 45°)</p> 	Gas	5 000-100 000	$Nu = 0.246Re^{0.588} Pr^{1/3}$
<p>Hexágono</p> 	Gas	5 000-100 000	$Nu = 0.153Re^{0.638} Pr^{1/3}$
<p>Hexágono (inclinado 45°)</p> 	Gas	5 000-19 500 19 500-100 000	$Nu = 0.160Re^{0.638} Pr^{1/3}$ $Nu = 0.0385Re^{0.782} Pr^{1/3}$
<p>Placa vertical</p> 	Gas	4 000-15 000	$Nu = 0.228Re^{0.731} Pr^{1/3}$
<p>Elipse</p> 	Gas	2 500-15 000	$Nu = 0.248Re^{0.612} Pr^{1/3}$

**ANEXO 13 Número de Nusselt y factor de fricción para el flujo laminar completamente desarrollado en tubos de diversas secciones transversales.**

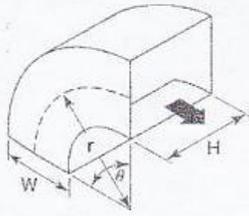
**TABLA 8-1**

Número de Nusselt y factor de fricción para el flujo laminar completamente desarrollado en tubos de diversas secciones transversales ( $D_h = 4A_c/p$ ,  $Re = V_{prom}D_h/\nu$ , y  $Nu = hD_h/k$ )

Configuración geométrica del tubo	$a/b$ o $\theta^\circ$	Número de Nusselt		Factor de fricción $f$
		$T_s = \text{Const.}$	$\dot{q}_s = \text{Const.}$	
<p>Círculo</p> 	—	3.66	4.36	64.00/Re
<p>Rectángulo</p> 	$a/b$ 1 2 3 4 6 8 $\infty$	2.98 3.39 3.96 4.44 5.14 5.60 7.54	3.61 4.12 4.79 5.33 6.05 6.49 8.24	56.92/Re 62.20/Re 68.36/Re 72.92/Re 78.80/Re 82.32/Re 96.00/Re
<p>Elipse</p> 	$a/b$ 1 2 4 8 16	3.66 3.74 3.79 3.72 3.65	4.36 4.56 4.88 5.09 5.18	64.00/Re 67.28/Re 72.96/Re 76.60/Re 78.16/Re
<p>Triángulo</p> 	$\theta$ 10° 30° 60° 90° 120°	1.61 2.26 2.47 2.34 2.00	2.45 2.91 3.11 2.98 2.68	50.80/Re 52.28/Re 53.32/Re 52.60/Re 50.96/Re

**ANEXO 14 Tablas de coeficientes de pérdida en accesorios (conductos de aire)**

**TABLAS DE COEFICIENTES DE PÉRDIDA EN ACCESORIOS (CONDUCTOS DE AIRE)**

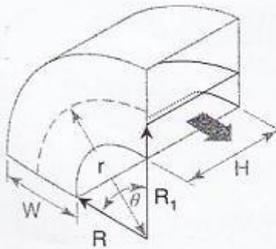


r/W	C <sub>p</sub>										
	H/W										
	0,25	0,5	0,75	1	1,5	2	3	4	5	6	8
0,5	1,53	1,38	1,29	1,18	1,06	1,00	1,00	1,06	1,12	1,16	1,18
0,75	0,57	0,52	0,48	0,44	0,40	0,39	0,39	0,40	0,42	0,43	0,44
1	0,27	0,25	0,23	0,21	0,19	0,18	0,18	0,19	0,20	0,21	0,21
1,5	0,22	0,20	0,19	0,17	0,15	0,14	0,14	0,15	0,16	0,17	0,17
2	0,20	0,18	0,16	0,15	0,14	0,13	0,13	0,14	0,14	0,15	0,15

θ	0	20	30	45	60	75	90	110	130	150	180
K	0,00	0,31	0,45	0,60	0,78	0,90	1,00	1,13	1,20	1,28	1,40

$$C_o = K \cdot C_p \quad ; \quad \Delta P = C_o \rho \left( \frac{v_p}{2} \right)^2$$

