



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ELÉCTRICA**

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DEL USO DE GASES DE ESCAPE DE  
MOTOR VEHICULAR 1500CC PARA ACCIONAR EL AIRE  
ACONDICIONADO POR ABSORCIÓN, 2018**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICISTA**

**AUTOR:**

ELDER IVAN YALTA YALTA

**ASESOR:**

Mg. DECIDERIO ENRIQUE DÍAZ RUBIO

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

GENERACIÓN, TRANSMISIÓN Y DISTRIBUCIÓN

**CHICLAYO-PERÚ**

2018



## ACTA DE SUSTENTACION

En la ciudad de Chiclayo, siendo las 18:00 horas del día 14 de diciembre de 2018, de acuerdo a los dispuesto por la resolución de dirección de investigación N°3040-2018-UCV-CH -2018-UCV-CH, de fecha 10 de diciembre de 2018, se procedió a dar inicio al acto protocolar de sustentación de la tesis titulada: **ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DEL USO DE GASES DE ESCAPE DE MOTOR VEHICULAR 1500 CC. PARA ACCIONAR AIRE ACONDICIONADO POR ABSORCIÓN-2018**, presentado por el(la) (los) bachiller YALTA YALTA ELDER IVAN con la finalidad de obtener el título de Ingeniero mecánico electricista, ante el jurado evaluador conformado por los profesionales siguientes:

Presidente : Ing. Dávila Hurtado Fredy  
Secretario : Ing. Celada Padilla James Skinner  
Vocal : Ing. Rojas Coronel Ángel Marcelo

Concluida la sustentación y absueltas las preguntas efectuadas por los miembros del jurado se resuelve:

APROBAR POR MAYORIA

Siendo las 18:50 del mismo día, se dio por concluido el acto de sustentación, procediendo a la firma de los miembros del jurado evaluador en señal de conformidad.

Chiclayo, 14 de diciembre de 2018

Ing. Dávila Hurtado Fredy  
Presidente

Ing. Celada Padilla James Skinner  
Secretario

Ing. Rojas Coronel Ángel Marcelo  
Vocal

## **DEDICATORIA**

Dedico este presente trabajo de tesis a Dios , que cada dia me levantó con fuerza y salud para seguir mis proyectos en marcha, a mis padres que me formaron de la mejor manera con respeto, responsabilidad, perseverancia, y siempre dar lo mejor de mi para no decaer ante las adversidades, por ellos soy lo que hoy en dia soy con sus buenas enseñanzas y sus buenos consejos que los aplico todos los días de mi vida.

## **AGRADECIMIENTO**

Este agradecimiento va para todas esas personas que ya no estan conmigo que les prometi salir adelante y una cosa de ellas ha sido estudiar una carrera profesional que estoy apunto de culminarlo gracias a ellos que desde el cielo me guian por el buen camino gracias a dios que atraves de el puedo pedir por esas personas que extraño mucho pero que a la vez me hace mas fuerte por que lo que les prometi lo estoy cumpliendo se que desde donde se encuentren estaran orgullosos de mi . Agradecer tambien alas personas que me apoyaron fisicamente y moralmente

RESOLUCION DE VICERRECTORADO ACADEMICO N° 0011-2016-UCV-VA

ANEXO 2

DECLARACION DE AUDITORIA

YO, ELDER IVAN YALTA YALTA, de la escuela de ingeniería mecánica eléctrica, de la Universidad Cesar Vallejo, Sede Chiclayo; declaro que el trabajo académico titulado: **"ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DEL USO DE GASES DE ESCAPE DE MOTOR VEHICULAR 1500CC PARA ACCIONAR EL AIRE ACONDICIONADO POR ABSORCIÓN, 2018"**, presentado para la obtención del título profesional de Ingeniería Mecánica eléctrica es de mi autoría.

Por lo tanto, declaro lo siguiente:

- He mencionado todas fuentes empleadas en el presente trabajo de investigación, identificando correctamente toda cita textual o de parafrasis proveniente de otras fuentes, de acuerdo con lo establecido por las normas de elaboración de trabajos académicos.
- No he utilizado ninguna otra fuente distinta de aquellas expresamente señaladas en este trabajo.
- Este trabajo de investigación no ha sido previamente presentado completa ni parcialmente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
- Soy consciente de que mi trabajo puede ser revisado electrónicamente en búsqueda de plagios.
- De encontrar uso de material intelectual ajeno sin el debido reconocimiento de su fuente o autor, me someto a las sanciones que determinen el procedimiento disciplinario.

Chiclayo, 11 de diciembre 2018



---

ELDER IVAN YALTA YALTA

DNI: 70363502

## PRESENTACIÓN

Ante ustedes señores miembros del jurado la presente tesis que conlleva por título **“ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DEL USO DE GASES DE ESCAPE DE MOTOR VEHICULAR 1500CC PARA ACCIONAR EL AIRE ACONDICIONADO POR ABSORCIÓN, 2018**, que tiene como objeto de estudio el aprovechamiento del calor de los gases de escape de la combustión del motor vehicular, y de esa manera no utilizar energía externa para el accionamiento del sistema de aire acondicionado automotriz.

Los gases de la combustión, que se expulsan al medio ambiente, a una determinada velocidad y temperatura, poseen un valor entálpico aprovechable, y que existiendo el sistema de refrigeración por absorción, se realiza el análisis para cuantificar la energía que se puede aprovechar, de acuerdo a las necesidades de confort en el interior del vehículo, utilizando el aire acondicionado.

El sistema de aire acondicionado por absorción, tiene como elementos constituyentes del sistema al condensador, absorbedor, evaporador, generador e intercambiador de calor, teniendo como sustancia de trabajo al amoniaco y al bromuro de litio, que reciben energía calorífica en el generador, para cambiar de estado vapor, líquido, o líquido vapor, a una determinada presión y temperatura que se desea dar el confort de temperatura, que tiene un valor óptimo a los 21°C.

## ÍNDICE

PÁGINA DEL JURADO.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD.....	v
PRESENTACIÓN.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
I. INTRODUCCIÓN.....	13
<b>1.1. Realidad Problemática.....</b>	<b>13</b>
<b>1.2. Trabajos Previos.....</b>	<b>18</b>
<b>1.3. Teorías relacionadas al tema.....</b>	<b>20</b>
<b>1.4. Formulación del Problema.....</b>	<b>31</b>
<b>1.5. Justificación del Estudio.....</b>	<b>31</b>
<b>1.6. Hipótesis.....</b>	<b>32</b>
<b>1.7. Objetivos.....</b>	<b>33</b>
II. METODO.....	34
<b>2.1. Diseño de investigación.....</b>	<b>34</b>
<b>2.2. Variables, Operacionalización.....</b>	<b>34</b>
<b>2.3. Población y muestra.....</b>	<b>36</b>
<b>2.4. Técnicas y recolección de datos, validez y confiabilidad.....</b>	<b>37</b>
<b>2.5. Métodos de análisis de datos.....</b>	<b>38</b>
<b>2.6. Aspectos éticos.....</b>	<b>38</b>
III. RESULTADOS.....	39
IV. DISCUSIÓN.....	79
V. CONCLUSIONES.....	80
VI. RECOMENDACIONES.....	81

<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>82</b>
<b>VIII. ANEXOS .....</b>	<b>83</b>
<b>Anexo Nº 1. Guía de Observación.....</b>	<b>83</b>
<b>Anexo Nº 2. Guía de Observación .....</b>	<b>84</b>
<b>Anexo Nº 3. Ficha de validación de instrumento de recolección de datos</b>	<b>85</b>
<b>Autorización de publicación.....</b>	<b>90</b>
<b>Resolución de vicerrectorado .....</b>	<b>91</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Rendimientos en km./Galón .....	15
<b>Figura 2.</b> Tráfico de pasajeros.....	16
<b>Figura 3.</b> Emisión de CO <sub>2</sub> .....	17
<b>Figura 4.</b> Ciclo por absorción simple .....	20
<b>Figura 5.</b> Ciclo de absorción de amoniaco.....	22
<b>Figura 6.</b> Intercambiadores de calor .....	23
<b>Figura 7.</b> Sensor de oxígeno .....	26
<b>Figura 8.</b> Sensor de oxígeno .....	27
<b>Figura 9.</b> Regresión lineal .....	31
<b>Figura 10.</b> Temperatura del motor .....	41
<b>Figura 11.</b> Velocidad de giro.....	42
<b>Figura 12.</b> Emisiones de CO .....	42
<b>Figura 13.</b> Emisiones de CO <sub>2</sub> + CO .....	43
<b>Figura 14.</b> Hidrocarburos no quemados .....	44
<b>Figura 15.</b> Conexión sensor de temperatura.....	44
<b>Figura 16.</b> Relación lineal tensión vs resistencia .....	46
<b>Figura 17.</b> Transferencia de calor por conducción .....	52
<b>Figura 18.</b> Elementos del sistema de refrigeración .....	55
<b>Figura 19.</b> Masa y energía en equipo evaporador .....	57
<b>Figura 20.</b> Masa y energía en equipo absorbedor .....	58
<b>Figura 21.</b> Balance y energía en equipo intercambiador .....	60
<b>Figura 22.</b> Intercambio de energía .....	62
<b>Figura 23.</b> Balance térmico de motor.....	64
<b>Figura 24.</b> Balance térmico del motor de combustión .....	65
<b>Figura 25.</b> Refrigeración por absorción.....	66
<b>Figura 26.</b> Diagrama PV.....	68
<b>Figura 27.</b> Flujo de caja del proyecto.....	74
<b>Figura 28.</b> Saldo del capital, intereses y amortización .....	78

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Consumo de combustibles .....	14
<b>Tabla 2.</b> Límites Máximos Permisibles .....	30
<b>Tabla 3.</b> Operacionalización de variables .....	35
<b>Tabla 4.</b> Mediciones de gases de escape .....	40
<b>Tabla 5.</b> Valores del sensor de temperatura .....	45
<b>Tabla 6.</b> Cálculo de linealización .....	47
<b>Tabla 7.</b> Linealización Resistencia .....	48
<b>Tabla 8.</b> Resultados de pruebas a vehículos .....	49
<b>Tabla 9.</b> Relación variable a temperatura .....	50
<b>Tabla 10.</b> Medición de temperatura a diferentes RPM .....	51
<b>Tabla 11.</b> Cálculo de carga térmica .....	54
<b>Tabla 12.</b> Costo de la inversión .....	72
<b>Tabla 13.</b> Flujo de Caja .....	74
<b>Tabla 14.</b> Valor actual neto .....	75
<b>Tabla 15.</b> Tasa interna de retorno .....	76
<b>Tabla 16.</b> Amortización reducción cuota .....	77

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N° 1. Guía de Observación .....	83
Anexo N° 2. Guía de Observación .....	84
Anexo N° 3. Ficha de validación de instrumento de recolección de datos .....	85

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación, denominado “ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DEL USO DE GASES DE ESCAPE DE MOTOR VEHICULAR 1500CC PARA ACCIONAR EL AIRE ACONDICIONADO POR ABSORCIÓN, 2018”, tiene como objeto de estudio aprovechar la energía térmica que se transfiere al medio ambiente, para utilizarse como calor de ingreso en el sistema de refrigeración por absorción en los vehículos automotrices livianos de 1500 cc; con lo cual no se utiliza combustible adicional para satisfacer la demanda de energía del sistema de refrigeración.

Así mismo se cuantificó la carga térmica en el interior de la unidad, en un valor de 1810 Watt, a una temperatura de confort de 19°C, y con ello se determinó los balances de energía en los dispositivos del sistema, como son el absorbedor, generador, condensador y evaporador. El generador es el elemento que recibe el calor de los gases de la combustión de 1.18 KJ/s, a una velocidad de salida de los gases de 498 m/s y una temperatura de 345 °C.

Los objetivos del estudio, lograron determinar la factibilidad del proyecto, y consistió en realizar mediciones a los gases para determinar los porcentajes de las emisiones de monóxido, dióxido de carbono, hidrocarburos no quemados, así como también la temperatura de los gases que varían entre 326 y 345°C a diferentes regímenes de velocidad del motor. Además, económicamente el proyecto es viable, con un VAN, TIR y relación beneficio costo de S/. 1812, 5.2% y 1.15 respectivamente. La incorporación de éste sistema en los vehículos es rentable y en el periodo de 18 meses se recupera la inversión de 1812 Soles.

**Palabras claves:** Absorción, gases de escape, temperatura.

## ABSTRACT

The present research work, called "STUDY OF FEASIBILITY OF THE USE OF VEHICULAR MOTOR ESCAPE GASES 1500CC TO ACTION AIR CONDITIONED BY ABSORPTION, 2018", has as object of study to take advantage of the thermal energy that is transferred to the environment, to be used as heat of admission in the refrigeration system by absorption in light automotive vehicles of 1500 cc; thus, no additional fuel is used to meet the energy demand of the cooling system.

Likewise, the thermal load in the interior of the unit was quantified, at a value of 1810 Watt, at a comfort temperature of 19 ° C, and with this the energy balances were determined in the system devices, such as the absorber, generator, condenser and evaporator. The generator is the element that receives the heat of the combustion gases of 1.18 KJ / s, at a gas exit velocity of 498 m / s and a temperature of 345 ° C.

The objectives of the study were to determine the feasibility of the project, and consisted in making gas measurements to determine the percentages of emissions of monoxide, carbon dioxide, unburned hydrocarbons, as well as the temperature of the gases that vary between 326 and 345 ° C at different engine speed regimes. In addition, economically the project is viable, with a NPV, IRR and cost benefit ratio of S /. 1812, 5.2% and 1.15 respectively. The incorporation of this system in the vehicles is profitable and in the period of 18 months the investment of 1812 Soles is recovered.

**Keywords:** Absorption, exhaust gases, temperature

## **I. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Realidad Problemática**

#### **Nivel internacional**

“En los equipamientos de los vehículos modernos, el sistema de aire acondicionado es de uso obligatorio, aun consumiendo mayor consumo de combustible que los que no tienen el sistema” (Unión Europea, 2014, p.4).

En Argentina, desde el 1 de enero de 2015, ya no se está usando HCFC de ningún tipo, incluidos reciclaje o restaurados para el mantenimiento y revisión de aparatos aún adquiridos mucho antes. Estos aparatos podrían seguir funcionando no obstante de manera indefinida, siempre que no sea necesario recargar el gas; esto también aplica a los sistemas de aire acondicionado en los vehículos para el transporte particular y público. (SECRETARÍA DE ESTADO DE CAMBIO CLIMÁTICO, Argentina, 2013).

Un estudio que realizó la Society of Automotive Engineers de Estados Unidos descubrió que si bien usar el aire acondicionado gasta gasolina, conducir a grandes velocidades con las ventanas abiertas, tiene un impacto más severo en el consumo de combustible.

En los vehículos con inyección electrónica, el consumo de combustible cada vez es menor, si se mide en función a los kilómetros por galón que recorren, es menor debido a que solo utiliza combustible de acuerdo a las solicitudes de energía mecánica, eléctrica o de otra índole que requiere el vehículo; éstas unidades vehiculares tienen normalmente los sistemas de aire acondicionado por compresión de vapor, en el cual se utiliza parte de la energía mecánica que genera el motor de combustión interna para accionar el compresor del sistema de aire acondicionado, incrementando el consumo de combustible, que será proporcional a las horas de funcionamiento de estos y a las condiciones climatológicas en el interior de los vehículos automotrices. (Society of Automotive Engineers, 2014)

Los altos consumos de combustible en los vehículos en muchos lugares, no son factores relevantes, debido a que los niveles económicos son altos, siendo la prioridad el confort y la seguridad. (Unión Europea, 2014, p.4)

En verano podrá disfrutar de condiciones idóneas de entre 23°C y 27°C con una humedad relativa de entre el 35% y el 65%. Y la entrada constante de aire fresco hace que la conducción sea más segura, ya que ayuda a mejorar la concentración y evita que se empañen los cristales. Además, el sistema de aire acondicionado también filtra los olores desagradables, el polen y otras partículas contaminantes del aire para garantizar que siempre llega a su destino en plena forma y sin sudar, haga el tiempo que haga. Sin embargo desde el punto de vista técnico y ambiental, el medio ambiente continúa en su camino hacia la destrucción.

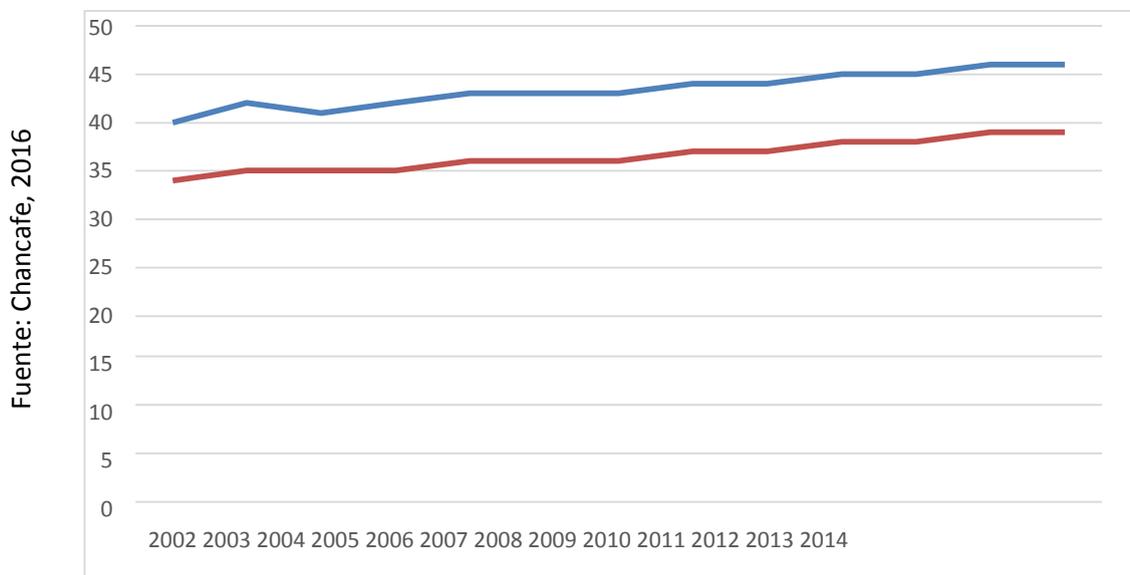
**Tabla 1.**

Año de Fabricación	Consumo de Combustible Km/Galón	
	Con Aire Acondicionado	Sin Aire Acondicionado
2002	34	40
2003	35	42
2004	35	41
2005	35	42
2006	36	43
2007	36	43
2008	36	43
2009	37	44
2010	37	44
2011	38	45
2012	38	45
2013	39	46
2014	39	46

Fuente: Chancafe, 2016

Evolución de consumos de combustibles en vehículos livianos

**Figura 1.**



**Evolución de los rendimientos en Km/Galón en unidades livianas**

En la figura 1, se muestra una estadística del promedio del rendimiento en cuanto a los consumos de combustibles, en el año 2002, en donde aparecieron tecnologías en los sistemas de inyección electrónica de combustible, en el cual la cantidad de combustible que combustiona solo es la que se requiere, teniendo un consumo promedio de 40 Km/galón para vehículos livianos que no utilizan el aire acondicionado, y de 34 Km/galón para los vehículos que utilizan el aire acondicionado.

Sin embargo para el año 2014, ésta realidad ha mejorado, llegando a tener un rendimiento de 46 Km/galón y de 39 Km/Galón, cuando no utiliza y utilizan el aire acondicionado respectivamente. Pero aún existe una diferencia entre ambas situaciones, debido a que los sistemas de aire acondicionado tienen alto consumo de energía.

