



“Estudio de los sistemas de climatización controlados electrónicamente en vehículos y análisis del confort en un habitáculo a través de la aplicación del método Fanger”

De la Cruz Guayasamín, Michael Vinicio

Departamento de energía y mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Automotriz

Ing. Quiroz Erazo, Leonidas Antonio

Latacunga, 27 de agosto 2021



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MÉCANICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación, “**Estudio de los sistemas de climatización controlados electrónicamente en vehículos y análisis del confort en un habitáculo a través de la aplicación del método FANGER**” fue realizado por el señor **De la Cruz Guayasamín, Michael Vinicio**, ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenidos; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 27 de agosto del 2021

Firma



Firmado electrónicamente por:
**LEONIDAS
ANTONIO QUIROZ
ERAZO**

Ing. Quiroz Erazo, Leonidas Antonio

C.C: 0502509995

Urkund

Urkund Analysis Result

Analysed Document: De la Cruz Guayasamin Michael Vinicio_Trabajo titulación.pdf (D111712868)
Submitted: 8/26/2021 4:36:00 PM
Submitted By: loretaibarra@yahoo.es
Significance: 8 %

Sources included in the report:

AIRE ACONDICIONADO HIBRIDOS 1 (1).pdf (D62432669)
 TESIS_DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA CA◊◊MARA CLIMATICA PARA CONDICIONES ESTABLE S DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA..pdf (D103789106)
 Tesis HVAC.pdf (D12169991)
<https://1library.co/document/zpdk2w4z-estudio-dos-momentos-preparacion-deportiva-nivel-contraataques.html>
<http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/737/1/975.pdf>
<https://1library.co/document/z13gj18q-diseno-implementacion-y-monitoreo-de-un-sistema-de-tratamiento-de-aguas-industriales.html>
<https://www.insst.es/documents/94886/327975/ntp-1011.pdf/88e68db1-426e-4d88-85ff-6ec77f1f9204>
<https://www.ergonautas.upv.es/herramientas/tasamet/tasamet.php>
<https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/22769/2/T-ESPEL-MAI-0685.pdf>
<https://docplayer.es/85880256-Universidad-internacional-del-ecuador-facultad-de-ingenieria-automotriz-construccion-de-un-simulador-del-sistema-de-climatizacion-automotriz.html>
<http://repositoriodigital.tuxtla.tecnm.mx/xmlui/bitstream/handle/123456789/2037/TEISIS%20MCIM-Cesar%20Aguilar.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
<https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/5033/1/T-ESPEL-0819.pdf>
<https://core.ac.uk/download/pdf/199463869.pdf>
<https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/24481/1/M-ESPEL-MAT-0062.pdf>
<https://de.slideshare.net/veronik15/t-espe10787>
<https://docplayer.es/53731072-Escuela-politecnica-del-ejercito.html>
<http://www.saes.org.ar/revista/2010/art3.htm>
<https://docplayer.es/61242111-Manual-del-estudiante.html>
https://es.qaz.wiki/wiki/Thermal_comfort
<https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/13431/1/T-ESPEL-MAI-0604.pdf>

Instances where selected sources appear:

39

Firma



Firmado en (Certificado emisor por)
 LEONIDAS
 ANTONIO QUIROZ
 ERAZO

Ing. Quiroz Erazo, Leonidas Antonio

C.C: 0502509995



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MÉCANICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

Responsabilidad de autoría

Yo, **De la Cruz Guayasamín, Michael Vinicio** con cédula de ciudadanía n°1724561699, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: “**Estudio de los sistemas de climatización controlados electrónicamente en vehículos y análisis del confort en un habitáculo a través de la aplicación del método FANGER**”, es de mi autoría y responsabilidad, cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respeta los derechos intelectuales de terceros y referencia las citas bibliográficas.

Latacunga, 24 de agosto del 2021

Firma

De la Cruz Guayasamín, Michael Vinicio

C.C: 1724561699



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MÉCANICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

Autorización de publicación

Yo, **De la Cruz Guayasamín, Michael Vinicio** con cédula de ciudadanía n°1724561699, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“Estudio de los sistemas de climatización controlados electrónicamente en vehículos y análisis del confort en un habitáculo a través de la aplicación del método FANGER”**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 24 de agosto del 2021

Firma

De la Cruz Guayasamín, Michael Vinicio

C.C: 1724561699

Dedicatoria

El presente proyecto lo dedico a mis padres Héctor De la Cruz y María Guayasamín, quienes han sido el pilar fundamental para superar este escalón presente en mi vida meta con su apoyo moral y económico inculcaron los valores necesarios para ser una persona correcta.

A mi hermano y hermana que fueron la fuente de inspiración para culminar la universidad, siempre los llevo presentes en mi corazón, demostrando nuestro lazo familiar y apoyo incondicional.

A mi esposa Samantha Paucar quien siempre se ha mantenido desinteresadamente a mi lado desde el día en que nos conocimos hasta el día de hoy quien me muestra su respeto y cariño.

Para culminar agradezco a las personas quienes estuvieron presentes en el día a día, prestándome su ayuda y motivándome a no darme por vencido.

Agradecimiento

A Dios por darme salud y vida haber guiado mi camino hasta el día de hoy, a mis padres por siempre haber confiado en mis capacidades de no haberme abandonado en los momentos cuando pensé haber fracasado gracias por su ejemplo de dedicación y perseverancia me ha servido a lo largo de mi vida universitaria, a mi esposa Samantha Paucar quien gracias a su comprensión en estos últimos semestres me brinda su me apoyo incondicional y conjuntamente con mi hijo Mateo Vinicio son quien me brindan la mayor fortaleza en mi vida.

Finalmente quiero agradecer de manera muy especial a mi director de tesis Ing. Leonidas Quiroz, por compartir sus conocimientos en el desarrollo de la tesis y su gran aporte como docente en la universidad.

Vinicio

Tabla de contenidos

Carátula.....	1
Certificación.....	2
Urkund.....	3
Responsabilidad de autoría.....	4
Autorización de publicación.....	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento	7
Índice de figuras.....	15
Índice de tablas	18
Índice de ecuaciones	20
Resumen	21
Abstract.....	22
Marco metodológico de la investigación.....	23
Antecedentes	23
Planteamiento del problema	25
Descripción resumida del proyecto	27
Justificación e importancia.....	29
Objetivos del proyecto	30
<i>Objetivo general.....</i>	<i>30</i>

<i>Objetivos específicos</i>	30
Metas	31
Hipótesis	31
Variables de investigación	31
<i>Variable dependiente</i>	31
<i>Variable independiente</i>	33
Metodología de la investigación	35
<i>Método deductivo</i>	35
<i>Método analítico</i>	35
<i>Método experimental</i>	35
<i>Método de medición</i>	35
<i>Método sintético</i>	35
Marco teórico	39
Método FANGER	39
<i>Definición</i>	39
<i>Variables presentes método Fanger</i>	40
<i>Ecuaciones</i>	43
Sistemas Climatizador	49
<i>Necesidad del sistema climatizador</i>	49
<i>La refrigeración</i>	49

<i>Circuito del aire acondicionado</i>	50
<i>Compresor Delphi V5</i>	51
<i>Filtro deshidratador de desecante compactado</i>	53
<i>Condensador de flujo paralelo</i>	54
<i>Evaporador</i>	55
<i>Válvula de expansión</i>	55
<i>Tuberías y racores</i>	56
<i>La calefacción</i>	56
<i>Circuito de calefacción</i>	57
Ecuaciones presentes en la selección de componentes	58
Sistema de control del climatizador	60
Mandos y sistemas de regulación	61
<i>Sistema de mandos manuales</i>	62
<i>Sistema de mandos automáticos</i>	62
Geografía de la provincia de Esmeraldas	63
<i>Características climáticas en la Provincia de Esmeraldas</i>	65
Factores ambientales	66
Factores fisiológicos	67
Seguridad activa	67
Programación en plataformas de desarrollo de software	68

Implementación de los componentes del sistema de automatización	69
Diseño del sistema de automatización del climatizador.....	69
<i>Diseño mecánico aire acondicionado.....</i>	<i>69</i>
<i>Diseño eléctrico.....</i>	<i>75</i>
<i>Diseño electrónico.....</i>	<i>78</i>
Procesamiento de la información.....	84
<i>Adquisición de datos.....</i>	<i>84</i>
<i>Procesamiento de datos</i>	<i>84</i>
Programación	85
<i>Programación Arduino.....</i>	<i>85</i>
<i>Programación Android.....</i>	<i>88</i>
Diseño circuito impreso	93
Instalación del sistema mecánico	94
<i>Instalación compresor.....</i>	<i>96</i>
<i>Instalación condensador.....</i>	<i>97</i>
<i>Instalación evaporador.....</i>	<i>97</i>
<i>Instalación botonera.....</i>	<i>98</i>
Instalación sistema eléctrico	99
<i>Instalación módulo de recirculación</i>	<i>100</i>
<i>Instalación cableado.....</i>	<i>100</i>
Instalación del módulo de automatización	101

<i>Instalación control de trampilla</i>	<i>101</i>
<i>Instalación módulo de control</i>	<i>102</i>
<i>Instalación sensor de temperatura.....</i>	<i>103</i>
Pruebas y análisis de resultados	104
Introducción.....	104
Lineamiento de las pruebas.....	104
Tiempo y velocidad promedio de los trayectos	104
<i>Ruta urbana.....</i>	<i>105</i>
<i>Ruta de carretera</i>	<i>106</i>
<i>Ruta conducción prolongada</i>	<i>108</i>
Conducción urbana.....	110
<i>Prueba estrés térmico ruta urbana módulo activado.....</i>	<i>112</i>
<i>Prueba estrés térmico ruta urbana módulo desactivado.....</i>	<i>112</i>
Conducción en carretera.....	112
<i>Prueba estrés térmico ruta de carretera modulo activo</i>	<i>114</i>
<i>Prueba estrés térmico ruta de carretera módulo desactivado</i>	<i>114</i>
Conducción prolongada.....	114
<i>Prueba estrés térmico conducción prolongada modulo activo</i>	<i>116</i>
<i>Prueba estrés térmico conducción prolongada modulo activo</i>	<i>116</i>
Análisis de resultados.....	116

<i>Análisis comparativo de la temperatura corporal</i>	116
<i>Análisis comparativo del oxígeno presente en la sangre</i>	117
<i>Análisis comparativo del ritmo cardiaco</i>	118
<i>Análisis comparativo de la presión arterial sistólica</i>	120
<i>Análisis comparativo de la presión arterial diastólica</i>	121
<i>Análisis comparativo del nivel de estrés</i>	122
<i>Análisis comparativo del voto medio previsto</i>	123
<i>Análisis comparativo del porcentaje de personas disconformes</i>	124
Comparativa aplicación Método Fanger	125
Programa Android Método Fanger	125
Programa NetBeans Método Fanger	126
Comparativa aplicación ISO 7730.....	127
<i>Prueba 1 valor PMV</i>	128
<i>Prueba 2 valor PMV</i>	129
<i>Prueba 3 valor PMV</i>	129
Marco administrativo	130
Recursos humanos.	130
Recursos tecnológicos.	131
Recursos materiales.....	132
Presupuesto.....	134

Conclusiones y recomendaciones	137
Conclusiones	137
Recomendaciones	139
Bibliografía.....	140
Anexos	142

Índice de figuras

Figura 1. <i>Esquema del planteamiento del problema.</i>	26
Figura 2. <i>Velocidad del aire requerida para ropa de verano.</i>	40
Figura 3. <i>Circuito frigorífico.</i>	50
Figura 4. <i>Circuito del aire acondicionado</i>	51
Figura 5. <i>Compresor Delphi V5.</i>	52
Figura 6. <i>Filtro deshidratador de desecante compacto</i>	53
Figura 7. <i>Condensador de flujo paralelo</i>	54
Figura 8. <i>Evaporador</i>	55
Figura 9. <i>Válvula de expansión.</i>	56
Figura 10. <i>Circuito de calefacción automotriz</i>	58
Figura 11. <i>Sistema climatizador.</i>	61
Figura 12. <i>Panel de control manual</i>	62
Figura 13. <i>Botonera automática AC.</i>	63
Figura 14. <i>Geografía de Esmeraldas</i>	64
Figura 15. <i>Temperatura máxima y mínima promedio.</i>	65
Figura 16. <i>Niveles de comodidad de la humedad</i>	66
Figura 17. <i>Condensador Aveo Family.</i>	72
Figura 18. <i>Evaporador Aveo Family</i>	74
Figura 19. <i>Diagrama eléctrico de componentes de activación AC</i>	76
Figura 20. <i>Relé 0332209150</i>	78
Figura 21. <i>Diagrama de bloques diseño electrónico</i>	79
Figura 22. <i>Regulador de voltaje</i>	80
Figura 23. <i>Circuito del sensor de temperatura</i>	83
Figura 24 <i>Diagrama de flujo inicio de la programación Arduino</i>	86

Figura 25. <i>Diagrama de flujo fin de la programación Arduino</i>	87
Figura 26. <i>Diagrama de flujo Android Studio inicio de programa</i>	89
Figura 27. <i>Diagrama de flujo Android Studio cálculo de variables</i>	90
Figura 28. <i>Diagrama de flujo Android Studio inicio cálculo de valores secundarios</i>	91
Figura 29. <i>Diagrama de flujo android Studio fin de programa</i>	92
Figura 30. <i>Diagrama de flujo diseño y fabricación de placas</i>	93
Figura 31. <i>Diseño de placa del circuito completo</i>	94
Figura 32. <i>Diagrama de procesos instalación mecánica</i>	95
Figura 33. <i>Compresor instalado</i>	96
Figura 34. <i>Condensador instalado</i>	97
Figura 35. <i>Evaporador y válvula de expansión instalados</i>	98
Figura 36. <i>Botonera instalada</i>	98
Figura 37. <i>Diagrama de procesos de instalación eléctrica</i>	99
Figura 38. <i>Diagrama eléctrico AC</i>	101
Figura 39. <i>Control de la trampilla de mezcla</i>	102
Figura 40. <i>Instalación placa Arduino</i>	102
Figura 41. <i>Sensor DTH 22 instalado</i>	103
Figura 42. <i>Ruta urbana</i>	105
Figura 43. <i>Ruta de carretera</i>	107
Figura 44. <i>Ruta conducción prolongada</i>	108
Figura 45. <i>Análisis comparativo de la temperatura corporal</i>	117
Figura 46. <i>Análisis comparativo del oxígeno presente en la sangre</i>	118
Figura 47. <i>Análisis comparativo del ritmo cardiaco</i>	119
Figura 48. <i>Análisis comparativo de la presión arterial sistólica</i>	120
Figura 49. <i>Análisis comprativo de la presión arterial diastólica</i>	121
Figura 50. <i>Análisis comparativo del nivel de estrés térmico</i>	122

Figura 51. <i>Análisis comparativo del voto medio previsto</i>	123
Figura 52. <i>Análisis comparativo del porcentaje de personas disconformes</i>	124
Figura 53. <i>Programa Android</i>	126
Figura 54. <i>Programa Netbeans método Fanger</i>	127
Figura 55. <i>Ejemplo de PMV norma ISO 7730</i>	127
Figura 56. <i>Prueba 1 valor PMV</i>	128
Figura 57. <i>Prueba 2 valor PMV</i>	129
Figura 58. <i>Prueba 3 valor PMV</i>	129

Índice de tablas

Tabla 1. <i>Variable dependiente</i>	32
Tabla 2. <i>Variable independiente</i>	34
Tabla 3. <i>Tipos de metodología de investigación</i>	36
Tabla 4. <i>Tasa metabólica para diversas ocupaciones</i>	41
Tabla 5. <i>Aislamiento térmico para prendas</i>	42
Tabla 6. <i>Especificaciones técnicas condensador</i>	72
Tabla 7. <i>Especificaciones técnicas evaporador</i>	74
Tabla 8. <i>Cálculo relés</i>	77
Tabla 9. <i>Parámetros de selección del microcontrolador</i>	81
Tabla 10. <i>Especificaciones técnicas sensor de temperatura</i>	82
Tabla 11. <i>Tiempo promedio ideal de recorrido de ruta urbana</i>	106
Tabla 12. <i>Puntos de tomas de datos</i>	106
Tabla 13. <i>Tiempo promedio idea de recorrido de ruta de carretera</i>	107
Tabla 14. <i>Puntos de tomas de datos</i>	108
Tabla 15. <i>Tiempo promedio ideal de recorrido conducción prolongada</i>	109
Tabla 16. <i>Puntos de toma de datos</i>	110
Tabla 17. <i>Pruebas de estrés térmico ruta urbana</i>	111
Tabla 18. <i>Pruebas de estrés térmico ruta de carretera</i>	113
Tabla 19. <i>Pruebas de estrés térmico en conducción prolonga</i>	115
Tabla 20. <i>Rucursos humanos</i>	130
Tabla 21. <i>Recursos tecnológicos</i>	131
Tabla 22. <i>Kit de instalacion AC Aveo</i>	132
Tabla 23. <i>Kit de automatización</i>	133
Tabla 24. <i>Equipos de prueba</i>	133

Tabla 25. *Costos de prueba* 134

Tabla 26. *Presupuesto total* 135

Índice de ecuaciones

Ecuación 1. <i>Acumulación de calor en el cuerpo</i>	39
Ecuación 2. <i>Temperatura media de la piel</i>	43
Ecuación 3. <i>Presión parcial vapor de agua</i>	44
Ecuación 4. <i>Factor de superficie de la ropa</i>	44
Ecuación 5. <i>Perdida de calor por evaporación de sudor</i>	44
Ecuación 6. <i>Perdida de calor por difusión de agua por la piel</i>	45
Ecuación 7. <i>Perdida de calor latente por respiración</i>	45
Ecuación 8. <i>Perdida de calor sensible por respiración</i>	45
Ecuación 9. <i>Temperatura de la superficie de la ropa</i>	46
Ecuación 10. <i>Coeficiente de transferencia de calor por convección</i>	47
Ecuación 11. <i>Coeficiente de transferencia de calor por radiación</i>	47
Ecuación 12. <i>Perdida de calor por convección</i>	47
Ecuación 13. <i>Perdida de calor por radiación</i>	48
Ecuación 14. <i>Voto medio previsto</i>	48
Ecuación 15. <i>Porcentaje de personas disconformes</i>	49
Ecuación 16. <i>Conservación de la energía</i>	52
Ecuación 17. <i>Densidad promedio</i>	58
Ecuación 18. <i>Flujo masico del aire</i>	59
Ecuación 19. <i>Calor resultante</i>	59
Ecuación 20. <i>Superficie de contacto</i>	60

Resumen

La presente investigación se detalla el proceso de automatización del sistema de climatización y el porcentaje de incidencia del confort térmico. El estudio del confort térmico por el método FANGER, determina la incidencia de la automatización del sistema de climatización, referente al estrés térmico durante la conducción en rutas urbana, carretera y en conducción prolongada. Se diseñó y construyó una aplicación en el sistema operativo Android y en la plataforma NetBeans, mediante esta se realizó los cálculos de los valores del voto medio previsto (PMV) y el porcentaje de personas disconformes (PPD). Se diseñó y construyó un módulo de automatización por software libre. Aplicando el Método FANGER de acuerdo a la normativa ISO 7730, procesando los datos de actividad metabólica(met) , indumento, temperatura, humedad, velocidad del aire en el interior del habitáculo, analizando en una escala de confort térmico establecida en el método FANGER la cual consta de 7 valores entre -3;3 ,este cálculo se realiza mediante dos variables de voto medio estimado, las pruebas de conducción se realizaron en la provincia de Esmeraldas, comparando la incidencia de factores fisiológicos de temperatura corporal, oxígeno en la sangre, ritmo cardiaco, nivel de estrés y presión arterial, verificando que promueven el estrés térmico, disminuyen la resistencia física y mental en periodos de conducción prolongada , durante esta se podrá observar efectos como la fatiga osteomuscular y un alto nivel de somnolencia .

Palabras clave:

- **MÉTODO FANGER**
- **FACTORES FISIOLÓGICOS**
- **ESTRÉS TÉRMICO**
- **CONFORT TÉRMICO**

Abstract

This research details the process of automation of the air conditioning system and the percentage of incidence of thermal comfort. The study of thermal comfort by the FANGER method, determines the incidence of the automation of the air conditioning system, regarding the thermal stress during driving in urban routes, highways, and prolonged driving. An application was designed and built in the Android operating system and in the NetBeans platform, through which the calculations of the values of the predicted average vote (PMV) and the percentage of dissatisfied people (PPD) were carried out. A free software automation module was designed and built. Applying the FANGER Method according to ISO 7730, processing the data of metabolic activity (met), indument, temperature, humidity, air speed inside the cabin, analyzing on a scale of thermal comfort established in the FANGER method which consists of 7 values between -3; 3, this calculation is made by two variables of the estimated average vote, the driving tests were conducted in the province of Esmeraldas, comparing the incidence of physiological factors of body temperature, blood oxygen, heart rate, stress level, and blood pressure, verifying that promote thermal stress, decrease physical and mental endurance in periods of prolonged driving, during this will be able to observe effects such as musculoskeletal fatigue and a high level of drowsiness.

Keywords:

- **FANGER METHOD**
- **PHYSIOLOGICAL FACTORS**
- **THERMAL STRESS**
- **THERMAL COMFORT**

Capítulo I

1. Marco metodológico de la investigación

1.1. Antecedentes

Los sistemas de climatización pueden ser definidos como: Elementos de confort prácticamente imprescindibles, que permiten aumentar la comodidad de los ocupantes en un trayecto por carretera, Sin embargo, esta definición se puede considerar inconclusa puesto a que este sistema no solo abarca la comodidad del conductor, el sistema de climatización es considerado un elemento de la seguridad activa del vehículo puesto a que un estrés térmico provoca disminución en el grado de concentración. (Barrera & Ros, 2016)

En el mercado automotriz los primeros vehículos dotados de sistema de aire acondicionado son de principios de los años 40 y fueron concebidos por Packard y Cadillac. Durante décadas, el aire acondicionado fue una opción muy rara de encontrar, pero en la década de los 70 inició una rápida. Ascensión que culminó en los años 90 con la implementación del aire acondicionado en prácticamente la totalidad de los modelos de automóviles del mercado. (Pérez, 2001)

Los sistemas de climatización modernos están gestionados por un sistema informático. Al igual que el resto de subsistemas comandados por la UCE del automóvil, el climatizador alberga una centralita que recibe múltiples informaciones del estado del sistema esta información puede venir directamente de los sensores que ella controla o puede venir de otras unidades de control que transmiten datos a través de la red de comunicación. (Pérez, 2001)

Con todos estos datos la unidad de control establecerá los parámetros adecuados del funcionamiento de los actuadores y emitirá señales oportunas para que cada

actuador ajuste correctamente los valores de funcionamiento del sistema. (Barrera & Ros, 2016).

El grado de confort del conductor es una parte esencial de la seguridad activa puesto que presenta una gran influencia sobre la capacidad de concentración del individuo, así como sobre su resistencia física y mental a periodos de conducción prolongados disminuyendo de este modo muy significativamente la fatiga y la somnolencia propias de la condición del vehículo. (Miranda, 2008)

Una de las formas para obtener cierto grado de confort es actuar sobre los tres factores esenciales, los cuales son: la temperatura, la humedad y la calidad del aire. Función que desempeña el equipo de climatización adaptándose en todo momento a las condiciones ambientales cambiantes que afectan al entorno del vehículo y al habitáculo. (Asociación Española de Normalización y Certificación , 2006)

Así pues el sistema climatizador debe tener la capacidad de modificar la temperatura del aire que entra al habitáculo el caudal y el grado de humedad del mismo para lo cual y en función de las condiciones de exteriores, debe generar una corriente de aire elevada cerca de los 8 kilogramos de aire por minuto en condiciones extremas de frío y calor cómo son $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ respectivamente, o una corriente de aire reducida cerca a los 4 kilogramos de aire por minuto cuando la temperatura ambiente sea por ejemplo de $15\text{ }^{\circ}\text{C}$. (Pelàez, 2004).

Al mismo tiempo la temperatura del aire debe estar comprendida entre unos valores adecuados que no supongan riesgo de congelación para los ocupantes del vehículo, logrando al mismo tiempo un salto térmico suficiente, de entre 15 y $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ de diferencia entre la temperatura del exterior y la temperatura del interior del vehículo.

Produciendo para ello los intercambios de calor conveniente hasta conseguir condiciones agradables para los pasajeros. (Pelàez, 2004).

