



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ELÉCTRICA**

**Diseño de un turbo para el accionamiento del sistema de  
aire acondicionado en los vehículos Volvo FM**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Mecánico Electricista

**AUTOR:**

Gonzales Duque, May Franklin (ORCID: 0000-0003-3901-316X)

**ASESOR:**

Dr. Carranza Montenegro, Daniel (ORCID: 0000-0001-6743-6915)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Modelamiento y Simulación y Sistemas Electromecánicos

CHICLAYO – PERÚ

2020

## DEDICATORIA

Este proyecto de investigación se la dedico a Dios quien supo encaminarme por el buen camino, dándome fuerzas para seguir adelante ante los problemas que se presentaron, por darme la vida, salud y sabiduría a lo largo del estudio.

A mis padres que gracias a sus consejos y palabras de aliento me ayudaron a crecer como persona y a luchar por lo que quiero, por inculcarme valores que me han llevado alcanzar una gran meta. Los quiero mucho.

A nuestro docente, por el tiempo incondicional y por brindarnos sus conocimientos para llegar hacer grandes profesionales y por su gran desempeño en la enseñanza de este curso.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por darme cada día una nueva oportunidad para seguir creciendo como profesional a lo largo de mi vida, a mi familia por darme su apoyo incondicional, logrando en mí una persona con principios y valores .

A los profesores de la facultad de ingeniería, por sus enseñanzas que nos han brindado durante nuestra formación profesional como ingenieros mecánicos eléctricos.

A la empresa MANNUCCI DIESEL SAC, por brindarme la información y medios necesarios para llevar a cabo el estudio de mí informe de investigación.

El apoyo de mis compañeros para la culminación del presente, que hicieron lo posible en el proceso de formación profesional dentro de la universidad.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA.....	i
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	iv
ÍNDICE DE TABLAS .....	v
ÍNDICE DE FIGURAS .....	vi
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	vi
RESUMEN .....	ix
ABSTRACT .....	x
I.INTRODUCCIÓN. ....	1
II.MARCO TEÓRICO.....	5
III.METODOLOGÍA.....	16
3.1. Tipo y diseño de investigación: .....	16
3.2. Variables y operacionalización:.....	16
3.3. Población, muestra y muestreo:.....	16
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos:.....	16
3.5. Procedimiento: .....	17
3.6. Métodos de análisis de datos:.....	17
3.7. Aspectos éticos:.....	17
IV.RESULTADOS.....	18
V.DISCUSIÓN .....	58
VI.CONCLUSIONES .....	60
VII.RECOMENDACIONES .....	61
Anexo 1. Declaratoria de autenticidad (autores) .....	64
Anexo 2. Declaratoria de autenticidad (asesor).....	65
Anexo 3. Matriz de operacionalización de variables.....	66
Anexo 4. Instrumento de recolección de datos.....	67

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Consumo específico de combustible, Volvo FM.....	2
Tabla 2. Ficha técnica motor Volvo D13.....	22
Tabla 3. Registros históricos de temperaturas máximas. Sullana- Piura. ....	33
Tabla 4. Cargas térmicas en cabina Volvo FM.....	35
Tabla 5. Cargas térmicas en cabina Volvo FM.....	36
Tabla 6. Reporte de opacidad de gases de escape. ....	40
Tabla 7. Masa de combustible y gases de escape por ciclo de trabajo del motor	43
Tabla 8. Masa de combustible y gases de la combustión a diferentes velocidades .....	44
Tabla 9. Dimensiones de turbo.....	52
Tabla 10. Inversión inicial .....	53
Tabla 11. Ahorro mensual por uso de aire acondicionado .....	53
Tabla 12. Flujo de caja de proyecto. ....	55
Tabla 13. Cálculo del valor actual neto .....	56
Tabla 14. Cálculo de la tasa interna de retorno.....	57

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Consumo específico de combustible, Volvo FM.....	2
Figura 2. Balance de energía para flujo estacionario en un sistema abierto. ....	7
Figura 3. Ciclo de refrigeración por compresión de vapor.....	9
Figura 4. Balance de energía en compresor. ....	9
Figura 5. Balance de energía en condensador.....	11
Figura 6. Balance de energía en evaporador. ....	12
Figura 7. Diagrama termodinámico P-h.....	13
Figura 8. Sensor de oxígeno. ....	15
Figura 9. Sensores y Actuadores en sistema de inyección.....	15
Figura 10. Elementos de aire acondicionado por compresión de vapor.....	19
Figura 11. Compresor del sistema del aire acondicionado.....	20
Figura 12. Evaporador del sistema de aire acondicionado.....	21
Figura 13. Condensador del sistema de aire acondicionado.....	21
Figura 14. Curva característica del motor de vehículo de prueba potencia (HP) – rpm.....	23
Figura 15. Ciclos termodinámicos en el compresor de vapor.....	24
Figura 16. Diagrama P-h (R-134a) del problema con subenfriamiento y recalentamiento.....	25
Figura 17. Dimensiones de vehículo FM. ....	30
Figura 18. Asientos de cabina FM.....	31
Figura 19. Evolución de temperatura máxima, diciembre 2018.....	34
Figura 20. Evolución de temperatura máxima, diciembre 2019.....	34
Figura 21. Cargas térmicas (Watt), en cabina Volvo FM.....	36
Figura 22. Ciclo de aire acondicionado por compresión de vapor.....	37
Figura 23. Diagrama Presión – Entalpía. ....	38
Figura 24. Velocidades en álabe de turbina.....	46
Figura 25. Triángulo de velocidades para salida e ingreso de álabe de turbina de gas.....	48
Figura 26. Gráfico para determinar número de álabes de turbina de gas.....	49
Figura 27. Esquema de turbina con gases de escape de motor diésel.....	51
Figura 28. Esquema del turbo.....	52
Figura 29. Flujo de caja del proyecto.....	54

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

$hf$ :	Caída de presión.
$f$ :	Factor de fricción.
$L$ :	Longitud de la tubería.
$V$ :	Velocidad del fluido.
$g$ :	Gravedad.
$D$ :	Diámetro de la tubería.
$QL$ :	Efecto refrigerante del sistema.
$m$ :	Flujo del fluido refrigerante.
$h1$ :	Entalpía de salida del fluido del evaporador con calidad 1.
$h4$ :	Entalpía de entrada en el evaporador a presión baja.
$P_m$ :	Potencia mecánica.
$T$ :	Torque mecánico.
$W$ :	Velocidad angular.
$b$ :	Consumo específico de combustible del motor.
$n$ :	RPM del motor.
$z$ :	Cantidad de cilindros del motor.
$Q_h$ :	Volumen de inyección.
$b$ :	Consumo específico de combustible del motor.
$\rho$ :	Densidad del combustible en $g/cm^3$ : $0.85 g/cm^3$ .
$Q_h$ :	Volumen de inyección.
$n$ :	RPM del motor: 1100
$V_r$ :	Volumen de aire admitido.
$GA$ :	Grado de admisión, según dato del motor.
$V_c$ :	Volumen de los cilindros del motor.
$n$ :	Número de moles de aire admitido en el motor.
$m_a$ :	Masa de aire admitido.
$M$ :	Masa molar del aire.
$n$ :	Número de moles de aire admitido en el motor.
$m_a$ :	Masa de aire admitido.
$M$ :	Masa molar del aire.
$Q$ :	Calor aportado.