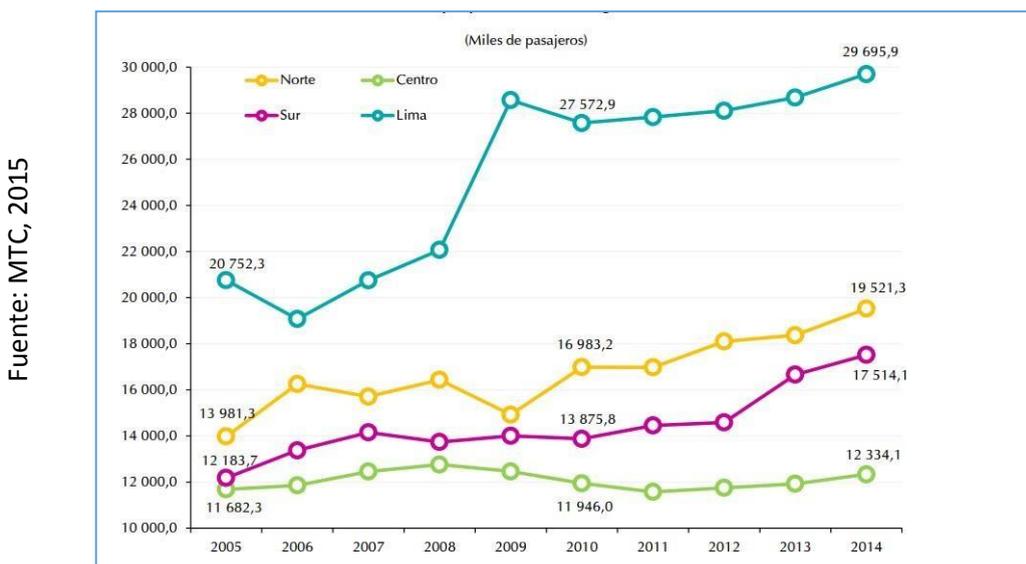
### **Nivel nacional**

En la costa norte del Perú, se registran la mayor cantidad de vehículos que utilizan el aire acondicionado, debido al clima cálido que presenta; y según reporte del MTC, entre el 2010 y el 2014, en dicha zona, el número de pasajeros

se incrementó de 16 a 19 millones de personas que realizaron el transporte terrestre. (MTC, 2015, p.6).

Un viaje interprovincial en las ciudades del Norte del Perú, en la estación de verano, sin el uso del aire acondicionado en los vehículos, ocasiona malestar al pasajero, debido a que entre la ciudades capitales de departamento el tiempo mínimo que se emplea son de tres horas, tiempo en el cual las condiciones de confort son complejas si la temperatura tiene valores superiores a las 30° y si esa temperatura es evaluada en el interior del vehículo con todas las cargas térmicas que tiene, ese valor de temperatura es de 35°C.

**Figura 2.**



Tráfico de pasajeros en el servicio regular nacional 2015

En Lima, Arequipa, Trujillo y Chiclayo, lo cual son las 4 principales ciudades del Perú, los representantes de las incomparables marca de vehículo brindan las unidades, asimismo un aproximado de 80 % llegan con aire acondicionado, pues que crea mayor confort en el pasajero, a excepción de las fichas técnicas, en todas ellas se registra un gran consumo de combustible por usar el aire acondicionado, que habitualmente se posee un método por presión de vapor. (Protransporte, 2014, p.23).

Esta emisión de gases de inflamación, son el dióxido de carbono, el monóxido de carbono, los hidrocarburos no quemados, y los óxidos de gas, el CO2 es un gas ingénito a la inflamación, esto de debe a la inflamación completa de los combustibles; si la utilización de combustible aumenta por un mal manejo del conductor, uso de aire acondicionado u otros usos, la cantidad de CO2, aumenta en similar simetría, en la figura 4, se obtiene un registro de las proyecciones de emisiones de CO2 en el sector transporte, para los otros tipos de mecanismos.

**Figura 3.**

Fuente: Ministerio del Ambiente, 2014

Valores proyectados al año 2025				
Tipo de vehículo	Cantidad	Toneladas de CO <sub>2</sub> /año	Toneladas de CO <sub>2</sub> por auto/año	
			Por auto	Reducción (%)
Auto	3 096 705	6 038 574	1.95	56%
Ómnibus	70 906	2 127 168	40	30%
Camión	205 688	6 170 652	40	30%
Remolcador	40466	1 213 992	40	30%
<b>TOTAL</b>	<b>3 413 765</b>	<b>15 550 386</b>	<b>11 (PROM)</b>	<b>36% (PROM)</b>

Crecimiento anual de vehículos livianos en 10% con emisiones de 130 g CO<sub>2</sub>/km. Crecimiento anual de vehículos pesados en 20%

### Emisión de CO2 en el sector transporte

#### Nivel Local

En la ciudad de Chiclayo, 8 de cada 10 vehículos que circulan en la ciudad y que han sido adquiridos tienen aire acondicionado, y casi todos ellos utilizan el método de aire acondicionado por compresión de vapor, por lo tanto tienen dos indicadores de consumos, un indicador cuando no usa aire acondicionado con consumos específicos superiores a los 45 Km/galón para vehículos de cilindrada entre 1000 y 1300 cc; en cambio cuando utilizan el aire acondicionado el valor de consumo de combustible es menor a los 35 Km/Galón.

Esta realidad, tiene un efecto de baja de rentabilidad económica, y tiene más incidencia en la estación de verano, en donde el uso del aire acondicionado es una necesidad para el confort de los pasajeros.

Ante ello, existen unidades vehiculares, que no cuentan con ningún sistema de aire acondicionado, y su instalación por el sistema convencional, en donde se debe instalar el compresor en el sistema, tiene costos elevados, que están alrededor de 600 a 800 dólares, siendo un valor algo complejo para muchos propietarios, que aun teniendo esa necesidad no hacen la instalación del sistema.

Así mismo, si se hace uso de la unidad vehicular con las ventanas abiertas, se simplifica el problema, pero ocasiona otro inconveniente, porque el aire del exterior ingresa con gran fuerza, que ocasiona un problema de incomodidad al pasajero, y en otros casos ocasiona problemas de salud, al estar expuesto a la fuerza del aire exterior.

## **1.2. Trabajos Previos**

**Matarazzo (2014), en su tesis denominado: “REFRIGERACIÓN LOCAL DE VEHÍCULOS CON CALOR EXCEDENTE, presentado a la ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN UNIVERSIDAD DE CANTABRIA.**

La instalación de aire acondicionado tradicional esto se basa en un lapso termodinámico de compresión su costo es 1680 €. Asimismo instalar un enfriador de absorción su costo es 2550 €. Esto involucra un diferente importe de 890 €, lo cual se redondea 1000 €.

Varios estudios dicen que utilizar el aire acondicionado del carro esto trae un incremento de 6% en la utilización de combustible. Usar el refrigerante de absorción es una gran ventaja excluir este consumo adicional. Esto representa esperaremos, creando un uso habitual del aire acondicionado, 5,6 años en amortizar la discrepancia de costo de las instalaciones.

Los sistemas de enfriamiento por absorción, representan una alternativa buena, para que un vehículo tenga las condiciones de confort para los pasajeros.

Económicamente es más conveniente comparado con las otras formas de generar frío en la cabina, si lo comparamos con sistema como el de compresión de vapor, en donde la potencia que requiere el compresor es uno de los factores que tiene alto consumo de energía eléctrica.

Otras de las razones es la eliminación de los refrigerantes de trabajo, este sistema de refrigeración por compresión de vapor utilizan refrigerantes con contenidos de fluor, carbono, cloro, que si en algún momento son expedidos al medio ambiente, tienen efectos muy adversos contra la capa de ozono.

**González (2013), en su trabajo de investigación denominada “Propuesta de un sistema de refrigeración por absorción para la climatización del edificio administrativo de la termoeléctrica de Felton” presentado a la Facultad de Ingeniería Mecánica del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Cuba, en su resumen:**

Se caracterizaron los componentes principales que conforman el sistema y se analizaron las metodologías de cálculo para su selección. Se estableció un procedimiento de cálculo para la determinación de los parámetros del ciclo de refrigeración con ayuda del diagrama de equilibrio amoníaco–agua y a través de balances de masa y energía se determinó la cantidad de calor, de refrigerante y de agua que se requiere para su funcionamiento. Se determinaron las áreas de transferencia de calor necesarias para el intercambio térmico en el evaporador, condensador, absorbedor y generador. Se propone la instalación de tres plantas enfriadoras de agua por absorción, nutridas por agua caliente, de la firma ABSORSISTEM S. L., modelo WFC SC30, con capacidad de 105 kW cadauna.

**Marcos del Cano (2008), en su trabajo de investigación, denominada “Prototipo de máquina frigorífica de absorción de LiBr/H<sub>2</sub>O de doble efecto condensada por aire”, presentada a la Universidad Carlos III de Madrid, proyectó los siguientes objetivos específicos:**

Por un lado, caracterizar y definir en profundidad el funcionamiento de las máquinas de absorción de LiBr/agua de doble efecto, tanto condensadas por agua como condensadas por aire, identificando y determinando los factores clave que posibiliten el funcionamiento de estas últimas.

Por otro lado, aplicar el conocimiento obtenido de las simulaciones teóricas junto con el desarrollo de un diseño novedoso sobre dos prototipos experimentales de absorción de LiBr/agua de doble efecto condensados por aire con el objetivo de lograr en ellos un funcionamiento eficiente y, si es posible, competitivo con las máquinas comerciales.

### 1.3. Teorías relacionadas al tema

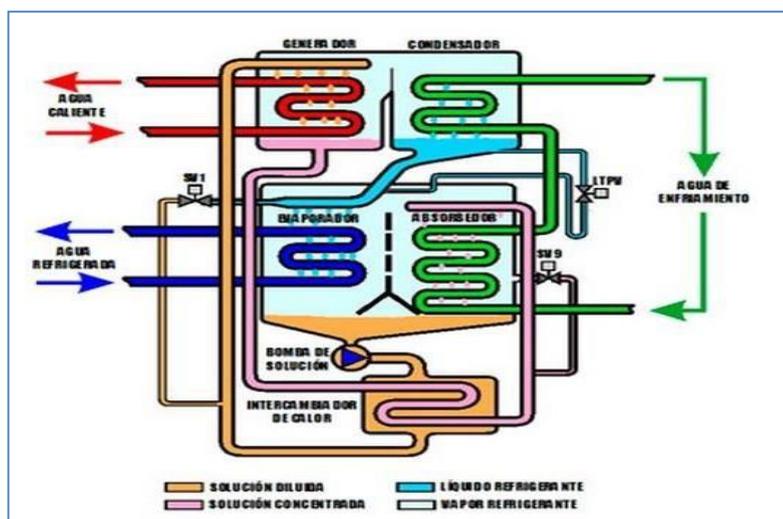
#### 1.3.1. Funcionamiento del ciclo de absorción simple

El funcionamiento del ciclo denominando de absorción simple, se muestra en la figura 5, en el cual el dispositivo llamado generador, que se ubica en el lado superior izquierdo de la figura, contiene una solución acuosa (a la cual se le llama solución diluida), el cual contiene 52% aproximadamente de LiBr. Por el lado primario o circuito del generador, fluye el agua a una temperatura superior a la atmosfera, o agua caliente, que es la que aporta la energía para el ciclo. Normalmente el ingreso del agua caliente es a unos 88 grados centígrados, y la salida es a unos 83°C. (Flores, 2016, p.45).

Para hablar del funcionamiento vamos a seguir este diseño simplificado de la Figura 4. El generador que se encuentra ubicado en el lado superior izquierda del gráfico, en que la solución acuosa (denominada solución diluida) sujeta un 63% de LiBr. Asimismo circula agua caliente por el circuito primario lo cual aporta energía necesaria a fin de que funcione el sistema. El agua ardiente ingresa sustantivamente a un temple de 88°C en el circuito principal de este generador surgiendo de él a 83°C. (Flores, 2016, p.48).

Figura 4.

Fuente: ABSORSTEM, España, 2010



Esquema de ciclo por absorción simple

En el caso del circuito secundario del dispositivo que entrega el calor es decir el generador, denominado circuito de refrigeración, se tiene una lectura de la presión absoluta de 13 Kilopascal; éste efecto de calor que se aporta en el circuito del lado primario que contiene agua caliente, el agua de la solución diluida ingresa en cambio de fase, es decir de líquido a vapor, conocido como ebullición del agua, y éste vapor generado se dirige hasta un recipiente que se encuentra ubicado al lado del generador, denominado el condensador.

Por este alejamiento de vapor, la solución restante, llamada solución concentrada, se centraliza en un 67% de LiBr dirigido a esta condición hacia los intercambiadores de calor ubicados en el lado inferior del dibujo.

Continúa el proceso en el condensador, el agua ya en forma de vapor es enfriado hasta alcanzar una temperatura de 36 grados centígrados, gracias al circuito de agua procedente.

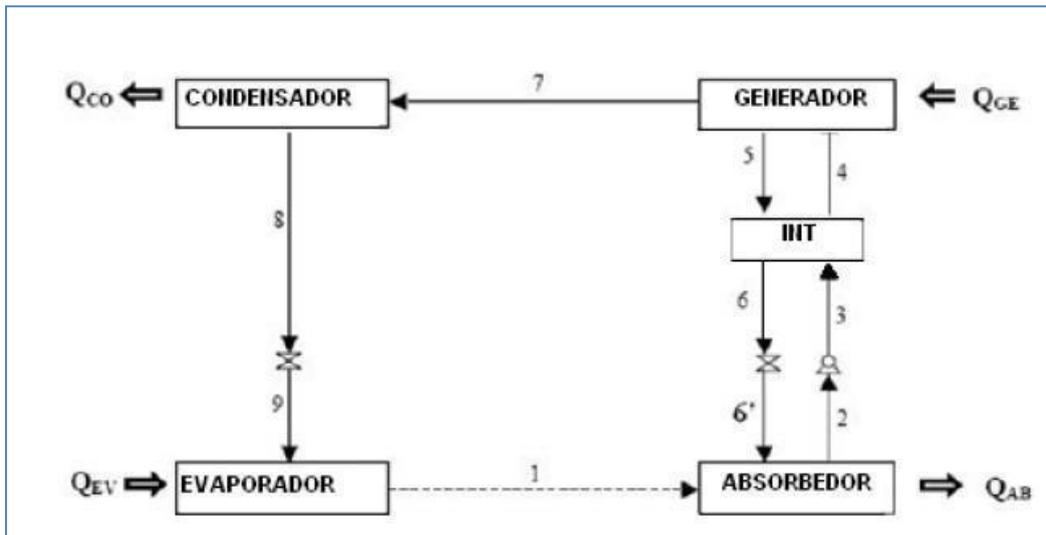
Este fluido que es el líquido refrigerante, es forzado a que ingrese por diferencia de presión, en otros mecanismos del sistema denominado el evaporador, aquí el fluido adquiere una coacción de 0,9 Kilopascal, esto se vaporiza un 3°C obteniendo un calor preciso para el contorno de agua a refrigerar, rebajando su temple un 7°C lo cual se supone que ha ingresado de la instalación a 12°C.

Al mismo lapso, la solución concentrada al 56% de LiBr originario del generador lo cual fluye en este absorvedor lo cual comparten el espacio y presión con el evaporador, siendo el vapor de agua contenido en este absorbido por el LiBr esto se debe a la relación que hay con el agua, diluyendo la concentración de LiBr de nuevo al 52%.

Definitivamente, lo cual la solución reducirá un 52% de LiBr por la permeabilidad del vapor, lo cual aspira por la bomba de solución (SP) para remitirlo nuevamente al generador en el que se retoma el proceso, previo por un intercambiador de calor que consiente en el aumento del interés del ciclo. (Gonzales, 2014,p,66).

### 1.3.2. Balance energético del sistema de refrigeración por absorción.

Figura 5.



Fuente. Instituto Superior Minero Metalúrgico, Cuba.2014

Diagrama Esquemático del ciclo de absorción de amoníaco – agua

“A través del balance energético al sistema se considera que la suma de los calores absorbidos en el generador y el evaporador debe ser igual a la suma de los calores cedidos en el condensador y absorbedor más la potencia consumida por la bomba” (Gonzales,2014, p. 68)

Este balance de energía, se ejecuta según se muestra en la ecuación siguiente:

$$Q_{EV} + Q_{GE} - Q_{CO} - Q_{AB} - N_B = 0$$

Donde:

$Q_{EV}$ : Calor absorbido en la evaporación; W

$Q_{GE}$ : Calor suministrado al sistema en el generador; W

$Q_{CO}$ : Calor cedido al condensador; W

$Q_{AB}$ : Calor cedido al absorbedor; W

$N_B$ : Potencia de la bomba; W.

El balance de masa y energía para el generador, se establece mediante la ecuación:

$$m7 \cdot h7 + m5 \cdot h5 = m4 \cdot h4 + QGE$$

Dónde:

m7: Flujo másico de refrigerante hacia el condensador, en kg/s.

h7: Entalpía del refrigerante al ingreso del condensador, KJ/kg

m5; Flujo Másico de solución concentrada que ingresa al absorbedor, en Kg/s.

h5: Entalpía dela solución de baja concentración a la salida del generador J/Kg

m4: Flujo másico de la solución fuerte al ingreso del generador, kg/s.

h4: Entalpía de la solución fuerte al ingreso del generador J/Kg

Para determinar el calor necesario en cada uno de los elementos que componen el ciclo de refrigeración por absorción (intercambiadores de calor), se realizan balances de masa y energía a los mismos, según las ecuaciones:

Calor absorbido en el evaporador:  $Q_{EV} + \dot{m}_3 \cdot h_3 = \dot{m}_1 \cdot h_1$

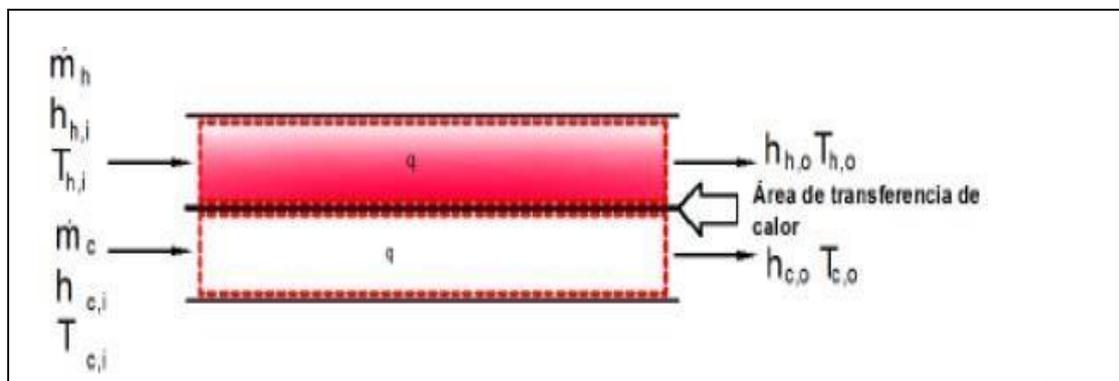
Calor rechazado en el absorbedor:  $\dot{m}_1 \cdot h_1 + \dot{m}_6 \cdot h_6 = \dot{m}_2 \cdot h_2 + Q_{AB}$

Calor absorbido en el generador:  $\dot{m}_4 \cdot h_4 + Q_{AB} = \dot{m}_7 \cdot h_7 + \dot{m}_5 \cdot h_5$

Calor rechazado en el condensador:  $\dot{m}_7 \cdot h_7 = \dot{m}_8 \cdot h_8 + Q_{CO}$

### 1.3.3. Balance de Energía en los Intercambiadores de calor

Figura 6.