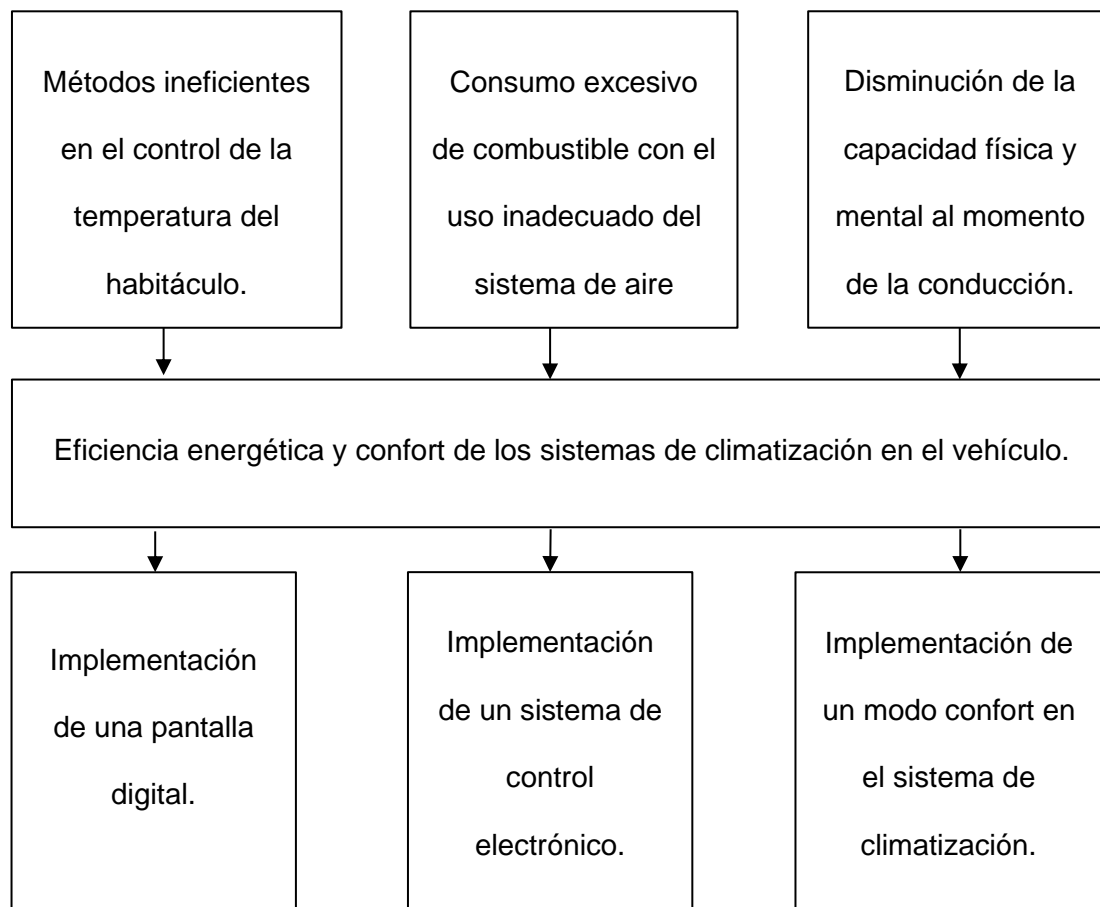
Los datos a obtener para los intervalos de las condiciones de confort agradables para los ocupantes del vehículo, se pueden analizar por medio del método FANGER Anexo L. método que consta del cálculo de dos variables el Voto medio estimado PMV que mide el grado de confort a través de una escala de siete valores entre 3; -3. Para un confort térmico según ISO 7730 Anexo M. El valor debe mantenerse en 0 con un grado de tolerancia de ± 0.5 y el porcentaje de personas insatisfechas PPD que debe mantenerse en un rango del 5 al 10%. (Ambrosio & Palella, 2013)

1.2. Planteamiento del problema

Debido a los cambios climáticos alrededor del mundo ha dado como consecuencia la disminución del grado de confort en un habitáculo. Provocando un estrés térmico en el momento de la conducción e indirectamente afectando a la seguridad activa del vehículo, debido a una disminución en el grado de concentración, resistencia física y mental en periodos de conducción prolongados.

Figura 1.

Esquema del planteamiento del problema



Nota. La figura muestra el planteamiento del problema del estudio de los sistemas de climatización controlados electrónicamente en vehículos y análisis del confort en un habitáculo a través de la aplicación del método Fanger.

En nuestro país, el retraso tecnológico en el entorno automotriz tiene un nivel notable. Un punto a tomar en cuenta son los sistemas de climatización los cuales no presentan los datos necesarios para el control adecuado de la temperatura. Provocando la necesidad de la implementación de una pantalla digital que muestre estos datos.

El uso inadecuado del aire acondicionado a máximo nivel provoca un consumo adicional de combustible, dando como consecuencia la necesidad de implementar un sistema de control electrónico que permita ser más eficientes.

Los periodos prolongados de conducción provocan un estado de somnolencia y fatiga propias al conducir, estos estados pueden disminuirse con un ambiente controlado, el cual influye en el confort térmico. Lo que conlleva al análisis de la neutralidad térmica del habitáculo con la implementación del modo confort en el sistema de climatización.

1.3. Descripción resumida del proyecto

La presente investigación del “ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN CONTROLADOS ELECTRÓNICAMENTE EN VEHÍCULOS Y ANÁLISIS DEL CONFORT EN UN HABITÁCULO A TRAVÉS DE LA APLICACIÓN DEL MÉTODO FANGER”, se considera lo siguiente:

Mediante la herramienta de fuentes confiables y bases digitales se fundamentó teóricamente. normativas, parámetros de operación, sistemas de control y automatización de los sistemas de climatización controlados electrónicamente en vehículos.

Se desarrollo un método técnico científico para el dimensionamiento de los sistemas de climatización del automóvil considerando el control de la velocidad del aire, temperatura del habitáculo, así como la automatización de la activación y desactivación del sistema en función de parámetros físicos del entorno interno y externo.

Se implemento un sistema de aire acondicionado en un vehículo de prueba controlado electrónicamente mediante la automatización y regulación de la temperatura

y humedad del habitáculo considerando la normativa de confort térmico establecida por ISO 7730 y condiciones mecánicas, eléctricas y electrónicas del vehículo.

Se ejecutará el mantenimiento preventivo del sistema de aire acondicionado en el vehículo de prueba detallada en el controlado electrónicamente con la ayuda de equipos y herramientas de los laboratorios de Autotrónica y Mecánica de patio, previo la puesta a punta de los mismos detallados en el Anexo N.

Se ejecutaron pruebas de funcionalidad del sistema de aire acondicionado del vehículo prueba, a través de ciclos transitorios dinámicos en ruta urbana y extraurbana, así como también, ciclos dinámicos en conducción prolongada en el que se analizará parámetros operativos de funcionamiento y prestaciones para el confort humano.

Se realizó la valoración del confort térmico de las personas en el habitáculo del vehículo de prueba en ciclos dinámicos en conducción prolongada con y sin el sistema climatizador automatizado, considerando mecanismos fisiológicos de termorregulación en un estado de equilibrio térmico entre la ganancia y pérdida de calor, mediante índices de actividad metabólica, indumento, temperatura del aire, temperatura radiante media, velocidad del aire y humedad relativa en el habitáculo, en una amplia gama de combinaciones de situaciones ambientales.

Se desarrolló una aplicación para sistemas Android y Java que ejecute el método FANGER en tiempo real de manera gráfica y estadística que valora el nivel de confort de las personas, basándose en la normativa ISO 7730, fijando la ecuación del confort desde una visión matemática y metódica a través de un índice de valoración medio.

Se realizó una tabulación de los datos obtenidos a través de la aplicación con el objetivo de analizar los valores adquiridos en las pruebas de funcionalidad y determinar

la neutralidad térmica para la implementación de la función CONFORT en el sistema climatizador diseñado relacionando un método gráfico y analítico.

1.4. Justificación e importancia

La seguridad que debe presentar un automóvil ante las posibles causas de accidentes al momento de la conducción es en la actualidad uno de los principales motivos de investigación por parte de la industria automotriz, invirtiendo grandes sumas de dinero en estudios relacionados a conseguir el mayor grado de seguridad.

El sistema de climatizador se ha convertido en una necesidad esencial para la seguridad y confort en el habitáculo del vehículo, notándose así una plaza amplia de innovación, tomando en cuenta los equipos electrónicos para una prolongación de la resistencia física y mental en periodos largos de conducción.

De acuerdo con el perfil profesional del Ingeniero Automotriz y sus competencias, se realizará el estudio del confort del habitáculo por el método FANGER, el cual trata de identificar la neutralidad térmica, por medio de: La actividad metabólica, aislamiento de la ropa, temperatura del aire, temperatura radiante media, velocidad del aire y humedad relativa.

El estudio conlleva un avance tecnológico relevante, el cual se basa en una detallada investigación de los sistemas de climatización de los vehículos, este sistema está conformado por elementos que proporcionan: enfriamiento, calentamiento, filtrado de aire, desempañado del parabrisas y control de humedad para la comodidad del pasajero y la seguridad del vehículo.

1.5. Objetivos del proyecto

1.5.1. Objetivo general

- Diseñar y Construir un sistema de climatización controlado electrónicamente en el vehículo de prueba y analizar el confort térmico del habitáculo a través de una aplicación que ejecute el método FANGER en tiempo real.

1.5.2. Objetivos específicos

- Fundamentar teóricamente. normativas, parámetros de operación, sistemas de control y automatización de los sistemas de climatización controlados electrónicamente en vehículos.
- Implementar el sistema de aire acondicionado del vehículo de prueba controlado electrónicamente mediante la automatización y regulación de la temperatura y humedad del habitáculo considerando la normativa de confort térmico establecida por ISO 7730.
- Ejecutar pruebas de funcionalidad del sistema de aire acondicionado del vehículo de prueba, a través de ciclos transitorios dinámicos en ruta urbana y extraurbana.
- Realizar valoraciones del confort térmico de las personas en el habitáculo del vehículo de prueba en ciclos dinámicos en conducción prolongada con y sin el sistema climatizador automatizado, considerando mecanismos fisiológicos de termorregulación en un estado de equilibrio térmico entre la ganancia y pérdida de calor.
- Desarrollar una aplicación para sistemas Android y java que ejecute el método FANGER en tiempo real de manera gráfica y estadística que valore el nivel de confort de las personas, basándose en la normativa ISO 7730.

- Tabular los datos obtenidos a través de la aplicación con el objetivo de analizar los valores adquiridos en las pruebas de funcionalidad y determinar la neutralidad térmica.
- Programar el sistema electrónico con los datos obtenidos a través del método FANGER para el modo CONFORT.

1.6. Metas

- Automatizar el sistema de aire acondicionado del vehículo de prueba controlado electrónicamente.
- Desarrollar una aplicación que evalúe el confort de los ocupantes del vehículo a través del método FANGER, ISO 7730.
- Determinar la incidencia de los sistemas de aire acondicionado y climatización en la seguridad activa vehicular en ciclos dinámicos en conducción prolongada.

1.7. Hipótesis

- Se genera una disminución del 40% del grado de confort térmico de los ocupantes de un vehículo cuando se incrementa la temperatura radiante media en 28% y en un 16% la humedad relativa, produciendo un desequilibrio térmico con un incremento del estrés que afecta en la capacidad física para la conducción prolongada.

1.8. Variables de investigación

Para el proyecto de investigación se aplicará las variables como son: variables dependientes y variables independientes.

1.8.1. Variable dependiente

Índices de confort térmico.

Tabla 1.*Variable Dependiente*

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Lista de elementos necesarios para el cálculo del voto medio estimado	Parámetros físicos	Actividad metabólica	met	Medición. Cálculo. Animación	Ensayo protocolo de pruebas
		Temperatura del aire (Seca - Húmeda)	Celsius	Medición. Cálculo. Animación	Ensayo protocolo de pruebas
		Índice de indumento	Clo	Medición. Cálculo. Animación	Ensayo protocolo de pruebas
		Resistencia Térmica de la Vestimenta	Clo	Medición. Cálculo. Animación	Ensayo protocolo de pruebas

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
		Temperatura radiante media	°C	Medición. Cálculo. Animación	Ensayo protocolo de pruebas
		Velocidad del aire	m/s	Medición. Cálculo. Animación	Ensayo protocolo de pruebas
Lista de elementos necesarios para el cálculo del voto medio estimado	Parámetros físicos	Calidad del aire	Escala cualitati va - cuantita tiva	Medición. Cálculo. Animación	Ensayo protocolo de pruebas
		Humedad relativa	%	Medición. Cálculo. Animación	Ensayo protocolo de pruebas
		Índice de personas insatisfechas	%	Cálculo. Animación	Ensayo protocolo de pruebas

1.8.2. Variable independiente

Condiciones ambientales del entorno.

Tabla 2.*Variable Independiente*

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Es el ambiente físico que rodea a un individuo mientras desempeña una actividad	Parámetros físicos	Temperatura del aire	°C	Medición Cálculo	Ensayo protocolo de pruebas
		Temperatura radiante media	°C	Medición Cálculo	Ensayo protocolo de pruebas
		Velocidad del aire	m/s	Medición	Ensayo protocolo de pruebas
		Presión	bar	Medición Cálculo	Ensayo protocolo de pruebas
		Humedad	%	Medición Cálculo	Ensayo protocolo de pruebas

1.9. Metodología de la investigación

1.9.1. Método deductivo

Considerando los principios de la termodinámica y transferencia de calor se dimensionará los sistemas de climatización para automóviles a través parámetros físicos del entorno interno y externo.

1.9.2. Método analítico

De acuerdo con el dimensionamiento del sistema de climatización se analizará el control de la velocidad del aire, temperatura del habitáculo, así como la automatización de la activación y desactivación del sistema en función de parámetros físicos del entorno interno y externo.

1.9.3. Método experimental

Considerando los mecanismos fisiológicos de termorregulación, se presentará una amplia gama de combinaciones de los índices de actividad metabólica, indumento, temperatura del aire, temperatura radiante media, velocidad del aire y humedad relativa en el habitáculo.

1.9.4. Método de medición

Basado en los índices del confort térmico y la normativa ISO 7730, se cuantificará parámetros operativos de funcionamiento y prestaciones para el confort humano desde una visión matemática y metódica a través del método Fanger.

1.9.5. Método sintético

De acuerdo con los datos obtenidos a través de la aplicación de las pruebas de funcionalidad se determinará la neutralidad térmica para la implementación de la función CONFORT en el sistema climatizador.

Tabla 3.*Tipos de metodología de investigación.*

Metodología	Descripción	Equipo	Laboratorio
Deductivo	Considerando los principios de la termodinámica y transferencia de calor se dimensionará los sistemas de climatización para automóviles a través parámetros físicos del entorno interno y externo.	Vehículo Aveo Family 2012, scanner, anemómetro, termómetro	Laboratorio de autotrónica – Mecánica de patio
Analítico	De acuerdo con el dimensionamiento del sistema de climatización se analizará el control de la velocidad del aire, temperatura del habitáculo, así como la automatización de la activación y desactivación del sistema en función de parámetros físicos del entorno interno y externo	Vehículo Aveo Family 2012, scanner, anemómetro, computadora, Programa método Fanger, medidor de presión, clima 7000, lámpara ultra sónica de fugas.	Laboratorio de autotrónica – Mecánica de patio

Metodología	Descripción	Equipo	Laboratorio
Experimental	Considerando los mecanismos fisiológicos de termorregulación, se presentará una amplia gama de combinaciones de los índices de actividad metabólica, indumento, temperatura del aire, temperatura radiante media, velocidad del aire y humedad relativa en el habitáculo.	Vehículo Aveo Family 2012, scanner, anemómetro, computadora, Programa método Fanger, medidor de presión, clima 7000, lámpara ultra sónica de fugas.	Laboratorio de autotrónica – Mecánica de patio
Medición	Basado en los índices del confort térmico y la normativa ISO 7730, se cuantificará parámetros operativos de funcionamiento y prestaciones para el confort humano desde una visión matemática y metódica a través del método Fanger.	Vehículo Aveo Family 2012, scanner, anemómetro, computadora, Programa método Fanger, normativa ISO 7730.	Laboratorio de autotrónica – Mecánica de patio

Metodología	Descripción	Equipo	Laboratorio
Síntesis	De acuerdo con los datos obtenidos a través de la aplicación de las pruebas de funcionalidad se determinará la neutralidad térmica para la implementación de la función CONFORT en el sistema climatizador.	Vehículo Aveo Family 2012, scanner, anemómetro, computadora, Programa método Fanger, normativa ISO 7730.	Laboratorio de autotrónica – Mecánica de patio

Capítulo II

2. Marco teórico

2.1. Método FANGER

2.1.1. Definición

Método que describe el valor de la temperatura de confort térmico en términos del estado físico de las personas, y no en valores de las condiciones del ambiente térmico. En consecuencia, ese valor puede derivarse de una ecuación de balance térmico humano para que una persona dada a un nivel de actividad dado, donde la condición es que su temperatura media de la piel y su secreción de sudor conserven valores dentro de los límites estrechos (Gomez, 2007).

Ecuación 1.

Acumulación de calor en el cuerpo. (Monroy, 2015, pág. 2)

$$S = M - W - Ed - E - Eres - Cres - R - C$$

Donde:

S= Acumulación de calor en el cuerpo. [Wm^{-2}]

M= Trabajo mecánico externo. [Wm^{-2}]

W= Energía metabólica producida por el organismo. [Wm^{-2}]

Ed= Perdidas de calor por la difusión de agua por la piel. [Wm^{-2}]

E= Perdida de calor por evaporación del sudor. [Wm^{-2}]

Eres= Perdida de calor latente por respiración. [Wm^{-2}]

Cres= Perdidas de calor sensible por respiración. [Wm^{-2}]

R= Pérdidas de calor por radiación. [Wm^{-2}]

C= Pérdidas de calor por conversión. [Wm^{-2}]

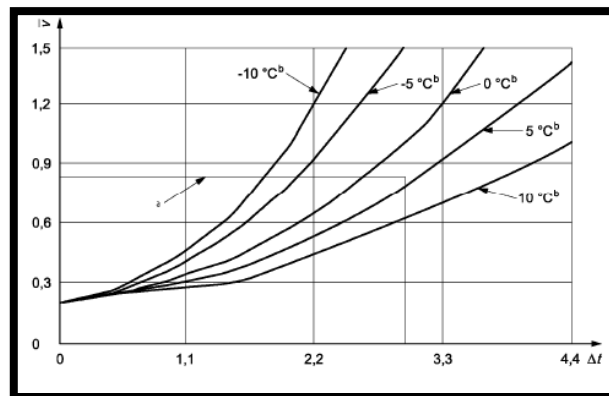
2.1.2. Variables presentes método Fanger

2.1. 2.1. Velocidad del aire

La velocidad del aire se expresa en m/s. Por convenio la velocidad del aire se considera como la intensidad media de velocidad integrada sobre todas las direcciones. Se define por su dirección e intensidad. No existe una velocidad del aire mínima para el bienestar térmico. No obstante, puede ser empleada una velocidad de aire más alta para compensar la sensación de calor provocada por un incremento de la temperatura (ISO 7730, 2006).

Figura 2.

Velocidad del aire requerida para ropa de verano



Nota. La figura muestra la velocidad del aire requerida para ropa de verano. Tomado de la Normativa ISO 7730 (p51), 2005.

2.1. 2.2. Temperatura del aire

La temperatura es un índice indicativo del calentamiento o enfriamiento del aire que resulta del intercambio de calor entre la atmósfera y la tierra. La temperatura indica en valores numéricos el nivel de energía interna que se encuentra en un lugar en ese momento (Romero, 2007).

2.1. 2.3. Actividad metabólica

La actividad metabólica sirve para evaluar la carga física y es, así mismo, una variable necesaria para valorar la agresión térmica. esta mide el gasto energético muscular que experimenta un individuo cuando desarrolla una tarea. Gran parte de dicha energía es transformada directamente en calor. (Nogareda, 2014)

Tabla 4.

Tasa metabólica para diversas ocupaciones

Ocupación	Tasa metabólica ($W \cdot m^{-2}$)
Trabajo sedentario	55 a 70
Trabajo administrativo	70 a 100
Operador de vagoneta	70 a 85
Mecánico de precisión	70 a 110
Conductor de automóvil	70 a 100
Conductor de autobús	75 a 125

2.1. 2.4. Aislamiento de la vestimenta

El aislamiento térmico, se define como: Resistencia a la pérdida de calor seco entre dos superficies, Él aislamiento de la ropa puede ser estima directamente a partir

de combinaciones de prendas o directamente mediante la suma de los valores de aislamiento parciales de cada prenda estos valores son para aislamiento estático (ISO 7730, 2006).

Tabla 5.

Aislamiento térmico para prendas.

Prenda	I_{ctu}	
	clo	$m^2 \cdot K/W$
Ropa interior		
Bragas	0,03	0,005
Calzoncillos de perneras largas	0,10	0,016
Camisetas sin mangas	0,04	0,006
Camisetas de manga corta	0,09	0,014
Camiseta de manga larga	0,12	0,019
Pantalones		
Cortos	0,06	0,009
Ligeros	0,20	0,031
Normales	0,25	0,039
Vestidos/Faldas		
Faldas ligeras	0,15	0,023
Faldas gruesas	0,25	0,039
Vestidos ligeros, mangas cortas	0,20	0,031
Vestido de invierno, mangas largas	0,40	0,062

2.1. 2.5. Temperatura radiante media

Es la temperatura ficticia uniforme de un local negro imaginario a la cual un cuerpo intercambia por radiación la misma cantidad de calor que en el local real. Puede ser estimado como un promedio ponderado de las temperaturas de las superficies sólidas que rodean a la persona (Goulding, Lewis, & Stecmbers, 1994).

2.1. 2.6. Humedad relativa

Es la relación entre la presión parcial del vapor de agua del aire y la presión parcial de saturación de vapor de agua a la misma temperatura y presión se expresa en %. Esto afecta al equilibrio térmico general del cuerpo a temperaturas moderadas (<26°C) y niveles de actividad moderada (<2 met), tal influencia es no obstante bastante limitada en ambientes moderados la humedad del aire tiene sólo un impacto Modesto sobre la sensación térmica (ISO 7730, 2006).

2.1.3. Ecuaciones

El proceso de evaluación del confort térmico por medio del método FANGER requiere de valores previamente obtenidos por medio de ecuaciones establecidas, las cuáles serán presentadas a continuación:

Ecuación 2.

Temperatura media de la piel (Monroy, 2015, pág. 3)

$$t_{sk} = 35.7 - 0.0285 \cdot t_m$$

Donde:

t_{sk} = temperatura media de la piel[°C]

t_m = Tasa metabólica $\left[\frac{W}{m^2} \right]$

Ecuación 3.

Presión parcial vapor de agua (Ambrosio & Palella, 2013, pág. 8)

$$P_a = \frac{h_u}{100} \cdot 0.1333 \cdot e^{\left(18,6686 - \frac{4030,183}{t_a + 235}\right)}$$

Donde:

P_a = Presión parcial vapor de agua [Pa]

h_u = Humedad relativa [%]

t_a = Temperatura del aire [°C]

Ecuación 4.

Factor de superficie de la ropa (ISO 7730 , 2006, pág.9)

$$f_{cl} = \begin{cases} 1 + 1.29 \cdot I_{cl} & I_{cl} \leq 0.078 \frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W} \\ 1.05 + 0.645 \cdot I_{cl} & I_{cl} > 0.078 \frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W} \end{cases}$$

Donde:

f_{cl} = Factor de superficie de la ropa.

I_{cl} = Aislamiento térmico. $\left[\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}\right]$

Ecuación 5.

Perdida de calor por evaporación de sudor (Pacheco, 2016, pág. 2)

$$E = 0.42 \cdot (t_m - 58)$$

Donde:

E = Pérdida de calor por evaporación de sudor $\left[\frac{W}{m^2}\right]$

t_m = Tasa metabólica $\left[\frac{W}{m^2}\right]$

Ecuación 6.

Pérdida de calor por difusión de agua por la piel (Pacheco, 2016, pág. 2)

$$E_d = 3.05 \cdot (0.255 \cdot t_{sk} - 3.36 - P_a)$$

E_d = Pérdida de calor por difusión de agua por la piel $\left[\frac{W}{m^2}\right]$

t_{sk} = temperatura media de la piel [°C]

P_a = Presión parcial vapor de agua [Pa]

Ecuación 7.

Pérdida de calor latente por respiración (Pacheco, 2016, pág. 2)

$$E_{res} = 1.73 \cdot 10^{-2} \cdot t_m \cdot (5.867 - P_a)$$

E_{res} = Pérdida de calor latente por respiración $\left[\frac{W}{m^2}\right]$

t_m = Tasa metabólica $\left[\frac{W}{m^2}\right]$

P_a = Presión parcial vapor de agua [Pa]

Ecuación 8.

Pérdida de calor sensible por respiración (Pacheco, 2016, pág. 2)

$$C_{res} = 1.4 \cdot 10^{-3} \cdot t_m \cdot (34 - t_a)$$

C_{res} = Pérdida de calor sensible por respiración $\left[\frac{W}{m^2}\right]$

t_m = Tasa metabólica $\left[\frac{W}{m^2}\right]$

t_a = Temperatura del aire [$^{\circ}\text{C}$]

Ecuación 9.

Temperatura de superficie de la ropa (Monroy, 2015, pág. 3)

$$t_{lc} = t_{sk} - I_{cl} \cdot (tm - W - E - E_d - E_{res} - C_{res} - S)$$

t_{lc} = Temperatura de superficie de la ropa [$^{\circ}\text{C}$]

t_{sk} = temperatura media de la piel [$^{\circ}\text{C}$]

I_{cl} = Aislamiento térmico. $\left[\frac{m^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}{W}\right]$

t_m = Tasa metabólica $\left[\frac{W}{m^2}\right]$

W = Energía metabólica producida por el organismo. $[Wm^{-2}]$

E = Pérdida de calor por evaporación de sudor $\left[\frac{W}{m^2}\right]$

E_d = Pérdida de calor por difusión de agua por la piel $\left[\frac{W}{m^2}\right]$

E_{res} = Pérdida de calor latente por respiración $\left[\frac{W}{m^2}\right]$

C_{res} = Pérdida de calor sensible por respiración $\left[\frac{W}{m^2}\right]$

S = Acumulación de calor en el cuerpo $\left[\frac{W}{m^2}\right]$

Ecuación 10.

Coefficiente de transferencia de calor por convección (ISO 7730 , 2006, pág.9)

$$h_c = \begin{cases} 2.38 \cdot |t_{lc} - ta|^{0.25} & 2.38 \cdot |t_{lc} - ta|^{0.25} > 12.1 \cdot \sqrt{va} \\ 12.1 \cdot \sqrt{va} & 2.38 \cdot |t_{lc} - ta|^{0.25} < 12.1 \cdot \sqrt{va} \end{cases}$$

Donde

h_c = Coeficiente de transferencia de calor por convección $\left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}\right]$

t_a = Temperatura del aire [$^\circ C$]

t_{lc} = Temperatura de superficie de la ropa [$^\circ C$]

va = Velocidad del aire $\left[\frac{m}{s}\right]$

Ecuación 11.

Coefficiente de transferencia de calor por radiación (Ambrosio & Palella, 2013, pág. 12)

$$H_r = 5.66 \cdot 10^{-8} \cdot 0.95 \cdot 0.77 \cdot \left(\frac{(t_{lc} + 273)^4 - (tr + 273)^4}{(t_{lc} - tr)} \right)$$

H_r = Coeficiente de transferencia de calor por radiación $\left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}\right]$

t_r = Temperatura radiante media [$^\circ C$]

t_{lc} = Temperatura de superficie de la ropa [$^\circ C$]

Ecuación 12.

Perdida de calor por convección (Ambrosio & Palella, 2013, pág. 12)

$$C = f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{lc} - ta)$$

$C =$ Pérdida de calor por convección $\left[\frac{W}{m^2}\right]$

$f_{cl} =$ Factor de superficie de la ropa.

$t_{lc} =$ Temperatura de superficie de la ropa $[\text{°C}]$

$t_a =$ Temperatura del aire $[\text{°C}]$

Ecuación 13.