Cp:	Calor específico a presión constante.
T3:	Temperatura de los gases de escape.
T1:	Temperatura ambiente.
Ue:	Velocidad tangencial del rodete de la turbina.
he:	Entalpía de los gases de escape.
$\varphi$ :	Coeficiente de presión.
d2:	Diámetro exterior de la turbina.
U2:	Velocidad tangencial a la salida.
Rpm:	Velocidad de giro de la turbina.
VAN:	Valor actual neto
TIR:	Tasa interna de retorno.

## RESUMEN

En la presente investigación denominada: “DISEÑO DE UN TURBO PARA EL ACCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO EN LOS VEHICULOS VOLVO FM”, tiene como objetivo de estudio realizar el diseño de un mecanismo que genera energía mecánica a partir de los gases de escape del motor de combustión interna, para que accione el sistema de aire acondicionado del camión Volvo FM.

La investigación se inicia con la descripción del funcionamiento del sistema de aire acondicionado por compresión de vapor en cuanto a su consumo de combustible los vehículos Volvo FM, para lo cual se obtuvo un registro de consumos de combustible; luego se realizó el análisis de los parámetros de funcionamiento del cada dispositivo del sistema de aire acondicionado, en función a los flujos de refrigerante y a la potencia que requieren. Se hizo el análisis de las cargas térmicas en el interior de la cabina de la unidad vehicular, y se estableció la transferencia de calor hacia el exterior de la cabina, a una temperatura de confort.

El diseño del turbo que acciona al sistema de aire acondicionado, se hizo en función a la oferta de energía de los gases de escape, a diferentes regímenes de velocidad, así como también de la demanda de energía del sistema de aire acondicionado.

Finalmente se hizo la evaluación económica, utilizando indicadores tales como VAN, TIR y relación beneficio – costo.

**Palabras Clave:** Transferencia de calor, Turbo, Aire acondicionado, Temperatura de confort.

## **ABSTRACT**

In the present investigation called: "DESIGN OF A TURBO FOR THE OPERATION OF THE AIR CONDITIONING SYSTEM IN VOLVO FM VEHICLES", the object of study is to carry out the design of a mechanism that generates mechanical energy from the exhaust gases of the engine internal combustion, to operate the air conditioning system of the Volvo FM truck.

The investigation begins with the description of the operation of the vapor compression air conditioning system in terms of fuel consumption in Volvo FM vehicles, for which a record of fuel consumption was obtained; Then, the analysis of the operating parameters of each device of the air conditioning system was performed, based on the refrigerant flows and the power they require. The analysis of the thermal loads inside the cabin of the vehicle unit was made, and the heat transfer to the outside of the cabin was established, at a comfort temperature.

The design of the turbo that drives the air conditioning system was made according to the energy supply of the exhaust gases, at different speed regimes, as well as the energy demand of the air conditioning system.

Finally, the economic evaluation was made, using indicators such as NPV, IRR and benefit-cost ratio.

**Keywords:** Heat transfer, Turbo, Air Conditioning, comfort temperature

## **I.INTRODUCCIÓN**

La energía calorífica de los gases de escape que se emiten al medio ambiente, después que son reutilizados en el turbo compresor del sistema de alimentación de aire del motor, no se aprovechan del todo; la temperatura de los gases de escape oscilan entre los 500 y 600°C, antes de abandonar el cilindro del motor, es por ello que ante la necesidad de accionar el compresor del sistema de aire acondicionado del vehículo, que convencionalmente es movido por la energía mecánica del motor de combustión interna, se utiliza su máxima expresión el calor de los gases de escape.

Los vehículos Volvo FM, el consumo de combustible se incrementa al utilizar el sistema de aire acondicionado, y se evidencia esto que en la estación de verano, es necesario el uso del sistema, para el confort del conductor, y de esa manera tener un trabajo en mejores condiciones; sin embargo la modificación del accionamiento del compresor del sistema, y que sea accionado por lo gases de escape del motor, es una innovación que se plantea a fin de disminuir el consumo de combustible, y como consecuencia de ello, las emisiones de dióxido de carbono producto de la combustión.

En la Región Lambayeque, específicamente la ciudad de Chiclayo, es un lugar de paso obligatorio para el paso de los vehículos que se dirigen hacia la costa norte y sur, la sierra y la selva norte, lugares en donde existe un gran intercambio comercial. Casi en su totalidad disponen del sistema de aire acondicionado, se utiliza con mayor frecuencia en los meses de la estación de verano, y en horas en dónde la temperatura es la más alta. Los compresores del sistema de aire acondicionado, consumen mayor cantidad de energía mecánica, cuando existe falla en el sistema, y se evidencia ello, cuando existe fuga del refrigerante del sistema de aire acondicionado.

En la tabla 1, se muestran los valores nominales de los consumos específicos de los vehículos Volvo FM, de diferentes años de fabricación, así como también sus valores nominales cuando utilizan el aire acondicionado.

Tabla 1. Consumo específico de combustible, Volvo FM

Año de fabricación	Consumo específico de combustible Km/Galón	
	Sin utilizar aire acondicionado	Utilizando aire acondicionado
2017	11.4	10.3
2016	11.2	10.0
2015	11	9.7
2014	10.8	9.4
2013	10.8	9.3
2012	10.7	9.2

Fuente: Concesionario Volvo – Perú, 2018

Figura 1. Consumo específico de combustible, Volvo FM



Fuente: Concesionario Volvo – Perú, 2018

En la figura 1, se puede apreciar que la tendencia es que a medida que transcurren los años los rendimientos del vehículo se incrementa es decir que existe un menor consumo de combustible; eso se evidencia que en el año 2012, el rendimiento es de 10.7 Km por galón, mientras que en el año 2017 el rendimiento es de 11.4 Km por galón.