## Balance de Energía en los Intercambiadores de calor

Balances globales de energía para los fluidos caliente y frío en intercambiador de calor Usando la ley de Newton para el enfriamiento y el coeficiente global de transferencia de calor se puede plantear la ecuación:

$$q = U \cdot A \cdot \Delta T_{m,l}$$

Donde:

**U** : Coeficiente global de transferencia de calor; W/(m<sup>2</sup>·K)

**A** : Área del intercambiador; m<sup>2</sup>

**$\Delta T_{m,l}$**  : Diferencia de temperatura media logarítmica; °C.

La diferencia de temperatura media logarítmica depende del tipo de intercambiado y se determina mediante la ecuación:

$$\Delta T_1 = T_{c,entrada} - T_{f,salida}$$

$$\Delta T_2 = T_{c,salida} - T_{f,entrada}$$

La LMTD se calcula con la siguiente fórmula:

$$LMTD = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)}$$

Así este término involucra las cuatro temperaturas y se puede obtener la transferencia de calor por unidad de tiempo de la siguiente forma

$$Q = UA_s \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)}$$

$$Q = UA_s LMTD \quad \text{ó} \quad Q = UA_s \Delta T_{lm}$$

### 1.3.4. Gases de Escape

“Cuando la combustión es incompleta se incrementa la presencia de monóxido de carbono, esto se por problemas en los mecanismos que están involucrados en la combustión, como son los inyectores y bujías” (Manual del Automóvil, 2013, p.212).

El Monóxido de Carbono, en concentraciones altas y tiempos largos de exposición puede provocar en la sangre la transformación irreversible de la Hemoglobina, molécula encargada de transportar el oxígeno desde los pulmones a las células del organismo, en Carboxihemoglobina, incapaz de cumplir esa función. Por eso, concentraciones superiores de CO al 0,3 % en volumen resultan mortales. La falta de oxígeno en la combustión hace que ésta no se produzca completamente y se forme Monóxido de Carbono en lugar de Dióxido de Carbono. En un vehículo, la aparición de mayores concentraciones en el escape de CO indican la existencia de una mezcla inicial rica o falta de oxígeno. (Rojas, 2009, p.36).

**Relación Lambda:** “Se define a la relación Lambda como  $Rel. \text{Lambda} = R. \text{Real}/14.7$ ; Siendo R. Real la relación en peso aire- combustible real que tiene el motor en ese momento” (CISE, 2014, p.1).

- Con una relación " $\lambda = 1$ ", se obtiene una combustión perfecta porque el aire aspirado coincide con el teórico (el aire aspirado es el 100 % del teórico necesario).

- Con una relación " $\lambda < 1$ ", por ejemplo 0,8 indica escasez de aire por lo que la mezcla resulta rica de combustible (el aire aspirado es solo el 80 % del necesario).

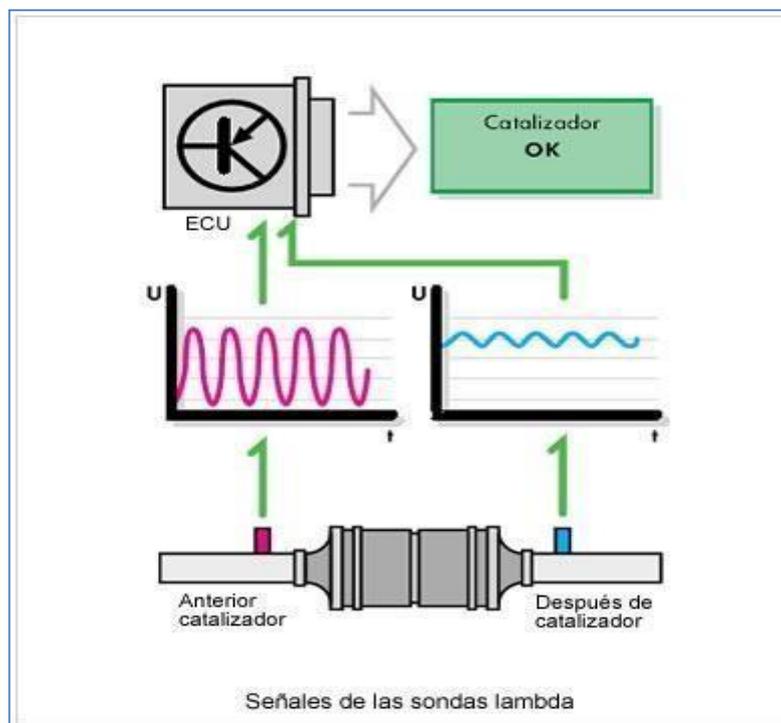
- Con una relación " $\lambda > 1$ ", por ejemplo 1,20 indica exceso de aire, por consiguiente una mezcla pobre (el aire aspirado es un 120 % del teórico, es decir un 20 % más del necesario).

### 1.3.4.1. Sensores de los gases de escape

**Sensor de oxígeno o sonda Lambda:** “El sensor de oxígeno está dispuesta en el sistema de escape delante del catalizador. La señal de la sonda es conducida a la unidad de control del motor” (Bosch, 2014, p.4).

El motor por si solo no puede controlar los porcentajes de aire y combustible que entran en la cámara de combustión, no lo pudo hacer en el pasado con el uso de carburadores, ni tampoco con sistemas de inyección electrónicos de "lazo abierto". Para poder controlar la mezcla es necesario de un elemento sensor, que indique, el porcentaje de aire y combustible que entra en el motor. A este dispositivo se le llama sensor de oxígeno o sonda Lambda. Este sensor situado a la salida del colector de escape del motor, analiza los gases de escape, y envía información constantemente a la gestión electrónica del motor que adecua la mezcla en función de las circunstancias de funcionamiento del vehículo. (Mecánica Virtual, 2013, p.34).

Figura 7.

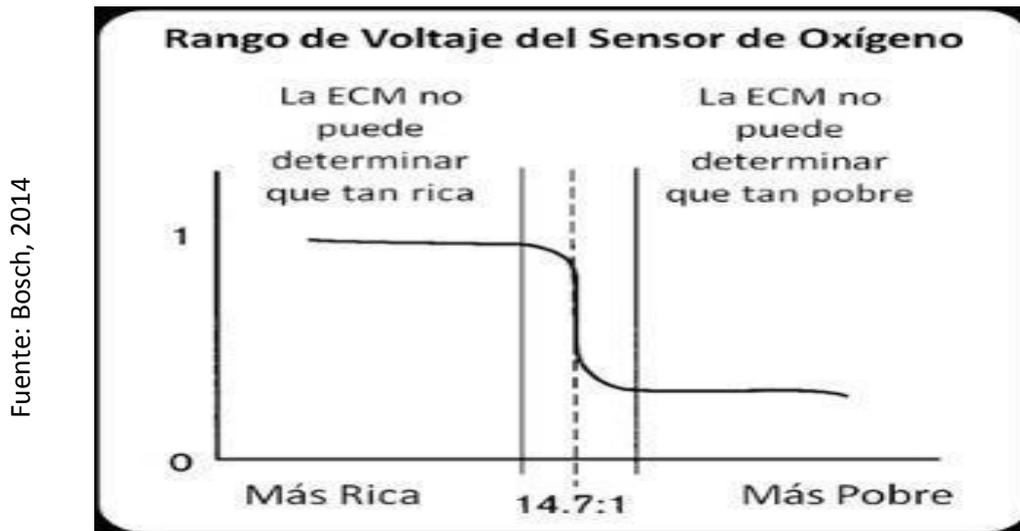


Fuente: Bosch, 2014

Conexiones del sensor de oxígeno

En la Figura 7, se muestra la señal del sensor de oxígeno, en el cual la determinación de mezcla rica o pobre es por los niveles de tensión en el sensor, que envía dicha información a la ECU del motor.

**Figura 8.**



Señal del sensor de oxígeno

### 1.3.5. Características de los gases de la combustión

**Nitrógeno (N<sub>2</sub>):** El nitrógeno es un gas no combustible, incoloro e inodoro, se trata de un componente esencial del aire que respiramos (78 % nitrógeno, 21 % oxígeno, 1 % otros gases) y alimenta el proceso de la combustión conjuntamente con el aire de admisión. La mayor parte del nitrógeno aspirado vuelve a salir puro en los gases de escape; sólo una pequeña parte se combina con el oxígeno O<sub>2</sub> (óxidos nítricos NO<sub>x</sub>).

**Oxígeno (O<sub>2</sub>):** Es un gas incoloro, inodoro e insípido. Es el componente más importante del aire que respiramos (21 %). Es imprescindible para el proceso de combustión, con una mezcla ideal el consumo de combustible debería ser total, pero en el caso de la combustión incompleta, el oxígeno restante es expulsado por el sistema de escape.

**Agua (H<sub>2</sub>O):** Es aspirada en parte por el motor (humedad del aire) o se produce con motivo de la combustión “fría” (fase de calentamiento del motor). Es

un subproducto de la combustión y es expulsado por el sistema de escape del vehículo, se lo puede visualizar sobre todo en los días más fríos, como un humo blanco que sale por el escape, o en el caso de condensarse a lo largo del tubo, se produce un goteo. Es un componente inofensivo de los gases de escape.

**Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>):** Se produce al ser quemados los combustibles que contienen carbono (p. ej. gasolina, gasoil). El carbono se combina durante esa operación con el oxígeno aspirado. Es un gas incoloro, no combustible. El dióxido de carbono CO<sub>2</sub> a pesar de ser un gas no tóxico, reduce el estrato de la atmósfera terrestre que suele servir de protección contra la penetración de los rayos UV (la tierra se calienta). Las discusiones generales en torno a las alteraciones climatológicas (efecto “invernadero”), el tema de las emisiones de CO<sub>2</sub> se ha hecho consciente en la opinión pública.

**Monóxido de carbono (CO):** Se produce con motivo de la combustión incompleta de combustibles que contienen carbono. Es un gas incoloro, inodoro, explosivo y altamente tóxico. Bloquea el transporte de oxígeno por parte de los glóbulos rojos. Es mortal, incluso en una baja concentración en el aire que respiramos. En una concentración normal en el aire ambiental se oxida al corto tiempo, formando dióxido de carbono CO<sub>2</sub>.

**Óxidos nítricos (NO<sub>x</sub>):** Son combinaciones de nitrógeno N<sub>2</sub> y oxígeno O<sub>2</sub> (p. ej. NO, NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, ...). Los óxidos de nitrógeno se producen al existir una alta presión, alta temperatura y exceso de oxígeno durante la combustión en el motor. El monóxido de nitrógeno (NO), es un gas incoloro, inodoro e insípido. Al combinarse con el oxígeno del aire, es transformado en dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), de color pardo rojizo y de olor muy penetrante, provoca una fuerte irritación de los órganos respiratorios.

Las medidas destinadas a reducir el consumo de combustible suelen conducir lamentablemente a un ascenso de las concentraciones de óxidos nítricos en los gases de escape, porque una combustión más eficaz produce temperaturas más altas. Estas altas temperaturas generan a su vez una mayor emisión de óxidos nítricos.

**Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>):** El dióxido de azufre o anhídrido sulfuroso propicia las enfermedades de las vías respiratorias, pero interviene sólo en una medida muy reducida en los gases de escape. Es un gas incoloro, de olor

penetrante, no combustible. Si se reduce el contenido de azufre en el combustible es posible disminuir las emisiones de dióxido de azufre.

**Plomo (Pb):** Ha desaparecido por completo en los gases de escape de los vehículos. En 1985 se emitían todavía a la atmósfera 3.000 t, debidas a la combustión de combustibles con plomo.

El plomo en el combustible impedía la combustión detonante debida a la autoignición y actuaba como una sustancia amortiguadora en los asientos de las válvulas. Con el empleo de aditivos ecológicos en el combustible sin plomo se han podido mantener casi idénticas las características antidetonantes.

**HC – Hidrocarburos:** Son restos no quemados del combustible, que surgen en los gases de escape después de una combustión incompleta. La mala combustión puede ser debido a la falta de oxígeno durante la combustión (mezcla rica) o también por una baja velocidad de inflamación (mezcla pobre), por lo que es conveniente ajustar la riqueza de la mezcla.

Los hidrocarburos HC se manifiestan en diferentes combinaciones (p. ej. C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>, C<sub>8</sub>H<sub>18</sub>) y actúan de diverso modo en el organismo. Algunos de ellos irritan los órganos sensoriales, mientras que otros son cancerígenos (p. ej. el benceno).

**Las partículas de hollín MP:** (masa de partículas; inglés: particulate matter) Son generadas en su mayor parte por los motores diesel, se presentan en forma de hollín o cenizas. Los efectos que ejercen sobre el organismo humano todavía no están aclarados por completo.

### **1.3.6. Reglamentación de las emisiones de gases vehiculares**

“Establézcase en el ámbito nacional, los valores de los Límites Máximos Permisibles (LMPs) de Emisiones Contaminantes para vehículos automotores en circulación, vehículos automotores nuevos a ser importados o ensamblados en el país, y vehículos automotores usados a ser importados” (D.S. 047-2001-MTC, 2001, p.2).

**Tabla 2.**

Fuente: D.S. 047-2001-MTC, 2001, p.2

Límites Máximos Permisibles			
Año de Fabricación	CO % de volumen	HC (ppm)	CO + CO2 % Mínimo
Hasta 1995	3	400	10
1996 en adelante	2.5	300	10
2003 en adelante	0.5	100	12

Límites Máximos permisibles de emisiones de gases vehiculares

### 1.3.7. Modelo de Regresión Lineal

Son dos herramientas para investigar la dependencia de una variable dependiente Y en función de una variable independiente X.  $Y = f(X)$

Y = Variable dependiente que se desea explicar o predecir, también se llama regresor o respuesta

X = Variable independiente, también se llama variable explicativa, regresor o predictor

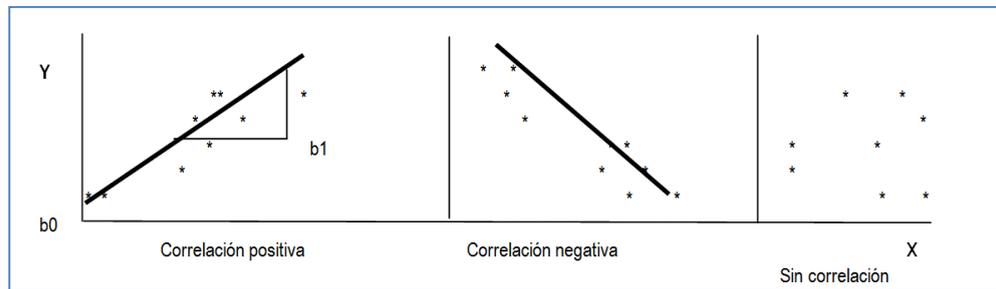
Regresión lineal - La relación entre X y Y se representa por medio de una línea recta

La ecuación de la recta es la siguiente:

$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon$ <p><i>Con base en la población</i></p> $Y = b_0 + b_1 X + e$ <p><i>Con base en datos de la muestra</i></p> <p>*</p> $Y = b_0 + b_1 X$ <p><i>Modelo de regresión estimada</i></p>
--

El término de error es la diferencia entre los valores reales observados  $Y_i$  y los valores estimados por la ecuación de la recta. Se trata de que estos sean mínimos, para lo cual se utiliza el método de mínimos cuadrados.

Figura 9.



## Regresión lineal

### 1.4 Formulación del Problema

¿Cómo accionar el aire acondicionado por absorción si se realiza el estudio de factibilidad de uso de los gases de escape de motor vehicular de 1500 cc?

### 1.5. Justificación del Estudio

#### 1.5.1. Justificación Científica.

Científicamente se justifica realizar el proyecto de investigación, porque se requiere establecer mediante las ecuaciones de la energía, de las leyes de la termodinámica y de la dinámica de los gases la factibilidad de utilizar los gases de combustión como fuente energética que permita accionar el proceso en los componentes del sistema de aire acondicionado en los vehículos livianos de 1300 cc de cilindrada.

#### 1.5.2. Justificación Técnica

Técnicamente se justifica el proyecto de investigación, porque mediante dispositivos de transferencia de calor, que se pueden adaptar en el múltiple de escape, existe transferencia de calor por convección y por radiación, capaces de modificar los estados termodinámicos de los gases de escape y de los refrigerantes en el sistema de aire acondicionado.

### **1.5.3. Justificación Social**

El presente proyecto de investigación, se justifica socialmente porque los pasajeros de las unidades vehiculares tendrán un mayor confort al momento de realizar los viajes, y que se acentúa más en ciudades en donde la temperatura es alta, y mucho más si es en la estación de verano.

### **1.5.4. Justificación Económica**

La energía calorífica que se expulsan por el sistema de escape a través de los gases de escape, se llevan casi un tercio de la energía que se originó en la combustión del combustible en el motor, es decir que gran parte de la energía se expulsa al medio ambiente, y que no genera ningún trabajo; por lo tanto si se utiliza la energía calorífica en alguna otra forma, se aprovecha la tercera parte del combustible que utiliza el motor; sin embargo por las limitaciones de las leyes de la termodinámica, sólo una parte de la energía que sale por el tubo de escape podría aprovecharse; ésta cantidad aprovechable de energía se cuantifica en galones de combustible, que finalmente se cuantifica en ahorro en Nuevos Soles.

### **1.5.6. Justificación Ambiental**

Los vehículos al no tener un gasto adicional de combustible para activar el aire acondicionado, por el sistema de absorción de los gases de la combustión, emitirán menores gases, debido a que la emisión es proporcional al consumo de combustible. Así mismo se justifica porque la “extraer” energía calorífica a los gases de la combustión, éstos tendrá menores efectos contaminantes sobre el medio ambiente.

## **1.6 Hipótesis**

El estudio de factibilidad del uso de gases de escape de motor vehicular 1500cc determina la cantidad de energía para accionar el aire acondicionado por absorción.

## **1.7. Objetivos**

### **1.7.1 Objetivo general**

Realizar un estudio factibilidad del uso de los gases de escape de motor vehicular 1500cc para determinar la cantidad de energía para accionar el aire acondicionado por absorción.

### **1.7.2 Objetivos específicos**

a) Realizar un análisis de los gases de la combustión en cuanto a su cantidad y propiedades energéticas, bajo diferentes condiciones de operatividad de funcionamiento.

b) Describir el sistema de aire acondicionado por absorción utilizando los gases de la combustión como fuente de energía calorífica.

c) Analizar el Intercambio energético entre los gases de escape y el sistema de aire acondicionado

d) Realizar un análisis económico del sistema, utilizando los indicadores económicos tales como TIR, VAN, Relación beneficio costo.

## **II. METODO**

### **2.1. Diseño de investigación**

**No experimental:** Debido a que en nuestra investigación no se pretende variar intencionalmente nuestra variable independiente; lo que se muestra será la observación de los fenómenos tal y como se dan en su contexto.

### **2.2. Variables, Operacionalización**

#### **2.2.1. Variable independiente**

Estudio de factibilidad del uso de gases de escape de motor vehicular 1500cc.

#### **2.2.2. Variable dependiente**

Aire Acondicionado por Absorción.

**Tabla 3.**

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS	ESCALA DE MEDICION
Variable Independiente Estudio de Factibilidad de uso de los gases de escape.	El estudio de factibilidad es la determinación técnica y económica del uso de los gases de escape como fuente de energía para accionar el aire acondicionado del motor 1500cc.	Esta variable cuantifica y cualifica a los gases de escape energéticamente, con transferencias de masa y energía, logra cambiar los estados termodinámicos de los refrigerantes del sistema de aire acondicionado del motor.	Factibilidad Técnica. Factibilidad Económica.	Energía calorífica. Consumo de combustible	Guía de Observación	Kw -h . Km/Galón.
Variables Dependiente Aire acondicionado por absorción.	Es un sistema que permite una sensación de confort en el interior del vehículo, utilizando energía térmica de los gases de escape, como fuente de energía calorífica al proceso de absorción del aire acondicionado.	La cantidad de gases de escape y las características energética de éstos, determinan las propiedades del refrigerante en el sistema de aire acondicionado, teniendo como elementos al absorbedor, condensador y evaporador.	Flujo de gases de la combustión. Sistema de refrigeración por absorción	Dióxido de carbono. Monóxido de carbono. Oxido de nitrógeno Oxigeno. Vapor de agua. Hidrocarburos no quemados. Toneladas de refrigeración	Guía de Observación	%. Calorías

Fuente: Elaboración propia

## 2.3. Población y muestra

### 2.3.1. Objeto de análisis (OA)

Utilización de gases de escape de los vehículos automotrices, como fuente de energía calorífica para sistema de aire acondicionado por absorción.