Pérdida de calor por radiación (Ambrosio & Palella, 2013, pág. 12)

$$R = f_{cl} \cdot H_r \cdot (t_{lc} - t_r)$$

$R =$ Pérdida de calor por radiación $\left[\frac{W}{m^2}\right]$

$f_{cl} =$ Factor de superficie de la ropa.

$t_{lc} =$ Temperatura de superficie de la ropa $[\text{°C}]$

$t_r =$ Temperatura radiante media $[\text{°C}]$

Ecuación 14.

Voto medio previsto (ISO 7730 , 2006, pág.9)

$$PMV = (0.303 \cdot e^{-0.036 \cdot t_m} + 0.028) \cdot S$$

$PMV =$ Voto medio previsto

$t_m =$ Tasa metabólica $\left[\frac{W}{m^2}\right]$

$S =$ Acumulación de calor en el cuerpo $\left[\frac{W}{m^2}\right]$

Ecuación 15.

Porcentaje de personas insatisfechas (ISO 7730 , 2006, pág.9)

$$PPD = 100 - 95 \cdot e^{(-0.03353 \cdot PMV^4 - 0.2179 \cdot PMV^2)}$$

PPD = Porcentaje de personas insatisfechas [%]

PMV = Voto medio previsto

2.2. Sistemas Climatizador

2.2.1. Necesidad del sistema climatizador

Durante décadas el sistema de climatizador ha sido tomado como un implemento de complemento en un vehículo, provocando que su nivel de importancia disminuya, al hablar de seguridad activa en el automóvil, no es hasta la década de los años 70 que se le atribuye un grado de importancia.

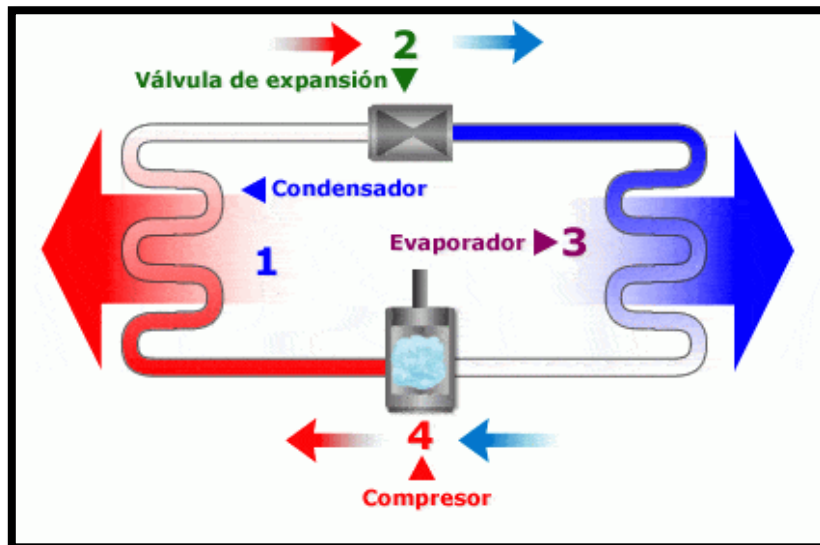
El bienestar del conductor es una parte importante de la seguridad activa, puesto que ejerce una gran influencia sobre la capacidad de la concentración del individuo, así como sobre su resistencia física y mental a periodos de conducción prolongados, reduciendo de este modo muy significativamente la fatiga y somnolencia propias del pilotaje del vehículo (Pelaéz, 2004).

2.2.2. La refrigeración.

El proceso de refrigeración necesita provocar una serie de cambios de temperatura y presión en el sistema para conseguir adecuar el aire que ingresa al interior del habitáculo del automóvil, esta función necesita la integración de un circuito frigorífico, el sistema más básico consta de cuatro elementos fundamentales dónde va a producirse estos intercambios.

Figura 3.

Circuito frigorífico



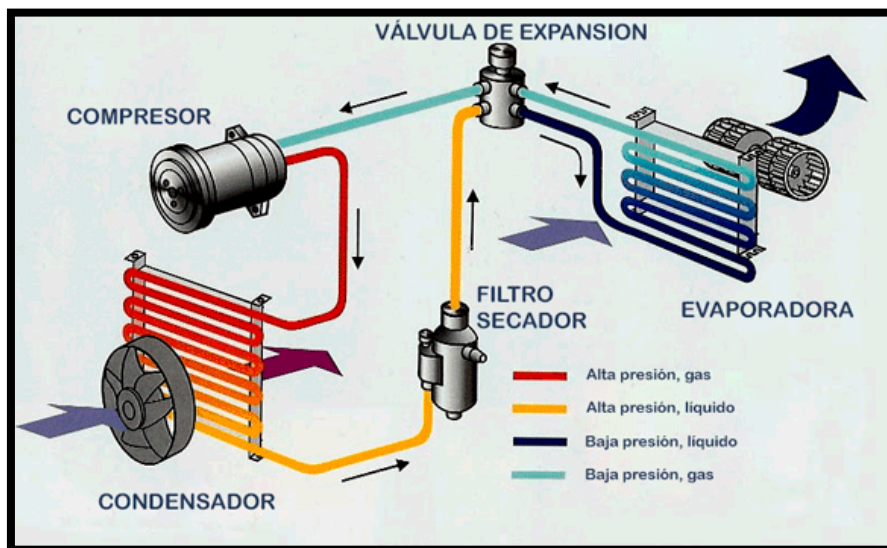
Nota. La figura muestra el circuito frigorífico en sus distintas fases. Tomado de (Castro, 2015).

2.2.3. Circuito del aire acondicionado

El compresor recibe movimiento del motor por medio de una correa, impulsando el gas hacia el condensador y filtro secador, desde la cual llega hasta la válvula de expansión, para entrar al evaporador y regresar al compresor cerrando el circuito. Sobre el evaporador se monta la moto ventilador del climatizador, uniéndose todos los elementos por medio de tuberías adecuadas (Pelaéz, 2004).

Figura 4.

Circuito de aire acondicionado.



Nota. La figura muestra el circuito de aire acondicionado típico en un vehículo. Tomado de (Castro, 2015).

2.2.4. Compresor Delphi V5

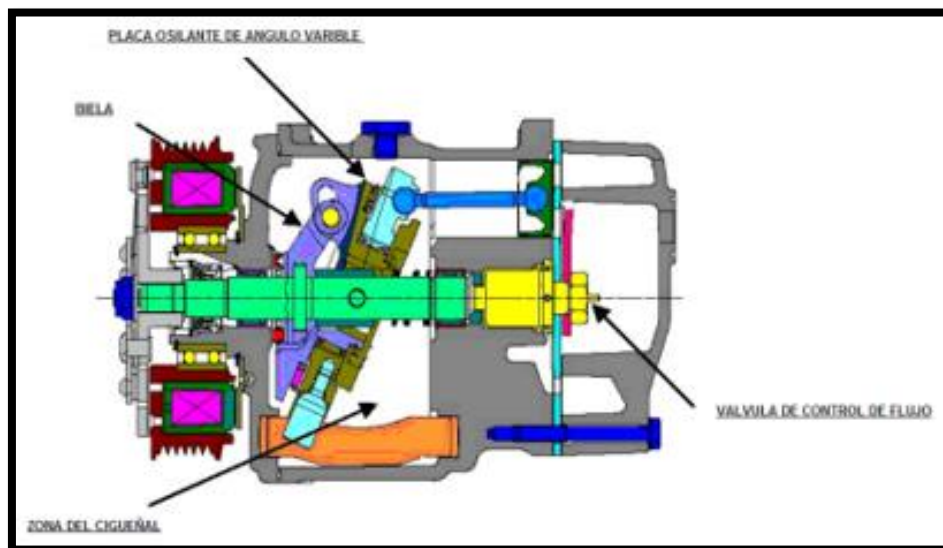
El compresor es uno de los dos elementos fundamentales del circuito, en el que se debe obtener un cambio de presión de sistema, en este caso aportando un aumento de la misma, aspirando el fluido en estado gaseoso procedente del evaporador a baja presión y temperatura, para comprimirlo impulsándolo al sistema alta presión y alta temperatura también, en forma de vapor garantizando el primer nivel de presión de la instalación (Pelaéz, 2004).

El primer compresor de desplazamiento variable producido en volumen, el V-5 de cinco pistones se ajusta automáticamente desplazamiento para adaptarse a la demanda de aire acondicionado del vehículo. Una válvula de control en el cabezal trasero del V-5

detecta la carga del evaporador, y cambia automáticamente el desplazamiento para adaptarse a esa carga. Refrigerante R134a Anexo J.

Figura 5.

Compresor Delphi V5



Nota. La figura muestra el principio de funcionamiento del compresor Delphi V 5.

Tomado catalogo Delphi (pág. 45) 2017.

Debido al principio de conservación de la energía para un dispositivo cíclico se debe cumplir que la potencia presente en el compresor es igual al calor cedido y al calor absorbido como se muestra en la ecuación 2:

Ecuación 16.

Conservación de la energía (Cengel & Boles, 2009)

$$W_{comp} = Q_{con} - Q_{eva}$$

W_{comp} = Potencia absorbida por el refrigerante en el compresor [W]

Q_{con} = Calor cedido por el refrigerante al aire en el condensador [W]

Q_{eva} = Calor absorbido por el refrigerante del aire en el evaporador [W]

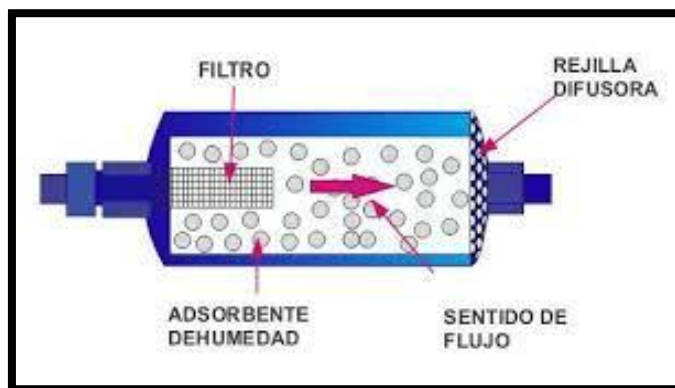
2.2.5. Filtro deshidratador de desecante compactado

El filtro deshidratador conforma uno de los elementos básicos de un sistema climatizador, siendo su función principal limpiar el fluido refrigerante reteniendo las impurezas que contenga, para devolverlo a la instalación en perfectas condiciones de uso. Al mismo tiempo, retiene cualquier traza de humedad que circule con el gas por la instalación, depositándose éstas en un material filtrante de óxido de silicio alúmina principalmente, capaz de almacenar hasta un 10% de su peso en agua (Pelaéz, 2004).

En este tipo de filtros el desecante es presentado en esferas, siendo que, a diferencia de los filtros con desecante suelto este es compactado por un resorte. La filtración de las partículas sólidas se hace por medio de almohadillas de fibra de vidrio colocadas a la entrada y / o salida del desecante. (TEGNOLOGÍA, 2009)

Figura 6.

Filtro deshidratador de desecante compactado.



Nota. La figura muestra el Filtro deshidratador de desecante compactado. Tomado de (Miranda, 2008, pág. 59)

2.2.6. Condensador de flujo paralelo

El condensador es un intercambiador de calor empleado en las instalaciones de aire acondicionado para lograr reducir la alta temperatura del agente frigorífico provocada por el aumento de presión en el compresor. El efecto que se persigue con este elemento es licuar el fluido, necesario para que la vaporización en el expansor provoque el descenso de temperatura necesario para enfriar el aire que penetra al interior del vehículo (Pelaéz, 2004).

El agente refrigerante puede después de atravesar el paso calibrado de la entrada del condensador secular por cualquiera de las tuberías dispuestas para este fin encontrando distintos caminos para recorrer el condensador (Pelaéz, 2004)

Figura 7.

Condensador de flujo paralelo.



Nota. La figura muestra el condensador de flujo paralelo. Tomado de repuestos auto.

2.2.7. Evaporador

El evaporador es el componente de circuito, instalado en el lado de baja presión, a través del cual el aire impulsado cede calor al fluido refrigerante antes de pasar ya frío y deshumidificado al habitáculo. El fluido frigorífero termina de vaporizarse totalmente a su paso por el evaporador, antes de su recirculación por el compresor (Pelaéz, 2004).

Figura 8.

Evaporador.



Nota. La figura muestra el evaporador. Tomado de repuestos auto.

2.2.8. Válvula de expansión

La válvula de expansión debe generar la caída de presión suficiente para lograr la vaporización del fluido que circula a su través. Así pues, la válvula es el elemento generador del segundo cambio de presión de circuito y al mismo tiempo, hace las veces de dosificador del sistema, regulando la cantidad de fluido refrigerante que atraviesa el evaporador, según sean las condiciones ambientales sobre las que trabaje el conjunto,

así como la sollicitación de acondicionamiento del aire hecha por los pasajeros del vehículo (Pelaéz, 2004).

Figura 9.

Válvula de expansión.



Nota. La figura muestra la válvula de expansión. Tomado de repuestos auto.

2.2.9. Tuberías y racores

Las tuberías y racores interconectan los diversos elementos que conforman el sistema que permite la circulación del agente frigorífico formando un circuito cerrado y estanco, aislado del ambiente exterior. Para ello se emplean materiales de fabricación de las tuberías rígidas como el cobre, el acero o el aluminio, en función del tipo de gas utilizado en las instalaciones. Para las tuberías flexibles utilizan distintos tipos de caucho y nylon (Pelaéz, 2004).

2.2.10. La calefacción

La calefacción actúa cuando se presenta una situación que requiere calor en el interior del habitáculo, su función es la de proporcionar un agradable ambiente a los

ocupantes, por ello los vehículos han adquirido elementos para aprovechar el calor generado por el motor. (Barrera & Ros, 2016)

El sistema no ha presentado dificultad para los fabricantes de automóviles, pues el bloque de calefacción ocupa la misma energía que el automóvil disipa a través de calor, este es ocupado por el radiador del habitáculo para proporcionar un ambiente como para los ocupantes del vehículo. (Barrera & Ros, 2016)

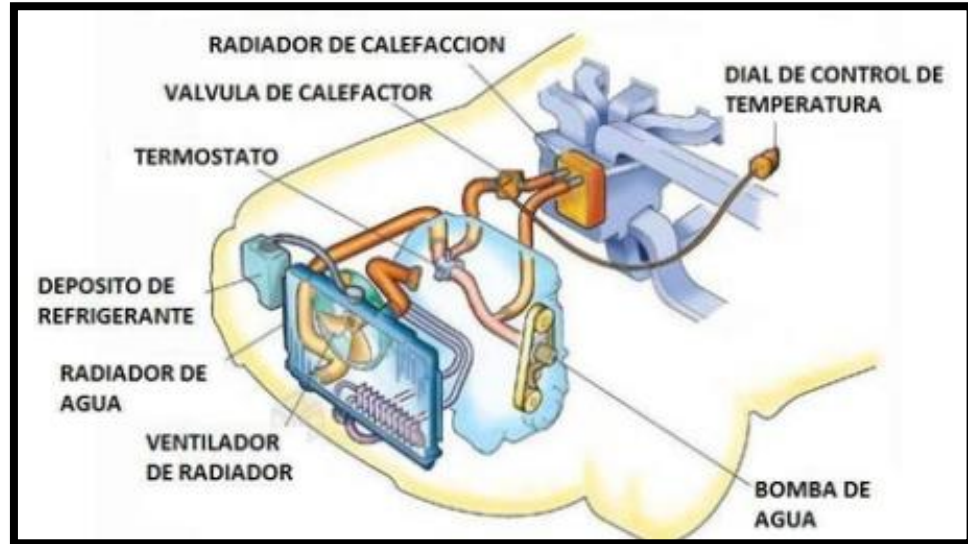
Afín de lograr un nivel adecuado de intercambio de calor con el radiador y el evaporador, y no producir un excesivo ruido, ni molestias debido a las velocidades alcanzadas por el aire, para sistemas de climatización de automóviles se recomienda un caudal de aire máximo de $500 \frac{m^3}{h}$. (Barrera & Ros, 2016)

2.2.11. Circuito de calefacción

El sistema de calefacción de un vehículo requiere de una bomba de agua, que está accionada por el motor del vehículo, la cual aspira el líquido refrigerante de la parte baja del radiador y la impulsa al interior del motor, al mismo tiempo esta envía líquido refrigerante hacia el radiador de la calefacción, proporcionando el calor necesario para calentar el habitáculo del vehículo. (Barrera & Ros, 2016)

Figura 10.

Circuito de calefacción automotriz



Nota. La figura muestra el circuito de calefacción automotriz. Tomado auto partes.

2.3. Ecuaciones presentes en la selección de componentes

El estudio presenta estándares que deben ser calculados previamente debido a la parte de diseño, por lo cual se debe realizar cálculos de valores complementarios para el desarrollo del estudio del sistema de climatización del vehículo de prueba.

Ecuación 17.

Densidad promedio (Cengel & Boles, 2009)

$$\rho = \frac{p}{R \cdot T}$$

Donde:

$$\rho = \text{Densidad promedio } \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

p = Presión atmosférica [Pa]

R = Constante de los gases = $8.3144 \frac{\text{Pa} \cdot \text{m}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}}$

Tomado (Cengel & Boles, 2009, pág. 4)

T = Temperatura ambiental [°K]

Ecuación 18.

Flujo masico del aire

$$\dot{m} = \rho \cdot \dot{V}$$

Donde:

\dot{m} = Flujo masico del aire $\left[\frac{\text{kg}}{\text{s}}\right]$

ρ = Densidad promedio $\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right]$

\dot{V} = Caudal de aire máximo requerido = $500 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 0.139 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$

Tomado (Barrera & Ros, 2016, pág. 430)

Ecuación 19.

Calor resultante (Cengel & Boles, 2009)

$$Q = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T$$

Donde:

Q = Calor resultante [W]

\dot{m} = Flujo masico del aire $\left[\frac{\text{kg}}{\text{s}}\right]$

$c_p = \text{Calor específico del aire} = 1.010 \frac{kJ}{kg^\circ K}$

Tomado (Cengel & Boles, 2009, pág. 960)

$\Delta T = \text{Variación de temperatura} [^\circ K]$

Ecuación 20.

Superficie de contacto (Cengel & Boles, 2009)

$$A = \frac{Q}{(T_s - T_\infty) \cdot h_\infty}$$

Donde:

$A = \text{Superficie de contacto} [m^2]$

$T_s = \text{temperatura promedio del componente} [^\circ K]$

$T_\infty = \text{temperatura promedio del aire} [^\circ K]$

$h_\infty = \text{coeficiente de transferencia de calor por convección} = 255 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$

Tomado (Cengel & Boles, 2009, pág. 940)

2.4. Sistema de control del climatizador

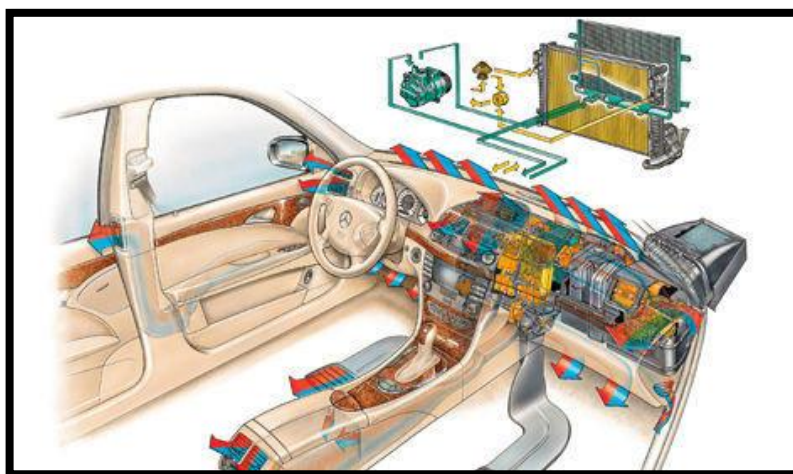
Los circuitos de aire acondicionado y calefacción descritos hasta el momento necesitan un conjunto de controladores, para dejar de ser sistemas independientes y convertirse en un solo conjunto, estos controladores son los encargados de diferentes aspectos como la regulación de la presión y la temperatura de cada uno de sus zonas por varios motivos, siendo el principal el aumento de rendimiento y seguridad.

(Autodidacta, 2002)

Estos sistemas gobiernan eléctrica o electrónicamente distintos actuadores, como el embrague del compresor, la electroválvula del control de la cilindrada del compresor, los ventiladores de refrigeración, en función de las mediciones realizadas por distintos sensores de diversos factores, entre los que se encuentra la temperatura del evaporador, la temperatura exterior, según se traté de sistemas convencionales o conjuntos controlados electrónicamente por una computadora, denominada unidad de control del sistema climatizador (Pelaéz, 2004).

Figura 11.

Sistema climatizador



Nota. La figura muestra el sistema climatizador automotriz. Tomado auto partes.

2.5. Mandos y sistemas de regulación

La temperatura del interior de un vehículo dotado de climatizador puede ser regulada de forma manual o automático actuando sobre la trampilla de mezcla que se ha mencionado con anterioridad posibilita todas las combinaciones de aire frío y caliente de manera que se pueda regular la temperatura del aire que es vertido en el habitáculo

cualquiera que sea las condiciones ambientales sobre las que trabaja el sistema (Pelaéz, 2004).

2.5.1. Sistema de mandos manuales

El sistema presenta un panel de control con perrillas de control manual la cual permite un control de los diferentes componentes del sistema de climatización, como lo son las trampillas de mezcla de aire, la trampilla de recirculación del aire, los cuales son accionados por un conjunto de mandos mecánicos, los cuales son en un grado eficiente, pero que no permiten visualizar la temperatura presente en el habitáculo.

Figura 12.

Panel de control manual.



Nota. La figura muestra el panel de control manual AC. Tomado (Autodidacta, 2002).

2.5.2. Sistema de mandos automáticos

El sistema presenta, un incremento en sus componentes que permite identificar la temperatura humedad y velocidad del aire requerida en cada situación, permitiendo al sistema de climatización acoplarse a las necesidades de los ocupantes del vehículo, de

una forma más eficiente que permita el acercarse al confort térmico del habitáculo.

(Pelaéz, 2004)

La presencia de los sensores permite que el sistema de climatización identifique en qué situación se encuentra el habitáculo, al procesar esta información el microcontrolador puede activar o desactivar el sistema de aire acondicionado además de colocar la perilla del mezclador de aire en la temperatura requerida. (Pelaéz, 2004)

Figura 13.

Botonera automática AC



Nota. La figura muestra el panel de control automático AC. Tomado (Autodidacta, 2002).

2.6. Geografía de la provincia de Esmeraldas

La provincia de Esmeraldas presenta una altitud promedio de 500 metros sobre el nivel del mar, Limita al este con Carchi e Imbabura, al sur con Santo Domingo de los Tsáchilas y Manabí, al sureste con Pichincha, al norte con la Provincia de Tumaco-Barbacoas, del departamento de Nariño perteneciente a Colombia, y al oeste y norte con el océano Pacífico a lo largo de una franja marítima de unos 230 kilómetros.

(Esmeraldas, 2019)

Figura 14.

Geografía de Esmeraldas



Nota. La figura muestra la división geográfica de la provincia de Esmeraldas Tomado (Esmeraldas, 2021).

El cantón con mayor superficie de la provincia es Esmeraldas, debido a la geografía de la ciudad es la opción principal para realizar el estudio de ruta urbana, por ello se analizará en sus principales avenidas:

- Avenida perimetral que cruza de este a oeste la ciudad, es la vía al Puerto / Las Palmas
- Avenida que cruza por el centro de la ciudad, es la avenida Libertad
- Avenida que conecta la perimetral con el centro de la ciudad, es la avenida Bolívar.

En la provincia de Esmeraldas los cantones más importantes por su nivel de afluencia son Atacames y Esmeraldas debido al turismo, debido a esta afluencia son las

opciones principales para realizar el estudio de ruta de carretera, para ello se analizará las vías que los conecta:

- Vía Atacames Esmeraldas
- Vía Troncal del Pacifico
- Carretera Esmeraldas

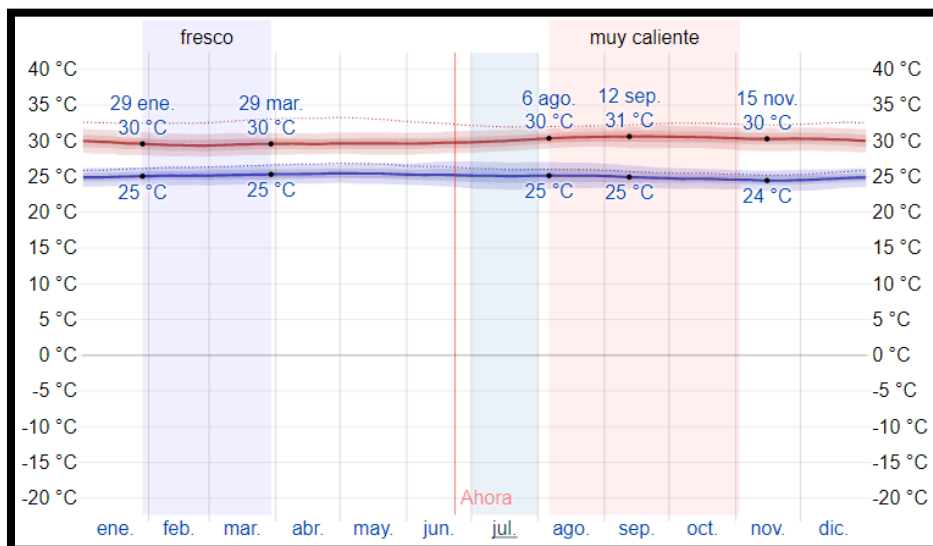
2.6.1. Características climáticas en la Provincia de Esmeraldas

2.6.1.1. Temperatura

Durante 2,9 meses se presenta la temporada calurosa en los meses de agosto y noviembre, presentado una temperatura máxima promedio de más de 30 °C. La temporada fresca se presenta en el mes de enero y marzo, siendo la temperatura máxima de 35 °C. (Esmeraldas, 2021)

Figura 15.

Temperatura máxima y mínima promedio



Nota. La figura muestra las temperaturas máximas y mínimas presentes en Esmeraldas.

Tomado (Esmeraldas, 2021).