En el caso del rendimiento cuando se emplea el sistema de aire acondicionado, se observa que existe una disminución en un 10% aproximadamente.

En base a lo expuesto anteriormente, formulamos la siguiente pregunta del problema:

¿Cómo diseñar un turbo para el accionamiento del sistema de aire acondicionado en los vehículos Volvo FM?

Se justifica técnicamente el proyecto, porque el accionamiento del compresor del aire acondicionado involucra consumo de energía mecánica, la cual proviene del motor del vehículo, y la propuesta de accionar el compresor del sistema con los gases de escape, técnicamente es posible con la utilización de una turbina de gas, la cual convierte la energía calorífica en energía cinética y en energía mecánica en los perfiles de los álabes.

Se justifica económicamente porque el sistema de aire acondicionado en todo vehículo demanda mayor consumo de combustible, debido que el motor requiere mayor torque para accionar el compresor, el cual incrementa la presión al fluido refrigerante; éste incremento de combustible, oscila entre el 10 y 15% para vehículos pesados, por ende al tener un sistema de accionamiento con los gases de escape, se ahorra combustible, lo cual incrementa las utilidades de los propietarios de dichas unidades pesadas.

La combustión del combustible diésel, origina al dióxido de carbono en los gases de la combustión, el cual es inherente a la combustión, es decir que su emisión es un indicador de que la combustión es completa, por lo tanto a mayor consumo de combustible mayor emisión de CO<sub>2</sub>. Las emisiones de CO<sub>2</sub>, incrementan la contaminación del ambiente, específicamente en el calentamiento global. Además se justifica porque también se emiten otros gases, que son dañinos para la salud humana, como el caso del monóxido de carbono, que se da por una combustión incompleta del combustible y el aire. Por lo tanto al haber menor consumo de combustible, se tiene menores emisiones de gases, con la consecuencia de disminuir el grado de contaminación al medio ambiente.

Se justifica socialmente, porque dos motivos, uno de ellos es porque los conductores realizan su trabajo en condiciones de confort, lo que hace el viaje menos extenuante en lugares en donde la temperatura es alta, así mismo el menor consumo de combustible, involucra mayor utilidad y por ende mejor calidad de vida de los propietarios de las unidades pesadas.

El objetivo general de la investigación es: Diseñar un turbo para el accionamiento del sistema de aire acondicionado en los vehículos Volvo FM.

Los objetivos específicos son:

- Describir el funcionamiento del sistema de aire acondicionado por compresión de vapor en cuanto a su consumo de combustible los vehículos Volvo FM.
- Realizar el análisis de los parámetros de funcionamiento del cada dispositivo del sistema de aire acondicionado, en función a los flujos de refrigerante y a la potencia que requieren.
- Diseñar el turbo que accionara al sistema de aire acondicionado, en función a la oferta de energía de los gases de escape, así como también de la demanda de energía del sistema de aire acondicionado.
- Hacer la evaluación económica, utilizando indicadores tales como VAN, TIR y relación beneficio – costo.

La hipótesis de la investigación es: El diseño de un turbo impulsado por los gases de escape del motor determina el accionamiento del sistema de aire acondicionado en los vehículos Volvo FM.

## II.MARCO TEÓRICO

Investigaciones realizadas en diferentes instituciones académicas, así como también de los proveedores del sector automotriz, buscan incrementar la eficiencia del motor, buscando la disminución del consumo de combustible, siendo una de las alternativas el uso del calor de los gases de la combustión, como también el calor del agua del radiador del motor, entre las investigaciones relevantes para la elaboración de la propuesta, se menciona:

Yalta (2017), en su Tesis de Grado denominada: “ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DEL USO DE GASES DE ESCAPE DE MOTOR VEHICULAR 1500CC PARA ACCIONAR EL AIRE ACONDICIONADO POR ABSORCIÓN, 2018”, presentado a la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad César Vallejo, de Chiclayo presenta en su resumen: 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. 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.

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.

Matarazzo (2014), En su tesis de grado denominado: Refrigeración local de vehículos con calor excedente, presentado a la escuela técnica superior de ingenieros industriales y de telecomunicación de la universidad de Cantabria, España, presenta en sus conclusiones: La reducción en el consumo va a amortizar el coste extra del vehículo en sólo 4 años si utilizamos el coche en las condiciones supuestas anteriormente. A partir de este momento, nos empezamos a beneficiar del enfriador de absorción. Por otro lado, ¿No merecen la pena las ventajas medioambientales de los enfriadores de absorción por la pequeña suma extra que supone su instalación? En el mundo actual, donde el cuidado de la ecología se ha convertido en algo tan importante, considero que es muy atractivo empezar a apostar e investigar en vías que permitan instalar estos enfriadores en los vehículos comerciales. No sólo es un tema de beneficio a la ecología, sino que es una oportunidad de negocio. Sabiendo que los refrigerantes que se utilizan tradicionalmente en las máquinas frigoríficas de compresión tendrán que ser eliminados para 2030, podemos empezar a apostar por los sistemas de absorción y presentar una alternativa de comercialización cuando los fabricantes tradicionales estén apretados por la necesidad de eliminar los freones.

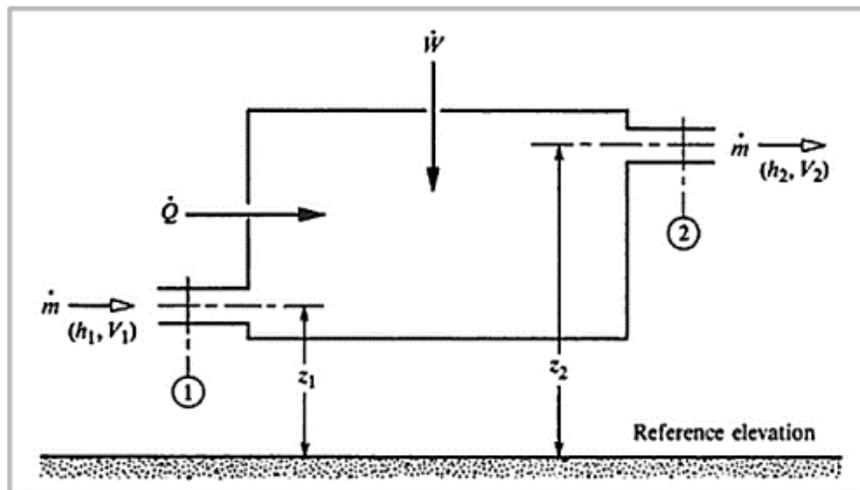
BARAHONA (2013), En su tesis de grado denominado: "SELECCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE SOBREALIMENTACIÓN, PARA UN VEHÍCULO HYUNDAI H100 MOTOR DIESEL 2.6", presentado a la FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ, Chimborazo, Ecuador, presenta en su resumen: La investigación tiene como objeto de estudio Seleccionar e Implementar un Sistema de Sobrealimentación, a un Vehículo automotor de marca Hyundai H100 Motor Diésel Veloz, se realizó la investigación de las variaciones múltiples existentes, así como sus diseños y las aplicaciones, y de esa manera seleccionar de acuerdo a sus parámetros de funcionamiento las mejores prestaciones, los cuales permiten incrementar la eficiencia volumétrica, ello conlleva a un incremento en el valor del rendimiento del motor. El vehículo en estudio incorpora el sistema turboalimentado, que admite una cantidad mayor de aire al interior del cilindro, mejorando la interacción entre las moléculas del aire que ingresa al cilindro aprovechando de mejor manera la combustión. Llevar a cabo esto requiere un