### 2.3.2. Población (N):

Vehículos livianos de la ciudad de Chiclayo, Marca Toyota Yaris del año 2105, con 1500cc (158 unidades)

### 2.3.3. Muestra

La expresión para determinar el número de la muestra es:

$$n = \frac{N * Za^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + Za^2 * p * q}$$

Dónde:

N: Total de la población. 158

Za: 1.64 al cuadrado (si la seguridad es del 90%).

p: Proporción esperada (en esta caso 2% = 0.02)

q= 1-p (en este caso 0.98)

d: Precisión (10%)

$$n = \frac{158 * 1.64^2 * 0.02 * 0.98}{0.1^2 * (158 - 1) + 1.64^2 * 0.02 * 0.98}$$

$$8.32 / (1.57 + 0.052)$$

Reemplazando valores se tiene:

$$n = 5.13$$

La muestra lo constituyen 5 vehículos Marca Toyota, Modelo Yaris. Se escoge 5 vehículos, que tengan recorrido de 10,000; 15,000, 20,000; 25,000 y 30,000 km en promedio.

## **2.4. Técnicas y recolección de datos, validez y confiabilidad**

### **2.4.1 Técnica de Recolección de Datos**

Las técnicas e instrumentos de recolección que se utilizarán en esta investigación son:

**Revisión Documental:** Esta técnica nos ayudará a obtener información relacionada con el tema de la investigación, todo esto gracias a libros, tesis de licenciatura, tesis de maestría, publicaciones en el internet sobre la tecnología en cuanto al uso de los gases de escape.

### **2.4.2 Instrumentos de Recolección de Datos**

**Guía de análisis de documentos:** Se revisará información estadística de consumo e iluminación de los ambientes y se utilizará el software Microsoft Excel para el análisis estadístico de los datos.

**Guía de Observación:** Se establecen formatos con el fin de obtener información para el diseño del sistema de aire acondicionado.

### **2.4.3. Validez y Confiabilidad**

**Validez:** La validación del siguiente proyecto de investigación se haría mediante la viabilidad técnica para implementar el sistema de aire acondicionado por absorción en los camiones de la empresa, teniendo en cuenta que para el presente trabajo de investigación la información obtenida es del tipo primario y secundario basándonos en datos obtenidos directamente de campo y datos obtenidos por terceros.

**Confiabilidad:** La presente investigación científica empleara instrumentos para la investigación ya validados por autores que han realizado estudios relacionados al tema por lo consiguiente se está citando a los autores añadiendo año de publicación y numero de página de la cual se obtiene la información presentada.

## **2.5. Métodos de análisis de datos**

Para analizar los datos cuantitativos, debido a que la investigación planteada recogerá datos numéricos, el análisis se realizará a partir de matrices de datos, tablas y gráficos almacenados y generados en Microsoft Excel. A partir de ellos se elaborará promedios, tendencias y dispersiones, que permitan visualizar el consumo de energía en todas sus dimensiones, a fin de elaborar la mejor propuesta.

## **2.6. Aspectos éticos**

Se respetaran los valores reales sin ser modificados al momento del análisis estadístico para el estudio del proyecto.

### **III. RESULTADOS**

#### **31. Realizar un análisis de los gases de la combustión en cuanto a su cantidad y propiedades energéticas, bajo diferentes condiciones de operatividad de funcionamiento**

##### **3.1.1. Mediciones realizadas**

Las mediciones se realizaron siguiendo el protocolo que establece el DS 047 MTC 2001, en cuanto a límites máximos permisibles para emisiones de gases, el cual considera que debe evaluarse los valores de emisiones tanto en prueba de ralentí como pruebas a máxima velocidad del motor.

Se realizaron mediciones a cinco vehículos de las mismas características pero con diferentes recorridos para tener en cuenta el efecto de los desgastes del motor y su influencia en los gases de la combustión.

Las pruebas realizadas, fueron ejecutadas en el Centro de Inspección Técnica Vehicular, que tiene autorización del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, y por lo tanto todos sus equipos tienen el certificado de calibración actualizado, utiliza un software que trasmite la información hacia la base de datos de un ordenador. El analizador de gases, registra los valores de emisiones así como también la temperatura del motor y la velocidad de giro de ésta.

### 3.1.2. Valores de las mediciones

Tabla 4.

Fuente: Guía de Observación

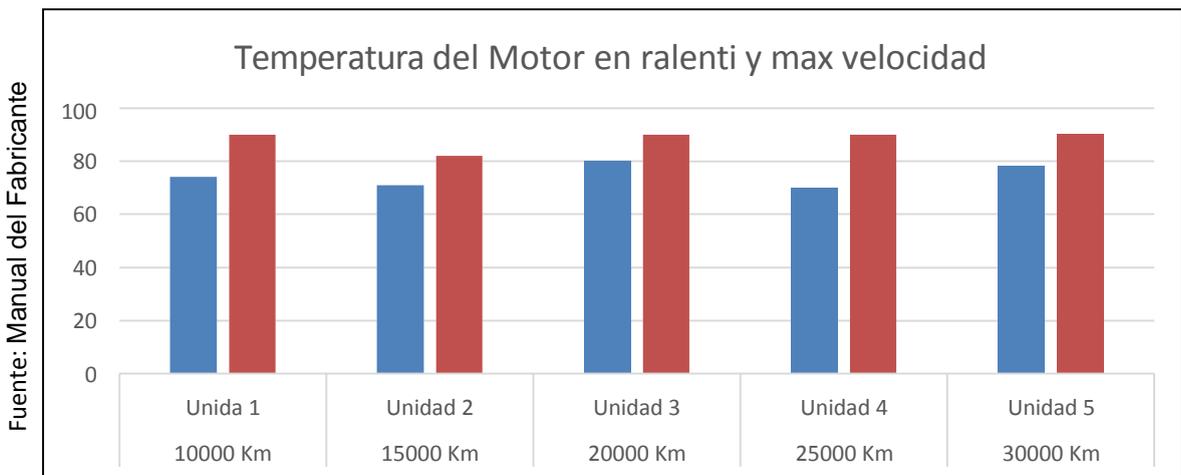
unidad	A velocidad ralentí					A velocidad máxima				
	RPM	Temperatura de aceite	CO %	CO + CO2	HC (ppm)	RPM	Temperatura de aceite	CO %	CO + CO2	HC (ppm)
			(monóxido de carbono)	(monóxido de carbono + dióxido de carbono)	(Hidrocarburos)			(monóxido de carbono)	(monóxido de carbono + dióxido de carbono)	(Hidrocarburos)
Unidad 1 10000 Km	630	74	0.2	12.5	85	2480	90	0.2	12.6	92
Unidad 2 15000 Km	685	71	0.3	12.5	85	2472	82	0.28	12.85	92
Unidad 3 20000 Km	624	80	0.18	13.1	54	2532	90	0.28	13.24	85
Unidad 4 25000 Km	532	70	0.01	13.04	11	2485	90	0.18	12.9	18
Unidad 5 30000 Km	580	78	0.21	12.7	48	2490	90	0.21	12.97	74

Mediciones de análisis de gases de escape de vehículos de prueba

### 3.1.3. Análisis de las mediciones realizadas

a) **Temperatura del Motor:** Para realizar la prueba es necesario que el motor alcance su temperatura normal de funcionamiento que estipula el fabricante, sin embargo dicha temperatura no es la que alcanza el motor debido a las condiciones de funcionamiento, es decir la temperatura del motor está en función a los parámetros de operación como la presión atmosférica, la temperatura del combustible, las vibraciones en el motor, la cantidad de aire estequiométrico, entre otros. La temperatura que alcanza el motor es fundamental para la determinación de la calidad de los gases de la combustión, y se manifiesta en el proceso de la combustión, en donde el aire ingresa con un valor de densidad que es función de la temperatura.

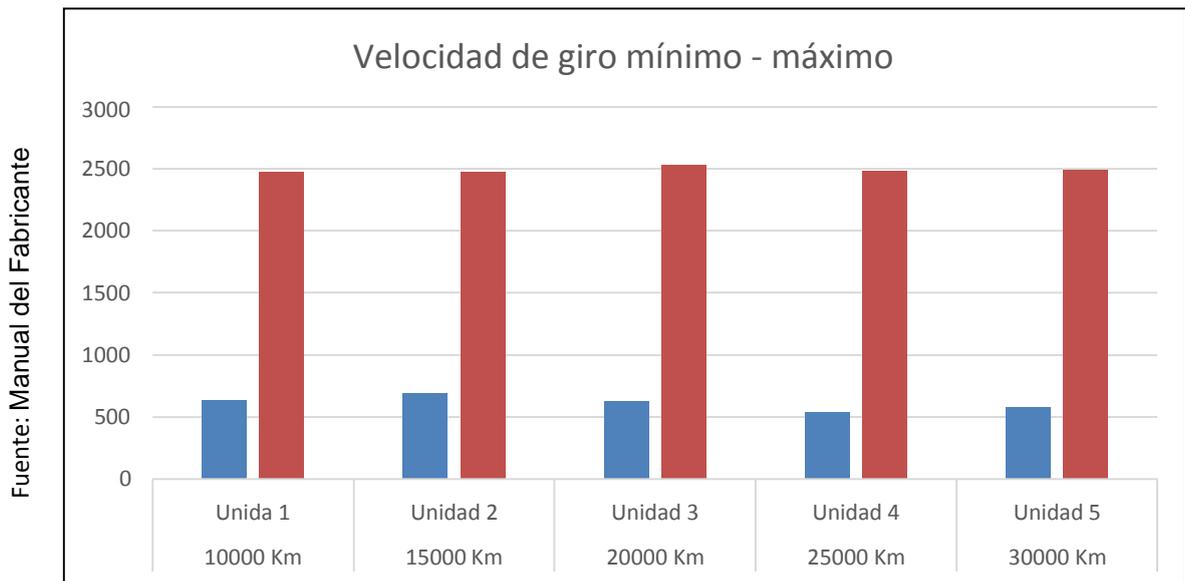
**Figura 10.**



Temperatura de motor en ralenti y máxima velocidad

b) **Revoluciones por minuto:** El número de RPM del motor, es un parámetro que es modificado por las condiciones de operatividad del motor, y depende de la posición de los accionadores del sistema de control electrónico del motor, que determina la cantidad mínima de aire de ingreso y por lo tanto la velocidad de giro del motor.

**Figura 11.**

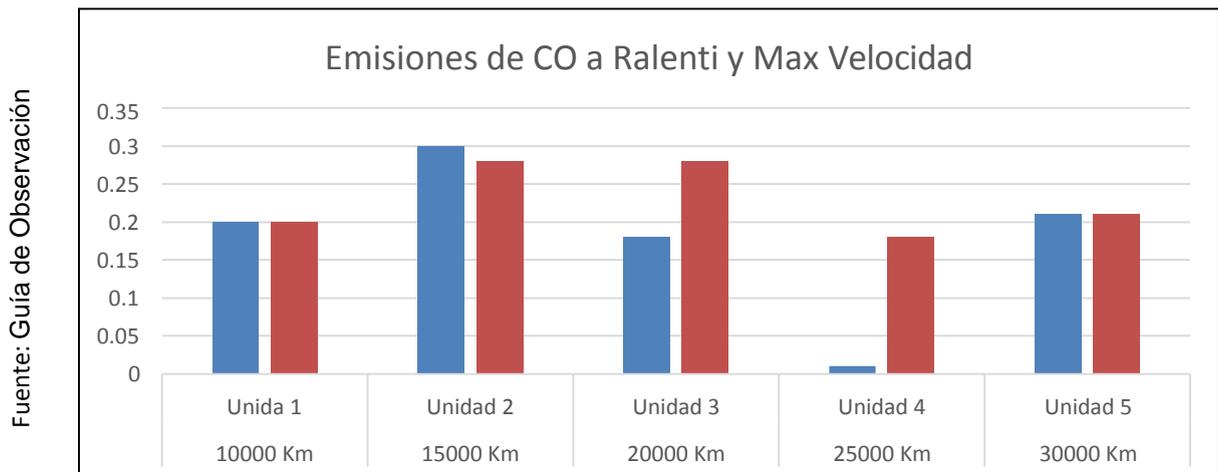


Velocidad de giro mínimo - máximo

**c) Monóxido de carbono:** Según lo establecido por el MTC en el DS 047 2001, la cantidad máxima de emisiones de monóxido de carbono no debe superar el 0.5%. Este valor de emisión es un indicador para verificar que tan completa fue la combustión, y que valores cercanos a 0.5% determinan que la combustión no tuvo una buena performance y que lo más probable que se realizó de manera incompleta, con las consecuencias de pérdida de potencia del motor.

Se muestran los resultados de las pruebas para velocidad ralenti y para máxima velocidad, notando la variabilidad que existe entre ellas

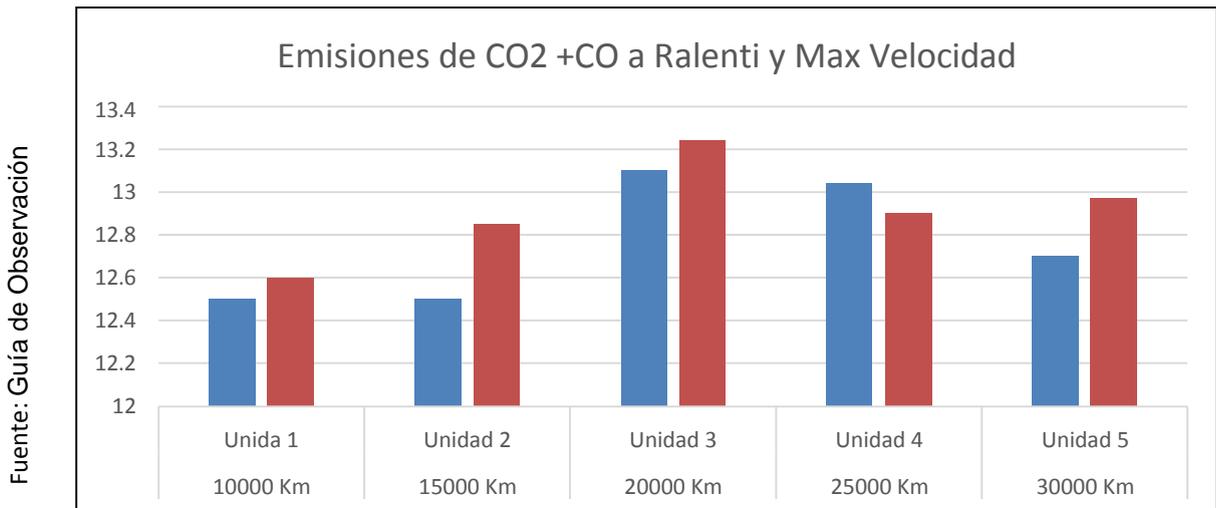
**Figura 12.**



Emisiones de CO a Ralenti y Max Velocidad

**d) Dióxido de Carbono más Monóxido de Carbono:** El valor de la suma de éstos gases de la combustión no debe ser inferior al 12%, valores menores al 12% indican que la combustión no se realizó de manera completa, debido a posibles deficiencias en la combustión, que tiene como origen a las posiciones de los diferentes componentes mecánicos, eléctricos, neumáticos e hidráulicos del motor. Si los valores de emisiones no superan el 12%, la temperatura de los gases de la combustión serán menores, por lo tanto los ciclos termodinámicos en el proceso del ciclo otto no será eficiente, por lo tanto el indicador visible y sensible es el consumo de combustible, que se incrementa tanto por la potencia que desarrolla como por los kilómetros recorridos.

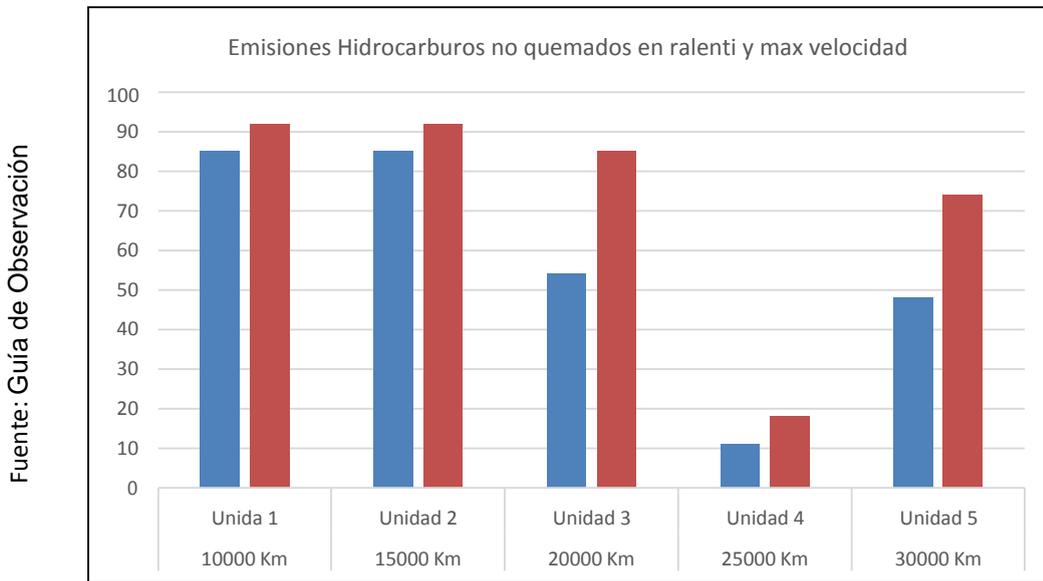
**Figura 13.**



Emisiones de CO2 +CO a Ralenti y Max Velocidad

**e) Hidrocarburos no quemados:** Los hidrocarburos que no se emplearon en la combustión, se emiten hacia la atmosfera en forma de vapor, que finalmente tienen un alto contenido de energía, temperatura, sin embargo dentro del proceso de combustión no se utilizaron por tal razón la potencia en cada cilindro del motor disminuye y con ello todos los parámetros derivados de la potencia mecánica, como son el torque del eje cigüeñal, la velocidad de giro del motor, la fuerza axial de cada biela entre otros.

**Figura 14.**

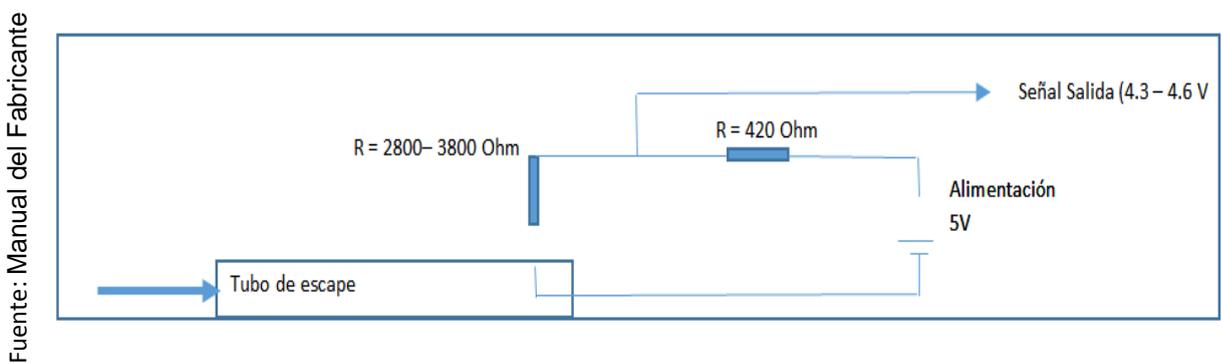


Emisiones Hidrocarburos no quemados en ralenti y max velocidad

### 3.1.4. Medición de la Temperatura de los gases de la combustión

Para la medición de la Temperatura de los gases de la combustión, se realiza utilizando un sensor de temperatura, éste sensor basa su funcionamiento en la variación de la resistencia eléctrica por temperatura.