**Codo rectangular (radio suave)**



r/W	C <sub>p</sub>									
	H/W									
	0,25	0,50	1,00	1,50	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00
0,55	0,52	0,40	0,43	0,49	0,55	0,66	0,75	0,84	0,93	1,01
0,60	0,36	0,27	0,25	0,28	0,30	0,35	0,39	0,42	0,46	0,49
0,65	0,28	0,21	0,18	0,19	0,20	0,22	0,25	0,26	0,28	0,30
0,70	0,22	0,16	0,14	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20
0,75	0,18	0,13	0,11	0,11	0,11	0,12	0,13	0,14	0,14	0,15
0,80	0,15	0,11	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10	0,10	0,11	0,11
0,85	0,13	0,09	0,08	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,09
0,90	0,11	0,08	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07
0,95	0,10	0,07	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06
1,00	0,09	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05

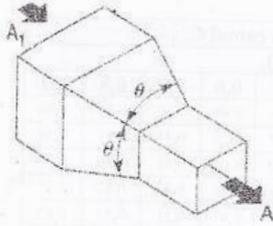
θ	0	30	45	60	90
K	0,00	0,45	0,60	0,78	1,00

$$C_o = K \cdot C_p \quad ; \quad \Delta P = C_o \rho \left( \frac{v_p}{2} \right)^2$$

**Codo rectangular (radio suave) con un deflector interno**



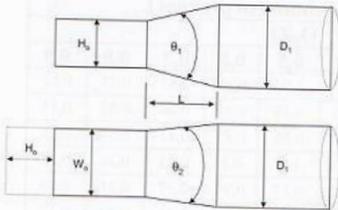
A <sub>1</sub> /A	θ						
	10°	15°-40°	50°-60°	90°	120°	150°	180°
2	0,05	0,05	0,06	0,12	0,18	0,24	0,26
4	0,05	0,04	0,07	0,17	0,27	0,35	0,41
6	0,05	0,04	0,07	0,18	0,28	0,36	0,42
10	0,05	0,05	0,08	0,19	0,29	0,37	0,43



$$\Delta P = C_o \rho \left( \frac{v_p}{2} \right)^2$$

( $v_p$  = velocidad en la sección A)

### Contracciones

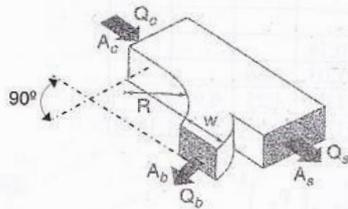


$\theta$  será el mayor entre  $\theta_1$  y  $\theta_2$

$A_o/A_1$	$C_o$									
	$\theta$									
	10°	15°	20°	30°	45°	60°	90°	120°	150°	180°
0,06	0,30	0,54	0,53	0,65	0,77	0,88	0,95	0,98	0,98	0,93
0,10	0,30	0,50	0,53	0,64	0,75	0,84	0,89	0,91	0,91	0,88
0,25	0,25	0,36	0,45	0,52	0,58	0,62	0,64	0,64	0,64	0,64
0,50	0,15	0,21	0,25	0,30	0,33	0,33	0,33	0,32	0,31	0,30
1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,00	0,24	0,28	0,26	0,20	0,22	0,24	0,49	0,73	0,97	1,04
4,00	0,89	0,78	0,79	0,70	0,88	1,12	2,72	4,33	5,62	6,58
6,00	1,89	1,67	1,59	1,49	1,98	2,52	6,51	10,14	13,05	15,14
10,0	5,09	5,32	5,15	5,05	6,50	8,05	19,06	29,07	37,08	43,05