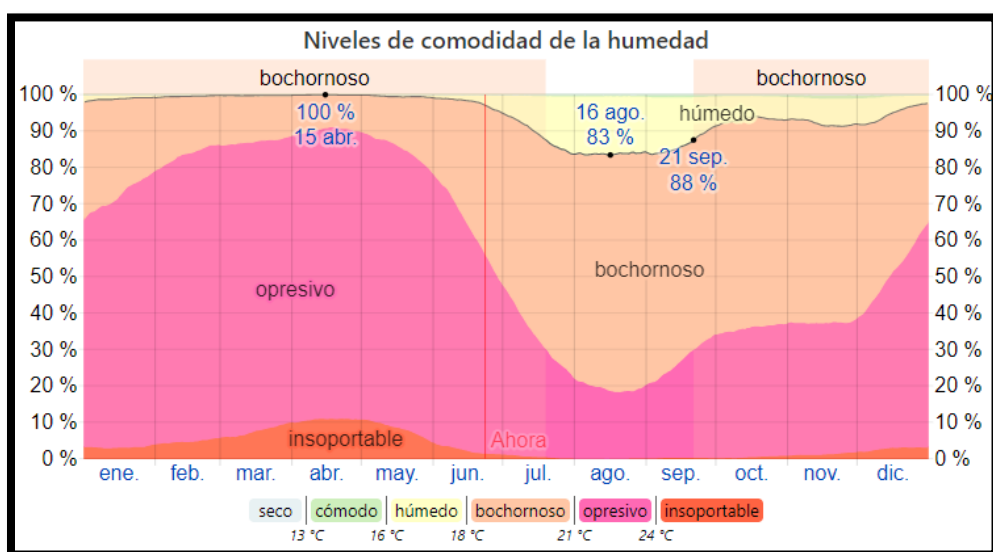
2.6. 1.2. Humedad

La humedad en la provincia de Esmeraldas presenta una variación leve al hablar de la humedad presente, teniendo un rango del 100 al 83 % durante todo el año.

(Esmeraldas, 2021)

Figura 16.

Niveles de comodidad de la humedad.



Nota. La figura muestra las humedades máximas y mínimas presentes en Esmeraldas. Tomado (Esmeraldas, 2021).

2.7. Factores ambientales

Los factores ambientales se denominan a cada uno de los elementos del entorno estremo como interno que actúan directamente sobre el ser vivo, los factores ambientales presentes en el estudio son los siguiente:

- Temperatura del aire
- Temperatura radiante media
- Humedad relativa

- Velocidad del aire
- Temperatura ambiental

2.8. Factores fisiológicos

Los factores fisiológicos se denominan a cada uno de los elementos relacionados con el organismo la biología del individuo, los factores ambientales presentes en el estudio son los siguiente:

- Temperatura corporal
- Oxígeno en la sangre
- Ritmo cardiaco
- Nivel de estrés
- Presión arterial

2.9. Seguridad activa

El sistema del cual se trata el proyecto tiene una relación directa con la influencia del desempeño al momento de la conducción, logrando cambios de estado fisiológico que permiten prolongar el estado de confort y disminuir el riesgo de un estrés térmico al momento de la conducción prolongada.

Se denomina a todo elemento que intervenga en al momento aumentar rendimiento de la eficacia y estabilidad al vehículo en marcha y en la medida de lo posible evitar un accidente. Es decir que todos los componentes que prevengan un accidente son considerados en seguridad activa, por lo cual el sistema de climatización cumple un papel fundamental al hablar de seguridad activa en el vehículo. (Miranda, 2008)

2.10. Programación en plataformas de desarrollo de software

Mediante el análisis para la codificación del programa diseñado , se optó por el ambiente de desarrollador integrado (IDE) “NetBeans”, puesto que a poco rasgos es un framework desarrollado específicamente para simplificar las tareas de la librería swing, dentro este IDE encontramos funciones como gestión de la interfaz de usuario (menús y barras de herramientas), gestión de configuración de usuario, gestión de almacenamiento, gestión de ventana, marco asistente, librería visual y herramientas de desarrollo integrado ,este análisis nos permite concluir a que gracias a su enfoque orientado a gráficas la codificación del aplicativo es más eficiente que en otros IDEs de programación. (TEGNOLOGÍA, 2009)

Mientras que se realizó la codificación en Android Studio debido a que la proporción de usuarios del sistema operativo Android es de 75%, por ello podemos decir que la codificación en este IDE permite ejecutarlo en una variedad de dispositivos móviles, otra razón de utilizar Android Studio es por su gran facilidad de para implementar interfaces gráficas, además de contar con un gran editor de código que facilita la detección de errores en la sintaxis del lenguaje de programación. (Studio, 2020)

Capítulo III

3. Implementación de los componentes del sistema de automatización

3.1. Diseño del sistema de automatización del climatizador

El sistema de climatización está conformado por diseños de partes mecánicas eléctricas y electrónicas, el circuito mecánico conforma los elementos encargados de generar los cambios de presión y temperatura del fluido del aire acondicionado, el circuito eléctrico es aquel que controla los dispositivos de elevado consumo de corriente, tales como el embrague del compresor y la activación de las luces medias. El diseño electrónico es el encargado de la automatización del sistema.

3.1.1. Diseño mecánico aire acondicionado

3.1.1.1. Flujo masico

Se indican los factores ambientales presentes en la provincia de Esmeraldas, las condiciones presentes son establecidas en casos externos de trabajo:

- Temperatura máxima del aire ambiente = $35^{\circ}C = 308^{\circ}K$
Temperatura ambiente presente en Esmeraldas. (Esmeraldas, 2021)
- Altitud promedio de la ciudad de Esmeraldas = $500\ m$
Tomado de la página de gobernación de Esmeraldas
- Presión atmosférica promedio en Esmeraldas = $750\ mm\ Hg = 100100\ Pa$

El cálculo de la densidad promedio del aire (ρ) es necesario para calcular el flujo masico del aire presente en la provincia de esmeraldas, utilizando la ecuación 3.

$$\rho = \frac{p}{R \cdot T}$$

$$\rho = \frac{100100Pa}{8.3144 \frac{Pa \cdot m^3}{mol \cdot ^{\circ}K} 308^{\circ}K}$$

$$\rho = \frac{100100 \text{ mol}}{8.3144 \cdot 308 \text{ m}^3}$$

Conversión de unidades *mol a Kg*

$$x = 100100 \text{ mol} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{62.5 \text{ mol}}$$

Equivalencia tomada de (Cengel & Boles, 2009)

$$x = 1601.6 \text{ kg}$$

$$\rho = \frac{1601.6 \text{ kg}}{8.3144 \cdot 308 \text{ m}^3}$$

$$\rho = 0.625 \text{ kg/m}^3$$

Cálculo del flujo máximo de aire requerido por el sistema de climatización, por medio de la ecuación 4:

$$\dot{m} = \rho \cdot \dot{V}$$

$$\dot{m} = 0.625 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0.139 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$\dot{m} = 0.086 \text{ kg/s}$$

El flujo másico se mantendrá constante durante varias secciones del sistema de climatización.

3.1. 1.2. Selección condensador

Valores requeridos para condiciones de transferencia de calor y el área mínima presentes en el condensador, debido a la cantidad de calor que cede el condensador al aire que lo atraviesa viene dada por la ecuación 5;

T_i = temperatura del aire a la entrada del condensador = $35^\circ\text{C} = 308^\circ\text{K}$

Temperatura ambiente presente en Esmeraldas. (Esmeraldas, 2021)

T_f = temperatura del aire a la salida del condensador = $70^{\circ}C = 343^{\circ}K$

Temperatura máxima presente en el condensador. (Pelaéz, 2004, pág. 25)

$$Q_{con} = \dot{m} \cdot cp \cdot (T_f - T_i)$$

$$Q_{con} = 0.086 \frac{kg}{s} \cdot 1.010 \frac{kJ}{kg^{\circ}K} \cdot (343 - 308)^{\circ}K$$

$$Q_{con} = 3.04 \frac{kJ}{s}$$

$$Q_{con} = 3.04 kW$$

El cálculo realizado representa la cantidad de calor que debe ceder el refrigerante al circular por el condensador. Debido a que el intercambio de calor entre el refrigerante y el aire en el condensador se realiza en una totalidad por convección, por lo cual el cálculo del área de transferencia de calor, se da por la ecuación 6.

T_s = temperatura promedio en el condensador = $0.5 \cdot (70 + 45)^{\circ}C = 57.5^{\circ}C = 330^{\circ}K$

Temperatura máxima y mínima presente en el condensador. (Pelaéz, 2004, pág. 25)

T_{∞} = temperatura promedio del aire = $0.5 \cdot (35 + 70)^{\circ}C = 52.5^{\circ}C = 325.5^{\circ}K$

Temperatura ambiente presente en Esmeraldas. (Esmeraldas, 2021)

$$Q = h_{\infty} \cdot A \cdot (T_s - T_{\infty})$$

$$A = \frac{3040 W}{255 W/m^2 K \cdot (330 - 325.5)^{\circ}K}$$

$$A = 2.38 m^2$$

Por lo tanto, se debe optar por un condensador con un área mínima de transferencia de calor de $2.38 m^2$.

Figura 17.

Condensador Aveo family



Nota. La figura muestra el condensador del vehículo Aveo Family.

Tabla 6.

Especificaciones técnicas condensador

Descripción	Especificaciones
Material	Aluminio
Tipo	Flujo paralelo
Dimensiones	58.11*42.24*1.75 cm

De acuerdo con el parámetro obtenido por medio del cálculo de superficie estable un condensador con una superficie mínima de $2.38m^2$. debido a esto se estableció el condensador del vehículo Aveo el cual cuenta con una superficie de $2.45 m^2$. presente

en el Anexo I, el cual cumple con las dimensiones establecidas y presenta una fabricación de aluminio el cual ayuda a la disipación de calor.

3.1. 1.3. Selección del evaporador

Valores requeridos para condiciones de transferencia de calor y el área mínima presentes en el evaporador, debido a la cantidad de calor que obtiene el evaporador del aire que lo atraviesa viene dada por la ecuación 5;

T_i = temperatura del aire a la entrada del evaporador = $35^{\circ}C = 308^{\circ}K$

Temperatura ambiente presente en Esmeraldas. (Esmeraldas, 2021)

T_f = temperatura del aire a la salida del evaporador = $10^{\circ}C = 283^{\circ}K$

Temperatura promedio en el habitáculo del vehículo A/C activado

$$Q_{eva} = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_i - T_f)$$

$$Q_{eva} = 0.086 \frac{kg}{s} \cdot 1.010 \frac{kJ}{kg^{\circ}K} \cdot (308 - 283)^{\circ}K$$

$$Q_{eva} = 2.1715 kW$$

El cálculo realizado representa la cantidad de calor que debe ceder el refrigerante al circular por el evaporador. Debido a que el intercambio de calor entre el refrigerante y el aire en el evaporador se realiza en una totalidad por convección, por lo cual el cálculo del área de transferencia de calor, se da por la ecuación 6.

T_s = Temperatura del evaporador = $0.5 \cdot (5 + 8)^{\circ}C = 6.5^{\circ}C = 279.5^{\circ}K$

Temperatura máxima y mínima presente en el evaporador. (Pelaéz, 2004, pág. 25)

T_{∞} = temperatura promedio del aire = $0.5 \cdot (35 + 10)^{\circ}C = 22.5^{\circ}C = 295^{\circ}k$

Temperatura promedio en el habitáculo del vehículo A/C activado

$$Q = h_{\infty} \cdot A \cdot (T_s - T_{\infty})$$

$$A = \frac{2171W}{255 W/m^2 \cdot k \cdot (295.5 - 279.5)^{\circ}k}$$

$$A = 0.53m^2$$

Se debe optar por un evaporador con un área mínima de transferencia de calor de $0.53m^2$.

Figura 18.

Evaporador Aveo Family



Nota. La figura muestra el evaporador del vehículo Aveo Family.

Tabla 7

Especificaciones técnicas evaporador

Descripción	Especificaciones
Material	Aluminio
Tipo	Flujo paralelo
Dimensiones	25.5*23.5*8.5 cm

De acuerdo con el parámetro obtenido por medio del cálculo de superficie estable un evaporador con una superficie mínima de $0.53m^2$. debido a esto se estableció el evaporador del vehículo Aveo el cual cuenta con una superficie de $0.6 m^2$. presente en el Anexo, el cual cumple con las dimensiones establecidas y presenta una fabricación de aluminio el cual ayuda a la disipación de calor.

3.1. 1.4. Selección del compresor

En función de y la temperatura de evaporación del refrigerante y de la potencia requerida. La potencia del compresor se determina utilizando la ecuación 2, en base al principio de conservación de la energía.

$$W_{com} = Q_{con} - Q_{eva}$$

$$W_{com} = 3.04kW - 2.171kW$$

$$W_{com} = 0.86kW$$

$$W_{com} = 1.16HP$$

Por lo tanto, se seleccionó un compresor de un mínimo de $1 kW$ a un régimen de 900 rpm para una temperatura de evaporación del refrigerante de $10^{\circ}C$. de acuerdo al Anexo J.

3.1.2. Diseño eléctrico

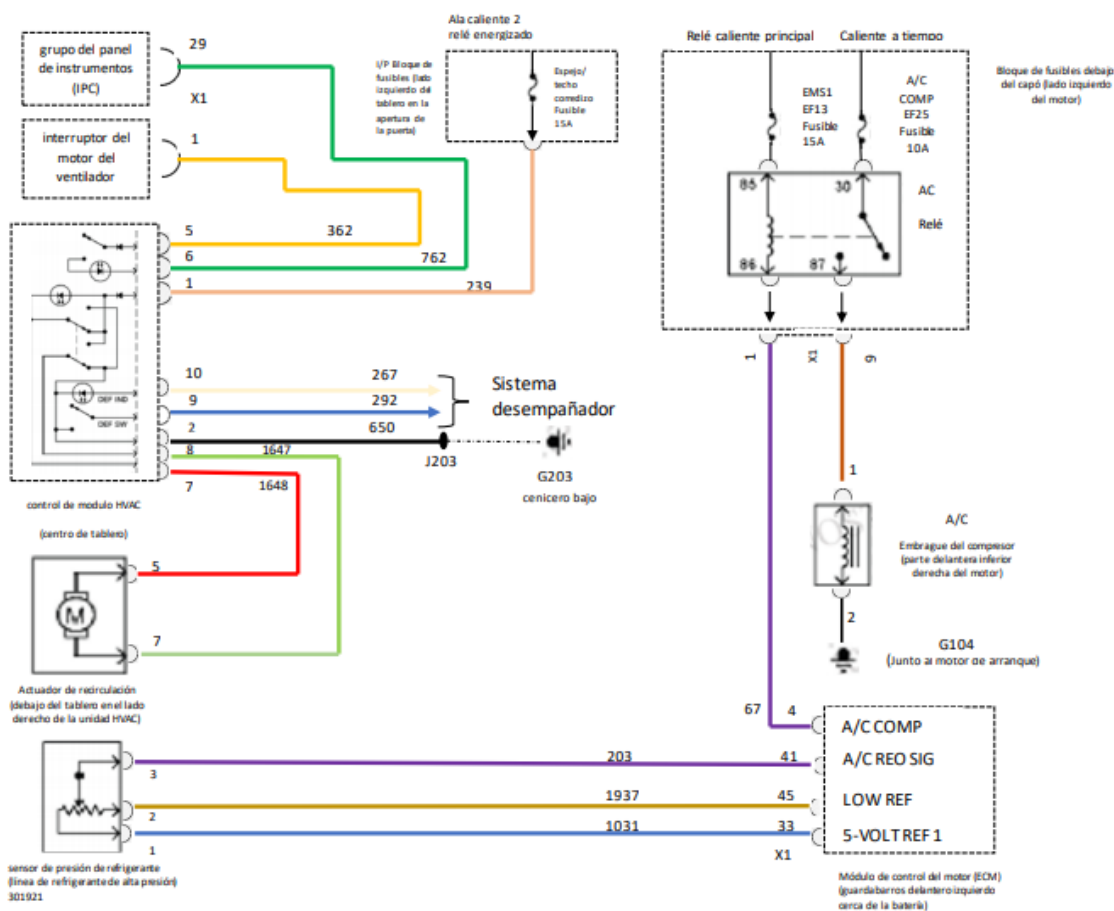
3.1. 2.1. Control embrague del compresor A/C

El control del embrague de compresor A/C presente en la automatización se da por medio de un elemento electro mecánico controlado por el microcontrolador de Arduino, dependiendo de los datos comparativos de la temperatura radiante media y del habitáculo presente en el vehículo.

El sistema de automatización depende de conocer el diagrama eléctrico del vehículo de prueba para poder realizar las conexiones de control de encendido del embrague del compresor y demás señales presentes, en el momento de toma de datos por parte del módulo de automatización Arduino, para lo cual la figura 19 presenta el sistema eléctrico del vehículo Aveo.

Figura 19.

Diagrama eléctrico de componentes de activación A/C



Nota. La imagen presenta el diagrama eléctrico del aire acondicionado del vehículo Aveo Family. Tomada manual eléctrico (pág. 5) 2011.

La funcionalidad del embrague del compresor A/C se encuentra definido por dos partes, la parte automática la cual depende de la temperatura radiante media y del Switch del ventilador de la climatización ya que este es el encargado de alimentar lo que es el embrague, por medio de estas señales la placa Arduino define el estado de los relés el cual activa y desactiva la alimentación del embrague.

El segundo segmento de control es el manual el cual tiene prioridad en relación al automático, debido a ciertas condiciones presentes en el habitáculo, su funcionamiento depende de igual forma del interruptor del electroventilador debido a que este provee el voltaje de alimentación al embrague del compresor del A/C, este interruptor del A/C es evaluado por el microcontrolador el cual envía la señal de activación a relés del embrague compresor.

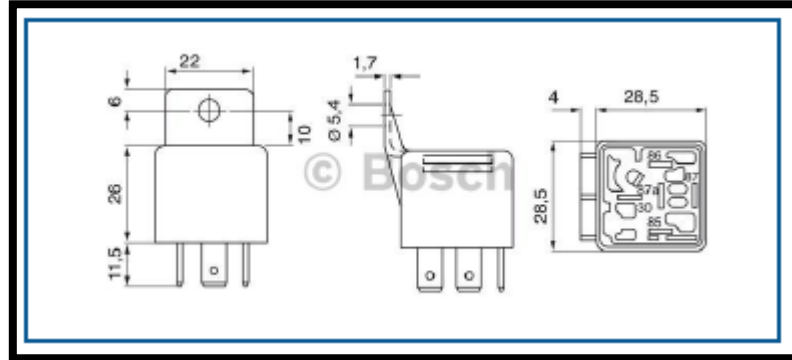
3.1. 2.2. Selección de relés

Se estableció de acuerdo a la intensidad corriente presente en los terminales del relé, este valor es de 4 A en el sistema de luces y de 15 A en todo el sistema de aire acondicionado Anexo K, motivo por el cual se seleccionó los siguientes componentes; un relevador de 20 A código 0332209150 que se muestra en el catálogo de Bosch Anexo D y un módulo micro relé de 10 A, la corriente que se presenta en el arrollado del bobinado se obtuvo manual eléctrico del vehículo Aveo Family.

Tabla 8.

Calculo Relés

Elemento	Potencia	Formula	valor
Faro H4	48 W	$I = \frac{48W}{12V}$	4A
Embrague compresor	180W	$I = \frac{180W}{12V}$	15A

Figura 20.*Relé 0332209150*

Nota. La figura presenta el módulo relé seleccionado para la adopción del sistema de automatización. Tomada de catálogo Bosch (pág.47) 2010.

3.1. 2.3. Selección del conductor eléctrico

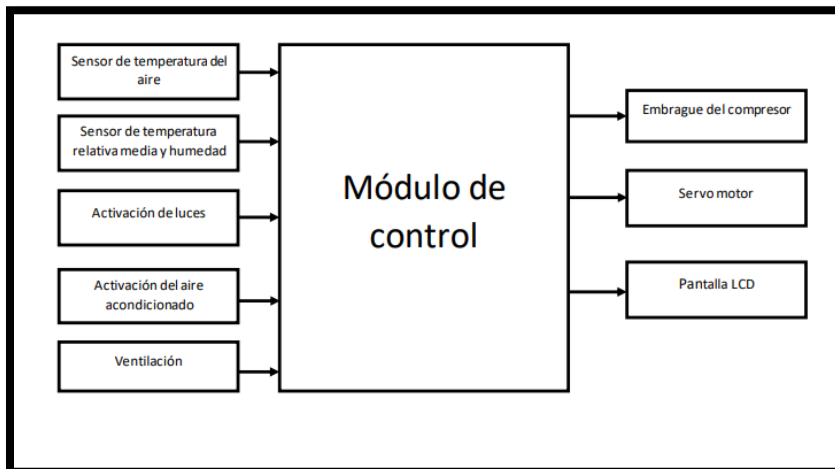
En la selección del calibre de alambre de cobre se debe priorizar la cantidad de corriente eléctrica presente en el sistema el cual presenta 15 A. Por medio de la tabla AWG, Anexo E, se estableció un alambre calibre 14 con una temperatura de funcionamiento de 60 °C.

3.1.3. Diseño electrónico

El sistema electrónico tiene como objetivo, receptar la información digital presente en los sensores de temperatura y señales de activación del A/C como el de las luces medias. El segundo es presentar los datos obtenidos en la pantalla LCD ubicada en el habitáculo. El tercer objetivo es la de controlar los ángulos de giro del servo motor, enviar señales de activación a los elementos electromecánicos.

Figura 21.

Diagrama de bloques diseño electrónico.



Nota. La figura presenta un diagrama de bloques de entrada y salida de señales al módulo de control del sistema de climatización.

3.1. 3.1. Fuente de alimentación

La tensión presente en el sistema de automatización se controla por medio de un regulador de tensión que convierte de 12-24 V de entrada a 5V de salida constantes, con una entrega de corriente de 1.1-2 A, que permite alimentar a la placa como al servo motor.

Figura 22.*Regulador de voltaje*

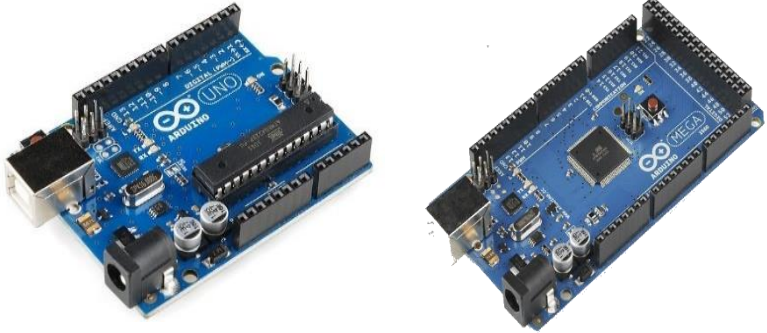
Nota. La figura presenta un regulado de voltaje para vehículos de 12 V con salida USB.

Tomada electrónica PS (pág. 3).2010.

3.1. 3.2. Selección del microcontrolador

El microcontrolador debe presentar parámetros de velocidad, puertos digitales de entrada y salida además de la memoria. Los puntos esenciales en su selección son los puertos de entrada y salida del microcontrolador, por lo cual el proyecto necesita de cinco puertos de entrada y 5 puertos de salida. La memoria RAM ha de ser mayor a 8 kB, para garantizar la ejecución del programa. En la selección se tomó en cuenta los microcontroladores del Arduino Atmega2560 y la del Arduino uno, los cuales vienen incorporados por placas de desarrollo.

Tabla 9.*Parámetros de selección del microcontrolador*

Características	Dispositivos	
	Uno	ATMega2560
Puertos analógicos/digitales	6/14	16/54
Voltaje de alimentación	5 V	5-12 V
Memoria SRAM	2 kb	8 kb
Velocidad	16 MHz	16 MHz
Placa incorporada	Si (Arduino Uno)	Si (Arduino Mega)
Programador incluido	Si	Si
Lenguaje de programación	C/Processing	C/Processing
Librerías	Si	Si
Interfaz PC	Arduino-IDE	Arduino-IDE
Soporte (Documentación)	Si	Si
Precio	18	32
Imagen		

De acuerdo a las necesidades del proyecto se seleccionó el microcontrolador ATmega 2560, permitiendo tener un mayor número de puertos analógicos y digitales, lo cual permite un número mayor de dispositivos, como sensores y pantallas, además su memoria de programación es mayor.

3.1. 3.3. Sensor de temperatura y humedad

El sensor que se requiere debe contar con un amplio rango de medición de temperatura y humedad, como también mediciones de alta precisión y tiempos de respuestas cortos, tabla 10. Todos estos requerimientos fueron tomados en cuenta en la selección entre el sensor DHT22 y DHT 11.

Tabla 10.

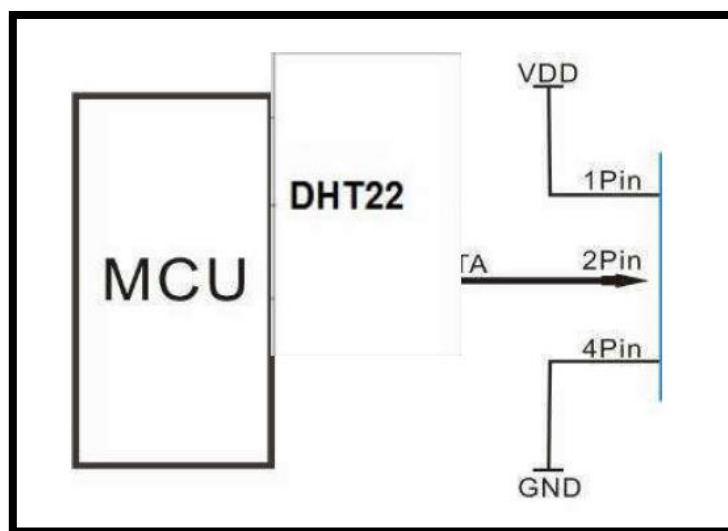
Especificaciones técnicas sensor de temperatura.

Características	Dispositivos	
	DHT 22	DHT 11
Voltaje de Operación	3V - 6V DC	3V – 5.5V DC
Rango de medición de temperatura	-40°C a 80 °C	0°C a 50 °C
Precisión de medición de temperatura	<±0.5 °C	±2°C
Rango de medición de humedad	0 a 100% RH	20-90%
Precisión de medición de humedad	2% RH	±5%
Tiempo de censado	2 s	2 s
Dimensiones	20*15*8 mm	20*12.5*6 mm
Peso	3gr	2gr

De acuerdo a las necesidades del proyecto se seleccionó el sensor DHT22, permitiendo tener un rango completo en relación a la humedad relativa, ofreciendo una mayor exactitud.