turbocompresor GARRETT GT 1544, que tiene incorporado la válvula de alivio de gases de escape Wastegate, también se necesitó otros accesorios como, intercooler, indicador de presión, conductos de refrigeración, conductos de lubricación y cañerías de admisión de aire, asegurando un correcto funcionamiento y brindando un grado de fiabilidad al sistema de sobrealimentación.

(Fayres, 2014). “La termodinámica trata de la cantidad de transferencia de calor a medida que un sistema pasa por un proceso de un estado de equilibrio a otro y no hace referencia a cuánto durará ese proceso. Pero en la ingeniería a menudo estamos interesados en la rapidez o razón de esa transferencia, la cual constituye el tema de la ciencia de la transferencia de calor”.

La primera ley de la termodinámica, relaciona la cantidad de energía interna contenido en la sustancia de trabajo, la cantidad de calor que cede o gana el sistema, y el trabajo que desarrolla el sistema, mientras que la segunda ley de la termodinámica, es más de índole cualitativo, determina la cantidad de calor máxima que puede ser aprovechado por el sistema.

Figura 2. Balance de energía para flujo estacionario en un sistema abierto.



Fuente: Fayres, 2014

La ecuación que establece el balance de energía en un sistema abierto, relaciona el flujo de calor que entra al sistema, el trabajo que se desarrolla, así como también la entalpía de la masa, la velocidad del flujo, y la energía potencia que tiene.

$$\dot{m} \Delta \left( h + \frac{V^2}{2} + g z \right) = \dot{Q} + \dot{W}$$

(Bosch, 2016). El sistema de escape de un vehículo está formado principalmente por tubos que conducen los productos de combustión desde el interior del cilindro hacia el ambiente. Dependiendo de cada vehículo el sistema de escape presenta unas características u otras, pero las partes básicas que forman el sistema son el colector de escape, el turbo-cargador, si lo hubiera, el convertidor catalítico, el filtro de partículas si se trata de un motor de gasóleo y el silenciador o silenciadores, en este orden.

(Díaz, 2015). “La potencia cedida por el aire o potencia frigorífica del circuito,  $Q_{evap}$ , se puede descomponer en un término correspondiente a la potencia de refrigeración y otro debido a la potencia de condensación”

$$Q_{evap} = m_a \cdot C_p \cdot (T_i - T_f) + m_a \cdot L \cdot (H_{ai} - H_{af})$$

Dónde:

$m_a$ : Caudal másico del aire que atraviesa el evaporador en kg/s.

$C_p$ : Calor específico del aire, en J/kg °C.

$T_i$ : Temperatura a la entrada del haz del tubo del intercambiador °C.

$T_f$ : Temperatura a la salida del haz del tubo del intercambiador °C.

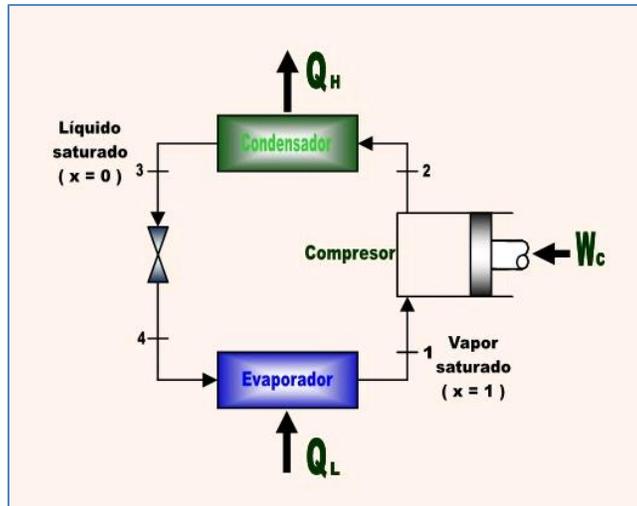
$H_{ai}$ : Humedad absoluta del aire a la entrada del intercambiado, en kg de agua por kg de aire seco.

$H_{af}$ : Humedad absoluta del aire a la salida del intercambiado, en kg de agua por kg de aire seco.

$L$ : Calor latente de evaporación del agua, en J/kg.

El ciclo de refrigeración por compresión de vapor, tiene cuatro elementos que son el compresor, el condensador, la válvula de expansión y el evaporador.

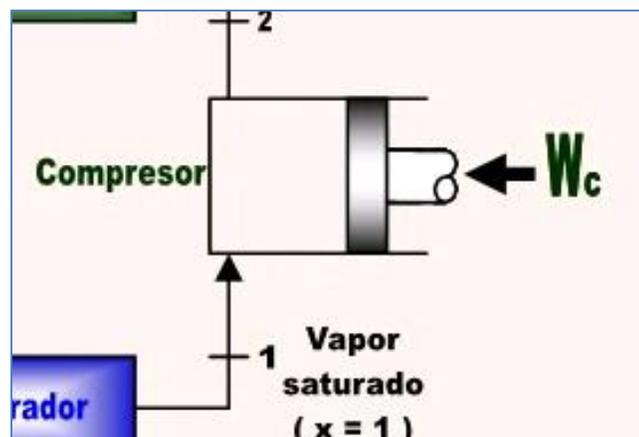
Figura 3. Ciclo de refrigeración por compresión de vapor.



Fuente: Díaz, 2015

El ciclo de refrigeración por compresión de vapor, recibe energía mecánica en el compresor, y se obtiene como resultado el efecto refrigerante en el evaporador. En el diagrama se puede realizar el balance de energía en cada elemento, en el caso del compresor, el balance de energía se determina:

Figura 4. Balance de energía en compresor.