$$\Delta P = C_o \rho \left( \frac{v_p}{2} \right)^2$$

### Transiciones Rectangular a circular

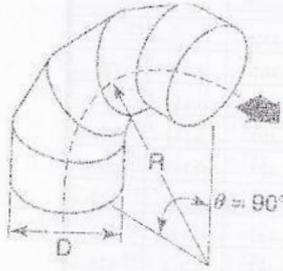


$$R/W = 1.0$$

$$A_s + A_b \geq A_c$$

$A_s/A_c$	$A_b/A_c$	Coeficiente en ramal $C_{c,b}$								
		$Q_b/Q_c$								
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0,50	0,25	3,44	0,70	0,30	0,20	0,17	0,16	0,16	0,17	0,18
	0,50	11,0	2,37	1,06	0,64	0,52	0,47	0,47	0,47	0,48
	1,00	60,0	13,0	4,78	2,06	0,96	0,47	0,31	0,27	0,26
0,75	0,25	2,19	0,55	0,35	0,31	0,33	0,35	0,36	0,37	0,39
	0,50	13,0	2,50	0,89	0,47	0,34	0,31	0,32	0,36	0,43
	1,00	70,0	15,0	5,67	2,62	1,36	0,78	0,53	0,41	0,36
1,00	0,25	3,44	0,78	0,42	0,33	0,30	0,31	0,40	0,42	0,46
	0,50	15,5	3,00	1,11	0,62	0,48	0,42	0,40	0,42	0,46
	1,00	67,0	13,7	5,11	2,31	1,28	0,81	0,59	0,47	0,46
$A_s/A_c$	$A_b/A_c$	Coeficiente en conducto principal $C_{c,s}$								
		$Q_s/Q_c$								
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0,50	0,25	8,75	1,62	0,50	0,17	0,05	0,00	-0,02	-0,02	0,00
	0,50	7,50	1,12	0,25	0,06	0,05	0,09	0,14	0,19	0,22
	1,00	5,00	0,62	0,17	0,08	0,08	0,09	0,12	0,15	0,19
0,75	0,25	19,1	3,38	1,00	0,28	0,05	-0,02	-0,02	0,00	0,06
	0,50	20,8	3,23	0,75	0,14	-0,02	-0,05	-0,05	-0,02	0,03
	1,00	16,9	2,81	0,63	0,11	-0,02	-0,05	0,01	0,00	0,07
1,00	0,25	46,0	9,50	3,22	1,31	0,52	0,14	-0,02	-0,05	-0,01
	0,50	35,0	6,75	2,11	0,75	0,24	0,00	-0,10	-0,09	-0,04
	1,00	38,0	7,50	2,44	0,81	0,24	-0,03	-0,08	-0,06	-0,02

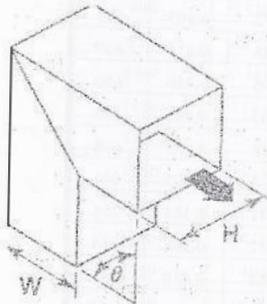
C en Derivación Divergente.



Piezas	R/D				
	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
5	-	0,46	0,33	0,24	0,19
4	-	0,50	0,37	0,27	0,24
3	0,98	0,54	0,42	0,34	0,33

$$\Delta P = C \rho \left( \frac{v_p}{2} \right)^2$$

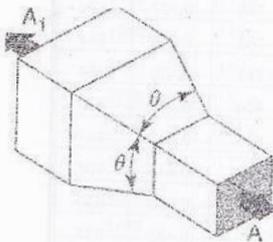
### C en codo varias piezas



θ	H/W					
	0,5	0,75	1,0	2,0	3,0	4,0
20	0,08	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06
30	0,17	0,17	0,16	0,15	0,13	0,13
45	0,37	0,36	0,34	0,31	0,28	0,27
60	0,59	0,57	0,55	0,52	0,46	0,43
75	0,87	0,84	0,81	0,77	0,67	0,63
90	1,30	1,20	1,20	1,10	0,98	0,92