Figura 23.

Circuito del sensor de temperatura



Nota. La figura presenta el sensor de temperatura y humedad DHT22. Tomada de Anexo A.

3.1. 3.4. Control de la trampilla de mezcla

El control de la mezcla de aire frío o caliente presente en la automatización se da por medio de un servo motor, dependiendo de los datos comparativos de la temperatura radiante media y del habitáculo presente en el vehículo.

Cuando se presiona el pulsador de AUTO el sistema identifica un cambio de estado por medio del microcontrolador del Arduino, posterior a eso envía la señal de activación al terminal RAUTO, permitiendo la activación de los relés el cual permite la alimentación del servo motor.

El procesador evalúa la señal de los sensores de temperatura y humedad, para analizar el ángulo que debe tomar el servo motor, dependiendo de las condiciones del pulsador y el botón, esto lo realiza por medio de los pulsos enviados por el terminal SERVO.

3.2. Procesamiento de la información

El procesamiento de la información de señales digitales de los sensores y cambios de estado de pulsadores o botones, se analizó por medio del microcontrolador el cual verifico las diferentes condiciones para generar señales de activación o desactivación de los actuadores.

Las señales digitales presentes en el sistema son, los cambios de estado provocados por el botón de A/C, el pulsador auto y el selector de la luz media, valores de pulsos presentes de los sensores de temperatura y humedad. De tal forma que el microprocesador identifica el estado manual o automático del sistema.

3.2.1. Adquisición de datos

La adquisición de datos de entrada se da a través de las señales digitales provenientes de los sensores, pulsadores, botones implementados en el habitáculo para el funcionamiento del sistema de automatización. El microcontrolador recibe las variables a través de entradas asignadas para procesar y verificar la información, generando señales de control para los actuadores electro mecánicos.

3.2.2. Procesamiento de datos

El procesamiento de datos digitales de los sensores de temperatura y humedad, se realiza por medio de librerías desarrolladas por la plataforma de programación Arduino, que nos permite transformar el dato leído en un valor numérico

Las señales de los botones y pulsadores son identificadas por las entradas del microprocesador, como señales de estado, estas son analizadas por el microprocesador en milésimas de segundo para identificar un cambio de baja o alta.

3.3. Programación

La fase de programación presenta dos fases, la primera fase está enfocada a la automatización de los sistemas de climatización del vehículo en la plataforma de desarrollador Arduino, la segunda fase presenta una programación en la interfaz Android enfocada al estudio del confort del habitáculo.

3.3.1. Programación Arduino

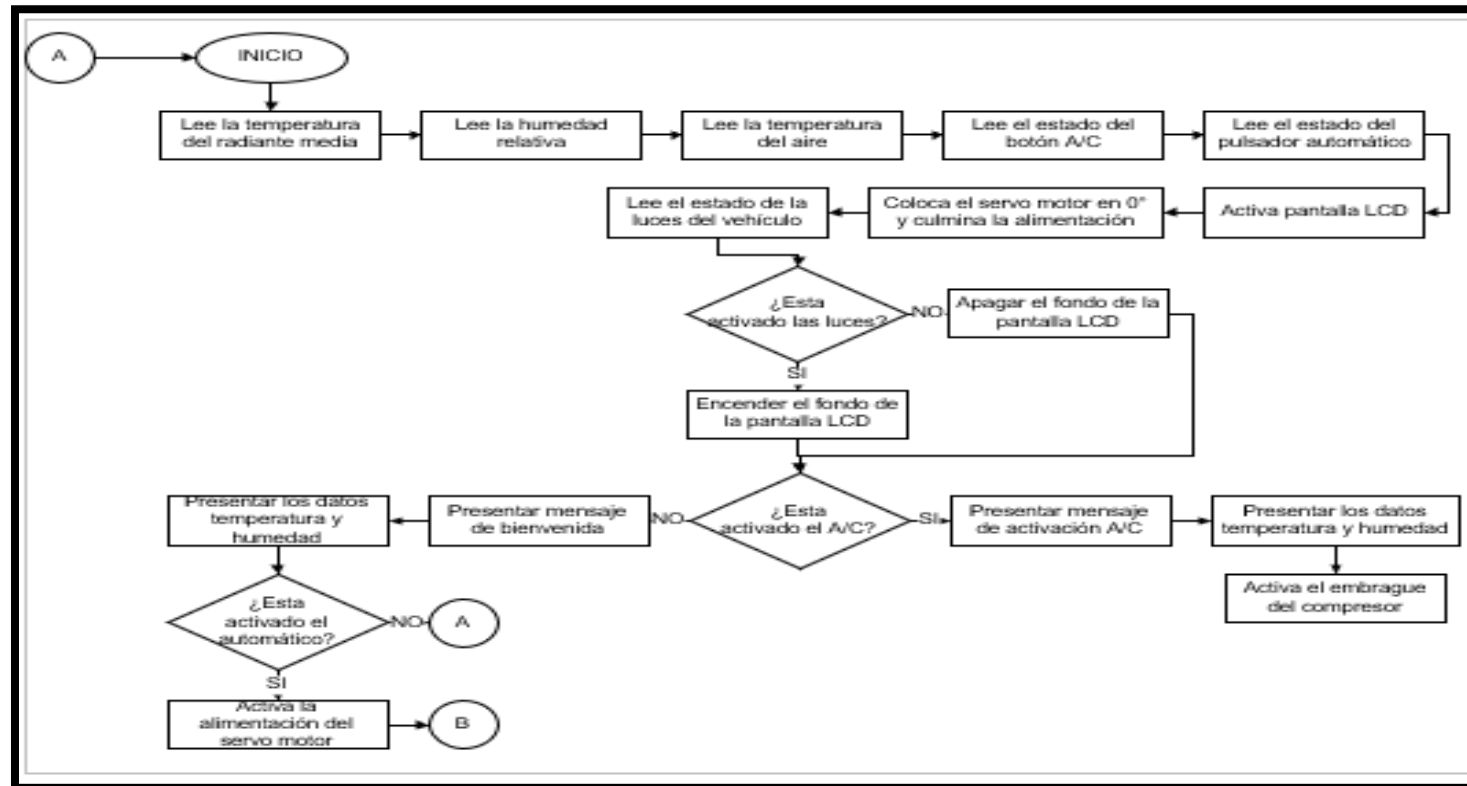
La programación en Arduino está enfocada en el control de los actuadores del sistema de climatización del vehículo por medio de los datos tomados por los diferentes sensores presentes en el habitáculo.

Esta programación en el microcontrolador Atmel 2560 de la placa Arduino mega se dio mediante un lenguaje de programación nivel senior examinando puertos de entrada y salida, con una sintaxis simplificada.

Mediante una variante de C++ optimizada para Arduino, incluida en el entorno de desarrollo del microcontrolador, se investigó bibliotecas que permitiesen un mejor desempeño de los elementos de control y visualización del sistema de automatización, permitiendo una disminución de líneas de código y cableado en el proyecto. En la figura se muestra el diagrama de flujo de la programación del sistema de automatización.

Figura 24

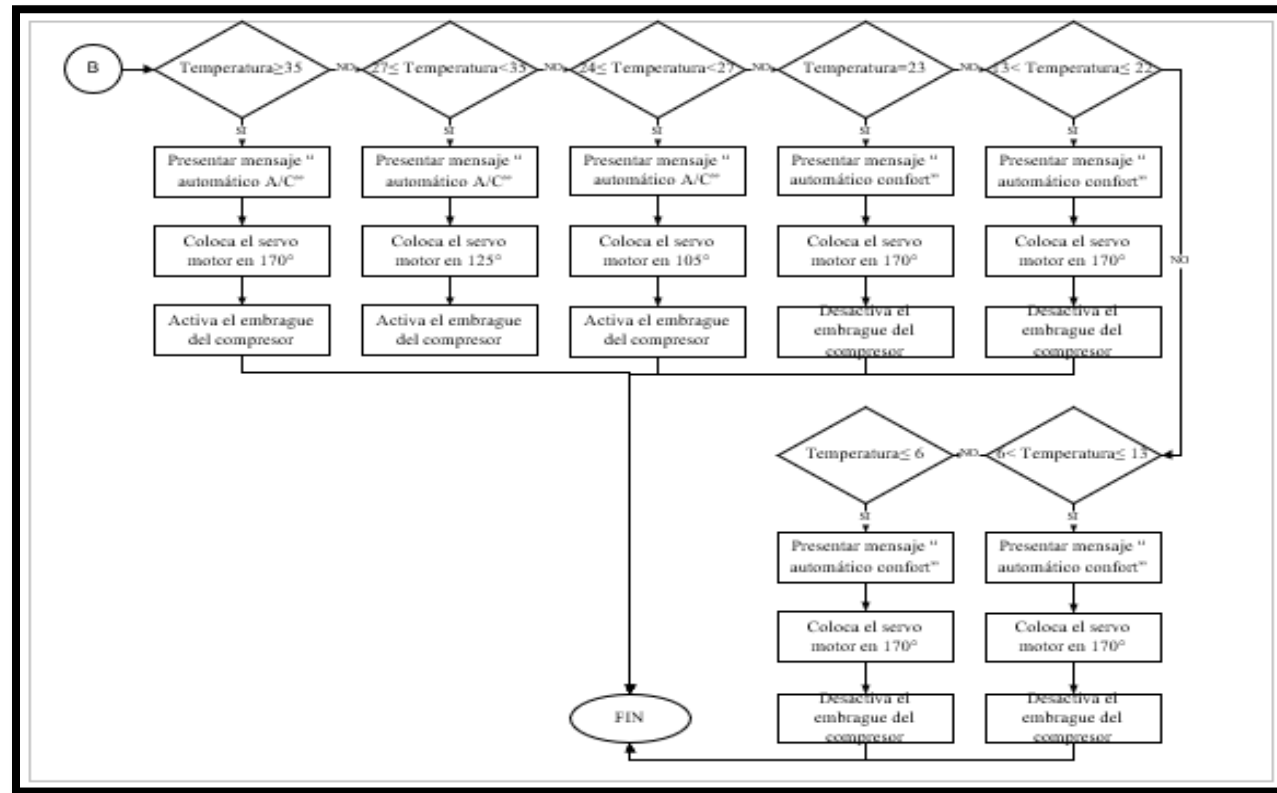
Diagrama de flujo inicio de la programación Arduino.



Nota. La figura presenta el Diagrama de flujo inicio de la programación Arduino detallando los valores de lectura de datos.

Figura 25.

Diagrama de flujo fin de la programación Arduino.



Nota. La figura presenta el diagrama de flujo fin de la programación Arduino.

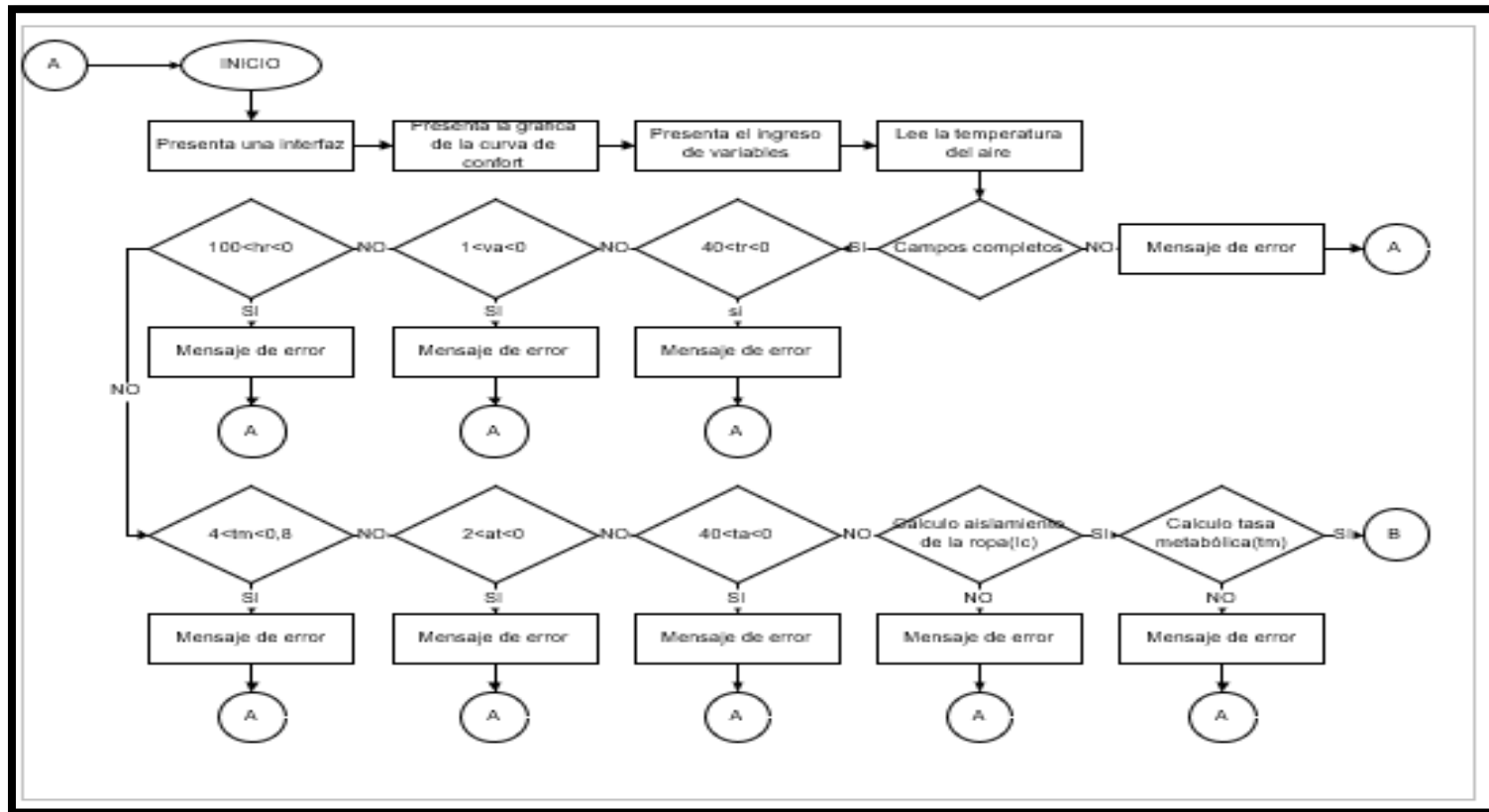
3.3.2. Programación Android

La programación Android está enfocada en el desarrollo de la aplicación del método Fanger, por medio de una interfaz gráfica donde observa la equivalencia de los datos tomados y desarrolle por medio de estos los cálculos respectivos para obtener los valores del PMV y PPD.

Esta programación en la plataforma Android Studio se dio mediante un lenguaje de programación nivel senior examinando interfaces gráficas, comandos de análisis de variables, detección de variables nulas y fuera de rangos. Las cuales permitieron un el desempeño esperado de la aplicación. En la figura se muestra el diagrama de flujo de la programación de la aplicación Método Fanger.

Figura 26.

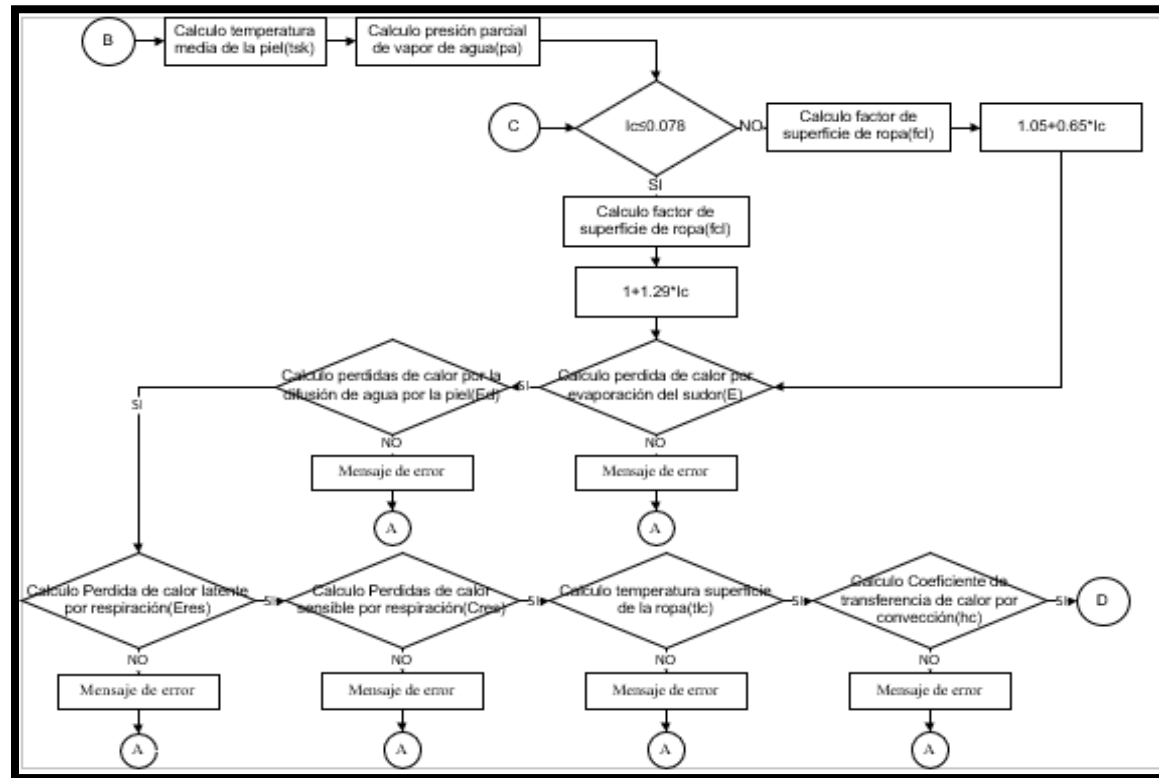
Diagrama de flujo Android estudio inicio de programa



Nota. La figura presenta el diagrama de flujo Android estudio inicio de programa. Con las diferentes condicionales.

Figura 27.

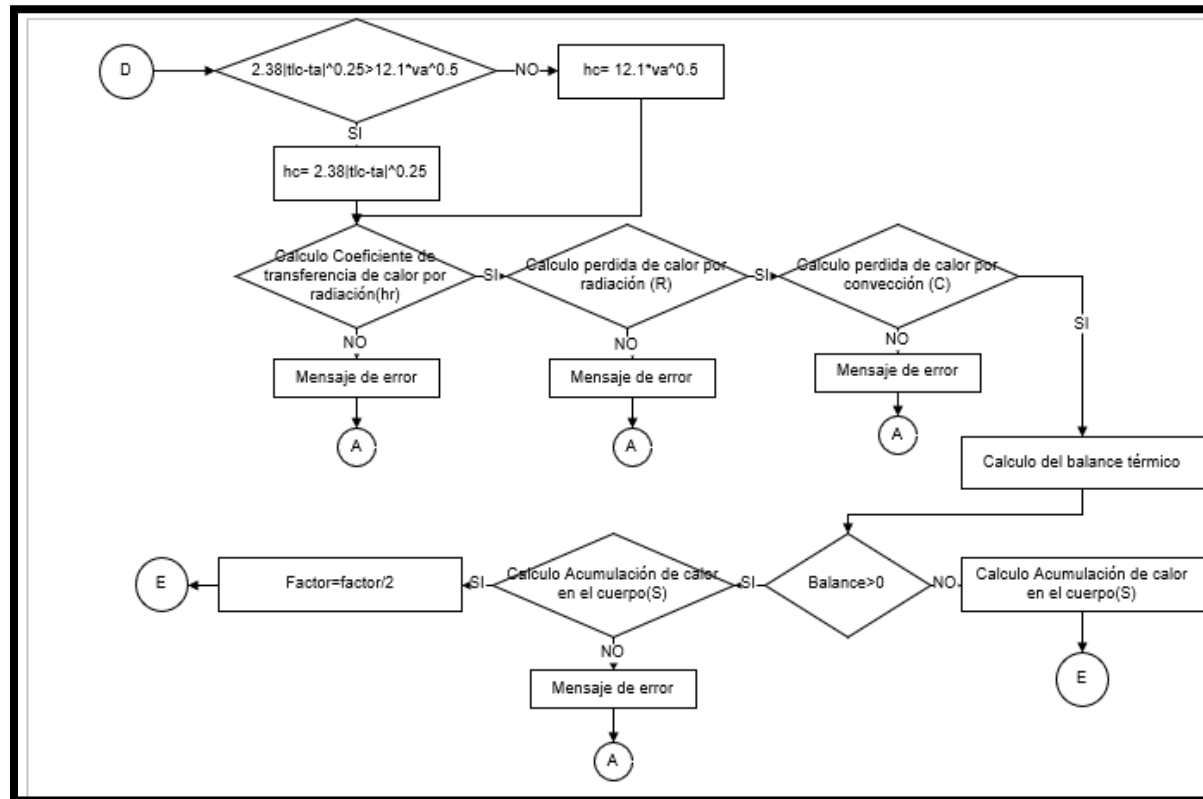
Diagrama de flujo Android estudio cálculo de variables



Nota. La figura presenta el diagrama de flujo Android estudio cálculo de variables.

Figura 28.

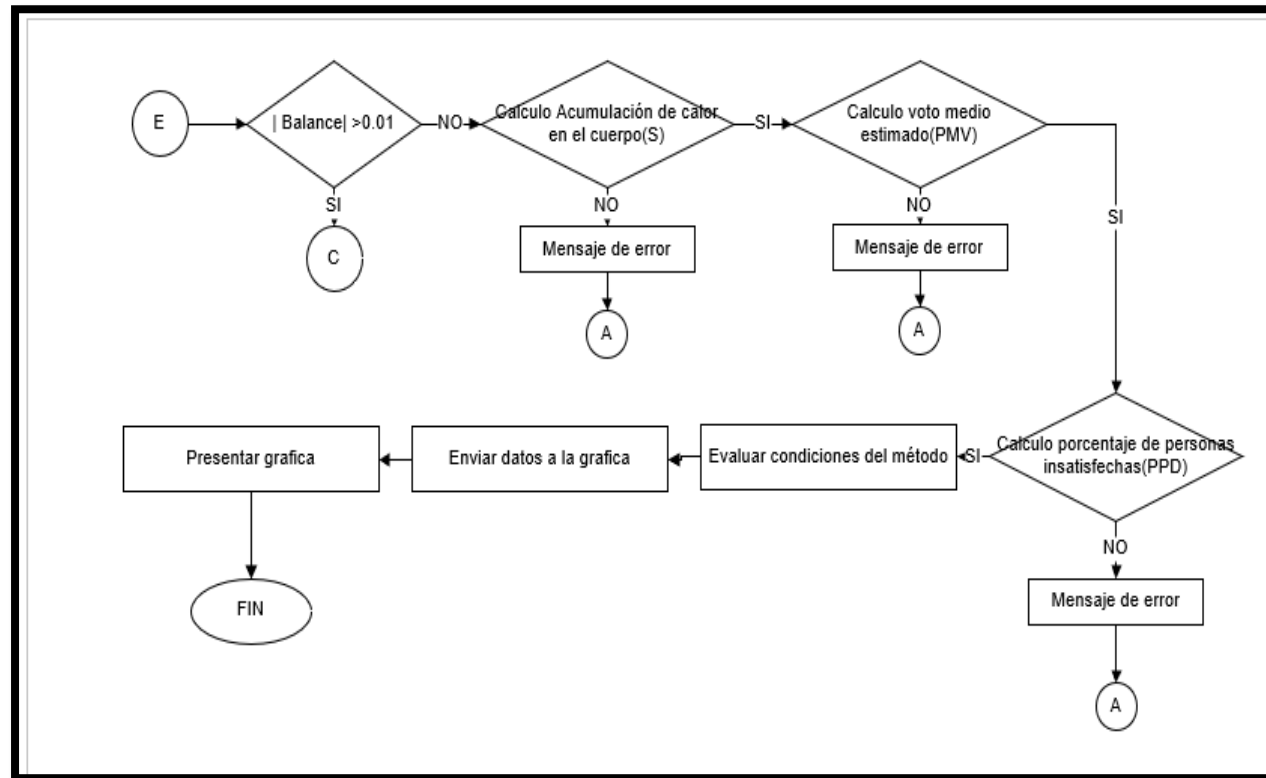
Diagrama de flujo Android estudio inicio cálculo de valores secundarios



Nota. La figura presenta el Diagrama de flujo Android estudio inicio cálculo de valores secundarios.

Figura 29.

Diagrama de flujo Android estudio fin de programa



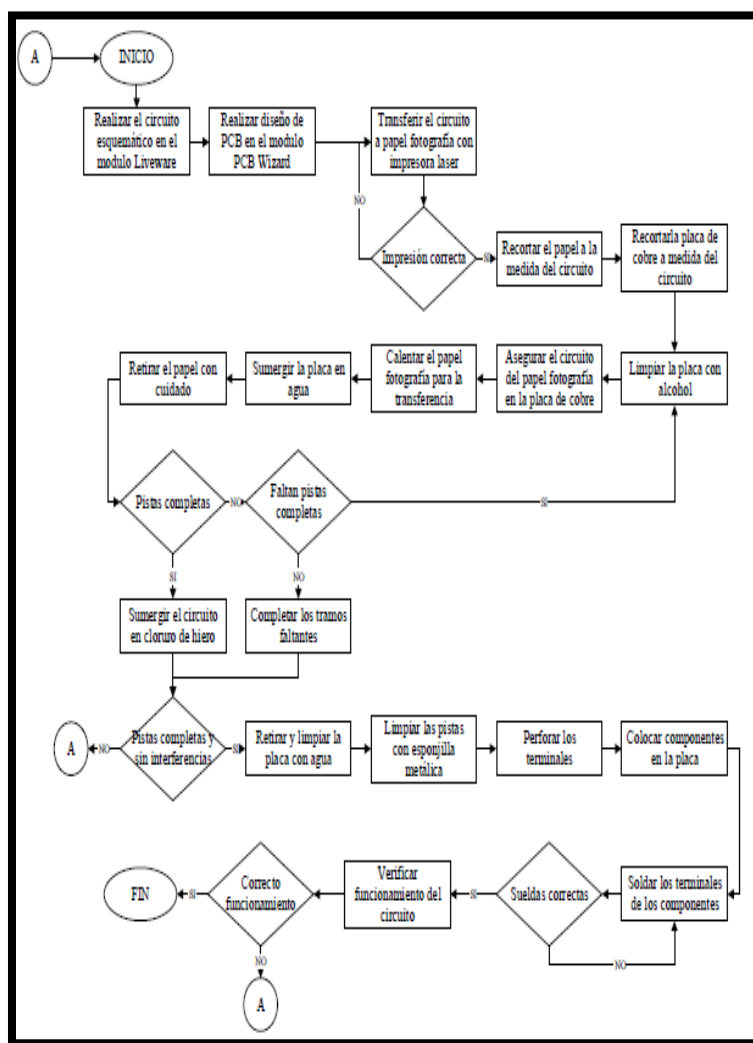
Nota. La figura presenta el diagrama de flujo Android estudio fin de programa.