Fuente: Díaz, 2015

La ecuación del trabajo del compresor se expresa:

$$W_c = m (h_2 - h_1)$$

Dónde:

$W_c$ : Trabajo mecánico, expresado en Joule.

$m$ : Flujo del fluido refrigerante, en Kg/s.

$h_2$ : Entalpía de salida del fluido, en KJ/Kg.

$h_1$ : Entalpía de entrada del fluido en forma de vapor, con calidad 1, en Kg/s.

El trabajo mecánico del compresor, está dado por la acción de un mecanismo exterior que entrega energía al compresor. La potencia mecánica del compresor se expresa:

$$P_m = \frac{T * 2 * \pi * RPM}{60}$$

El torque está en función a la carga que impulsa el compresor; el compresor que es alternativo, es accionado por la faja de transmisión del motor de combustión interna, el cuál entrega energía mecánica en el eje; la potencia que entrega el cigüeñal al compresor se determina a partir de la evaluación de las eficiencias.

$$P_e = n_1 * n_2 * P_m$$

Dónde:

$P_e$ : Potencia que entrega el cigüeñal, en Watt.

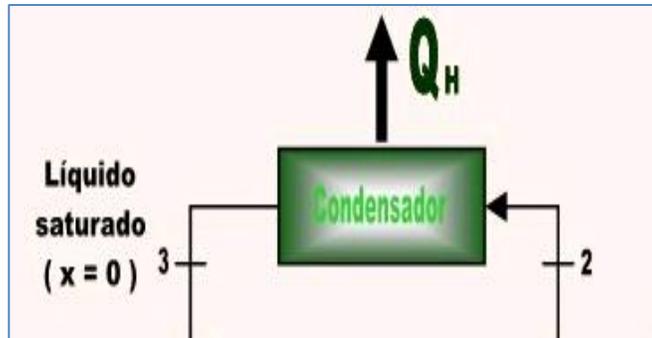
$n_1$ : Eficiencia de la transmisión.

$n_2$ : Eficiencia mecánica del compresor.

$P_m$ : Potencia mecánica del compresor.

En cuanto al condensador, éste dispositivo cede energía al medio exterior, y es donde el refrigerante cambia de fase de vapor a líquido, tal como se muestra en la figura.

Figura 5. Balance de energía en condensador.



Fuente: Díaz, 2015

$$Q_h = m(h_3 - h_2)$$

$Q_h$ : Energía que cede al exterior, en Joules.

$m$ : Flujo del fluido refrigerante, en Kg/s.

$h_3$ : Entalpía de entrada del fluido, en estado de vapor.

$h_2$ : Entalpía de salida del condensador, con calidad igual a cero.

La sustancia de trabajo cambia de fase de vapor a líquido en el condensador y lo realiza a presión constante, sin embargo existe una caída de presión, debido a la fricción que existe entre el fluido de trabajo y la tubería. Esta caída de presión se determina por medio de la ecuación de Darcy, la cual se expresa:

$$h_f = \frac{f * L * V^2}{2 * g * D}$$

Dónde:

$h_f$ : Caída de presión, en metros.

$f$ : Factor de fricción.

$L$ : Longitud de la tubería, en metros.

$V$ : Velocidad del fluido, en m/s.

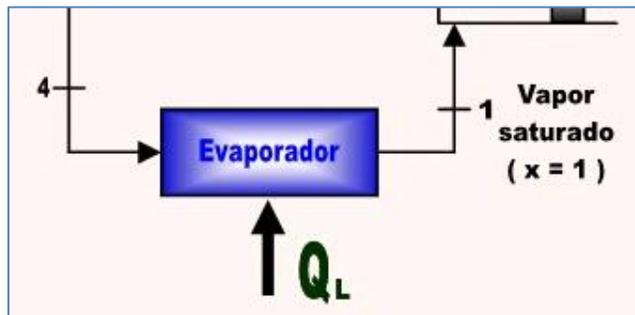
$g$ : Gravedad.

$D$ : Diámetro de la tubería, en metros.

La válvula de expansión reduce la presión del sistema a fin de que el líquido ingrese al evaporador, en el cual la  $P_3 = P_4$

El evaporador es en dónde se obtiene el efecto refrigerante, es decir el refrigerante gana calor de los elementos que se encuentran dentro del evaporador del sistema.

Figura 6. Balance de energía en evaporador.



Fuente: Díaz, 2015

La ecuación de la transferencia de calor en el evaporador se expresa:

$$Q_L = m(h_1 - h_4)$$

$Q_L$ : Efecto refrigerante del sistema.

$m$ : Flujo del fluido refrigerante, en Kg/s.

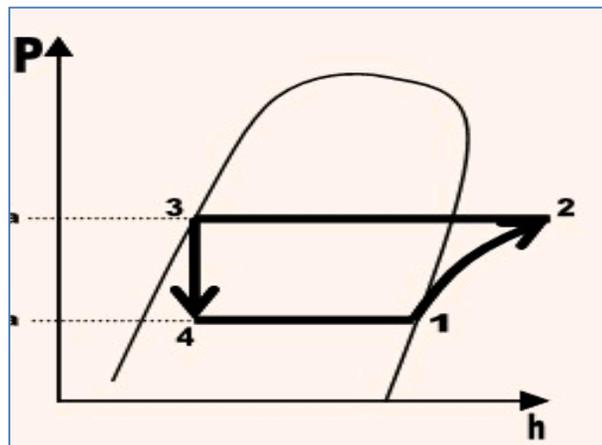
$h_1$ : Entalpía de salida del fluido del evaporador con calidad 1.

$h_4$ : Entalpía de entrada en el evaporador a presión baja.

El intercambio de calor en el evaporador, se produce por convección, es decir por la cesión de calor al fluido de trabajo. La cantidad de calor que extrae el evaporador, está en función a las cargas térmicas que existan en el interior del mismo, el cual se determina por la variación de temperatura, entre el medio exterior y el medio interior; normalmente la temperatura adecuada es entre 18 y 21°C, mientras que la temperatura del medio exterior es variables, y está en función a la zona en donde se ubique el vehículo; en zonas de temperaturas altas, éste alcanza un valor inclusive superior a los 35°C.

En un diagrama Ph, se observa que existen dos niveles de presiones, una presión que es alta, la cual es la que se logra en el compresor, y una presión baja en el evaporador del sistema. La entalpía del fluido se incrementa en el evaporador y en el compresor, mientras que en el condensador la entalpía del fluido disminuye a presión constante.