$$\Delta P = C \rho \left( \frac{v_p}{2} \right)^2$$

### C en codo rectangular

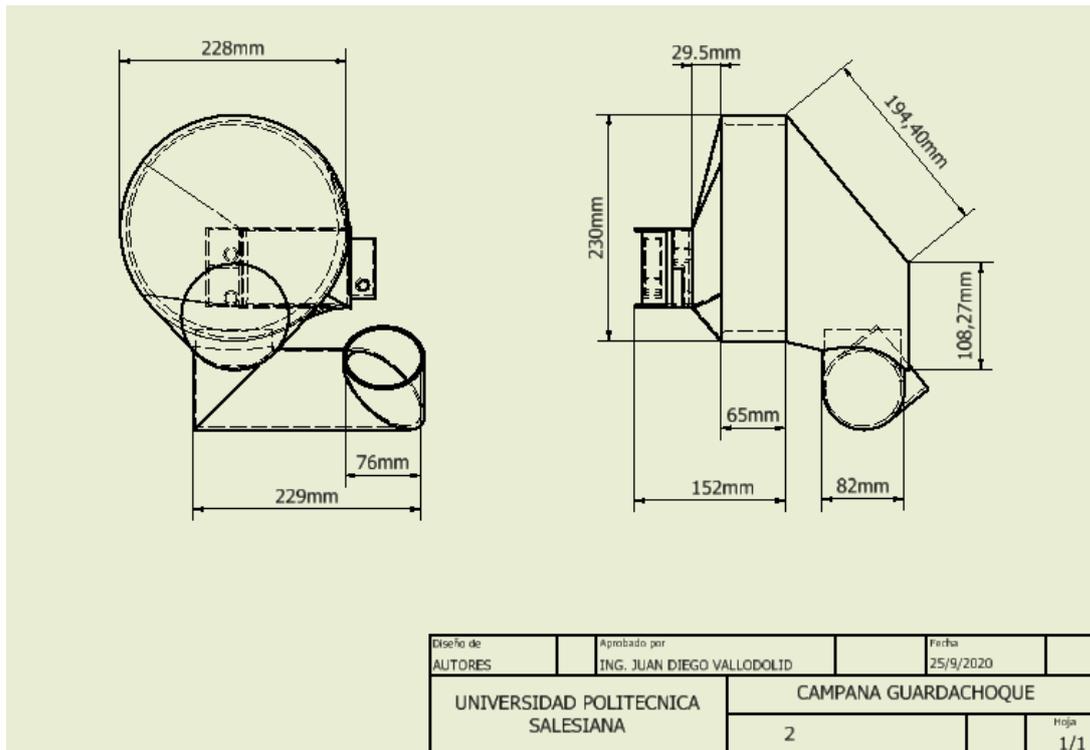


A/A <sub>1</sub>	C <sub>o</sub>									
	θ									
	10°	15°	20°	30°	45°	60°	90°	120°	150°	180°
0,10	0,05	0,05	0,05	0,05	0,07	0,08	0,19	0,29	0,37	0,43
0,17	0,05	0,04	0,04	0,04	0,05	0,07	0,18	0,28	0,36	0,42
0,25	0,05	0,04	0,04	0,04	0,06	0,07	0,17	0,27	0,35	0,41
0,50	0,06	0,05	0,05	0,05	0,06	0,07	0,14	0,20	0,26	0,27
1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,00	0,56	0,52	0,60	0,96	1,40	1,48	1,52	1,48	1,44	1,40
4,00	2,72	3,04	3,52	6,72	9,60	10,9	11,2	11,0	10,7	10,6
10,0	24,0	26,0	36,0	53,0	69,0	82,0	93,0	93,0	92,0	91,0
16,0	66,5	69,1	102,4	143,4	181,8	220,2	256,0	253,4	250,9	250,9

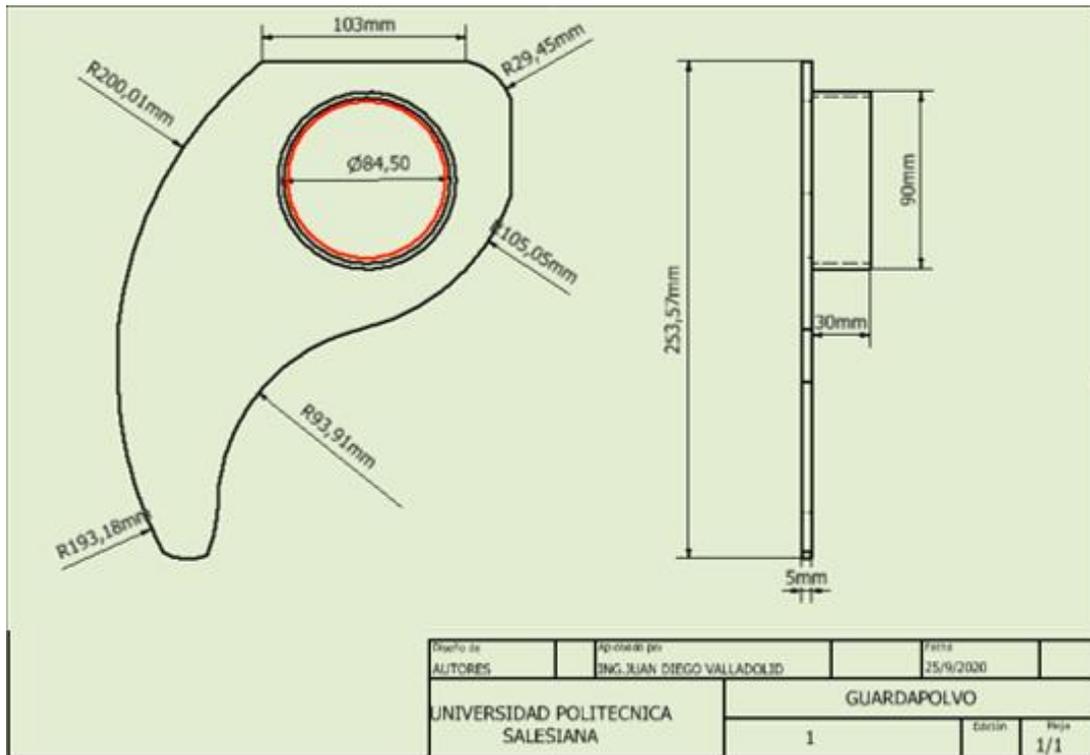
$$\Delta P = C_o \rho \left( \frac{v_p}{2} \right)^2$$