**Figura 15.**



Conexión sensor de temperatura de gases de escape

El circuito del sensor de la temperatura de los gases de escape, está constituido por dos resistencias en serie, una es fija de un valor óhmico de 420 ohmios, una resistencia variable (termistor), que varía su resistencia en función a la temperatura, con valores óhmicos entre 2800 y 3800 ohmios; una fuente de alimentación de 5 voltios, y la toma de la señal de salida que varía entre 2.5 y 4.0 voltios.

La resistencia variable a temperatura es un termistor tipo PTC (Coeficiente positivo de temperatura), que incrementa su valor óhmico en función al incremento de la temperatura.

Los valores característicos del sensor de temperatura a diferentes valores de resistencia variable se muestran en la figura.

**Tabla 5.**

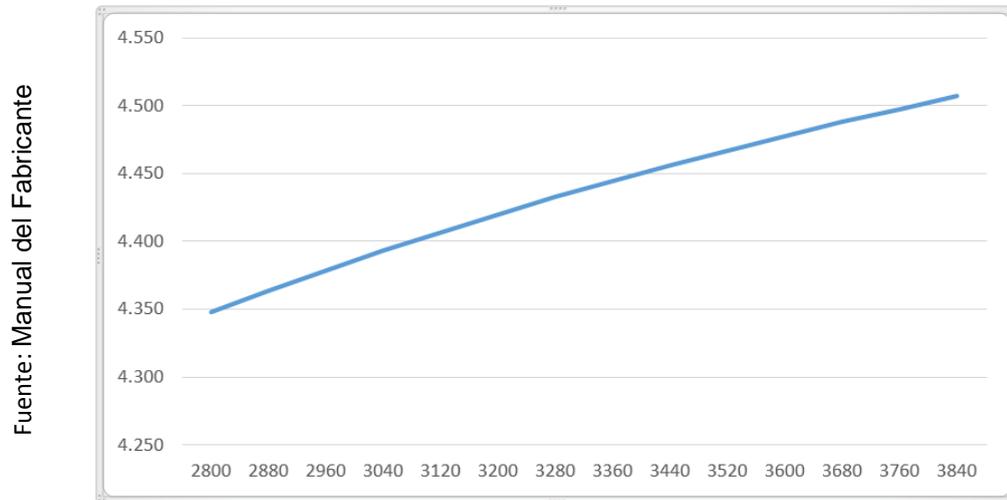
Tensión (voltios)	Resistencia fija	Resistencia variable (termistor)	Señal de salida (Voltios)
5	420	2800	4.35
5	420	2880	4.36
5	420	2960	4.38
5	420	3040	4.39
5	420	3120	4.41
5	420	3200	4.42
5	420	3280	4.43
5	420	3360	4.44
5	420	3440	4.46
5	420	3520	4.47
5	420	3600	4.48
5	420	3680	4.49
5	420	3760	4.50
5	420	3840	4.51

Valores de señal de salida de sensor de temperatura

Fuente: Manual del Fabricante

Se establece que el sensor de temperatura tiene una relación casi lineal entre el valor de resistencia variable y la señal de tensión, tal como se muestra en la siguiente figura.

**Figura 16.**



**Relación lineal Tensión vs Resistencia**

Se realiza la linealización de la función entre tensión de salida y resistencia variable, utilizando el método de la regresión lineal simple.

**Tabla 6.**

Fuente: Comando Solver Microsoft Excel

<i>Estadísticas de la regresión</i>									
Coefficiente de correlación múltiple	0.997035724								
Coefficiente de determinación R^2	0.994080235								
R^2 ajustado	0.993586921								
Error típico	0.004090094								
Observaciones	14								
ANÁLISIS DE VARIANZA									
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F				
Regresión	1	0.03371046	0.03371046	2015.1075	9.7329E-15				
Residuos	12	0.00020075	1.6729E-05						
Total	13	0.03391121							
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%	
Intercepción	3.929098909	0.01130654	347.506604	2.1707E-25	3.90446406	3.95373375	3.90446406	3.95373375	
Variable X 1	0.00015216	3.3896E-06	44.8899487	9.7329E-15	0.00014478	0.00015955	0.00014478	0.00015955	

**Cálculo de linealización de relación señal de sensor – resistencia variable**

Según el cálculo, la ecuación que linealiza la relación es:

$$V = 3.929 + 0.00015126 R$$

Esta ecuación lineal nos muestra el valor de la señal del sensor en función a la variación de la resistencia variable de coeficiente positivo que se encuentra en el sensor de temperatura de los gases de escape.

Si comparamos linealización de la función  $V = f(R)$ , con los valores característicos de la relación V y R del sensor de temperatura de los gases de la combustión, la variación no supera el 0.16%, por lo tanto la ecuación propuesta refleja numéricamente lo que ocurre en el sensor.

**Tabla 7.**

Fuente: Manual del Fabricante

Resistencia variable (termistor)	Señal de salida (Voltios)	Valor Linealizado = $3.929 + 0.00015126 R$	Diferencia %
2800	4.348	4.352528	0.10802718
2880	4.364	4.3646288	0.02273816
2960	4.379	4.3767296	-
3040	4.393	4.3888304	0.09645357
3120	4.407	4.4009312	-
3200	4.420	4.413032	0.13289144
3280	4.432	4.4251328	-
3360	4.444	4.4372336	0.15539209
3440	4.456	4.4493344	-
3520	4.467	4.4614352	0.16250766
3600	4.478	4.473536	-
3680	4.488	4.4856368	0.09111227
3760	4.498	4.4977376	-
3840	4.507	4.5098384	0.04833379
			0.00288911
			0.06200103

Linealización Resistencia – Tensión Eléctrica

### 3.1.5. Resultados de Pruebas a Vehículos

En función a dicha linealización, se realiza las pruebas en los motores de los vehículos; la prueba consistió en dar arranque al motor, hasta que alcance su temperatura normal de funcionamiento, que oscila en 92°C, y luego de ello medir la diferencia de tensión en el conductor de señal del sensor de temperatura de los gases de la combustión.

**Tabla 8.**

Fuente: Guía de Observación	Vehículo de Prueba	Kilometraje	Señal Sensor Temperatura gases de la combustión (Voltios)		
			2900 RPM	3000 RPM	3200 RPM
	Unidad 1	10000	4.394	4.410	4.420
	Unidad 2	15000	4.401	4.405	4.409
	Unidad 3	20000	4.382	4.391	4.399
	Unidad 4	25000	4.376	4.379	4.401
	Unidad 5	30000	4.381	4.386	4.398

Resultados de pruebas de medición de sensor de temperatura

Los valores de la señal del sensor están en voltios, y tienen su equivalente a temperatura del motor. Esta relación entre la temperatura del motor y la señal del sensor se analiza determinando la relación entre la temperatura del motor con la resistencia variable de temperatura (termistor), ubicado en el tubo de escape del motor. La relación se muestra en la siguiente tabla, y se ha obtenido de la ficha técnica del sensor de temperatura de los gases de escape, y que es de un elemento sensorial que aumenta su valor óhmico al incrementarse la temperatura, denominado sensor PTC (Coeficiente Positivo de Temperatura).

**Tabla 9.**

Resistencia variable (termistor)	Temperatura (°C)
2800	320
2880	325
2960	330
3040	335
3120	340
3200	345
3280	350
3360	355
3440	360
3520	365
3600	370
3680	375
3760	380
3840	385

Fuente: Guía de Observación

Relación Resistencia Variable en función a Temperatura

En función a ello, con los valores medidos de tensión en el sensor de temperatura, se determina la relación entre la temperatura de los gases de escape con la señal del sensor.

**Tabla 10.**

Fuente: Guía de Observación

Vehículo de Prueba	Kilometraje	Temperatura gases de la combustión (°C)		
		2900 RPM	3000 RPM	3200 RPM
Unidad 1	10000	330	338	345
Unidad 2	15000	340	342	346
Unidad 3	20000	331	334	337
Unidad 4	25000	328	331	333
Unidad 5	30000	326	329	332

Resultados de medición de temperatura a diferentes RPM en tubo de escape

Se puede concluir que la temperatura de los gases de la combustión tiende a incrementarse en función al incremento de las RPM, y será de menor valor a medida que el vehículo tenga mayor recorrido.

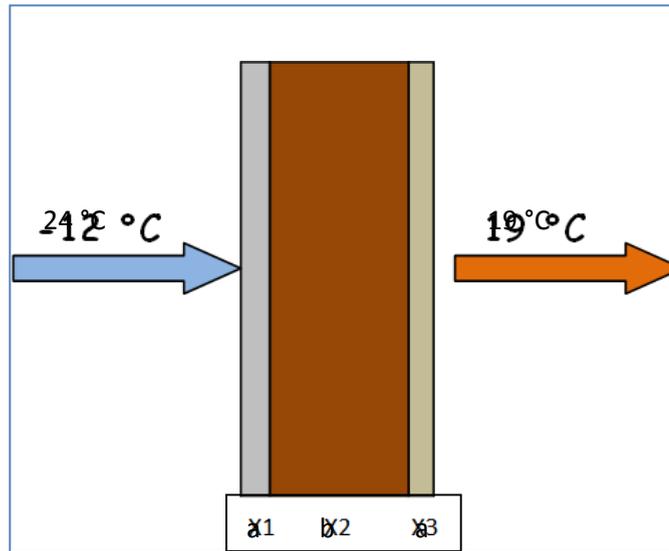
### **3.1. Describir el sistema de aire acondicionado por absorción utilizando los gases de la combustión como fuente de energía calorífica**

#### **3.2.1. Análisis de las Cargas Térmicas.**

Determinación de los coeficientes de transferencia de calor entre el interior del vehículo y el medio ambiente.

Las paredes de los vehículos presentan la siguiente distribución en cuanto al espesor de la pared.

**Figura 17.**



Transferencia de calor por conducción

Dónde  $a$  es el espesor de la plancha con la que está construida la carrocería, y  $b$  es el espesor del vacío entre las planchas.

Temperatura en el exterior: 24°C

Temperatura en el interior: 19°

Diferencia de temperatura: 5°C

El material de las paredes es un polímero de alta resistencia mecánica; sin embargo comparado con el acero representa un 20% del valor de la resistencia.

Para la transferencia de calor a nivel global (Incluye el coeficiente de transferencia por convección y por conducción), se tiene que:

$\frac{q}{A} = \frac{T_i - T_{inf}}{R_T}$ , donde la Resistencia Total se calcula como sigue:

$$R_T = \frac{1}{ha} + \frac{1}{hb} + \frac{\Delta x}{k}$$

Las medidas son:

$a$ : 1.2mm, que es el espesor de la plancha de la pared del vehículo.

b: 300 mm, es el espesor entre planchas, tiene ese valor normalmente en las puertas, debido a que se requiere el espacio para el elevador de los vidrios de las ventanas.

Ha, hb, son los coeficientes de transferencia para el polímero como para el aire.

Entonces,

$$R_T = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_c} + \frac{\Delta x}{k_w} = \frac{1}{30 \left[ \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right]} + \frac{1}{65 \left[ \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right]} + \frac{300 \times 10^{-3} [m]}{1.4 \times 10^4 \left[ \frac{W}{m \cdot ^\circ K} \right]} = \frac{0.07}{W} \left[ m^2 \cdot ^\circ K \right]$$

$$\frac{q}{A} = \frac{T_i - T_{inf}}{R_T} = \frac{(24 - (19))^\circ K}{0.07 \left[ \frac{m^2 \cdot ^\circ K}{W} \right]} = 71.42 \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

Luego, se tiene en las interfaces de aire en convección:

- *Interna*

$$\frac{q}{A} = h_i \times (T_i - T_{wi}) \Rightarrow T_{wi} = T_i - \frac{q}{h_i \times A}$$

$$T_{wi} = T_i - \frac{q}{h_i \times A} = 40^\circ C - \frac{71.42 \left[ \frac{W m_2}{m^2} \right]}{30 \left[ \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]}$$

$$\Delta T_{wi} = 2.38^\circ C$$

- *Externa*

$$\frac{q}{A} = h_c \times (T_{wo} - T_{inf}) \Rightarrow T_{wo} = T_{inf} + \frac{q}{h_c \times A}$$

$$T_{wo} = T_{inf} + \frac{q}{h_c \times A} = -10^\circ C + \frac{71.42 \left[ \frac{W m_2}{m^2} \right]}{65 \left[ \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]}$$

$$\Delta T_{wo} = 1.09^{\circ}\text{C}$$

Con lo cual con dichos valores se tiene una diferencia de temperaturas de  $2.38 + 1.09 = 3.47^{\circ}\text{C}$  como mínimo entre el interior del vehículo y el medio externo; por lo tanto de acuerdo al material de vidrio y plancha de acero de la cabina del vehículo, en el cálculo se utiliza el valor de  $30 \text{ w/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$ .

**Tabla 11.**

<b>CÁLCULO DE CARGA TERMICA EN INTERIOR DE VEHICULO</b>					
<b>Carga de Calor Sensible</b>					
Calor por dispersión ganado por:	Unidades	Factores o Coeficientes			CALOR Transferido (Watt)
		Área	K	Variación de Temperatura	
<b>Puertas y aberturas</b>					
<b>Transf. Calor</b>				<b>24 - 19</b>	
Puerta Metalicas Cristalina	m2	0.45	30	5	121.5
Puertas Delantera Derecha	m2	0.35	30	5	94.5
Puertas Delantera Izquierda	m2	0.35	30	5	94.5
Puertas Posterior Derecha	m2	0.35	30	5	94.5
Puertas Posterior Izquierda	m2	0.35	30	5	94.5
<b>Ventanas Acristaladas</b>					
<b>Transf. Calor</b>				<b>Δt</b>	
Delantera Derecha		0.3	12	5	32.4
Delantera Izquierda		0.3	12	5	32.4
Posterior Derecha		0.2	12	5	21.6
Posterior Izquierda		0.2	12	5	21.6
<b>Techos</b>					
		<b>Área</b>	<b>K</b>	<b>Δt</b>	
Techos sin aislar	m2	1.8	24	5	388.8
<b>Suelos o pisos</b>					
		<b>Área</b>	<b>K</b>	<b>Δt</b>	
Sobre cuartos ocupados	m2	2.2	1.8	5	35.64
<b>Sub Total S1</b>					<b>1031.94</b>
<b>Calor Interno</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valor</b>	<b>Factor</b>		
Luminarias	Watt	30	0.7		21
Motores y Ventiladores	kWatt	50	9.23		461.5
Ocupantes	Personas	5	6.45		32.25
<b>Sub Total S2</b>					<b>514.75</b>
<b>Carga de Calor Latente</b>					
<b>Calor Latente</b>	<b>Udad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Factor</b>	<b>ΔW</b>	
Ocupantes	Personas	5	45		225
Asientos	u	5	18		90
<b>Sub Total S3</b>					<b>315</b>

Fuente: Guía de Observación

### 3.2.2. Demanda de energía de los mecanismos del aire acondicionado

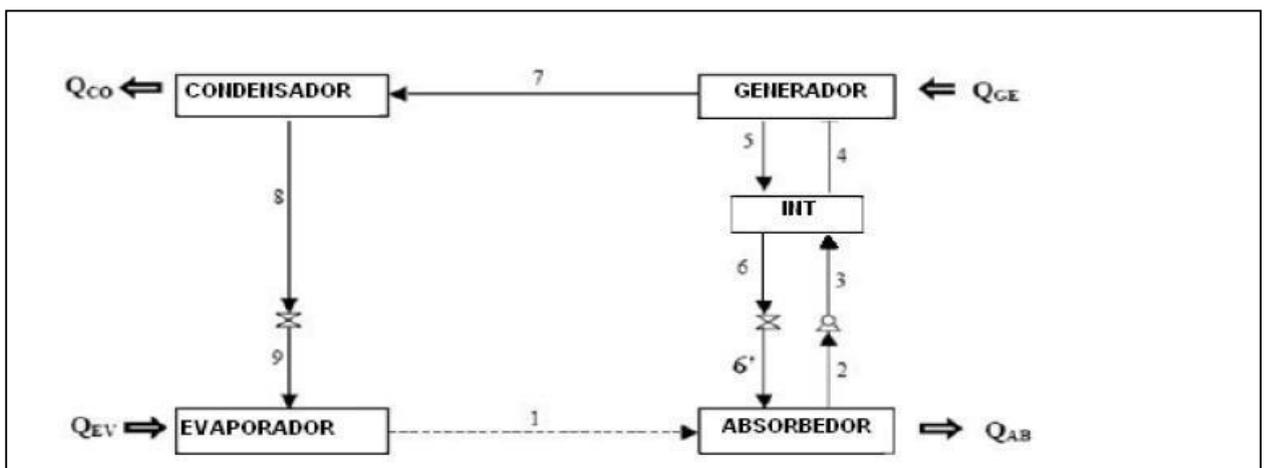
#### 3.2.2.1. Demanda de Energía para el sistema de Aire Acondicionado

El balance de energía consiste en analizar la cantidad de energía que se intercambia, es decir la cantidad de energía que los gases de la combustión pueden entregar al equipo denomina “generador” del sistema de aire acondicionado por absorción. El calor  $Q_{GE}$ , es el que requiere el sistema de aire acondicionado, y será obtenido a partir de la entalpía de los gases de escape, producto de la combustión de la gasolina en el motor; para lo cual se requiere en principio conocer las características y los parámetros de operación del sistema de aire acondicionado por absorción, para mantener temperaturas en el interior de la unidad vehicular entre 15 y 19 grados centígrados.

El sistema que se utiliza es la refrigeración por absorción, que emplea como sustancia de trabajo la mezcla entre amoniaco y agua. En la figura 18, se muestra los procesos del ciclo de refrigeración por absorción:

- Generador.
- Condensador.
- Evaporador.
- Absorbedor.
- Intercambiador de calor.

Figura 18.



Elementos del sistema de refrigeración por absorción



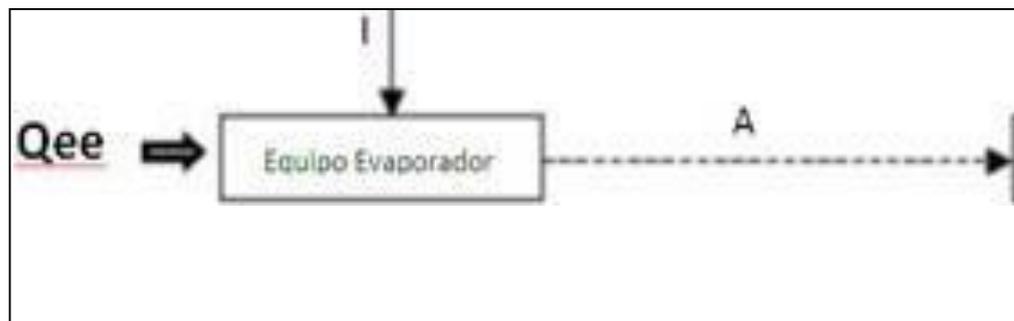
### 3.2.2.2. Balances de energía y materia en el evaporador

Para mantener la temperatura entre 15 y 19° en el interior del automóvil, tal como se estableció en el cálculo de las cargas térmicas, se requiere de una capacidad de refrigeración de 1861.69 Watt; en términos de Tonelada de refrigeración (1 TNR = 3510 Watt), representa  $1861.68 / 3510 = 0.53$  TNR en el evaporador de sistema.

El evaporador se ubica en el interior de la cabina del vehículo, específicamente en el ducto de ingreso de aire por las ventanas que se encuentran ubicadas en la parte delantera del tablero de instrumentos del vehículo.

En la figura 19, se esquematiza el balance en el equipo evaporador, en donde  $Q_{ee}$ , es el calor que ingresa al evaporador producto de la carga térmica del vehículo, en éste caso es de 3510 Watt, a 19 grados centígrados y los flujos de masa con los índices I y A son los que vienen del condensador y se dirigen al absorbedor respectivamente.

Figura 19.