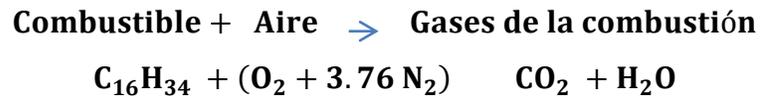
Figura 7. Diagrama termodinámico P-h



Fuente: Pérez, 2017

En la actualidad los motores como Volvo están implementados con un sistema de inyección unitaria electrónica (EUI). La inyección es controlada por EMS, rápida, más precisa y mejor rendimiento al motor. Para tener un vehículo en buen estado de trabajo se tiene que analizar el tiempo de inyección para determinar el consumo de combustible, reduciendo pérdidas de producción y gastos innecesarios para la empresa.

Los gases de la combustión en un motor diésel están dada por la ecuación de la combustión, en el cual los elementos químicos del aire se combinan con las del combustible, tal como se muestra en la siguiente ecuación:



El calor de los gases de la combustión, están en relación a la entalpía que poseen, ésta entalpía está determinada por la presión y la velocidad de los mismos.

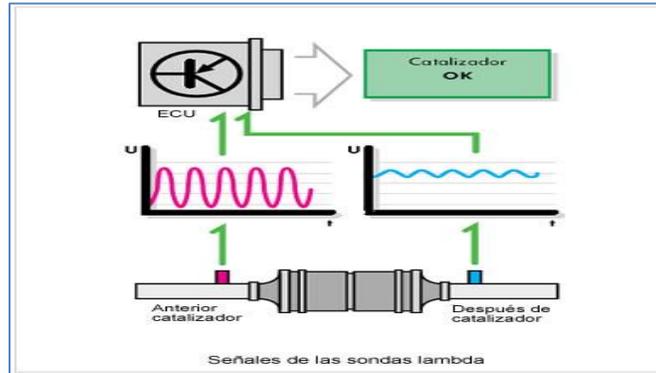
La cantidad de aire que se requiere en la combustión se determina a partir de la relación Lambda, la cual relaciona la cantidad de aire que se requiere para la combustión de un kilogramo de combustible, y el valor del factor lambda se calcula con la expresión.

$$\gamma = \frac{\text{Cantidad de aire real aspirado}}{14.7}$$

- El valor de la relación "lambda = 1", indica una mezcla estequiometrica, es decir una mezcla ideal es decir que 14.7 kg de aire se utilizan para la combustión de 1 Kg de combustible.
- El valor de la relación "lambda < 1", indica que la mezcla tiene un contenido de aire inferior a la estequiométrica, se considera mezcla rica, y se utiliza cuando se requiere mayor cantidad de energía, así como es en el arranque del motor. Se recomienda valores de lambda entre 0.7 y 0.9.
- El valor de la relación "lambda > 1", indica que la mezcla es pobre, es decir existe un exceso de aire, por decir un valor de 1,20, es un valor en el cual existe un 20% de aire adicional.

(Bosch, 2016). En la figura 8, se muestra el sensor de oxígeno, o también llamado sonda Lambda, es el encargado de emitir la señal eléctrica hacia la unidad de control electrónico del motor, en función a la cantidad de oxígeno que se utilizó en la combustión. Existe motores con dos sensores de oxígeno, con ello se monitorea la eficiencia del catalizador del sistema.

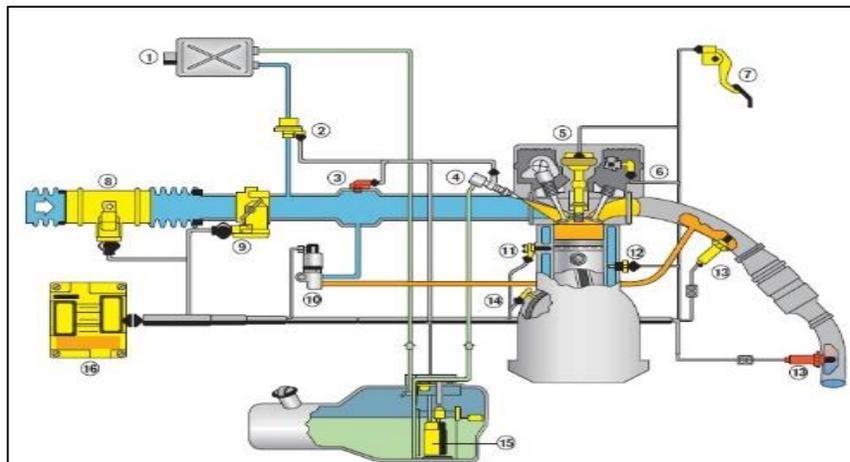
Figura 8. Sensor de oxígeno.



Fuente: Bosch, 2016

Los vehículos actualmente incorporan el sistema de inyección electrónica, para lo cual requieren de la información de los sensores que se ubican en diferentes zonas del motor; a fin de procesar y activar los actuadores, así como también determinar el tiempo de inyección

Figura 9. Sensores y Actuadores en sistema de inyección



Bosch, 2016

### III.METODOLOGÍA.

#### 3.1. Tipo y diseño de investigación:

Tipo de investigación:

Aplicada.

Diseño de la investigación:

No experimental por que no se manipularan las variables.

#### 3.2. Variables y operacionalización:

Variable independiente:

Diseño de un turbo.

Variable dependiente:

Accionamiento del sistema de aire acondicionado en los vehículos volvo FM.

#### 3.3. Población, muestra y muestreo:

Población (N), Vehículos pesados Volvo FM en la región Norte del Perú.

Muestra (n). 5 Vehículos pesados Volvo FM, de año de fabricación 2014.

Muestreo. Se determinó aquellos que tienen un alto consumo de combustible al utilizar el sistema de aire acondicionado.

#### 3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos:

TÉCNICA	USO	INSTRUMENTO
Revisión documentaria.	Se realizará la revisión de las teorías científicas en lo referente a transferencia de calor por conducción, convección y radiación, artículos científicos, así como de manuales de los fabricantes.	Evaluación documentaria.
Observación.	Se realizará las mediciones del análisis de los gases de escape del motor.	Guía de observación.

### **3.5. Procedimiento:**

La elaboración de la propuesta, se inicia con el cálculo del requerimiento de energía que requiere el sistema de aire acondicionado por compresión de gases, para lo cual en función a la carga térmica en el interior de la cabina del camión Volvo FM, se determina la potencia mecánica del compresor del sistema; el compresor es accionado por un turbina de gases que es accionado por los gases de escape que se vierten al medio ambiente; para el diseño de la turbina se analizaron las ecuaciones de transformación de energía calorífica en energía cinética y ésta en energía mecánica por medio de las ecuaciones de Euler.