3.4. Diseño circuito impreso

Los circuitos se diseñaron en programas que permite la creación de esquemas electrónicos y trazado de placas de circuito impreso. El método de fabricación presente en el proyecto es el de transferencia de circuitos por medio de calor.

Figura 30.

Diagrama de flujo diseño y fabricación de placas

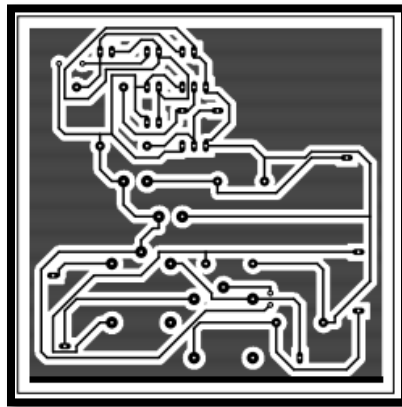


Nota. La figura presenta el diagrama de flujo diseño y fabricación de placas.

Con el proceso se selección el esquema de conexión que permita una reducción en el en sus dimensiones, permitiendo encajar en el espacio del vehículo los esquemas de conexión en la placa impresa en el diseño electrónico, que permitirá colocar los diferentes elementos del sistema de automatización, figura 31.

Figura 31.

Diseño de placa del circuito completo



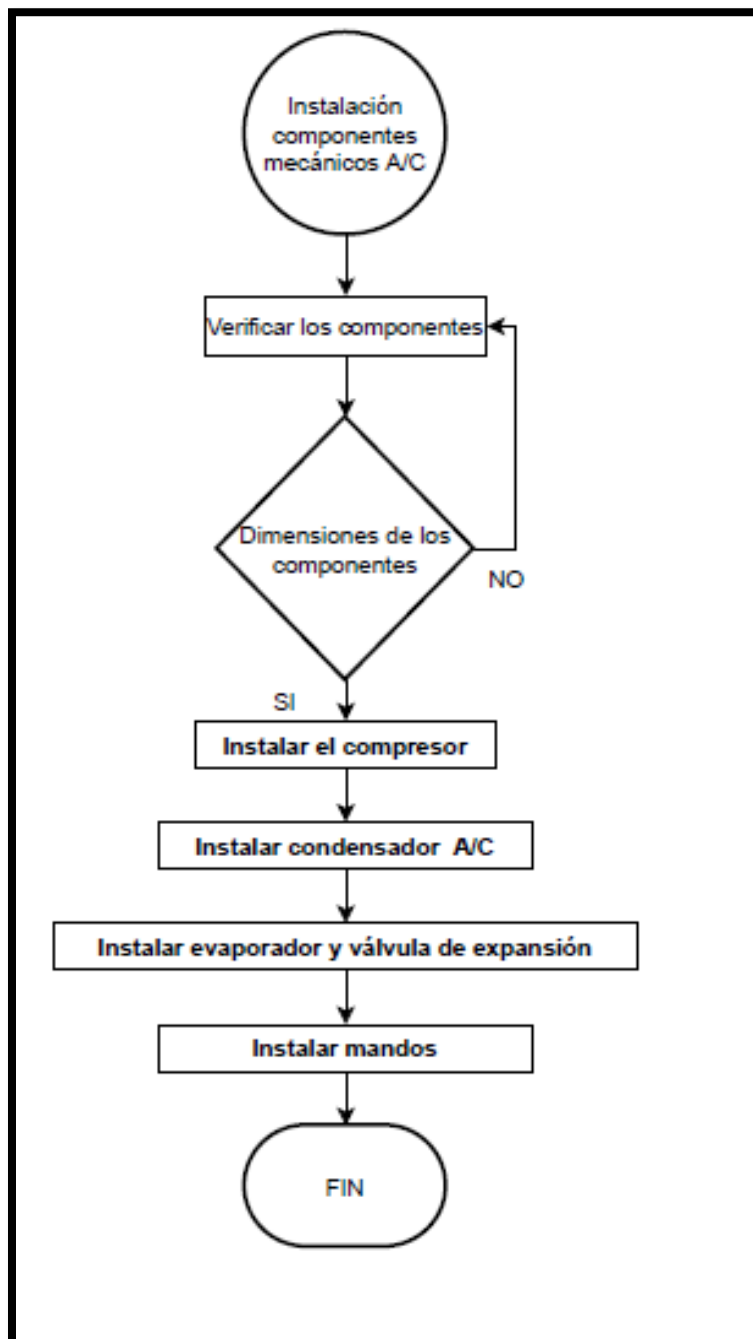
Nota. La figura presenta el diseño de placa del circuito completo. Con los diferentes puntos para los componentes

3.5. Instalación del sistema mecánico

El proceso de instalación inicializa por los componentes mecánicos, debido a que son la base de los sistemas eléctricos y de automatización, en los siguientes literales se detallaran los procesos de armado de cada uno de los elementos del sistema de aire acondicionado.

Figura 32.

Diagrama de procesos instalación mecánica.



Nota. La figura presenta el diagrama de procesos instalación mecánica. De cada componente del sistema de aire acondicionado.

En la figura 32. Se observa un diagrama de procesos la cual detalla el orden de instalación de los componentes mecánicos del sistema de aire acondicionado, detallando como punto inicial verificar los componentes adquiridos por medio de su número de serie.

El dimensionamiento tiene un grado alto de importancia para la implementación de los diferentes elementos, si estos presentan dimensiones incorrectas se debe suspender la instalación y ordenar una nueva pieza con las dimensiones adecuadas

3.5.1. Instalación compresor

En la figura 33. Se aprecia la instalación del compresor del aire acondicionado, para su instalación se debe retirar el depurador, la banda de accesorios, la base del compresor y verificar el nivel de aceite R134a en este caso se completó con 4 ozUS de aceite.

Figura 33.

Compresor instalado.



Nota. La figura presenta el Compresor instalado.

3.5.2. Instalación condensador

En la figura 34. Se observa la instalación del condensador del aire acondicionada, su instalación se realiza retirando el radiador del vehículo y su ventilador.

Figura 34.

Condensador instalado.



Nota. La figura presenta el Condensador instalado.

3.5.3. Instalación evaporador

La figura 35. Muestra la instalación del evaporador y la válvula de expansión del sistema de aire acondicionado, como pasos previos para su instalación se debe retirar la gaveta del vehículo, en este componente existe una excepción por el motivo que debe instalarse primero el módulo de recirculación para tener una mejor maniobrabilidad.

Figura 35.

Evaporador y válvula de expansión instalados.



Nota. La figura presenta el evaporador y válvula de expansión instalados.

3.5.4. Instalación botonera

La figura 36. Permite apreciar la botonera del aire acondicionado instalada, los pasos previos para su instalación son los siguientes se debe retirar los protectores laterales, retirar los colepatos de sujeción y retirar los mandos del bloque de distribución.

Figura 36.

Botonera instalada.



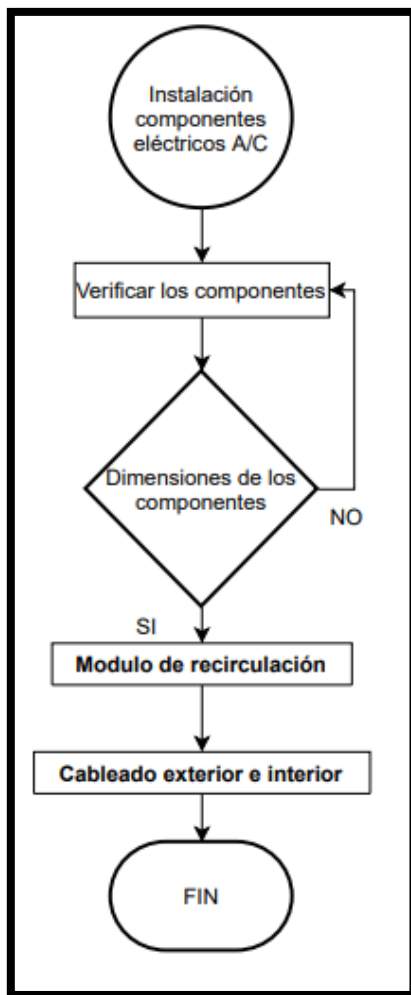
Nota. La figura presenta la botonera instalada.

3.6. Instalación sistema eléctrico

El proceso de instalación continua con los componentes eléctricos, estos darán un grado de control al conductor limitado, en los siguientes literales se detallarán los procesos de armado de cada uno de los elementos eléctricos del sistema de aire acondicionado.

Figura 37.

Diagrama de procesos de instalación eléctrica.



Nota. La figura presenta el diagrama de procesos de instalación eléctrica.

En la figura 37. Se observa un diagrama de procesos la cual detalla el orden de instalación de los componentes eléctricos del sistema de aire acondicionado, detallando como punto inicial verificar los componentes adquiridos por medio de su número de serie.

3.6.1. *Instalación módulo de recirculación*

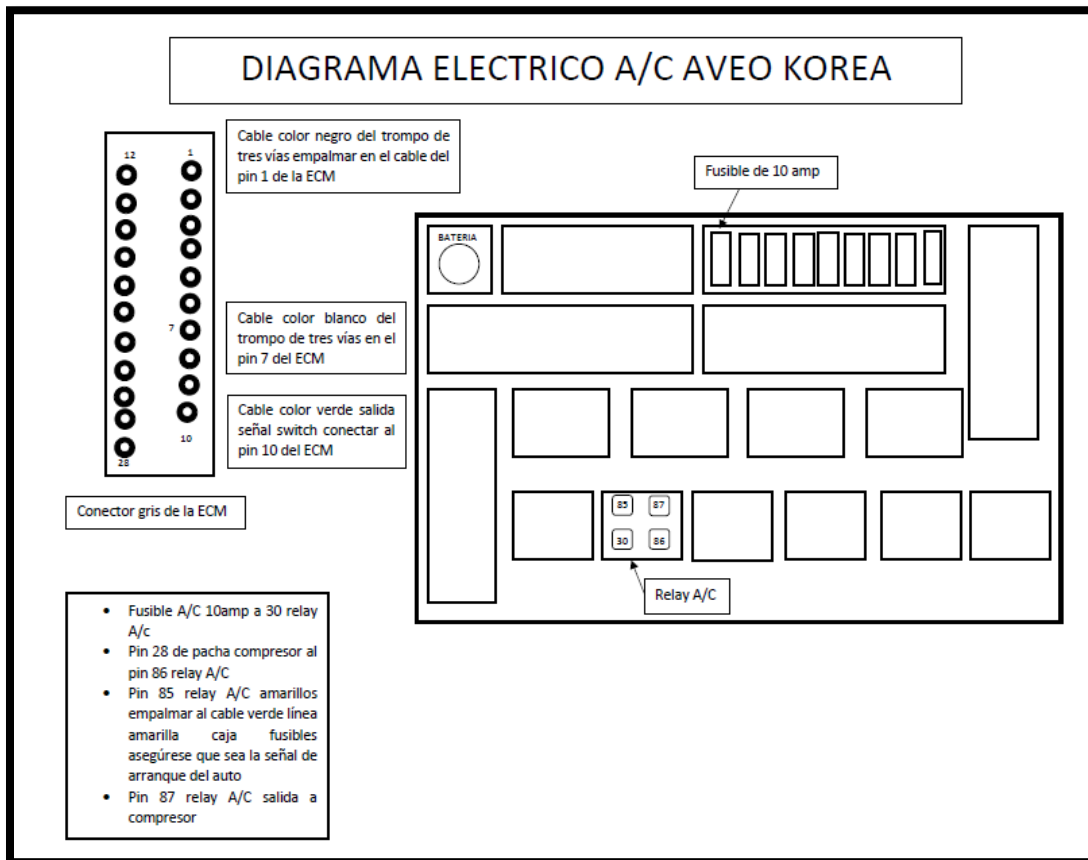
La instalación se basa en el módulo de recirculación, como se mencionó en puntos anteriores este debe ser instalado antes del evaporador, reemplazando al mando mecánico, el cableado interior consta de socket para el control del ventilador, activación de la recirculación y la activación del embrague del compresor del aire acondicionado.

3.6.2. *Instalación cableado*

En la figura 38. Se identifica las conexiones necesarias para la implantación del sistema eléctrico del aire acondicionado, en la cual se observa la necesidad de ocupar elementos eléctricos como relés y fusibles además se necesita realizar empalmes en las conexiones de la ECU, esto se debe a que en este modelo de vehículo no cuenta con un ventilador para el aire acondicionado y ocupa el mismo ventilador de refrigeración.

Figura 38.

Diagrama eléctrico A/C.



Nota. La figura presenta el diagrama eléctrico A/C. Tomada de catálogo Aveo (pág.47) 2010.

3.7. Instalación del módulo de automatización

3.7.1. Instalación control de trampilla

En la figura 39 se muestra la instalación del control de trampillas por medio de un servo motor, el cual fue seleccionado de acuerdo a sus especificaciones establecidas en el Anexo B, se encuentra ubicado en la parte posterior del panel de control del sistema.

Figura 39.

Control de la trampilla de mezcla



Nota. La figura presenta el control de la trampilla de mezcla

3.7.2. Instalación módulo de control

El circuito de control comandado por la placa Arduino se colocó en una base de madera en la parte derecha del habitáculo, permitiendo la manipulación óptima de los componentes del sistema de climatización.

Figura 40.

Instalación placa Arduino



Nota. La figura presenta la instalación final de la placa Arduino.

3.7.3. Instalación sensor de temperatura

En la figura 41 se observa la instalación del sensor de temperatura en los conductos del sistema de climatización, el cual nos permite obtener los valores de temperatura del aire, la temperatura relativa y humedad son censadas por medio del sensor ubicado debajo del volante del conductor.

Figura 41.

Sensor DTH 22 instalado



Nota. La figura presenta el Sensor DTH 22 instalado.

Capítulo IV

4. Pruebas y análisis de resultados

4.1. Introducción

En la etapa de pruebas se utilizó diferentes ciclos de conducción debido a los regímenes establecidos se determinó el uso del ECE-15 el cual establece una velocidad máxima de $50 \frac{km}{h}$ ideal para pruebas urbanas, el ciclo EUDC el cual permite una velocidad máxima de $90 \frac{km}{h}$ el cual se utilizó en la realización de las pruebas de carretera y el ciclo EUDCL el cual establece velocidades mayores a $90 \frac{km}{h}$.

Se implementó trayectos adecuados para poner a prueba los componentes mecánicos, eléctricos, electrónicos del sistema de climatización y los distintos ciclos de conducción, analizando los factores fisiológicos relacionados con el estrés térmico, para culminar con una tabulación comparativa de los valores obtenidos por medio de la aplicación “Método Fanger”, analizando las relaciones de los mismos con la disminución de las capacidades físicas al momento de la conducción.

4.2. Lineamiento de las pruebas

En el correcto desarrollo de las pruebas se debe monitorear y considerar lineamientos, basados en el ciclo de conducción ECE-15, EUDC y EUDCL como: velocidades y distancias permitidas.

4.3. Tiempo y velocidad promedio de los trayectos

Al realizar las pruebas por la ruta urbana y carretera se debe tener en cuenta la ley de tránsito aplicada a vehículos livianos, la cual cita que la velocidad máxima en la ciudad es de 50 Km/h y en vías perimetrales es de 90 Km/h. de acuerdo al protocolo

establecido y en las distancias establecida se determina en la siguiente tabla el tiempo promedio ideal de recorrido aplicando la velocidad máxima permitida.

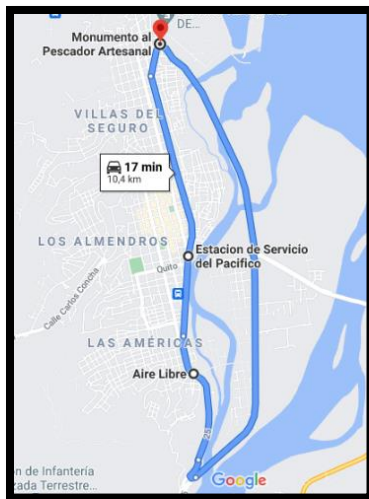
4.3.1. Ruta urbana

El cantón con mayor superficie de la provincia es Esmeraldas, debido a esta condición presenta un nivel de afluencia vehicular elevada siendo la opción principal para realizar el estudio de ruta urbana, por ello se analizará en sus principales avenidas:

- Avenida perimetral que cruza de este a oeste la ciudad, es la vía al Puerto / Las Palmas
- Avenida que cruza por el centro de la ciudad, es la avenida Libertad
- Avenida que conecta la perimetral con el centro de la ciudad, es la avenida Bolívar.

Figura 42.

Ruta Urbana



Nota. La figura presenta el recorrido establecido para ruta urbana. Tomada de Google maps. 2021.

Tabla 11.

Tiempo promedio ideal de recorrido de ruta urbana

Recorrido	Distancia	Velocidad permitida	Tiempo promedio (ideal).
Vía al Puerto / Las Palmas	6,7km	90 km/h (zona perimetral)	4,5 min
Avenida Bolívar	1,3 km	50 km/h (zona urbana)	1,6 min
Avenida Libertad	2,4 km	50 km/h (zona urbana)	3 min

Tabla 12.

Puntos de toma de datos

N°	Lugar	Distancia
1	Monumento al pescador artesano	0 km
2	Aire libre	6.7 km
3	Monumento al pescador artesano	10.4 km

4.3.2. Ruta de carretera

La provincia de Esmeraldas presenta dos cantones con un grado de afluencia alto Atacames y esmeraldas debido al turismo, convirtiendo a estos en las opciones principales para realizar el estudio de ruta de carretera, para ello se analizará las vías que los conecta:

- Vía Atacames Esmeraldas
- Vía Troncal del Pacifico

- Carretera Esmeraldas

Figura 43.

Ruta de carretera



Nota. La figura presenta la ruta de carretera establecida en el protocolo. Tomada de Google maps 2021.

Tabla 13.

Tiempo promedio ideal de recorrido de ruta de carretera

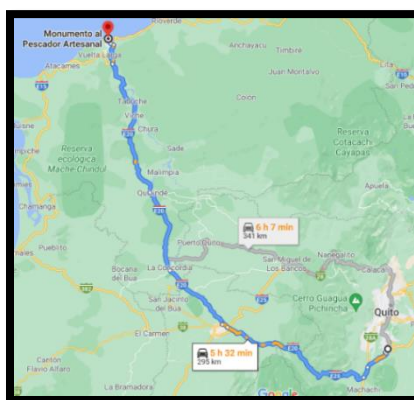
Recorrido		Distancia	Velocidad permitida	Tiempo promedio (ideal).
Vía	Atacames	3,5 km	50 km/h (zona urbana)	4,5 min
Vía	Troncal del Pacifico	16.5 km	90 km/h (zona perimetral)	11 min
Carretera	Esmeraldas	15 km	50 km/h (zona urbana)	10 min

Tabla 14.*Puntos de toma de datos*

N°	Lugar	Distancia
1	Playa las palmas	0 km
2	Mega fábrica de cocadas el paradero de Gus	20 km
3	Atacames	35 km

4.3.3. Ruta conducción prolongada

El trayecto presente entre la provincia de Pichincha ubicada en la Región Sierra y la provincia de Esmeraldas ubicada en la Región Costas, disponen de una gran variedad de los factores ambientales en su trayecto, convirtiendo a este recorrido en idóneo para las pruebas a realizar.

Figura 44.*Ruta conducción prolongada*

Nota. La figura presenta la ruta de conducción prolongada establecida en el protocolo.

Tomada de Google maps 2021.

Tabla 15.*Tiempo promedio ideal de recorrido conducción prolongada*

Recorrido	Distancia	Velocidad permitida	Tiempo promedio (ideal).
Vía Manuel Quiroga	3.7 km	50 km/h (zona urbana)	4.44 min
Carretera Panamericana	17 km	90 km/h (zona perimetral)	11.33 min
Vía Alóag Santo Domingo	98 km	90 km/h (zona perimetral)	65.33 min
Troncal de la costa	2.2 km	90 km/h (zona perimetral)	1.46 min
Vía Quinindé	80 km	90 km/h (zona perimetral)	53.33 min
Carretera Troncal del Pacifico	90.1 km	90 km/h (zona perimetral)	60.46min
Vía al puerto las palmas	4 km	90 km/h (zona perimetral)	3.06 min

Tabla 16.*Puntos de toma de datos*

N°	Lugar	Distancia
1	Fajardo	0 km
1	Santuario virgen de la Merced	57km
2	Estación de servicio parada santo domingo	59 km
3	Parroquia la unión Quinindé, esmeraldas	60 km
4	Chuca ple	58 km
5	Monumento al pescador	61 km

4.4. Conducción urbana

En el desarrollo de las pruebas urbanas se implementó un protocolo de medición el cual se encuentra detallado en el Anexo G, el cual se realizará en la provincia de esmeraldas con un tiempo estimado de 15 minutos, a una velocidad promedio de 50 Km/h, estas pruebas se llevarán a cabo en tres ocasiones. Tabulando los datos independientes y culminando con un análisis comparativo, entre los valores obtenidos en las pruebas de activación y desactivación del sistema de climatización.

Tabla 17.

Pruebas de estrés térmico ruta urbana

HOJA DE PROTOCOLO MEDICIÓN										
Nombre y apellido	De la Cruz Vinicio		Observaciones: Integración pruebas con A/C					Fecha de muestreo		
Ruta	Esmeraldas							18/7/2021		
		Modulo activo			Modulo desactivado					
Medidas	Unidad	Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 1	Toma 2	Toma 3	Instrumento	Rango	Presición
Datos basicos										
Hora	h	10:30	11:20	11:45	13:00	13:35	14:25	Reloj	24H	
Lugar								GPS		
Factores corporales										
Temperatura corporal	°C	35,9	35,83	35,63	36,5	37,77	37,03	Termometro digital	32° C~42.0° C	± 0. 1° C
Oxigeno en la sangre	%	97,67	97,67	97	96,33	98	97,67	Oximetro	0% ~ 100%	± 2%
Ritmo cardiaco	lpm	73	65,33	65,33	69	77,67	74,67	Oximetro	30 lpm ~ 250 lpm	± 2%
Presión arterial(sistolica)	mmHg	118,33	106,33	111,67	119	113,33	115,00	Tensiometro digital	0 a 299 mmHg	± 3 mmhg
Presión arterial(diastolica)	mmHg	63,67	59,33	63	66,67	64	60,67	Tensiometro digital	0 a 299 mmHg	± 3 mmhg
Nivel de estres		49,67	41,33	40,33	44,33	47,33	50,67	Mi Smart Band 6	0-100	± 2%
Factores ambientales										
Temperatura del aire	°C	11	12,33	11,67	37,67	43	31,33	Sensor DHT22	-40°C a 80 °C	<±0.5 °C
Temperatura radiante media	°C	26,33	26,33	26,33	34	39	36,00	Sensor DHT22	-40°C a 80 °C	<±0.5 °C
Humedad relativa (habitaculo)	%	36	36	36	71,67	66,67	61,67	Sensor DHT22	0 a 100% RH	2% RH
Humedad relativa (ambiente)	%	56,33	52	59,33	43,33	45	50,33	Termometro higrometro	10% ~ 99% RH	-/+ 10% RH
Temperatura ambiente	°C	29,83	30,8	28,83	32,83	33,63	31,13	Termometro higrometro	-50 ~ + 70 °C	+/-2°C
Velocidad del aire	m/s	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	Anemometro	1 - 30 m / s	+/- 5%
Método Fanger										
Voto medio previsto (PMV)		-0,89	-0,76	-0,81	3	3	2,97	Aplicacion android	-3/3	<±0.5
Porcentaje de personas disconformes (PPD)	%	21,68	17,12	18,85	100	100	98,66	Aplicación android	0%-100%	<±0.5

4.4.1. Prueba estrés térmico ruta urbana módulo activado

Las pruebas se realizaron en el cantón Esmeraldas en horas de la mañana, el día viernes 16 de julio, presentando una temperatura ambiente máxima de 30.8°C y un 52% de humedad, con módulo de automatización activo durante todos los trayectos, disminuyendo la temperatura radiante media del habitáculo a 26.33 °C y a una humedad del 36 %. Dando como resultado el valor de estrés del 41.33 y un valor del confort térmico de -0.76 demostrando una aproximación a los valores neutrales de los mismos.

4.4.2. Prueba estrés térmico ruta urbana módulo desactivado

Las pruebas se realizaron en el cantón Esmeraldas en horas de la tarde, el día viernes 16 de julio, presentando una temperatura ambiente máxima de 33.6°C y un 45% de humedad, con módulo de automatización desactivado durante todos los trayectos, aumento la temperatura radiante media del habitáculo a 39 °C y a una humedad del 66.6 %. Dando como resultado el valor de estrés del 47.33 y un valor del confort térmico de 3 demostrando un alejamiento del eje neutral del confort térmico y manteniéndose en un rango leve de estrés.

4.5. Conducción en carretera

En el desarrollo de las pruebas en carretera se implementó un protocolo de medición el cual se encuentra detallado en el Anexo G, el cual se realizará en la provincia de Esmeraldas con un tiempo estimado de 45 minutos, a una velocidad promedio de 90 Km/h, estas pruebas se llevarán a cabo en tres ocasiones. Tabulando los datos independientes y culminando con un análisis comparativo, entre los valores obtenidos en las pruebas de activación y desactivación del sistema de climatización.