### C en transición rectangular

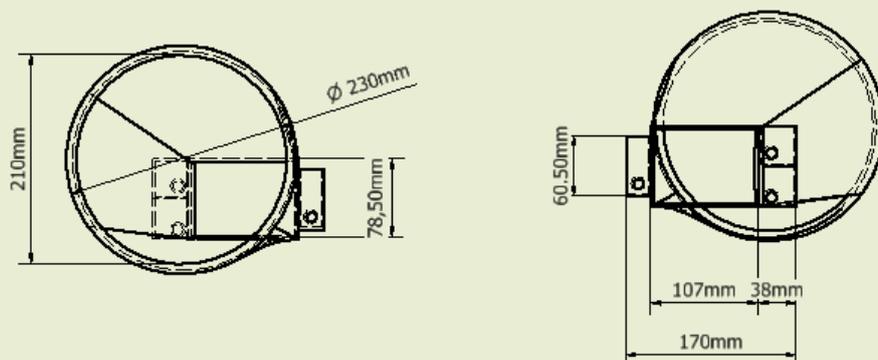
## ANEXO 15 Campana de Guardachoque



## ANEXO 16 Guardapolvo



## ANEXO 17 Acople Guardachoque



Diseño de	Aprobado por	Fecha	
AUTORES	ING. JUAN DIEGO VALLADOLID	25/9/2020	
UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA		ACOPLE GUARDACHOQUE	
		Edición	Hoja
		3	1/1

## ANEXO 18 Programación

Creando un elemento serial llamando a la función "stupSerial"

```
if(~exist('serialFlag','var'))
    [arduino,serialFlag] = setupSerial(comPort);
end
```

Creando nuestra ventana de trazado para visualizar los datos recopilados de las lecturas del puerto serie.

```
if (~exist('h','var') || ~ishandle(h))
    h = figure(1);
    set(h,'UserData',1);
end

if (~exist('button','var'))
    button = uicontrol('Style','togglebutton','String','Stop',...
        'Position',[0 0 50 25], 'parent',h);
end
```

Después de crear un sistema de dos ejes, un objeto lineal a través del cual los datos se graficarán también y se crearán

```
if(~exist('myAxes','var'))

    buf_len = 50;
    index = 1:buf_len;
    zeroIndex = zeros(size(index));
    tcdata = zeroIndex;
    limits = [15 80];

    myAxes = axes('Xlim',[0 buf_len],'Ylim',limits);
    grid on;

    l = line(index,[tcdata;zeroIndex]);

    drawnow;
end
```

La red neuronal leerá los datos y tomara la decisión de encender el electroventilador o no

```
mode = 'R';

while (get(button,'Value') == 0 )
    tc = readTemp(arduino,mode); %leer temperatura arduino
    out = sim(pruebauno,[tc;40]) %red neuronal y set point
    if (out> 0.5)
        mode = '1R'
    else
        mode = '0R'
    end
end
```

```
tcddata = [tcddata(2:end),tc];  
  
set(1,'Ydata',tcddata);  
  
drawnow;  
pause(0.3);  
end
```

## ANEXO 19 Fabricación ( colocación guardapolvo)



## ANEXO 20 Elaboración de acoples.