Fuente: Manual del Ingeniero  
MecánicoMarks, 2013

Balance de masa y energía en equipo evaporador.

De la figura 19

El balance de energía es:

$$Q_{ee} = m_A \cdot h_A - m_I \cdot h_I$$

Donde:

$Q_{ee}$ : Calor que ingresa al equipo evaporador (en KJ)

$m_A$ : Masa del fluido que sale del evaporador hacia el absorbedor (en Kg/s)

$h_A$ : Entalpía del fluido a las condiciones de estado A, (en KJ/Kg).

$m_I$ : Masa del fluido que ingresa al evaporador del condensador (en Kg/s)

$h_I$ : Entalpía del fluido a las condiciones de estado I, (en KJ/Kg).

Despejando, del balance de energía, obtenemos:

$$m_A = \frac{Q_{ee}}{h_A - h_I}$$

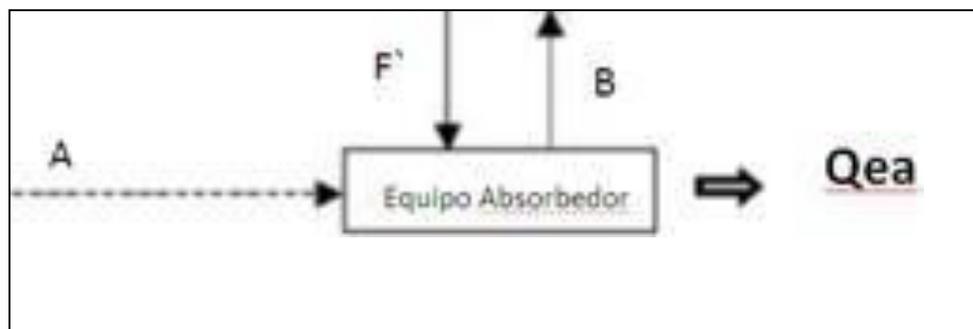
Reemplazando la masa que sale del evaporador, y convirtiendo las unidades en función al flujo en horas, se tiene que  $m_A = 5.26 \text{ Kg/h}$ .

### 3.2.2.3. Cálculo de flujos másicos en el ciclo termodinámico.

Para poder calcular los flujos másicos en los diferentes componentes del sistema, se requiere realizar los balances de masa y energía; se realiza el balance en el equipo absorbedor, tal como se muestra en la figura 20.

**Figura 20.**

Fuente: Manual del Ingeniero  
MecánicoMarks, 2013



Balance de Masa y Energía en equipo absorbedor

Donde:

Qea: Calor que sale del equipo absorbedor (en KJ)

mA: Masa del fluido que ingresa al absorbedor del evaporador (en Kg/s)

hA: Entalpía del fluido a las condiciones de estado A, (en KJ/Kg)

mB: Masa del fluido que sale del absorbedor hacia el intercambiador de calor (en Kg/s)

hI: Entalpía del fluido a las condiciones de estado B, (en KJ/Kg)

mF` : Masa del fluido que ingresa al absorbedor desde el intercambiador de calor (en Kg/s)

hF` : Entalpía del fluido a las condiciones de estado F, (en KJ/Kg).

Así mismo, haciendo un balance de masa en el absorbedor, se tiene:

$$mA + mF` = mB$$

Donde:

mB: Masa del fluido que sale del absorbedor hacia el intercambiador de calor (en Kg/s).

mF` : Masa del fluido que ingresa al absorbedor desde el intercambiador de calor (en Kg/s).

mA: Masa del fluido que ingresa al absorbedor del evaporador (en Kg/s)

Para resolver la ecuación anterior es necesario conocer la masa B, la cual se obtiene si se realiza un balance masa – concentración, en el equipo absorbedor.

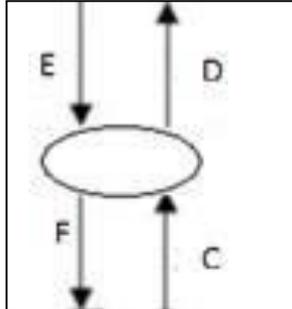
$$mA \cdot x1 + mF` \cdot xF` = mB \cdot xB$$

Donde  $x1 = 0.995$  y  $xF` = 0.18$ , son los niveles de concentración del amoníaco y el agua.

Reemplazando los valores, se obtiene que la  $mB = 0.069$  Kg/s, para luego obtener que la  $mF` = 246$  kg/s.

**Figura 21.**

Fuente: Manual del Ingeniero  
MecánicoMarks, 2013



Balance de masa y energía en equipo intercambiador de calor

Realizando un balance de masa en el intercambiador de calor del sistema, se tiene:

$$mC + mE = mD + mF$$

Luego, para resolver la ecuación anterior se realiza un balance de masa – entalpía en el intercambiador de calor, obteniendo las siguientes expresiones:

$$mE \cdot hE = mD \cdot hD + mF \cdot hF - mC \cdot hC$$

Despejando las ecuaciones y reemplazando variables y valores, obtenemos que la entalpía en el estado termodinámico D, es:

$$hD = 290.7 \text{ KJ/Kg.}$$

#### **3.2.2.4. Balance de masa en el equipo generador**

$$mD = mE + MF'$$

Resolviendo la ecuación, transformando unidades e insertando valores, se tiene:

$$MF' = 5,26 \text{ Kg/h}$$

### 3.2.2.5. Cantidad de Calor ganado y cedido en los equipos

#### a) Cálculo de calor ganado en el evaporador.

$$mI. hAI + Q_{ee} = mA. hA$$

Reemplazando valores previamente obtenidos, obtenemos que el calor que recibe el equipo evaporador será de 1.76 KJ/Seg.

#### b) Cálculo del calor cedido en el absorbedor

$$mA. hA + mF. hF = mB. hB + Q_{ea}$$

Reemplazando valores previamente obtenidos, obtenemos que el calor que cede el equipo absorbedor será de 3.56 KJ/Seg.

#### c) Calor ganado en el equipo generador

$$Q_{eg} = mF'. hF' + mE. hE - mD. hD$$

Reemplazando valores previamente obtenidos, obtenemos que el calor que gana el equipo generador será de 3.80 KJ/Seg.

Determinación del calor cedido por el condensador.

$$Q_{ec} = mG. hG - mH. hH$$

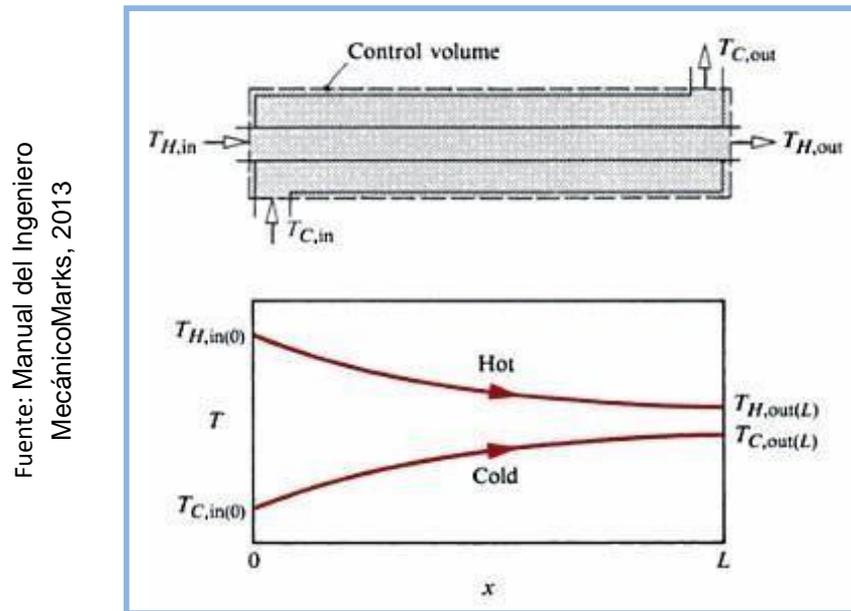
Los flujos de las masas Gy H son los mismos, por lo tanto, reemplazando valores, el calor cedido por el condensador es de 1.88 KJ/Seg.

### 3.3. Analizar el Intercambio energético entre los gases de escape y el sistema de aire acondicionado

El generador es el dispositivo que recibe el calor de los gases de escape y lo utiliza para los cambios de los estados de la sustancia de trabajo (Amoniaco – Agua), en el sistema de aire acondicionado por absorción.

Se ha de definir primeramente un volumen de control donde se aplicarán las ecuaciones de energía para flujo estacionario, en la siguiente imagen se puede apreciar el volumen de control para el intercambiador comentado así como el comportamiento de la temperatura de los flujos

Figura 22.



Intercambio de energía gases de escape – generador (aire acondicionado)

El balance de energías se puede reducir a un balance de entalpías siempre que se cumplan los siguientes requisitos:

- a) No se aplique una fuerza externa al sistema
- b) No se intercambie calor con el sistema fuera del volumen de control, es decir, que el intercambiador este bien aislado.
- c) No se tengan en cuenta los cambios de energía cinética y potencial, son valores de magnitud pequeña y se pueden despreciar.

Teniendo en cuenta esto, se puede aplicar la siguiente ecuación (balance de energías para un flujo estacionario):

$$\dot{m}_H h_H + \dot{m}_C h_C)_{x=0} = (\dot{m}_H h_H + \dot{m}_C h_C)_{x=L}$$

También se puede expresar el balance de energía de la siguiente forma:

$$\dot{m}_H (h_{H,0} + h_{H,L}) = \dot{m}_C (h_{C,L} + h_{C,0}) = \dot{Q}$$

Si el calor específico de los fluidos puede considerarse constante, entonces se puede aplicar la siguiente ecuación:

$$(\dot{m} c_p)_H (T_{H,0} + T_{H,L}) = (\dot{m} c_p)_C (T_{C,L} + T_{C,0}) = \dot{Q}$$

Para el caso

de la figura anterior, las ecuaciones tendrían los siguientes subíndices:

$$\begin{aligned} \dot{m}_H (h_{H,in} + h_{H,out}) &= \dot{m}_C (h_{C,out} + h_{C,in}) = \dot{Q} \\ (\dot{m} c_p)_H (T_{H,in} + T_{H,out}) &= (\dot{m} c_p)_C (T_{C,out} + T_{C,in}) = \dot{Q} \end{aligned}$$

Donde  $\dot{m}$  [kg/s] es el caudal másico del flujo,  $h$  [J/kg] es la entalpía,  $\dot{Q}$  [W] es la tasa de transferencia de calor,  $T_{x,y}$  [°C] es la temperatura del flujo  $x$  en el punto  $y$  y  $c_p$  [J/kg·K] es el calor específico.

Si se tratara de un evaporador simple que generara vapor saturado, la ecuación a usar sería la siguiente:

$$(\dot{m} c_p)_H (T_{H,in} - T_{H,out}) = \dot{m}_C h_{fgC}$$

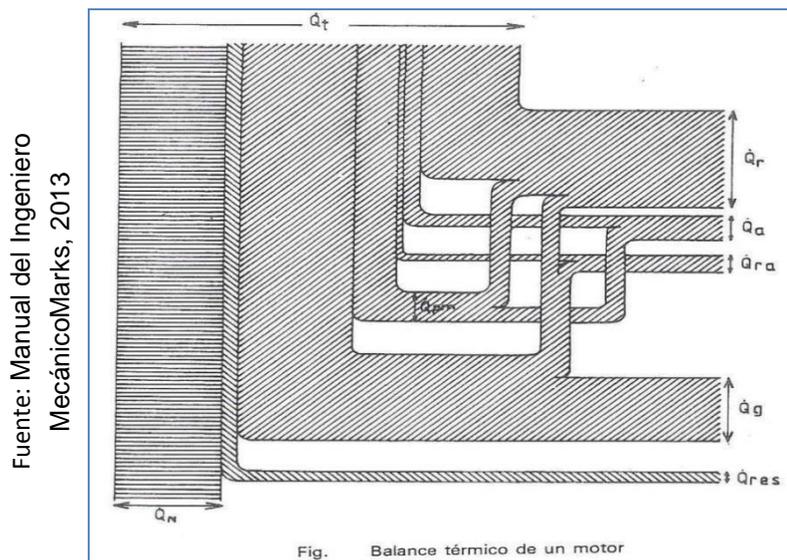
Donde  $h_{fg}$  [kJ/kg] es la entalpía específica de evaporación.

### 3.3.1. Análisis térmico de los gases de escape

En los motores de combustión interna, parte del calor generado en la combustión son extraídos por los gases de la combustión.

En la figura, se muestra el balance térmico del motor de combustión interna:

**Figura 23.**



### Balance Térmico de Motor de Combustión Interna

La ecuación del balance térmico de un motor, puede escribirse como:

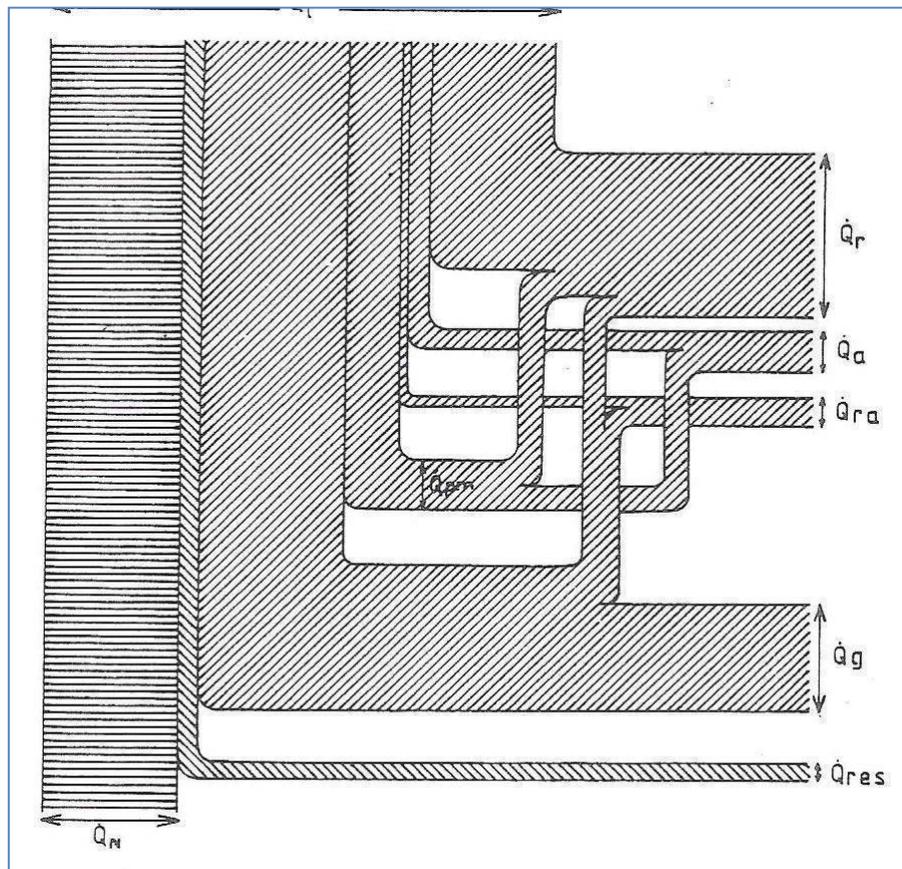
$$Q_t = Q_N + Q_r + Q_g + Q_{res} + Q_a + Q_{ra}$$

Siendo:

- $Q_t$ : calor equivalente introducido por el motor debido al combustible suministrado.
- $Q_N$ : calor equivalente a la potencia efectiva obtenida por el motor.
- $Q_r$ : calor transmitido al refrigerante.
- $Q_g$ : calor equivalente al estado térmico perdido en los gases de escape.
- $Q_{res}$ : calor equivalente que corresponde a la combustión incompleta.
- $Q_a$ : calor transmitido al aceite.
- $Q_{ra}$ : calor transmitido por radiación.

Figura 24.

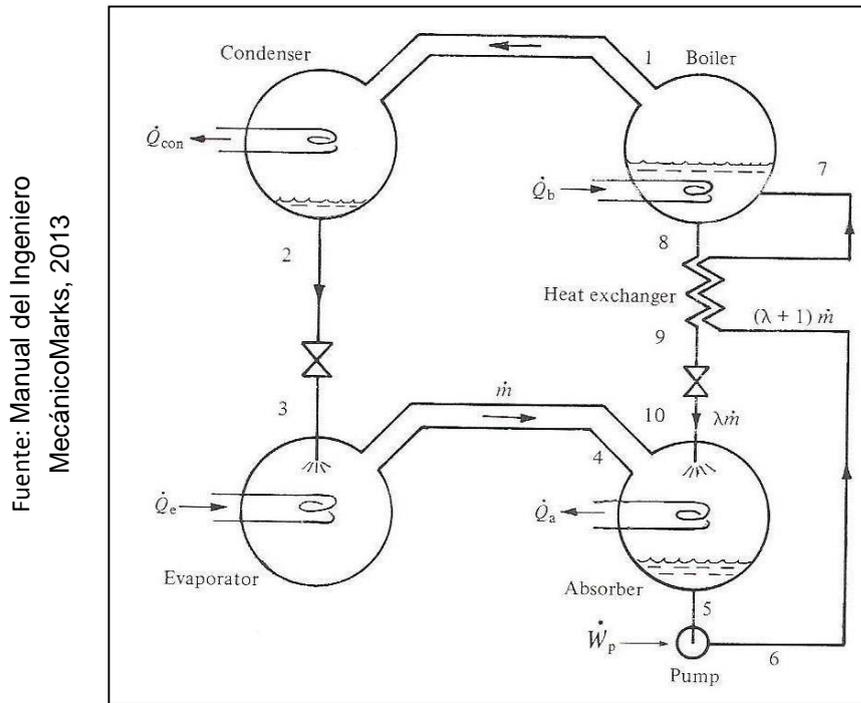
Fuente: Manual del Ingeniero  
MecánicoMarks, 2013



Balance Térmico del motor de combustión interna

El calor a aprovechar será el que se pierde en el calor de los gases de escape, tal como se muestra en la figura, el calor que cede los gases de la combustión en el tubo de escape, es absorbido en el absorbedor del sistema de refrigeración por absorción.

Figura 25.



Fuente: Manual del Ingeniero  
MecánicoMarks, 2013

Ciclo de Refrigeración por Absorción

### 3.3.2. Performance de los gases de escape de la Combustión

Al abrir la válvula de escape, los gases quemados salen del cilindro a gran velocidad y elevada temperatura a través de los conductos de escape, para llegar en primer lugar al colector de escape y finalmente al tubo de escape.

Al ponerse en contacto los gases del interior del cilindro con el sistema de escape, existe una apreciable diferencia entre la presión de los gases del interior de aquél y el gas que está contenido en el sistema.

Este gradiente de presiones provoca una onda de presión de amplitud finita, que se transmite por el fluido a gran velocidad poniendo al gas en movimiento a su paso.

La forma de esta onda es función de la velocidad de apertura de la lumbrera de escape; y esta velocidad de apertura es función del régimen de giro del motor. En consecuencia cuando la velocidad crece la forma de la onda es más brusca y más corta.

Una ecuación experimental que establece la velocidad de los gases de escape es:

$$V_s = 331.6\sqrt{1 + \frac{T}{273}}$$

Durante la primera parte de la salida de los gases se produce una elevación en la presión en el tubo de escape, que es pequeña en tubos de escape cortos, pero que puede alcanzar valores bastante grandes con conductos de escape de gran longitud.

Al continuar saliendo los gases del cilindro, ya con una relación de presiones inferior, se produce una disminución conjunta de la presión. La siguiente figura muestra el curso característico de la presión en el cilindro y en el conducto de escape, en función del ángulo de cigüeñal, durante el cambio de carga de un motor monocilíndrico.