### **3.6. Métodos de análisis de datos:**

Los datos serán analizados mediante la estadística inferencial, además se utilizan las ecuaciones diferenciales de transferencia de calor para dimensionar el mecanismo de generación de energía mecánica (turbina), en función a la velocidad de los gases de escape y a la masa de éstos. Los cálculos se realizan en función a los requerimientos de calor que necesita el evaporador del sistema de aire acondicionado por compresión de vapor.

### **3.7. Aspectos éticos:**

El actual proyecto se realizara manteniendo la confidencialidad de los antecedentes, datos y documentos con cual se realiza el estudio a fin de prevenir cualquier hecho o situación que pudiera suponer o llegar a ocasionar un conflicto entre de intereses.

## **IV.RESULTADOS.**

### **4.1 Describir el funcionamiento del sistema de aire acondicionado por compresión de vapor en cuanto a su consumo de combustible los vehículos Volvo FM.**

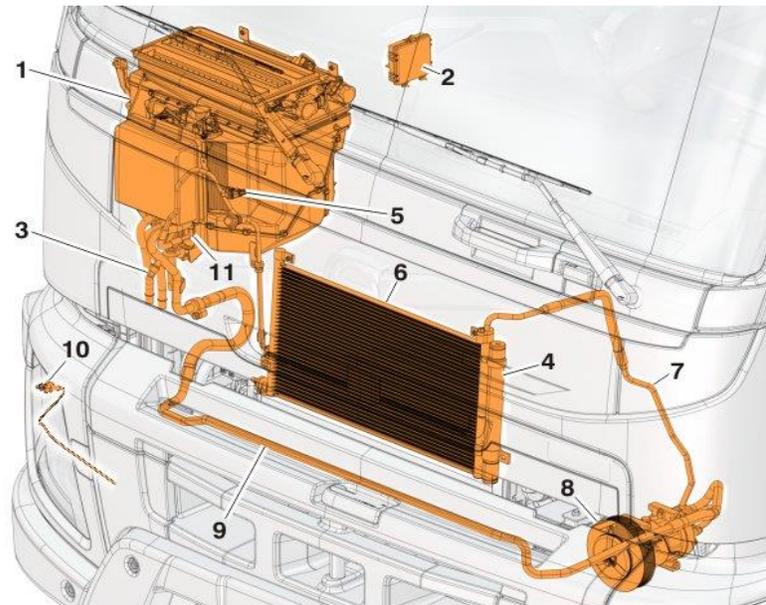
#### **Sistema de aire acondicionado por compresión de vapor:**

Los sistemas de aire acondicionado por compresión de vapor, son los que más se han utilizado en el sector automotriz, tanto para vehículo livianos como para vehículos pesados, y tiene el principio de funcionamiento en la compresión de un líquido refrigerante que al cambiar los parámetros de su estado termodinámico, la cesión y ganancia de calor al medio exterior, generan el efecto refrigerante dentro de los espacios en dónde se requiere tener temperaturas de confort para los conductores y/o pasajeros de los vehículos.

En los sistemas automotrices, los elementos que forman el sistema de aire acondicionado son los mismos que se utilizan para el sistema de refrigeración por compresión de vapor, siendo los elementos principales, el compresor de vapor, el condensador, la válvula de expansión y el evaporador.

En la figura 10, Se muestra los elementos principales del sistema de aire acondicionado por compresión de vapor, en el cual el compresor incrementa la presión del vapor el cual cede energía al medio exterior por medio del condensador, válvula de expansión reduce la presión del refrigerante, para luego absorber energía del medio exterior, que es finalmente el efecto refrigerante que se requiere en la cabina de las unidades vehiculares, y que estará en función a las cargas térmicas que se tengan en su interior a fin de lograr mantener la temperatura dentro de un rango de temperatura denominada de confort, el cual oscila entre los 18 y 22°C.

Figura 10. Elementos de aire acondicionado por compresión de vapor

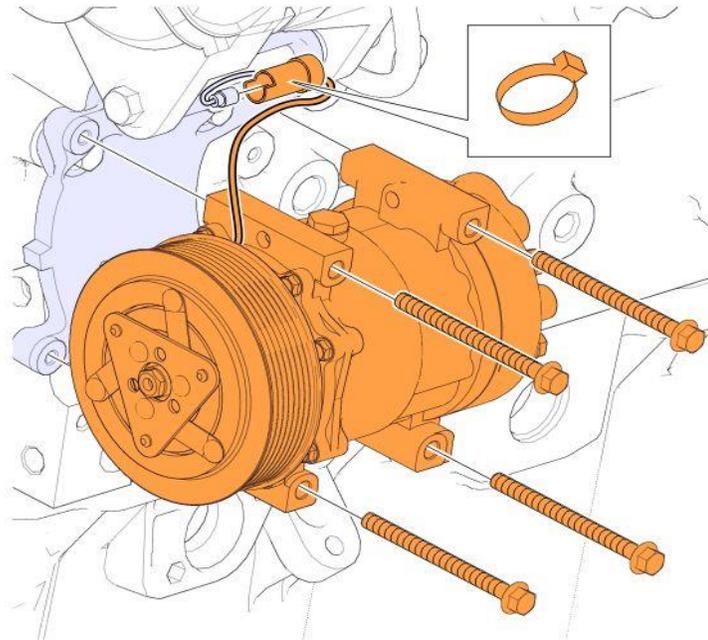


Fuente: Concesionario Volvo – Perú, 2019

### **Compresor del sistema:**

El compresor del sistema de aire acondicionado, es el encargado de incrementar la presión del vapor del refrigerante, con la finalidad que el incremento de presión también eleve el valor de la temperatura, de manera que el valor de la entalpía del refrigerante se incrementa. El compresor es accionado, mediante un acoplamiento magnético al momento de poner en marcha el sistema de aire acondicionado. El accionamiento del compresor es por medio de una correa dentada, el cual trasmite la energía mecánica desde la polea del cigüeñal del motor de combustión interna hacia la polea del compresor.