Tabla 18

Pruebas de estrés térmico ruta de carretera

HOJA DE PROTOCOLO MEDICIÓN										
Nombre y apellido	De la Cruz Vínicio			Observaciones: Integración pruebas con A/C					Fecha de muestreo	
Ruta	Esmeraldas-Atacames								18/7/2021	
		Modulo activo			Modulo desactivado					
Medidas	Unidad	Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 1	Toma 2	Toma 3	Instrumento	Rango	Presición
Datos basicos										
Hora	h	13:30	14:45	13:25	15:45	16:45	17:45	Reloj	24H	
Lugar								GPS		
Factores corporales										
Temperatura corporal	°C	35,37	35,03	35,93	36,63	36,87	36,53	Termometro digital	32° C~42.0° C	± 0. 1° C
Oxigeno en la sangre	%	94,33	96,33	93,33	97,33	98	98,00	Oximetro	0% ~ 100%	± 2%
Ritmo cardiaco	lpm	60,33	65,33	74,67	74	82,67	73,33	Oximetro	30 lpm ~ 250 lpm	± 2%
Presión arterial(sistolica)	mmHg	112	120,33	116	112,67	121,33	113,67	Tensiometro digital	0 a 299 mmHg	± 3 mmhg
Presión arterial(diastolica)	mmHg	64	67	63,33	64,33	67,67	66,67	Tensiometro digital	0 a 299 mmHg	± 3 mmhg
Nivel de estres		25,67	28,33	38,33	53,33	57,33	46,00	Mi Smart Band 6	0-100	± 2%
Factores ambientales										
Temperatura del aire	°C	14	13	11,67	32,33	36,33	32,33	Sensor DHT22	-40°C a 80 °C	<±0.5 °C
Temperatura radiante media	°C	28	28,67	28	33,67	35,33	33,33	Sensor DHT22	-40°C a 80 °C	<±0.5 °C
Humedad relativa (habitaculo)	%	40,67	34,67	35,33	66	66,33	67,67	Sensor DHT22	0 a 100% RH	2% RH
Humedad relativa (ambiente)	%	68	61,33	55	51,33	53,67	50,57	Termometro higrometro	10% ~ 99% RH	-/+ 10% RH
Temperatura ambiente	°C	28,3	30,7	29,43	30,6	31,13	31,67	Termometro higrometro	-50 ~ + 70 °C	+/-2°C
Velocidad del aire	m/s	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	Anemometro	1 - 30 m / s	+/- 5%
Método Fanger										
Voto medio previsto (PMV)		-0,33	-0,42	-0,66	2,64	3	2,62	Aplicacion android	-3/3	<±0.5
Porcentaje de personas disconformes (PPD)	%	7,24	8,67	14,02	95,93	100	95,60	Aplicación android	0%-100%	<±0.5

4.5.1. Prueba estrés térmico ruta de carretera modulo activo

Las pruebas se realizaron entre los cantones Esmeraldas y Atacames en horas de la tarde, el día sábado 17 de julio, presentando una temperatura ambiente máxima de 30.7°C y un 61.33% de humedad, con módulo de automatización activo durante todos los trayectos, disminuyendo la temperatura radiante media del habitáculo a 28.6°C y a una humedad del 34.67%. Dando como resultado el valor de estrés del 28.33 y un valor del confort térmico de -0.42 demostrando una aproximación a los valores neutrales de los mismos.

4.5.2. Prueba estrés térmico ruta de carretera módulo desactivado

Las pruebas se realizaron entre los cantones Esmeraldas y Atacames en horas de la tarde, el día sábado 17 de julio, presentando una temperatura ambiente máxima de 31.6°C y un 50.57% de humedad, con módulo de automatización desactivado durante todos los trayectos, aumento la temperatura radiante media del habitáculo a 33.33 °C y a una humedad del 67.6 %. Dando como resultado el valor de estrés del 46 y un valor del confort térmico de 2.62 demostrando un alejamiento del eje neutral del confort térmico y manteniéndose en un rango leve de estrés.

4.6. Conducción prolongada

En el desarrollo de las pruebas en conducción prolongada se implementó un protocolo de medición el cual se encuentra detallado en el Anexo G, el cual, se realizó entre los cantones de Esmeraldas y Rumiñahui con un tiempo estimado de 5 horas de conducción, a una velocidad promedio de 90 Km/h. Tabulando los datos independientes y culminando con un análisis comparativo, entre los valores obtenidos en las pruebas de activación y desactivación del sistema de climatización.

Tabla 19.

Pruebas de estrés térmico en conducción prolongada

HOJA DE PROTOCOLO MEDICIÓN																
Nombre y apellido	De la Cruz Vinicio						Observaciones: Ninguna						Fecha de muestreo			
Ruta	Sangolqui - Esmeraldas												15/7/2021			
		Modulo activo						Modulo desactivado								
Medidas	Unidad	Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5	Toma 6	Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5	Toma 6	Instrumento	Rango	Presicion
Datos basicos																
Hora	h	8:20	10:00	11:55	13:15	14:45	16:50	13:50	14:50	16:20	17:40	19:00	20:30	Reloj	24H	
Lugar														GPS		
Factores corporales																
Temperatura corporal	°C	35,5	35,9	35,9	36,7	36,2	35,8	35,6	38,3	36,6	36,6	36,2	36,7	Termometro digital	32° C~42.0° C	± 0. 1° C
Oxigeno en la sangre	%	94	97	98	98	97	99	96	97	97	97	96	95,00	Oximetro	0% ~ 100%	± 2%
Ritmo cardiaco	lpm	77	67	68	68	70	60	70	84	79	78	59	52,00	Oximetro	30 lpm ~ 250 lpm	± 2%
Presión arterial(sistolica)	mmHg	122	119	130	120	100	124	104	109	122	118	126	112,00	Tensiometro digital	0 a 299 mmHg	± 3 mmhg
Presión arterial(diastolica)	mmHg	71	67	72	73	58	69	58	60	63	64	68	71,00	Tensiometro digital	0 a 299 mmHg	± 3 mmhg
Nivel de estres		47	39	41	50	48	30	57	45	48	48	52	9	M Smart Band 6	0-100	± 2%
Factores ambientales																
Temperatura del aire	°C	14	18	22	12	20	12	10	40	35	34	21	18,00	Sensor DHT22	-40°C a 80 °C	<±0.5 °C
Temperatura radiante media	°C	16	26	26	26	26	26	29	39	36	33	26	24,00	Sensor DHT22	-40°C a 80 °C	<±0.5 °C
Humedad relativa (habitaculo)	%	68	31	34	36	36	36	32	57	63	73	65	48,00	Sensor DHT22	0 a 100% RH	2% RH
Humedad relativa (ambiente)	%	62	40	50	44	74	73	43	50	36	58	64	48,00	Termometro higrometro	10% ~ 99% RH	-/+ 10% RH
Temperatura ambiente	°C	23,9	28,8	27,9	26,4	25,7	28,1	30,2	34,4	30,7	26,7	21,7	25,03	Termometro higrometro	-50 ~ + 70 °C	+/-2°C
Velocidad del aire	m/s	0,1	0,1	0,1	0,1		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1		0,1	Anemometro	1 - 30 m / s	+/- 5%
Método Fanger																
Voto medio previsto (PMV)		-1,32	-0,04	0,46	-0,79	0,22	-0,79	-0,78	3	3	2,85	0,48	-0,16	Aplicacion android	-3/3	<±0.5
Porcentaje de personas disconformes (PPD)	%	41,2	5,04	9,33	18,02	5,96	18,02	17,81	100	100	98,23	9,83	5,54	Aplicación android	0%-100%	<±0.5

4.6.1. Prueba estrés térmico conducción prolongada modulo activo

Las pruebas se realizaron entre los cantones Esmeraldas y Rumiñahui, durante el día jueves 16 de julio, presentando una temperatura ambiente máxima de 28.8°C y un 40% de humedad, con módulo de automatización activo durante todo el trayecto, disminuyendo la temperatura radiante media del habitáculo a 26°C y a una humedad del 31%. Dando como resultado el valor de estrés del 39 y un valor del confort térmico de -0.04 demostrando una aproximación a los valores neutrales de los mismos.

4.6.2. Prueba estrés térmico conducción prolongada modulo activo

Las pruebas se realizaron entre los cantones Esmeraldas y Rumiñahui, durante el día domingo 18 de julio, presentando una temperatura ambiente máxima de 34.4°C y un 50% de humedad, con módulo de automatización activo durante todo el trayecto, aumentando la temperatura radiante media del habitáculo a 39°C y a una humedad del 57%. Dando como resultado el valor de estrés del 45 y un valor del confort térmico de 3

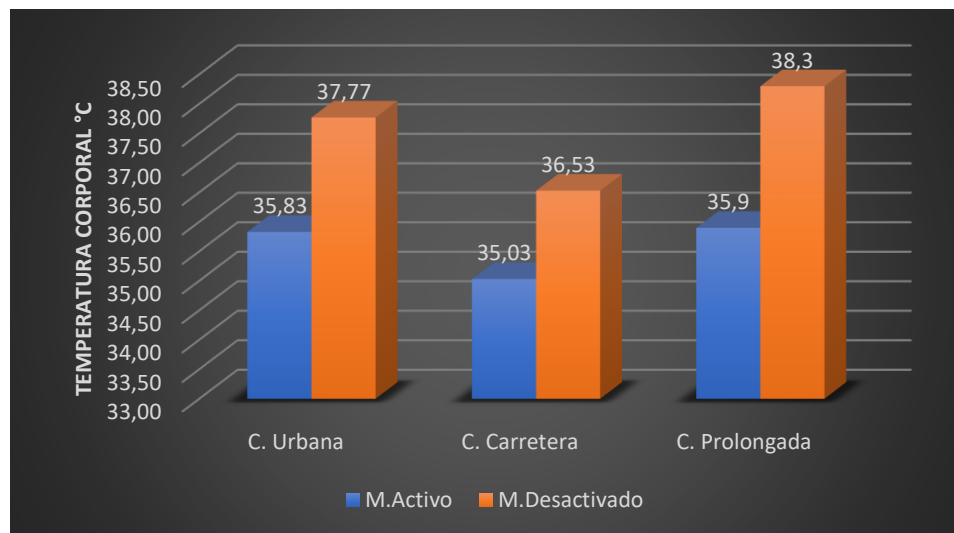
4.7. Análisis de resultados

4.7.1. Análisis comparativo de la temperatura corporal.

De las tablas previamente presentadas se obtuvo los valores de la temperatura corporal en base a la temperatura máxima del ambiente en cada prueba, utilizando el módulo de automatización o desactivado el mismo. En la figura 45 se observa la representación gráfica de este análisis comparativo en cada condición de conducción.

Figura 45.

Análisis comparativo de la temperatura corporal



Nota. La figura presenta un gráfico de barras de la temperatura corporal presente durante el estudio.

La temperatura corporal con el módulo de automatización presenta una temperatura menor en comparación a la temperatura corporal presente en el caso del módulo desactivado, sin embargo se toma en cuenta el valor más alto de la temperatura sin el módulo, con el objetivo de recalcar que la temperatura presente en este caso de conducción prolongada representa llegar a un estado de fiebre, lo que provoca cambios significativos que promueven el estrés térmico, siendo provocado por las altas temperaturas presentes en el habitáculo.

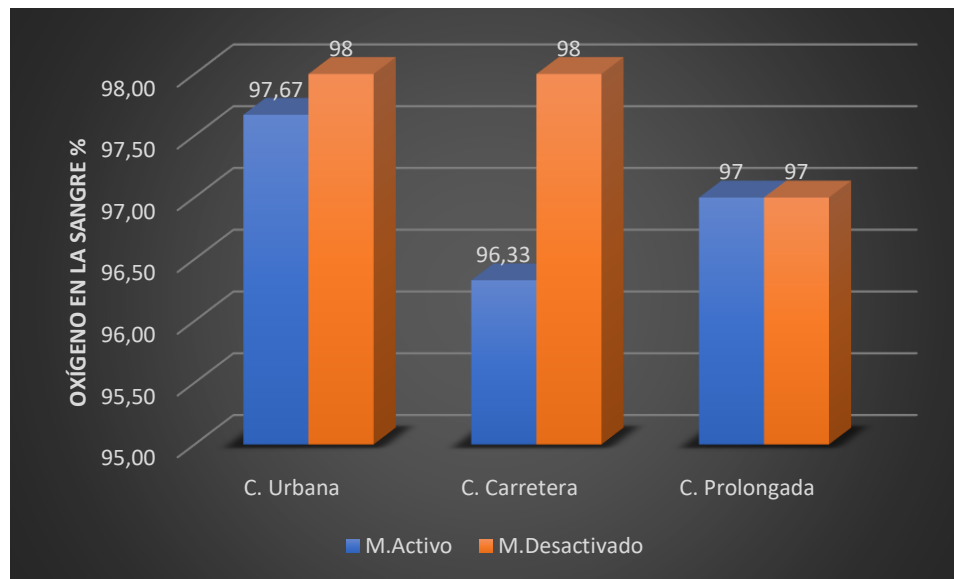
4.7.2. Análisis comparativo del oxígeno presente en la sangre

De las tablas previamente presentadas se obtuvo los valores del oxígeno presente en la sangre en base a la temperatura máxima del ambiente en cada prueba, utilizando

el módulo de automatización o desactivado el mismo. En la figura 46 se observa la representación gráfica de este análisis comparativo en cada condición de conducción.

Figura 46.

Análisis comparativo del oxígeno presente en la sangre



Nota. La figura presenta un gráfico de barras del oxígeno presente en la sangre presente durante el estudio.

El oxígeno presente en la sangre con el módulo de automatización presenta un porcentaje menor en comparación a la oxígeno presente en el caso del módulo desactivado, sin embargo, debemos recalcar que los valores se encuentran dentro del rango normal según OMS que dictamina una variación de entre el 95-100%, es decir que no provoca cambios significativos que promueven el estrés térmico.

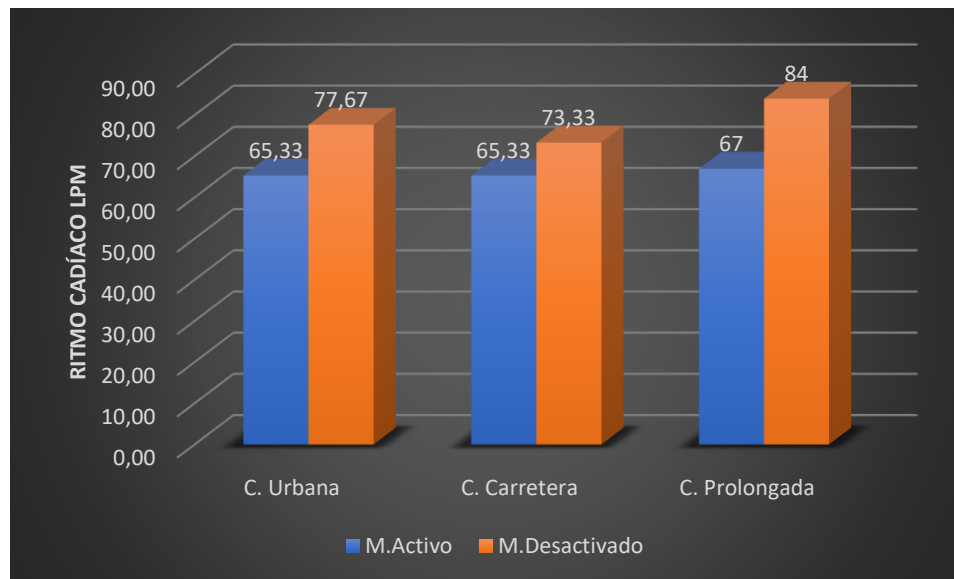
4.7.3. Análisis comparativo del ritmo cardiaco

De las tablas previamente presentadas se obtuvo los valores del ritmo cardiaco en base a la temperatura máxima del ambiente en cada prueba, utilizando el módulo de

automatización o desactivado el mismo. En la figura 47 se observa la representación gráfica de este análisis comparativo en cada condición de conducción.

Figura 47.

Análisis comparativo del ritmo cardiaco



Nota. La figura presenta un gráfico de barras del ritmo cardiaco presente durante el estudio.

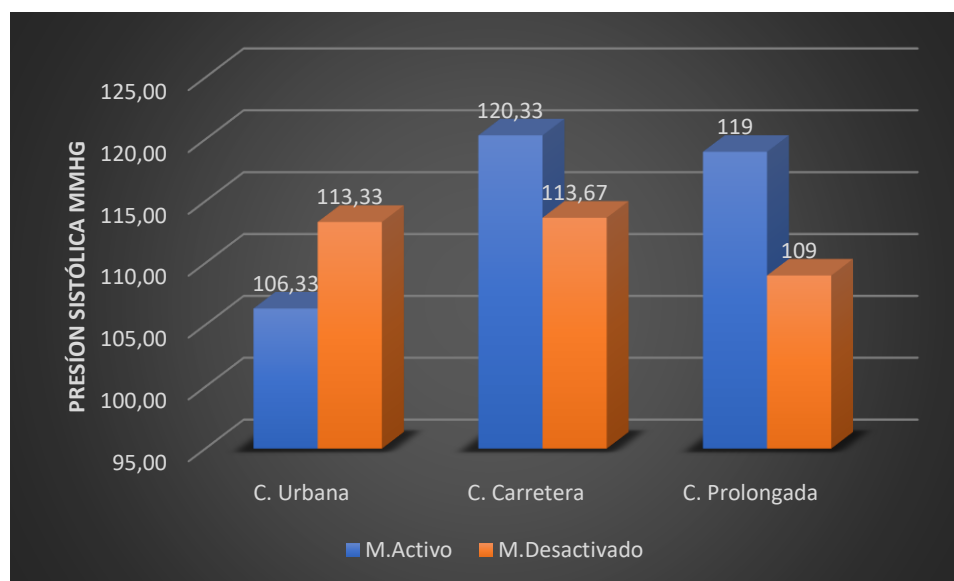
El ritmo cardiaco con el módulo de automatización presenta un nivel menor en comparación a los latidos por minuto presente en el caso del módulo desactivado, sin embargo, se toma en cuenta que los valores obtenidos en el mismo se aproximan a entrar a un estado inadecuado para la edad presente del individuo, provocando cambios significativos que promueven el estrés térmico, que van de la mano con el mismo.

4.7.4. Análisis comparativo de la presión arterial sistólica

De las tablas previamente presentadas se obtuvo los valores de presión arterial sistólica en base a la temperatura máxima del ambiente en cada prueba, utilizando el módulo de automatización o desactivado el mismo. En la figura 48 se observa la representación gráfica de este análisis comparativo en cada condición de conducción.

Figura 48.

Análisis comparativo de la presión arterial sistólica



Nota. La figura presenta un gráfico de barras de la presión sistólica presente durante el estudio.

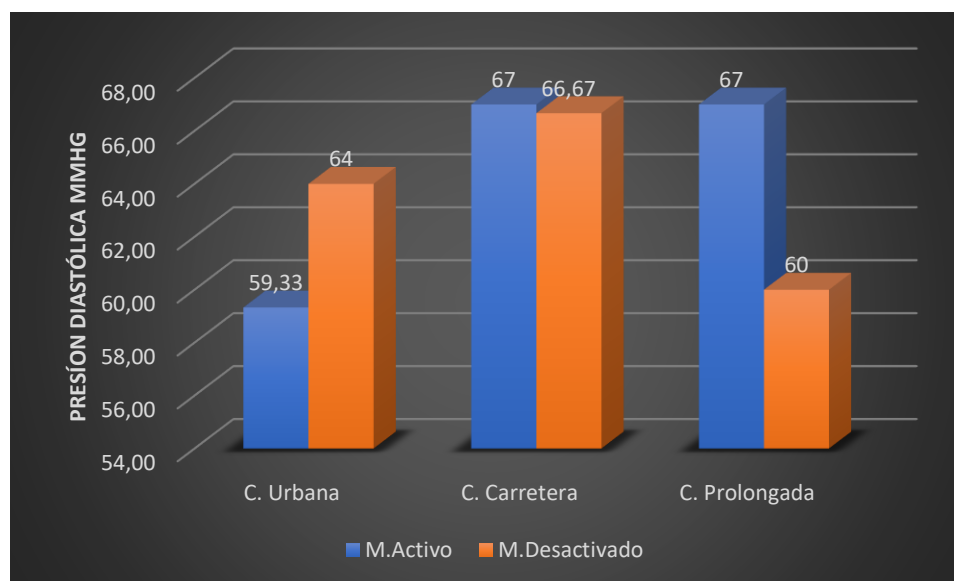
La presión arterial sistólica con el módulo de automatización presenta un porcentaje mayor en comparación a la mmHg presente en el caso del módulo desactivado, sin embargo, debemos recalcar que los valores se encuentran dentro del rango normal y óptimo, con variaciones de entre el 120-130mmHg siendo un caso normal, es decir que no provoca cambios significativos que promueven el estrés térmico.

4.7.5. Análisis comparativo de la presión arterial diastólica

De las tablas previamente presentadas se obtuvo los valores de presión arterial diastólica en base a la temperatura máxima del ambiente en cada prueba, utilizando el módulo de automatización o desactivado el mismo. En la figura 49 se observa la representación gráfica de este análisis comparativo en cada condición de conducción.

Figura 49.

Análisis comparativo de la presión arterial diastólica



Nota. La figura presenta un gráfico de barras de la presión diastólica presente durante el estudio.

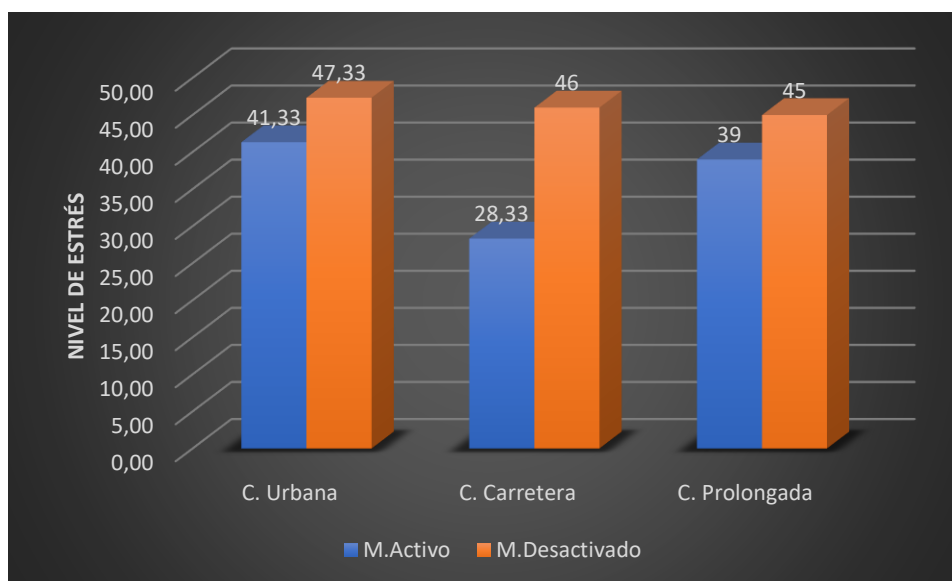
La presión arterial diastólica con el módulo de automatización presenta un porcentaje mayor en comparación a la mmHg presente en el caso del módulo desactivado, sin embargo, debemos recalcar que los valores se encuentran dentro del rango normal y óptimo, con variaciones de entre el 80-85mmHg siendo un caso normal, es decir que no provoca cambios significativos que promueven el estrés térmico.

4.7.6. Análisis comparativo del nivel de estrés

De las tablas previamente presentadas se obtuvo los valores de nivel de estrés en base a la temperatura máxima del ambiente en cada prueba, utilizando el módulo de automatización o desactivado el mismo. En la figura 50 se observa la representación gráfica de este análisis comparativo en cada condición de conducción.

Figura 50.

Análisis comparativo del nivel de estrés térmico



Nota. La figura presenta un gráfico de barras del nivel de estrés presente durante el estudio.

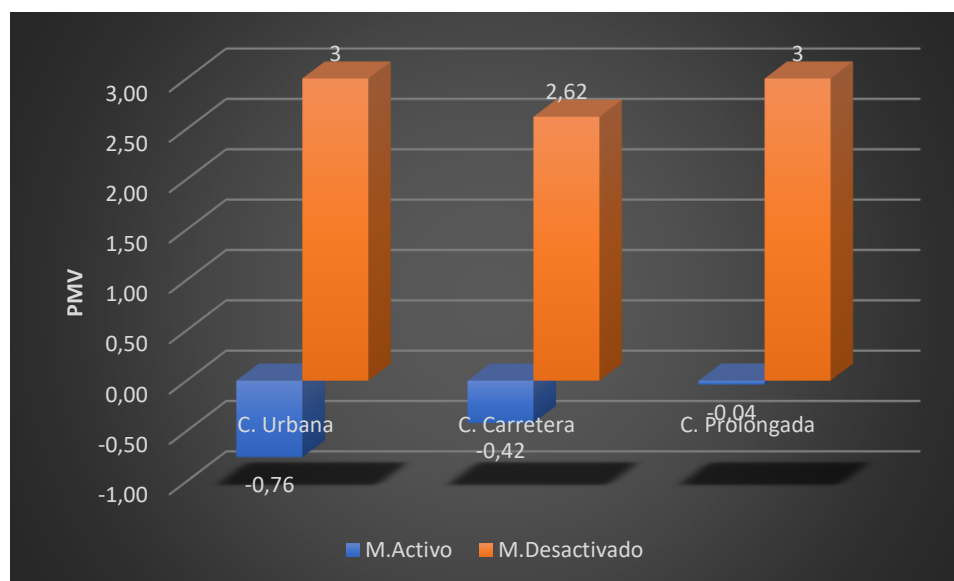
El nivel de estrés con el módulo de automatización presenta un nivel menor en comparación a los niveles presentes en el caso del módulo desactivado, sin embargo, se toma en cuenta que los valores obtenidos en el mismo se aproximan a salir de un estado leve de estrés, provocando cambios significativos que promueven el estrés térmico, que van de la mano con el mismo.

4.7.7. Análisis comparativo del voto medio previsto

De las tablas previamente presentadas se obtuvo los valores del voto medio previsto en base a la temperatura máxima del ambiente en cada prueba, utilizando el módulo de automatización o desactivado el mismo. En la figura 51 se observa la representación gráfica de este análisis comparativo en cada condición de conducción.

Figura 51.

Análisis comparativo del voto medio previsto



Nota. La figura presenta un gráfico de barras del voto medio previsto presente durante el estudio.