Esta evolución de la presión hace que la temperatura del tubo de escape varíe mucho, tanto en el tiempo como localmente. Para los fines usuales de la técnica, la temperatura indica el calor que poseen los gases de escape. Entonces la temperatura que nos interesa conocer es la temperatura media, correspondiente al calor sensible de los gases de escape. El calor sensible se determina generalmente refrigerando los gases en un intercambiador (nosotros utilizaremos este calor para activar nuestro sistema de absorción).

En motores policilíndricos, los más utilizados en la actualidad, es más estable que en motores monocilíndricos. La inestabilidad se genera por las diferencias de presión temperatura en las carreras de compresión y expansión. Sin embargo, cuando trabajamos con varios cilindros, estas variaciones se compensan.

Los gases de escape que salen del cilindro se expanden hasta aproximadamente la presión ambiente y se enfrían de manera aproximadamente adiabática. La energía cinética que llevan los gases también se convierte en calor por el rozamiento con las paredes.

Si se considera el proceso de escape ideal; siendo:

a) Subíndice 4: Estado de los gases en el momento de la apertura de la válvula de escape.

b) Subíndice 1: Estado medio de la parte de los gases que ha salido del cilindro cuando termina la carrera de expulsión.

c) Subíndice 5: Estado de la mezcla que queda en el cilindro suponiendo la expansión adiabática.

Según el primer principio de la Termodinámica, aplicándolo al proceso de expulsión y despreciando las pérdidas por estrangulación se obtiene:

$$U_4 + AP_1V_h = U_r + U_1 + AP_1V_1 + Q$$

Dónde Q, es el calor cedido por radiación y conducción

**Figura 26.**

Fuente: Manual del Ingeniero MecánicoMarks, 2013

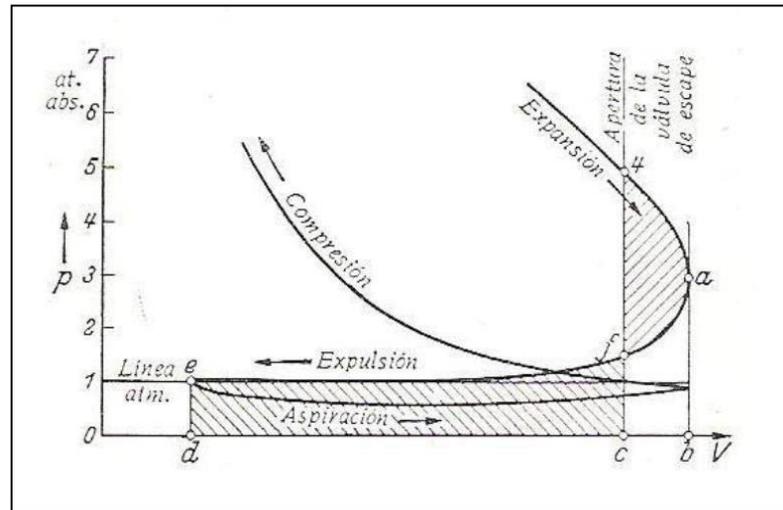


Diagrama PV

La ecuación que determina la temperatura de los gases de escape en función a la geometría del cilindro, la relación de compresión:

$$T_1 = \frac{P_4 c_v T_4 - \frac{P_1}{\varepsilon} c_v T_5 + AP_1 R(1 - \varepsilon) - Q}{\left( \frac{P_4}{T_4} - \frac{P_1}{\varepsilon * T_5} \right) c_p T_1}$$

Reemplazando valores, se tiene:

$$T_I = \frac{2 * 0.716 - 1.2 * 1/7 * 0.716 + 0.015 * 1.2 * 0.287 * 0.86}{\left( \left[ \left( \frac{2}{712.2} \right) - \left( \frac{1.2}{7 * 663} \right) \right] * 0.716 \right)} =$$

$$T_I = 345^{\circ}\text{C}$$

Luego con éste valor de temperatura, se determina la velocidad de los gases de escape:

$$V_s = 331.6 * \sqrt{1 + \frac{345}{273}} = 498.91 \text{ m/s}$$

### 3.3.3. Calor de los gases de escape

Esta temperatura media es la que determina la cantidad de calor sensible que vamos a poder tomar de los gases de escape.

El objetivo de este calor sensible es mantener el vapor de agua a 110°C cuya función va a

ser ceder calor al generador para producir la separación del refrigerante de la solución bromuro de litio – agua.

Para calcular este intercambiador utilizaremos los conceptos de resistencia térmica que hemos utilizado anteriormente. El vapor de agua a aproximadamente 100°C vamos a considerarlo como un fluido estancado, o que circula a muy poca velocidad por el exterior del tubo de escape. En consecuencia no tendremos en cuenta la resistencia por convección para este fluido. Por otro lado los gases de escape, se mueven a 498 m/s por el interior de un tubo de 60 mm de diámetro. La temperatura de estos gases es de 345°C. El material del tubo de escape es acero inoxidable (conductividad térmica: 0.058 KW/mK).

Se calcula en primer lugar la resistencia de conducción, suponiendo un tubo de 3 mm de espesor:

$$R_{cond} = \frac{L}{kA} = \frac{0.003}{0.058A}$$

Ahora vamos a hallar la resistencia de convección para el flujo interno: los gases de escape.

Primero, hallamos el número de Reynolds, y se utiliza un diámetro de 0.005m (Aproximadamente 3/16" para cañería comercial)

$$Re = \frac{\vartheta * D}{\nu}$$

$$Re = 498 * \frac{0.005}{7.10^{-5}} = 35571$$

Sin lugar a dudas estamos ante un caso de flujo turbulento dentro del tubo de escape. Por tanto para hallar el número de Nusselt, vamos a utilizar la correlación de Dittus – Boelter:

$$Nu = 0.023Re^{\frac{4}{5}}Pr^{0.3}$$

$$Nu = \frac{hD}{k}$$

Reemplazando:

$$h = 0.28 \frac{KJ}{s. ^\circ C. m^2}$$

$$R_{conv} = \frac{1}{hA} = \frac{1}{0.28 A}$$

$$R_{imp} = \frac{0.001}{A}$$

$$\frac{0.058}{0.01624A} = 195$$

$$A = 0.018 m^2$$

El área de 0.018 m<sup>2</sup>, es la que se requiere para el intercambio de calor; dicha área es de la superficie exterior del serpentín ubicado en el exterior del tubo de escape.

Para un diámetro de 0.005m de la cañería, se tiene que la longitud de la cañería es:

$$Al = \pi * D * L$$

$$L = \frac{Al}{\pi * D}$$

Reemplazando valores:

$$L = \frac{0.018}{\pi * 0.005}$$

$$L = 1.14\text{m}$$

Es la longitud de la cañería que intercambia calor con los gases de la combustión.

En resumen, la cañería que intercambia calor con los gases de la combustión es de 1.14m de longitud, 3mm de espesor y 3/16" de diámetro.

Calor que se utiliza en el intercambio entre los gases de escape y el generador del sistema de refrigeración por absorción.

$$Q = h * A * (Tf - Ti)$$

$$Q = 0.28 * 0.018 * (345 - 110)$$

$$Q = 1.18 \text{ KJ/s}$$

**34. Realizar la evaluación económica del proyecto, utilizando indicadores tales como valor actual neto, tasa interna de retorno, y relación beneficio costo.**

**3.4.1. Costo de la Inversión**

La inversión del proyecto de uso de los gases de escape para el sistema de aire acondicionado en vehículos livianos, está dada de acuerdo al detalle en la tabla 12.

**Tabla 12.**

Item	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (S/.)	Precio Total (S/.)
Equipo Condensador de casco y tubos 2 Kj/S	Unidad	1	350	350
Equipo Evaporador 2 Kw	Unidad	1	280	280
Equipo Absorbedor con amoniaco 1.76 Kj/s	Unidad	1	340	340
Equipo Generador 3 Kw	Unidad	1	250	250
Intercambiador de calor 2.5 Kw	Unidad	1	280	280
Tuberías de cobre 6 mm	Metros	4	8	32
Material Ferretería	Conjunto	1	80	80
Mano de obra	Conjunto	1	200	200
Total (S/.)				1812

Fuente: Autoría Propia

Costo de la Inversión

**3.4.2. Ingresos económicos del Proyecto.**

Los ingresos del proyecto está dado por el ahorro de combustible, en referencia cuando el vehículo utilizara el sistema de aire acondicionado por compresión de vapor.

Para los vehículos que tienen el sistema de aire acondicionado por compresión de vapor, el consumo de combustible se incrementa, en la tabla xxx se muestra un reporte de estudios realizados por CHANCAFE, 2017, en su tesis denominada “EVALUACIÓN DEL AIRE ACONDICIONADO EN VEHÍCULOS DE 1300CC UTILIZANDO R-134a Y R-12 PARA DETERMINAR EL CONSUMO DE COMBUSTIBLE. CHICLAYO, 2017, en donde muestra la siguiente conclusión:

“En cuanto a los tiempos de inyección, se obtuvieron mediciones en los cuales cuando el motor funciona con aire acondicionado teniendo a R-134a,

como refrigerante, el tiempo de inyección se incrementa en un 6%, y cuando utiliza el R-12, el tiempo de inyección se incrementa en promedio en un 7%; concluyendo que a mayor tiempo de inyección, se tiene mayor ingreso de combustible hacia el cilindro del motor; así mismo éste análisis se comprobó con el cálculo del incremento de torque mecánico cuando utiliza el compresor del sistema de aire acondicionado, en donde se estableció que se requiere un consumo de 27% mayor de combustible”

El consumo de combustible en los vehículos livianos cuando utiliza el aire acondicionado por compresión de vapor se incrementa en 27%. El uso del aire acondicionado no es en todo momento, sino cuando se requiera la necesidad de dar condiciones de confort al interior del vehículo.

Para un recorrido diario de 50 Km, que es el recorrido promedio de un vehículo para uso particular, se tiene que el consumo específico de combustible es de 40 Km/Galón, pero cuando usa el aire acondicionado que en temporadas de verano es casi la totalidad del tiempo de operación, por lo cual el consumo de combustible se incrementa en 27%, es decir  $40 \cdot (100-27)/100 = 29.2$  Km/Galón, ello equivale a decir que por cada galón de combustible se recorre 10.8 Km menos que con respecto a la no activación del aire acondicionado.

Si se evalúa en el periodo de 1 mes, para un recorrido de 50 Km por día, se tiene 1500 Km, que consumiría  $1500/40 = 37.5$  Galones sin utilizar aire acondicionado, pero si utiliza aire acondicionado el consumo de combustible sería:  $1500/29.2 = 51.36$  Galones. Es decir  $51.36 - 37.5 = 13.86$  Galones en un mes el adicional por el uso de aire acondicionado.

Los 13.86 Galones de Gasohol equivalen a 194.17 Soles, que será el excedente en soles, lo que se gastaría si se utilizara el aire acondicionado.

194.17 Soles por mes representa el ahorro en combustible, y por lo tanto para efectos de evaluación, es el ingreso económico del proyecto.

### **3.4.3. Egresos del proyecto**

**Costo de Mantenimiento:** Para el caso del costo de mantenimiento preventivo, que consiste en la limpieza, verificación de elementos, ajuste de los accesorios, entre otros, representan el 2% Mensual del costo de la inversión del proyecto, es decir  $0.02 \cdot 1812 = 36.24$  Soles Mensuales.

### 3.4.4. Flujo de caja del proyecto

El flujo de caja se realiza con todos los ingresos, egresos e inversión inicial del proyecto, se analiza en el tiempo de 18 meses, debido a que es un proyecto de corto plazo, tal como se detalla en la tabla 13.

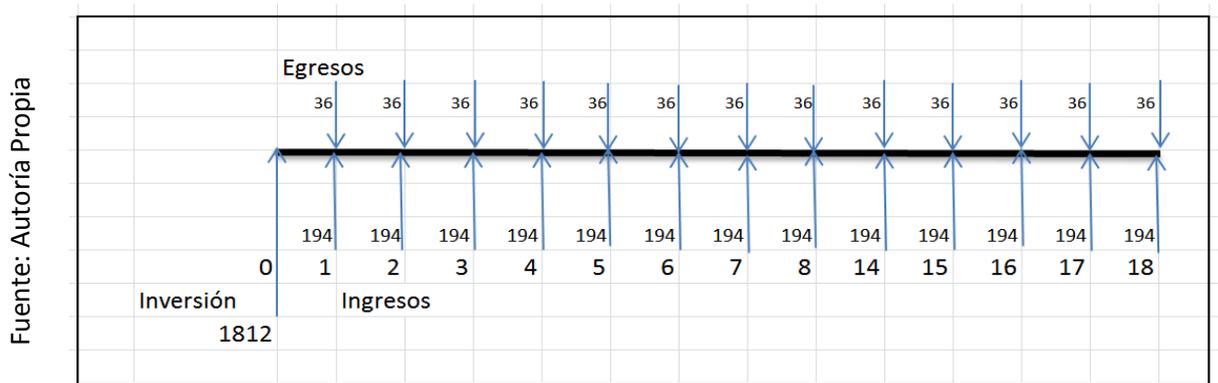
**Tabla 13.**

Fuente: Autoría Propia

Mes	0	1	2	3	4	5	6	7	8	15	16	17	18
Inversión Inicial (S/.)	1812												
Ingresos (S/.)		194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194
Egresos (S/.)		36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
Utilidad: Ingresos - Egresos (S/.)		158	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158

### Flujo de Caja

**Figura 27.**



Flujo de caja del proyecto de inversión

### 3.4.5. Análisis con indicadores económicos

#### 3.4.5.1. Valor Actual Neto

Los valores de los ingresos y egresos mensuales, llevándolas al mes cero, donde se inicia el proyecto, con una tasa de interés de 3.5% Mensual. Se considera una tasa de interés bancaria, debido a que es un proyecto privado.

Utilidad actualizada al tiempo 0:

$$Ia = \frac{In * [(1 + i) ^n - 1]}{[i * (1 + i)^n]}$$

Dónde:

Ia: Utilidad actualizada al mes 0.

In: Utilidad Mensual (Ingresos – Egresos): S/. 158

i:Tasa de Interés: 3.5% Mensual

n: Número de Meses: 18

Reemplazando valores, para lo cual utilizamos el comando VNA, del Software Microsoft Excel:

**Tabla 14.**

Fuente: Hoja de cálculo, comando VNA Excel

Mes	Utilidad Mensual S/.
1	158
2	158
3	158
4	158
5	158
6	158
7	158
8	158
9	158
10	158
11	158
12	158
13	158
14	158
15	158
16	158
17	158
18	158
	VNA(0.035,J29:J46)
	S/. 2,083.97

Cálculo del Valor Actual Neto

Se obtiene: Ia = S/. 2083.97

Por lo tanto el valor actual neto es la diferencia entre la utilidad actualizada del proyecto (Ia) y el valor de la inversión: 2083.97 - 1812 =.S/. 272.97

### 3.4.5.2. Tasa Interna de Retorno

Para calcular la tasa interno de retorno, se determina haciendo que los ingresos actualizados con una tasa de interés a determinar es igual a la inversión inicial del proyecto.

$$Inv = \frac{In * \left[ \frac{1 - (1 + TIR)^{-n}}{TIR} \right]}{TIR * (1 + TIR)^n}$$

Dónde:

Inv: Inversión Inicial S/.1812

la: S/. 158 de Utilidades Mensuales

TIR: Tasa Interna de Retorno.

n; Número de meses: 18

**Tabla 15.** Tasa interna de retorno

Fuente: Hoja de cálculo, comando VNA Excel

Mes	Utilidad Mensual S/.
Inversión	-1812
1	158
2	158
3	158
4	158
5	158
6	158
7	158
8	158
9	158
10	158
11	158
12	158
13	158
14	158
15	158
16	158
17	158
18	158
	TIR(J29:J47)
	5.20%

Cálculo de la Tasa Interna de Retorno

Reemplazando valores, y mediante una metodología de aproximaciones o utilizando el software Microsoft Excel, se calcula el valor del TIR, siendo éste igual a 5.2% mensual, que representa un valor superior a la tasa de interés mensual que oscila al 3.5% mensual.

### 3.4.5.3. Relación Beneficio Costo

La relación beneficio / costo está dado por:

$B/C = \text{Utilidades Actualizadas al mes 0} / \text{Inversión inicial del Proyecto}$   
 Reemplazando valores: 2083.97/1812 es de 1.15

La amortización mensual por el pago del préstamo a una entidad Bancaria de 1812 Soles, se realiza el análisis financiero para el periodo de 18 meses, en el cual la cuota fija mensual de pago del préstamo es de 103.48 Soles:

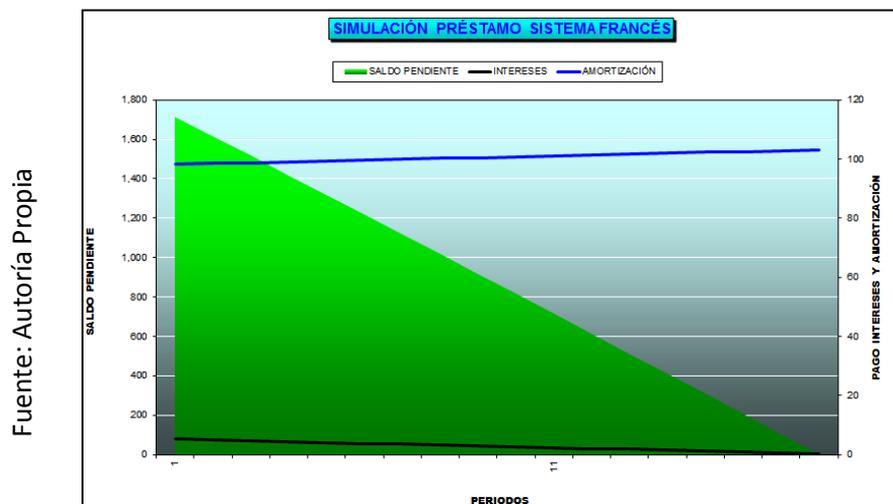
**Tabla 16.**

Fuente: Hoja de cálculo, Excel

Mes	INTERESES S/.	AMORTIZACIÓN S/	PAGO TOTAL S/.	SALDO PENDIENTE S/
0			0.00	1812.00
1	5.29	98.19	103.48	1713.81
2	5.00	98.48	103.48	1615.33
3	4.71	98.77	103.48	1516.56
4	4.42	99.06	103.48	1417.50
5	4.13	99.34	103.48	1318.16
6	3.84	99.63	103.48	1218.52
7	3.55	99.92	103.48	1118.60
8	3.26	100.22	103.48	1018.38
9	2.97	100.51	103.48	917.87
10	2.68	100.80	103.48	817.07
11	2.38	101.10	103.48	715.98
12	2.09	101.39	103.48	614.58
13	1.79	101.69	103.48	512.90
14	1.50	101.98	103.48	410.92
15	1.20	102.28	103.48	308.63
16	0.90	102.58	103.48	206.06
17	0.60	102.88	103.48	103.18
18	0.30	103.18	103.48	0.00

Cuadro de amortización reducción cuota

Figura 28.



Evolución financiera del saldo del capital, intereses y amortización

#### IV. DISCUSIÓN

Los motores de combustión interna, tienen eficiencias que oscilan entre el 25 al 30% y los gases de escape tienen el 30% de la energía calorífica producto de la combustión de combustible; por lo cual su utilización de dicha energía térmica en el aire acondicionado del vehículo, no implica utilizar mayor cantidad de combustible en el vehículo, incrementando la rentabilidad económica de la unidad dedicada al transporte público de pasajeros, como también incrementa el confort de los pasajeros.

Los vehículos utilizan el aire acondicionado por compresión de vapor en la mayoría de los casos, en el cual los incrementos de combustible son entre el 20 y 30%, el incremento del consumo de combustible se debe a que el compresor del sistema, consume energía mecánica del eje cigüeñal del motor; con el sistema de absorción, la energía que ingresa al sistema de refrigeración es el calor de los gases de escape, que en función a la cantidad de gas, al tipo de gas y a la temperatura del gas de escape; la cantidad de gas de escape está en función a la cantidad de aire y combustible utilizado en el combustible; que de acuerdo a la curva de consumo de combustible – rpm del motor, a 3200 RPM, se obtiene el menor consumo de combustible.

La energía térmica que se intercambia en el tubo de escape con el generador del sistema de refrigeración por absorción, es por convección debido al flujo de gases por el lado exterior y agua con mezcla de amoníaco en el interior del generador; y será de flujo continuo, de acuerdo a las condiciones de funcionamiento del vehículo, es decir al cambio de las velocidades de giro del motor.

Una de los principales cuidados que se tiene en el sistema comparado con el sistema de compresión de vapor, es las posibles fugas que podrían ocurrir de los fluidos refrigerantes (Agua – Amoníaco), en el interior de la cabina de los vehículos que ocasionaría problemas a los ocupantes; sin embargo el montaje de los mecanismos, se hace con las medidas de seguridad, la verificación de los ajustes, las pruebas de hermeticidad a las cañerías, que minimizan la posibilidad de fugas.

## V. CONCLUSIONES

Se realizó el análisis de los gases de combustión, y se determinó que a medida que los vehículos de prueba tienen mayor kilometraje, los porcentajes de emisiones de Hidrocarburos no quemados se incrementan, pero no exceden a los 100 ppm que exige la norma, así mismo el porcentaje de CO<sub>2</sub> + CO, se reducen a medida que se incrementa el kilometraje, pero no llegando al valor límite que exige a norma del MTC que es mínimo el 10%. En cuanto a las emisiones de CO, a medida que se incrementa el kilometraje se incrementa el porcentaje de emisiones pero no excede al 0.5%; éstos valores de porcentaje en masa de emisiones más la temperatura de los gases de escape que están alrededor de 326 y 345 °C de acuerdo a la velocidad de giro del motor, proporcionan la entalpía de los gases de combustión en el intercambio energético con el generador del sistema de refrigeración por absorción.

Se analizó térmicamente cada mecanismo del sistema de refrigeración, en el cual mediante el balance de energía se determinó las dimensiones de cada uno de ellos, siendo la carga térmica en el sistema de 1861.69 Watt, con una temperatura promedio en el interior de la cabina de 19°C, se tiene un flujo de refrigerante en el evaporador de  $m_A = 5.26 \text{ Kg/h}$ ; en el absorbedor los niveles de concentración del amoníaco y el agua son de  $x_1 = 0.995$  y  $x_F = 0.18$ , la Masa del fluido que sale del absorbedor hacia el intercambiador de calor  $m_B = 0.069 \text{ Kg/s}$ , y la Masa del fluido que ingresa al absorbedor desde el intercambiador de calor la  $m_F = 2.46 \text{ kg/s}$ .

Para el intercambio energético entre los gases de escape y el generador del sistema de refrigeración por absorción, se determinó que la temperatura es de 345°C, con un velocidad de los gases de la combustión a 538 m/s, y un calor de  $Q = 1.18 \text{ KJ/s}$ ; éstos tres valores garantizan que el sistema funciones de manera continua, y que la temperatura en el interior de la cabina tenga un valor de 19°C.

Se hizo la evaluación económica y financiera del proyecto, el cual requiere de una inversión de 1812 Soles, un valor actual neto de S/. 272.97; una tasa interna de retorno de 5.2% mensual, en un periodo de 18 meses, la relación beneficio costo de 1.15, lo cual hace factible la ejecución del proyecto.

## VI. RECOMENDACIONES

En los motores que tienen el sistema de limpieza de los gases de escape (Catalizador), utilizar los gases de escape antes del ingreso a éste dispositivo, debido a que en el catalizador los gases de escape ceden energía al medio al existir reacciones químicas para bajar la emisión de monóxido de carbono.

Utilizar medidores en el sistema de gases, monitoreando las presiones, velocidades, temperatura y cantidad de emisiones, lo cual garantiza el intercambio energético con el sistema de refrigeración por absorción.

No activar el sistema de refrigeración cuando el vehículo está en ralentí o en marcha lenta, debido a que con la velocidad de los gases a ese giro de rpm del motor, no alcanza la temperatura y cantidad de gases, ocasionado que si el sistema se activase, no se tenga los cambios de estado del refrigerante en el sistema (amoniac – agua).

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**Unión Europea.** Vehículos Seguros y Modernos. Madrid, 2014, 55pp.

**SECRETARÍA DE ESTADO DE CAMBIO CLIMÁTICO,** Argentina, 2013, 74pp.

**SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS.** Potencia y consumo de combustible, 2014, 66pp.

**CHANCAFE.** Estudio de los refrigerantes en el aire acondicionado para optimizar el consumo de combustible. Universidad César Vallejo, 2016, 89pp.

**MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES.** Reporte de Transporte Terrestre, 2015, 64pp.

**PROTRANSPORTE.** Estudio del tránsito en las ciudades del Perú, 2014, 56pp.

**MATARAZZO.** Refrigeración local de vehículos con calor excedente. Escuela técnica superior de ingenieros industriales y de telecomunicación universidad de cantabria 2014, 79pp.

**González.** Propuesta de un sistema de refrigeración por absorción para la climatización del edificio administrativo de la termoeléctrica de Felton. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Cuba, 2013, 79pp.

**MARCOS DEL CANO.** Prototipo de máquina frigorífica de absorción de LiBr/H<sub>2</sub>O de doble efecto condensada por aire, Universidad Carlos III de Madrid, 2008, 65pp.

**FLORES A.** Ciclos de refrigeración no contaminante, Chile, 2016, 71pp.

## VIII. ANEXOS

### Anexo N° 1. Guía de Observación

TESIS: "ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DEL USO DE GASES DE ESCAPE DE MOTOR VEHICULAR 1500CC PARA ACCIONAR EL AIRE ACONDICIONADO POR ABSORCION, 2017"

ESTUDIANTE: YALTA YALTA IVAN

INSTRUCCIONES: REALICE LAS MEDICIONES DE LOS GASES DE ESCAPE DE MOTOR DE 1500CC

#### Mediciones de Gases de escape

Unidad	A velocidad Ralenti				A velocidad Máxima			
	Temperatura de los gases de escape (°C)	Dióxido de carbono (%)	Monóxido de Carbono (%)	Vapor de agua (ppm)	Temperatura de los gases de escape (°C)	Dióxido de carbono (%)	Monóxido de Carbono (%)	Vapor de agua (ppm)
Unidad 1 10000 Km								
Unidad 2 15000 Km								
Unidad 3 20000 km								
Unidad 4 25000 Km								

## Anexo N° 2. Guía de Observación

TESIS: "ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DEL USO DE GASES DE ESCAPE DE MOTOR VEHICULAR 1500CC PARA ACCIONAR EL AIRE ACONDICIONADO POR ABSORCION, 2018  
 ESTUDIANTE: YALTA YALTA IVAN  
 INSTRUCCIONES: REALICE LAS MEDICIONES DE LAS CARGAS TERMICAS EN VEHICULO DE 1500CC"

CÁLCULO DE CARGA TERMICA EN INTERIOR DE VEHICULO					
Carga de Calor Sensible					
Calor por dispersión ganado por:	Unidades	Factores o Coeficientes			
<b>Puertas y aberturas</b>		<b>Área</b>	<b>K</b>	<b>Variación de Temperatura</b>	CALOR Transferido (Watt)
<b>Transf. Calor</b>				<b>24 - 15</b>	
Puerta Metalicas Cristalina	m2	0.45	30	9	121.5
Puertas Delantera Derecha	m2	0.35	30	9	94.5
Puertas Delantera Izquierda	m2	0.35	30	9	94.5
Puertas Posterior Derecha	m2	0.35	30	9	94.5
Puertas Posterior Izquierda	m2	0.35	30	9	94.5
<b>Ventanas Acristaladas</b>		<b>Área</b>	<b>K</b>	<b>Δt</b>	
<b>Transf. Calor</b>					
Delantera Derecha		0.3	12	9	32.4
Delantera Izquierda		0.3	12	9	32.4
Posterior Derecha		0.2	12	9	21.6
Posterior Izquierda		0.2	12	9	21.6
<b>Techos</b>		<b>Área</b>	<b>K</b>	<b>Δt</b>	
<b>Transf. Calor</b>					
Techos sin aislar	m2	1.8	24	9	388.8
<b>Suelos o pisos</b>		<b>Área</b>	<b>K</b>	<b>Δt</b>	
Sobre cuartos ocupados	m2	2.2	1.8	9	35.64
<b>Sub Total S1</b>					<b>1031.94</b>
<b>Calor Interno</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valor</b>	<b>Factor</b>		
Luminarias	Watt	30	0.7		21
Motores y Ventiladores	kWatt	50	9.23		461.5
Ocupantes	Personas	5	6.45		32.25
<b>Sub Total S2</b>					<b>514.75</b>
Carga de Calor Latente					
<b>Calor Latente</b>	<b>Udad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Factor</b>	<b>ΔW</b>	
Ocupantes	Personas	5	45		225
Asientos	u	5	18		90
<b>Sub Total S3</b>					<b>315</b>
<b>Indicadores del Proyecto</b>					1861.69

**Anexo N° 3. Ficha de validación de instrumento de recolección de datos**

Anexo N° 2. Ficha de validación de instrumento de recolección de datos

**DATOS GENERALES DEL EXPERTO.**

1. Apellidos y Nombres:

VADILLO PEREZ LAURO VICTORIA

2. Profesión:

INGENIERA MECANICA ELECTRICISTA.

3. Grado académico:

MAGISTER.

4. Actividad laboral actual:

INGENIERO SUPERVISOR EN PLANTA

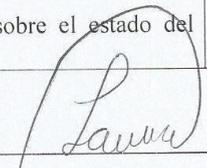
DE REVISIÓN TÉCNICA VEHICULAR.

En la tabla siguiente, se propone una escala del 1 al 5, que va en orden ascendente del desconocimiento al conocimiento profundo. Marque con una "X" conforme considere su conocimiento sobre el tema de la tesis evaluada.

1 no Ninguno	2 Poco	3 Regular	4 Alto	5 Muy alto
-----------------	-----------	--------------	-----------	---------------

1. Sírvase marcar con una "X" las fuentes que considere han influenciado en su conocimiento sobre el tema, en un grado alto, medio o bajo.

FUENTES DE ARGUMENTACIÓN	GRADO DE INFLUENCIA DE CADA UNA DE LAS FUENTES EN SUS CRITERIOS		
	A (ALTO)	M (MEDIO)	B (BAJO)
1. Análisis teóricos realizados. (AT)	X		
2. Experiencia como profesional. (EP)	X		
3. Trabajos estudiados de autores nacionales. (AN)	X		
4. Trabajos estudiados de autores extranjeros. (AE)	X		
5. Conocimientos personales sobre el estado del problema de investigación. (CP)	X		

  
Firma del entrevistado

Estimado experto (a)

El instrumento de recolección de datos a evaluar es una entrevista cuyo objetivo es "Realizar un estudio factibilidad del uso de los gases de escape de motor vehicular 1500cc para determinar la cantidad de energía para accionar el aire acondicionado por absorción"

Con el objetivo de corroborar la validación del instrumento de recolección de datos, por favor le pedimos responda a las siguientes interrogantes:

1. ¿Considera pertinente la aplicación de esta entrevista para los fines establecidos en la investigación?

Es pertinente:  Poco pertinente:  No es pertinente:

Por favor, indique las razones:

YA QUE SE AJUSTA A LO SOLICITADO  
POR EL TESIISTA Y AMBITO DE ESTUDIO.

2. ¿Considera que la entrevista formula las preguntas suficientes para los fines establecidos en la investigación?

Son suficientes:  Insuficientes:

Por favor, indique las razones:

PERMITE CONOCER CUAL ES LA PROBLEMÁTICA  
EN EL AMBITO DE ESTUDIO.

3. ¿Considera que las preguntas están adecuadamente formuladas de manera tal que el entrevistado no tenga dudas en la elección y/o redacción de sus respuestas?

Son adecuadas:  Poco adecuadas:  Inadecuadas:

Por favor, indique las razones:

PORQUE PERMITE CONOCER RESPUESTAS  
CONCRETAS Y PRECISAS.

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N°: CC-0040-18

### 1. INFORMACIÓN GENERAL DEL SOLICITANTE:

- 1.1 Solicitante: AGRUPACION TECNICA AUTOMOTRIZ IRH S.A.C.  
1.2 RUC (N°): 20480670770  
1.3 Dirección: CAL.VICTOR RAUL HAYA DE LA TORRE NRO. 2770 LAMBAYEQUE - CHICLAYO - LA VICTORIA  
1.4 Telefono: 978055062  
1.5 Correo Electronico: freddyanthony\_6@hotmail.com  
1.6 Solicitud de Servicios (N°): SS-0078-18

### 2. INFORMACIÓN DEL EQUIPO/INSTRUMENTO CALIBRADO:

- 2.1 Equipo/Instrumento: Analizador de Gases  
2.2 Fabricante: Pierburg Instruments  
2.3 Modelo: HGA 400  
2.4 Numero de Serie: 446  
2.5 Clase de Exactitud: Clase 1  
2.6 Rango de la Escala: CO: 0 a 10% vol; CO2: 0 a 20% vol; HC: 0 a 20000 ppm  
2.7 División de la Escala: CO: 0,01% vol; CO2: 0,1% vol; HC: 1 ppm vol C3H8

### 3. LUGAR Y FECHA DE CALIBRACION:

- 3.1 Lugar: Laboratorio de Calibración, CALIBRA S.A.C., San Lorenzo 363, Surquillo, Lima  
3.2 Fecha: 24 de Enero de 2018

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Los resultados consignados en el presente Certificado de Calibración se refieren únicamente al objeto sometido a calibración; al momento y condiciones en las que se realizaron las mediciones, CALIBRA S.A.C. no se responsabiliza por los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los objetos calibrados o del presente Certificado de Calibración.

Este Certificado de Calibración cumple con los requisitos establecidos en la Norma Técnica Peruana NTP - ISO/IEC 17025 (homologación nacional de la Norma Internacional ISO/IEC 17025 "Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración").

Este certificado de calibración sólo puede ser difundido completamente y sin modificaciones. Los extractos o modificaciones requieren la autorización de CALIBRA S.A.C.. Certificados sin firma y sello carecen de validez.

Las enmiendas al presente documento no efectuadas por CALIBRA S.A.C., constituyen un delito contra la fe pública y el infractor es sujeto de sanciones civiles y penales reguladas por dispositivos legales vigentes.

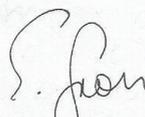
En referencia al DS-N° 009-2012 MINAM, se recomienda al usuario recalibrar sus equipos/instrumentos cada 6 meses.

Fecha



30/01/2018

Responsable del Laboratorio de Calibración



ESTEBAN GROSS

Metrólogo



BERNIE CONTRERAS

CC-0040-18

4. MÉTODO DE CALIBRACIÓN:

La calibración se ha realizado por comparación directa con los patrones utilizados, determinándose el error de indicación del analizador de gases, según la Norma Alemana GM-P 18.10:2008 y el manual del fabricante.

5. CONDICIONES DE CALIBRACIÓN:

Temperatura [°C]	20.7
Humedad Relativa [%]	70
Presión Atmosférica [mBar]	997.0

6. PATRONES UTILIZADOS:

Patrones utilizados	Certificado de análisis	Trazabilidad
Patrón primario con incertidumbre de hasta 1%.	No. CC468950, No. CC467740	Método gravimétrico. Pesas patrones con trazabilidad al NIST

7. RESULTADOS DE LA CALIBRACION:

Componente [unidad]	Valor Patrón	Lectura Promedio	Error		Incertidumbre	EMP Clase 1	
			Absoluto	Relativo [%]		Absoluto	Relativo [%]
CO [% Vol]	3.51	3.51	0.01	0.15	0.04	0.06	5
CO <sub>2</sub> [% Vol]	13.99	13.90	0.09	0.64	0.15	0.50	5
Propano [ppm]	1997	1991	6	0.32	9.88	12	5

PEF (2000 ppm) = 0.486

Componente [unidad]	Valor Patrón	Lectura Promedio	Error		Incertidumbre	EMP Clase 1	
			Absoluto	Relativo [%]		Absoluto	Relativo [%]
CO [% Vol]	0.50	0.49	0.01	1.88	0.01	0.06	5
CO <sub>2</sub> [% Vol]	6.08	5.80	0.28	4.61	0.08	0.50	5
Propano [ppm]	200	216	16	7.83	3.71	12	5

PEF (200 ppm) = 0.492

8 NOTAS:

- Los gases de referencia fueron suministrados a la sonda a presión ambiente (con una desviación máxima de 8 hPa).
- E.M.P.: Error máximo permisible según Norma Alemana GM-P 18.10:2008.
- La incertidumbre de calibración corresponde a un factor cobertura k=2 y un nivel de confianza de aproximadamente el 95%.
- Con fines de identificación se ha colocado en el equipo una etiqueta autoadhesiva de color gris plata.
- El instrumento reporta lecturas en propano como componente de HC.



*E. Jiron*

## Autorización de publicación

 <b>UCV</b> UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	<b>AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TESIS EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b> UCV	Código : F08-PP-PR-02.02 Versión : 07 Fecha : 31-03-2017 Página : 1 de 1
--	---	---

Yo **ELDER IVAN YALTA YALTA...**, identificado con DNI N° 70363502 egresada de la Escuela de ... **ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA** de la Universidad César Vallejo, autorizo ( X ), No autorizo ( ) la divulgación y comunicación pública de mi trabajo de investigación titulado: **“ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DEL USO DE GASES DE ESCAPE DE MOTOR VEHICULAR 1500CC PARA ACCIONAR EL AIRE ACONDICIONADO POR ABSORCION, 2018”**.; en el Repositorio Institucional de la UCV (<http://repositorio.ucv.edu.pe/>), según lo estipulado en el Decreto Legislativo 822, Ley sobre Derecho de Autor, Art. 23 y Art. 33.

Fundamentación en caso de no autorización:

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....



FIRMA

DNI: 70363502

FECHA: 11 de diciembre del 2018

Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Representante de la Dirección / Vicerrectorado de Investigación y Calidad	Aprobó	Rectorado
---------	----------------------------	--------	---	--------	-----------

RESOLUCION DE VICERRECTORADO ACADEMICO N°.0011-2016-UCV-VA

YO, MSC. ÁNGEL MARCELO ROJAS CORONEL, docente de la Facultad de Ingeniería de UCV – Filial Chiclayo, y revisor del trabajo académico (Tesis) titulado: **“ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DEL USO DE GASES DE ESCAPE DE MOTOR VEHICULAR 1500CC PARA ACCIONAR EL AIRE ACONDICIONADO POR ABSORCIÓN, 2018”** del bachiller de la Escuela profesional de Ingeniería mecánica eléctrica:

ELDER IVAN YALTA YALTA

Que el citado trabajo académico tiene un índice de similitud 23 %, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, grado de coincidencias irrelevante que convierte el trabajo en aceptable y no constituye plagio, en tanto cumple con todas las normas del uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

Chiclayo, 11 de diciembre del 2018.



---

MSC. ÁNGEL MARCELO ROJAS CORONEL  
Docente de la facultad de ingeniería de UCV



# UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

## AUTORIZACIÓN DE LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

CONSTE POR EL PRESENTE EL VISTO BUENO QUE OTORGA EL ENCARGADO DE INVESTIGACIÓN DE

EP DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

A LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN QUE PRESENTA:

YALTA YALTA ELDER IVAN

INFORME TÍTULADO:

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DEL USO DE GASES DE ESCAPE DE MOTOR VEHICULAR 1500 CC. PARA ACCIONAR AIRE ACONDICIONADO POR ABSORCIÓN- 2018

PARA OBTENER EL TÍTULO O GRADO DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

---

SUSTENTADO EN FECHA: 14/12/2018

NOTA O MENCIÓN: DIECISEIS (16)



FIRMA DEL ENCARGADO DE INVESTIGACIÓN