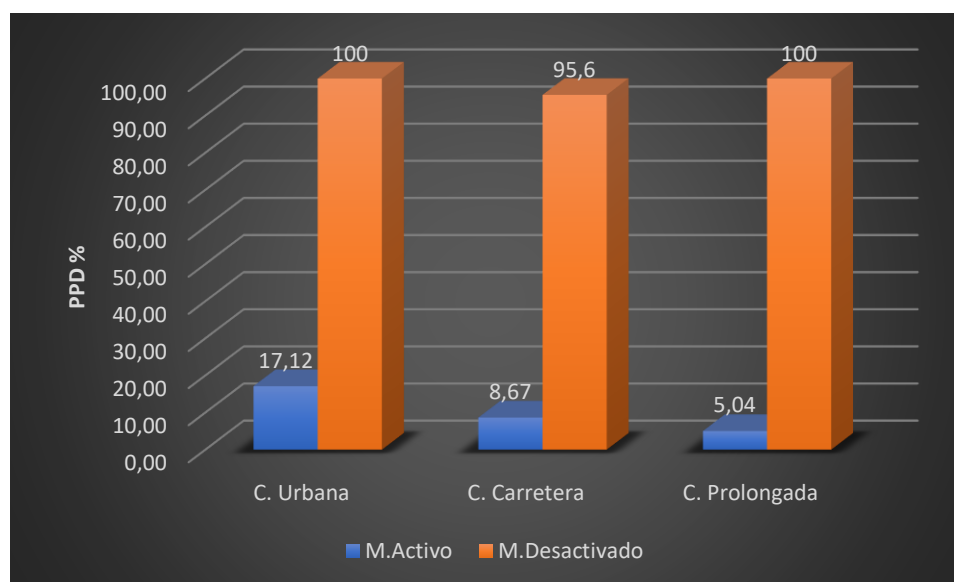
El voto medio previsto con el módulo de automatización presenta un nivel más próximo a entrar en estado de confort en comparación a los niveles presentes en el caso del módulo desactivado, sin embargo, se toma en cuenta que los valores obtenidos en el mismo se llegan al valor máximo de fuera del rango de confort, provocando cambios significativos que promueven el estrés térmico, que van de la mano con el mismo.

4.7.8. Análisis comparativo del porcentaje de personas disconformes

De las tablas previamente presentadas se obtuvo los valores del porcentaje de personas disconformes en base a la temperatura máxima del ambiente en cada prueba, utilizando el módulo de automatización o desactivado el mismo. En la figura 52 se observa la representación gráfica de este análisis comparativo en cada condición de conducción.

Figura 52.

Análisis comparativo del porcentaje de personas disconformes



Nota. La figura presenta un gráfico de barras del porcentaje de personas disconformes presente durante el estudio.

El porcentaje de personas disconformes con el módulo de automatización presenta un nivel más próximo a entrar en estado de confort en comparación a los niveles presentes en el caso del módulo desactivado, sin embargo, se toma en cuenta que los valores obtenidos en el mismo se llegan al valor máximo de fuera del

rango de confort, provocando cambios significaditos que promueven el estrés térmico, que van de la mano con el mismo.

4.8. Comparativa aplicación Método Fanger

Las presentes aplicaciones, fueron desarrolladas con los mismos lineamientos de cálculo, es decir las dos establecerán los mismos parámetros del voto medio previsto y del porcentaje de personas disconformes. De igual forma presentan ambientes grafico con ciertas características que permiten una facilidad de manejo para cada una de las plataformas, estableciendo desplazamientos de pantalla en el sistema Android y en la plataforma java botón de cierre de programa.

4.9. Programa Android Método Fanger

Presenta una interfaz gráfica en la que cuenta con una fase de ingreso de variables además cuenta con valores preestablecidos, condiciones que no permiten ingresar valores fuera de los rangos del método, además de una lista de opciones de tasa metabólica como de aislamientos térmicos basados en la normativa y una segunda fase que grafica la curva característica del método establecido con los valores obtenidos por medio de las ecuaciones establecidas en capítulos pasados.

La aplicación presenta un ambiente amigable con el usuario el cual debe ingresar valores de actividad metabólica, indumento, temperatura, humedad, velocidad del aire. Siendo luego evaluados por el programa para evitar variables fuera de rangos. Obteniendo valores con un grado de exactitud mayor.

Figura 53.*Programa Android*

Nota. La figura presenta la interfaz gráfica de la aplicación Método Fanger.

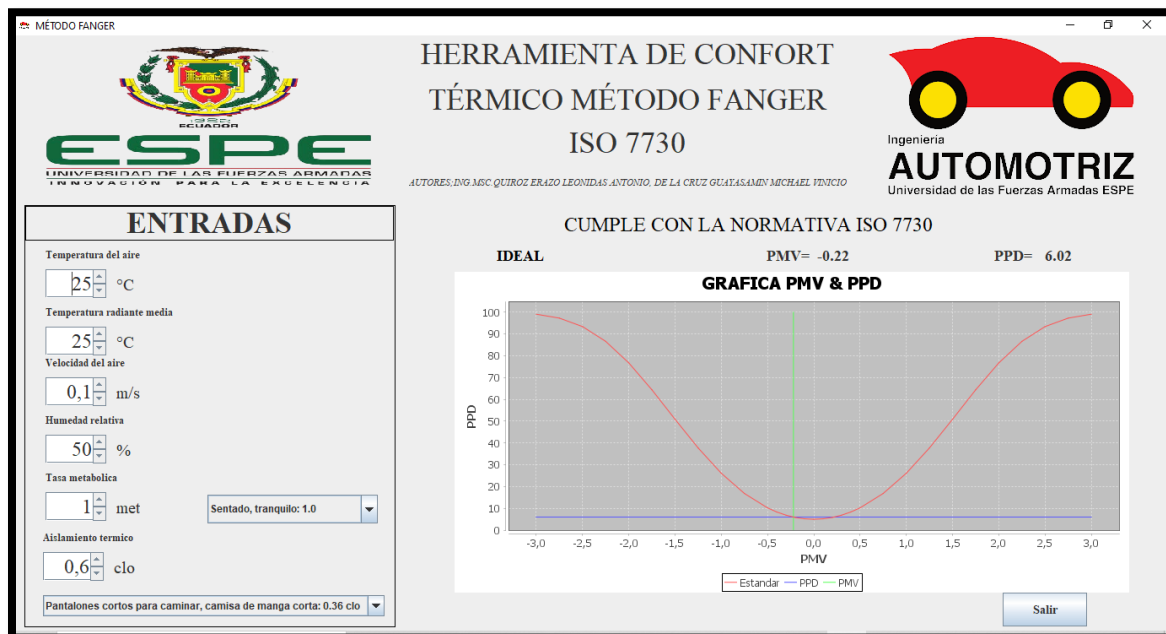
4.10. Programa NetBeans Método Fanger

Presenta una interfaz gráfica con valores preestablecidos, con condiciones que no permiten ingresar valores fuera de los rangos del método, además de una lista de opciones de tasa metabólica como de aislamientos térmicos basados en la normativa ISO 7730, además de mensajes de es las fases de estado de confort térmico.

La aplicación presenta un ambiente amigable con el usuario el cual debe ingresar valores de actividad metabólica, indumento, temperatura, humedad, velocidad del aire. Siendo luego evaluados por el programa para evitar variables fuera de rangos. Obteniendo valores con un grado de exactitud mayor.

Figura 54.

Programa NetBeans Método Fanger



Nota. La figura presenta la interfaz gráfica desarrollada en la plataforma NetBeans.

4.11. Comparativa aplicación ISO 7730

Se debe verificar que los lineamientos establecidos dentro de los programas tengan un rango aceptable de precisión en base a la normativa ISO 7730, para lo cual se presentara algunos cálculos realizados por el programa para ser comparados con la base de datos de la normativa.

Figura 55.

Ejemplo de PMV norma ISO 7730

Pasada n°	Temperatura del aire °C	Temperatura radiante media °C	Velocidad del aire m/s	HR %	Tasa metabólica met	Aislamiento de la ropa clo	PMV	PPD
1	22,0	22,0	0,10	60	1,2	0,5	-0,75	17
2	27,0	27,0	0,10	60	1,2	0,5	0,77	17
3	27,0	27,0	0,30	60	1,2	0,5	0,44	9
4	23,5	25,5	0,10	60	1,2	0,5	-0,01	5
5	23,5	25,5	0,30	60	1,2	0,5	-0,55	11
6	19,0	19,0	0,10	40	1,2	1,0	-0,60	13
7	23,5	23,5	0,10	40	1,2	1,0	0,50	10
8	23,5	23,5	0,30	40	1,2	1,0	0,12	5
9	23,0	21,0	0,10	40	1,2	1,0	0,05	5
10	23,0	21,0	0,30	40	1,2	1,0	-0,16	6
11	22,0	22,0	0,10	60	1,6	0,5	0,05	5
12	27,0	27,0	0,10	60	1,6	0,5	1,17	34
13	27,0	27,0	0,30	60	1,6	0,5	0,95	24

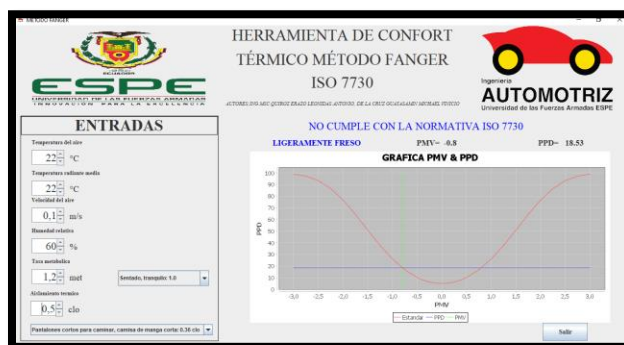
Nota. La figura presenta valores obtenidos por la aplicación desarrolla por la norma ISO 7730. Tomada de la norma ISO 7730 (pág. 27). 2006.

4.11.1. Prueba 1 valor PMV

La aplicación presenta un rango de precisión del 94% en comparación a lo establecido en la base de datos de la normativa.

Figura 56.

Prueba 1 valor PMV



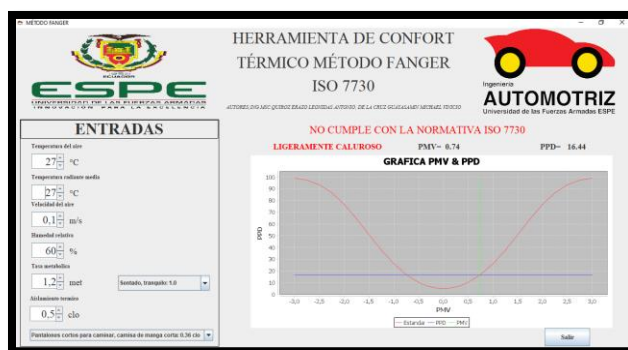
Nota. La figura presenta el programa método Fanger.

4.11.2. Prueba 2 valor PMV

La aplicación presenta un rango de precisión del 100% en comparación a lo establecido en la base de datos de la normativa.

Figura 57.

Prueba 2 valor PMV



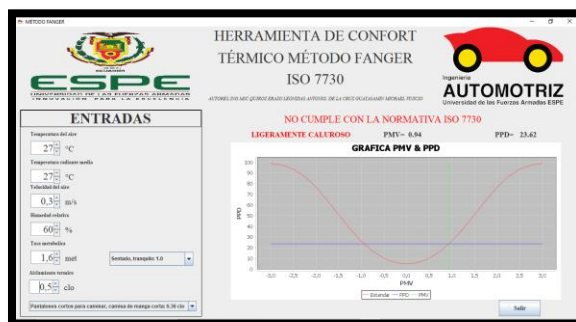
Nota. La figura presenta el programa método Fanger.

4.11.3. Prueba 3 valor PMV

La aplicación presenta un rango de precisión del 100% en comparación a lo establecido en la base de datos de la normativa.

Figura 58.

Prueba 3 valor PMV



Nota. La figura presenta el programa método Fanger.

Capítulo V

5. Marco administrativo

5.1. Recursos.

Con el objetivo de efectuar el proyecto de investigación que se culminó de manera organizada, se aborda el estudio y análisis de recursos utilizados como: humanos, tecnológicos y recursos materiales que será de gran apoyo para el desarrollo del proyecto.

5.2. Recursos humanos.

Los recursos humanos es un elemento primordial para la ejecución del proyecto titulado “ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN CONTROLADOS ELECTRÓNICAMENTE EN VEHÍCULOS Y ANÁLISIS DEL CONFORT EN UN HABITÁCULO A TRAVÉS DE LA APLICACIÓN DEL MÉTODO FANGER”.

Tabla 20.

Recursos humanos

Ord.	Descripción	Función
1	De La Cruz Guayasamín Michael Vinicio	Investigador
2	ING.Msc. Quiroz Erazo Leónidas Antonio	Investigador – Tutor

El proyecto de la investigación fue realizado por Michael Vinicio De La Cruz Guayasamín, con la designación de tutor Leónidas Antonio Quiroz Erazo quien guio al proyecto en su inicio y terminación del mismo.

5.3. Recursos tecnológicos.

Para realizar el proyecto se utilizaron recursos tecnológicos para los diferentes procesos de diagnóstico se utilizó un anemómetro digital, termómetro Digital higrómetro HI 620, Termómetro Digital, Oxímetro digital, Xiaomi Mi Smart Band 6, Tensiómetro de muñeca, el Software LiveWire para el diseño y simulación de circuitos eléctricos y electrónicos, el Software Arduino IDE para la programación de la tarjeta Arduino, Plataforma Android Studio para programación Android, NetBeans Studio para la programación java, Microsoft Office para la elaboración del escrito y tabulación, una cámara digital se utilizó para tener evidencia , el uso del internet para las consultas fue de gran apoyo y una laptop para la presentación del proyecto.

Todos los recursos fueron herramientas fundamentales para poder realizar el proyecto en el área de la investigación.

Tabla 21.

Recursos tecnológicos

Ord.	Nombre
1	Anemómetro digital SKU
2	Termómetro Digital higrómetro HI 620
3	Termómetro Digital Pen-Type DT-01 ^a
4	Oxímetro digital 2PC
5	Xiaomi Mi Smart Band 6
6	Tensiómetro de muñeca Omron RS3
7	Software LiveWire
8	Software Arduino IDE
9	Plataforma Android Studio

Ord.	Nombre
10	NetBeans Studio
11	Microsoft Office
12	Cámara
13	Internet
14	Laptop Dell

5.4. Recursos materiales.

Los recursos materiales que se usó en la realización del proyecto son todos los elementos físicos que fueron indispensable para la construcción del sistema de climatización controlados electrónicamente en vehículos.

Tabla 22.

Kit de instalación A/C Aveo

Ord.	Detalle	Cantidad	Precio U.	Total
1	Compresor A/C AVEO FAMILY	1,00	250,00	250,00
2	Tuberías A/C	1,00	65,00	65,00
3	Cableado A/C	1,00	18,61	18,61
4	Válvula de expansión	1,00	75,00	75,00
5	Condensador	1,00	310,00	310,00
6	Evaporador	1,00	85,00	85,00
7	Panel de control	1,00	35,00	35,00
8	Fusible 10A	1,00	4,50	4,50
9	Relé 20A Bosch	1,00	6,89	6,89
TOTAL				850,00

Tabla 23.*Kit de automatización*

Ord.	Detalle	Cantidad	Precio U.	Total
1	Relé 20A Bosch	1,00	6,89	6,89
2	Arduino mega AT 2560	1,00	22,00	22,00
3	Módulos relé doble rentradas	2,00	9,90	19,80
4	Servomotor MG995	1,00	10,50	10,50
5	Convertidor 5V	1,00	15,00	15,00
6	Cable USB	1,00	3,99	3,99
7	Pantalla led 20X4	1,00	13,99	13,99
8	Modulo I2C	1,00	6,50	6,50
9	Pulsador	1,00	3,99	3,99
10	Sensor DHT22	2,00	10,00	20,00
TOTAL				122,66

Tabla 24.*Equipos de prueba*

Ord.	Detalle	Cantidad	Precio U.	Total
1	Anemómetro digital	1,00	39,99	39,99
2	Termómetro Digital higrómetro HI 620	1,00	6,25	6,25
3	Termómetro Digital	1,00	4,50	4,50

Ord.	Detalle	Cantidad	Precio U.	Total
4	Oxímetro digital	1,00	13,00	13,00
5	Xiaomi Mi Smart Band 6	1,00	54,99	54,99
6	Tensiómetro de muñeca	1,00	22,00	22,00
TOTAL				140,73

Tabla 25.

Costos de Pruebas

Ord.	Detalle	Cantidad	Precio U.	Total
1	Pruebas dinamómetro torque-potencia	2,00	15,00	30,00
2	Conducción prolongada	2,00	60,00	120,00
3	Pruebas de conducción urbanas	6,00	5,00	30,00
4	Pruebas de conducción en carretera	6,00	10,00	60,00
TOTAL				240,00

5.5. Presupuesto

Para la ejecución del proyecto titulado “ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN CONTROLADOS ELECTRÓNICAMENTE EN VEHÍCULOS Y ANÁLISIS DEL CONFORT EN UN HABITÁCULO A TRAVÉS DE LA APLICACIÓN DEL MÉTODO FANGER”. Es necesario plantear un presupuesto para tener una idea clara de los gastos que intervienen en el proyecto y llegar a la meta presupuestada.

Tabla 26.*Presupuesto total*

Ord.	Detalle	Cantidad	Precio U.	Total
1	Compresor A/C AVEO FAMILY	1	250,00	250,00
2	Tuberías A/C	1	65,00	65,00
3	Cableado A/C	1	18,61	18,61
4	Válvula de expansión	1	75,00	75,00
5	Condensador	1	310,00	310,00
6	Evaporador	1	85,00	85,00
7	Panel de control	1	35,00	35,00
8	Fusible 10A	1	4,50	4,50
9	Relé 20A Bosch	2	6,89	13,78
10	Arduino mega AT 2560	1	22,00	22,00
11	Módulos relé doble entradas	2	9,90	19,80
12	Servomotor MG995	1	10,50	10,50
13	Convertidor 5V	1	15,00	15,00
14	Cable USB	1	3,99	3,99
15	Pantalla led 20X4	1	13,99	13,99
16	Modulo I2C	1	6,50	6,50
17	Pulsador	1	3,99	3,99
18	Sensor DHT22	2	10,00	20,00
19	Anemómetro digital	1	39,99	39,99
20	Termómetro Digital higrómetro HI 620	1	6,25	6,25
21	Termómetro Digital	1	4,50	4,50

Ord.	Detalle	Cantidad	Precio U.	Total
22	Oxímetro digital	1	13,00	13,00
23	Xiaomi Mi Smart Band 6	1	54,99	54,99
24	Tensiómetro de muñeca	1	22,00	22,00
25	Pruebas dinamómetro torque-potencia	2	15,00	30,00
26	Conducción prolongada	2	60,00	120,00
27	Pruebas de conducción urbanas	6	5,00	30,00
28	Pruebas de conducción en carretera	6	10,00	60,00
TOTAL				1353,39

Con todo lo planteado en la tabla anterior se realizó una inversión de 1353,39 USD para el presente proyecto de investigación.

5.6. **Financiamiento.**

El proyecto de investigación es auto financiado por parte de Michael Vinicio De La Cruz Guayasamín, el costo inversión total es de 1353,39 USD.

Capítulo VI

6. Conclusiones y recomendaciones

6.1. Conclusiones

- El incremento del 28% de la temperatura radiante media y en 16% la humedad relativa en situaciones de conducción prolongada, disminuyen el grado de confort térmico en un 34%, presentando un incremento en el estrés del 2%, de acuerdo con la normativa ISO7730.
- El incremento del 20% de la temperatura radiante media y en 30% la humedad relativa en situaciones de conducción de ruta en carretera, disminuyen el grado de confort térmico en un 76%, presentando un incremento en el estrés del 70%, de acuerdo con la normativa ISO7730.
- Se desarrollo la aplicación método Fanger para los sistemas operativos java y Android, por medio de las plataformas de programación de Android Studio y NetBeans, las cuales evalúan el confort térmico de acuerdo con la normativa ISO 7730, por medio de la evaluación de las variables de la actividad metabólica, indumento, temperatura, humedad y velocidad del aire presentes en el vehículo.
- Se ejecutaron pruebas de funcionalidad del módulo de automatización del sistema de climatización del vehículo Aveo Family, a través de ciclos transitorios dinámicos en ruta urbana y extraurbana, así como también, ciclos dinámicos en conducción prolongada en el que se analizaron parámetros operativos de funcionamiento y prestaciones para el confort humano, en relación del estrés presente en el conductor del vehículo.
- El incremento del 38% de la temperatura radiante media y en 30% la humedad relativa en situaciones de conducción urbana, disminuyen el grado de confort

térmico en un 72%, presentando un incremento en el estrés del conductor del 8.35%, de acuerdo con la normativa ISO7730.

- Se ejecuto la instalación del sistema de aire acondicionado en el vehículo Aveo Family 2012 y la puesta a punto del mismo, por medio de las pruebas de presión, vacío, y dinamométricas de torque y potencia.
- La valoración del confort térmico presento incrementos en los factores fisiológicos de temperatura corporal, oxígeno en la sangre, ritmo cardiaco, y presión arterial, datos que demuestran que el cuerpo presenta cambios leves que promuevan el estrés térmico en el conductor del automotor disminuyendo su capacidad física en el momento de la conducción prolongada.
- La elevación del voto medio previsto PMV, a rangos aproximados al límite del método Fanger obtenidos por medio del estudio del sistema de climatización demostró la necesidad de la implementación del módulo de control electrónico para prolongar los ciclos de conducción.
- El aumento en el grado de confort en el habitáculo y la reducción del estrés en el conductor del automotor, implica un aumento a la seguridad pasiva activa del vehículo, puesto que presenta una gran influencia sobre la capacidad de concentración del individuo, así como sobre su resistencia física y mental a periodos de conducción prolongados disminuyendo de este modo muy significativamente la fatiga y la somnolencia propias de la condición del vehículo.
- Se implemento un módulo de control electrónico del sistema de climatización en el vehículo Aveo Family 2012, controlado por un microprocesador que evalúa las condiciones de los pulsadores y sensores ubicados en el habitáculo del vehículo, identificando las diferentes condiciones ambientales presentes dentro del mismo.

6.2. Recomendaciones

- Desarrollo de un sistema de automatización que funcione en conjunto con el mando de distribución de aire, debido al grado de influencia del mismo con el confort térmico.
- Realizar pruebas de vacío y presión del sistema antes del estudio para comprobar una funcionalidad correcta del sistema de aire acondicionado, con el fin de obtener resultados más precisos.
- Desarrollo de un sistema de automatización que funcione en conjunto con el mando de desempañador del parabrisas, debido al grado de influencia del mismo con la seguridad activa.
- Para evaluar con mayor rapidez el grado de confort se debe implementar una forma de comunicación inalámbrica entre la placa y los programas desarrollados con el método Fanger.
- Las gráficas del voto medio estimado y del porcentaje de personas disconformes deben presentar datos de entalpías, para ofrecer un grado de información más completo para el usuario.
- Implementar una base de datos en los programas del método Fanger, con la finalidad de establecer graficas comparativas en diferentes condiciones climáticas y de conducción.
- Para una mayor exactitud en los datos, se recomienda realizar todas las pruebas bajo las mismas condiciones climáticas y respetando los límites de velocidad que rigen en la provincia de Esmeraldas.

Bibliografía

- Ambrosio, R., & Palella, B. (2013). *Notes on the implementation of the IREQ model for the assessment of extreme cold environments*. Napoli: Taylor & Francia Group.
- Asociación Española de Normalización y Certificación . (2006). *ISO 7730*. Madrid: AENOR.
- Autodidacta. (27 de agosto de 2002). *AUTODIDACTA*. Recuperado el 24 de Agosto de 2021, de https://drive.google.com/file/d/1MM-7DNHWBEJ5GUw1gk_SYT-_fBeRK456/view
- Barrera, O., & Ros, J. (2016). *Sistemas eléctricos y de seguridad y confortabilidad*. Madrid: Paraninfo.SA.
- Castro, J. (1 de julio de 2015). *Aire acondicionado*. Recuperado el 25 de Agosto de 2021, de <https://tuaireacondicionado.net/el-ciclo-de-refrigeracion-como-funciona/>
- Cengel, Y., & Boles, M. (2009). *Termodinámica*. Mexico: Mc Graw Hill.
- Diego, M., & Antonio, J. (2015). *Evaluación Del Confort Térmico Con El Método De Fanger*. Valencia: Ergonautas.
- Esmeraldas, M. d. (Julio de 2021). *Weather Spark*. Recuperado el 10 de Agosto de 2021, de <https://es.weatherspark.com/y/19369/Clima-promedio-en-Esmeraldas-Ecuador-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- Gomez, G. (2007). EL CONFORT TÉRMICO; DOS ENFOQUES TEÓRICOS ENFRENTADOS. *Revista de investigación científica en Arquitectura*, 46-56.
- Goulding, J. R., Lewis, J. O., & Stecmbers, T. O. (1994). *Energy in architecture, The European Passive Solar Handbook*. Editorial Mc Graw-Hill.

- Miranda, A. (2008). *Técnicas de refrigeración*. Barcelona: Marcombo S.A.
- Monroy, E. (2015). *NTP 1037*. Madrid: Instituto Nacional de Seguridad.
- Nogareda, S. (2014). *NTP 1011*. Madrid: CENTRO NACIONAL DE CONDICIONES DE TRABAJO.
- Pacheco, R. (2016). Guía metodológica para determinar el efecto del disconfort térmico. *Tecnura*, 2.
- Pelaéz, D. A. (2004). *Técnicas del automóvil. Sistemas de climatización*. Madrid: Paraninfo. S.A.
- Pérez, A. (2001). *Mecánica del automóvil*. España: Thomson.
- Romero, R. (21 de julio de 2007). *INIA*. Recuperado el 17 de Junio de 2021, de <http://www.inia.org.uy>
- Studio, A. (2020). *Android Studio*. Recuperado el 20 de Julio de 2021, de Developers: <https://developer.android.com/studio/intro?hl=es-419>
- TEGNOLOGÍA, F. (2009). *Climatización para Aplicaciones Móviles*. Recuperado el 2021 de Agosto de 24, de <http://www.friba.com.ar/pdf/fichas/Compresores-Variables-B.pdf>

Anexos