Figura 11. Compresor del sistema del aire acondicionado



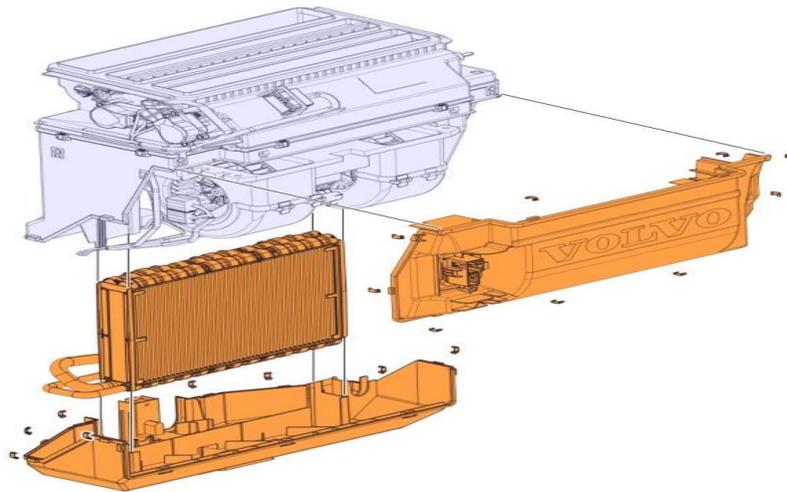
Fuente: Concesionario Volvo – Perú, 2019

### **Evaporador del sistema:**

El aire caliente se enfría si fluye a través de un evaporador frío, como resultado, la temperatura en el interior de la cabina de las unidades pesadas disminuyen. En cuanto a la humedad del aire, éste se condensa en el evaporador por la baja temperatura, como resultado de ello, la humedad disminuye.

En la figura 12, se muestra el evaporador del sistema, se consigue con ello una temperatura confort que es graduada entre los 17 y 22°C.

Figura 12. Evaporador del sistema de aire acondicionado

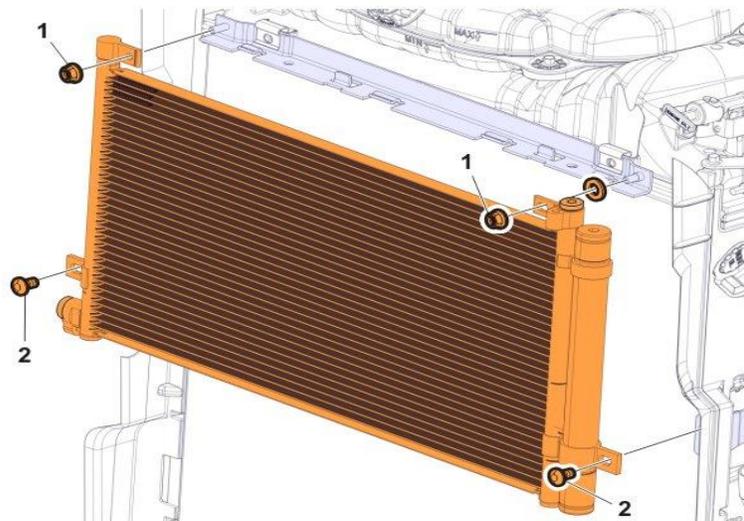


Fuente: Concesionario Volvo – Perú, 2019

### **Condensador del Sistema:**

Es un intercambiador de energía calorífica con el medio exterior, se ubica en la parte delantera de la unidad vehicular, por delante del radiador, su función es el cambio de estado termodinámico del líquido refrigerante, es decir desde un estado de vapor saturado hasta un estado de líquido saturado.

Figura 13. Condensador del sistema de aire acondicionado



Fuente: Concesionario Volvo – Perú, 2019

## Energía para el sistema de aire acondicionado

La energía que genera el motor de combustión interna, es la relación entre la potencia mecánica instantánea y el tiempo de funcionamiento. La potencia mecánica del motor de combustión interna está en función al torque mecánico que se produce en el eje y la velocidad de giro de éste, expresando en la ecuación:

$$P_m = T * w$$

Dónde:

P<sub>m</sub>: Potencia mecánica, en Watt.

T: Torque mecánico, en N-m.

W: Velocidad angular, en radianes/s

La potencia mecánica de los vehículos pesados, en éste caso de las unidades Volvo, tienen características de tener un alto torque y bajas rpm,

Los datos técnicos del vehículo de prueba para potencia máxima y torque máximo, son:

Tabla 2. Ficha técnica motor Volvo D13

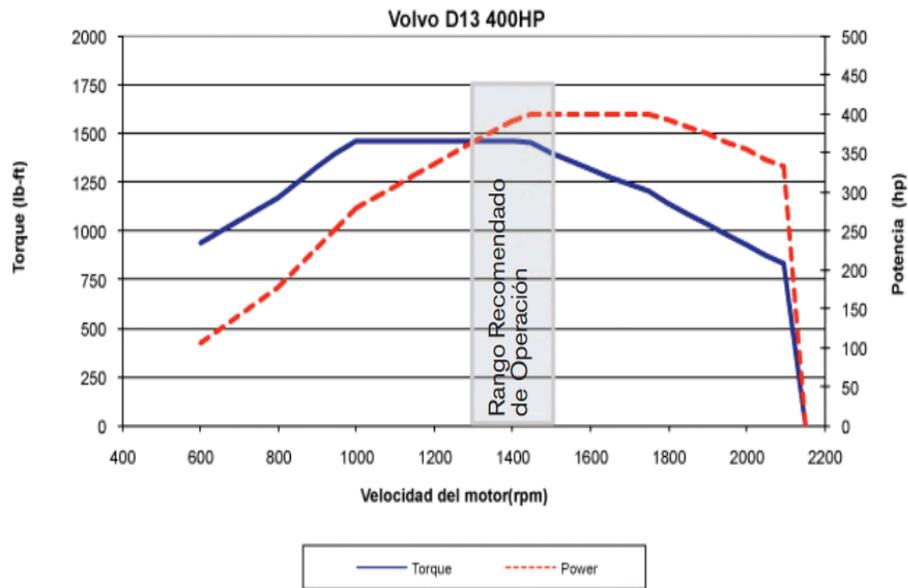
MOTOR VOLVO D13	
Potencia (HP)	Potencia: 400, HP
Torque ( lb-ft	1450 lb-ft
Cilindrada (cc)	12800
RPM	1100
Nº Cilindros	6

Fuente: Concesionario Volvo – Perú, 2016

Los datos técnicos del motor son para plena carga, es decir que el motor del vehículo de pruebas, entregará la máxima potencia de 400 HP a 1100 RPM, y entregará 1450 lb-ft (200.4 kg-m) a 1100 RPM.

Por lo tanto, a diferentes regímenes del motor, existirá un valor de potencia, de acuerdo a la curva característica del motor.

Figura 14. Curva característica del motor de vehículo de prueba potencia (HP) – rpm



Fuente: Concesionario Volvo – Perú

En cuanto se incrementa la velocidad del motor se incrementa la potencia hasta alcanzar el valor de 1100 RPM, hasta los 400 HP.

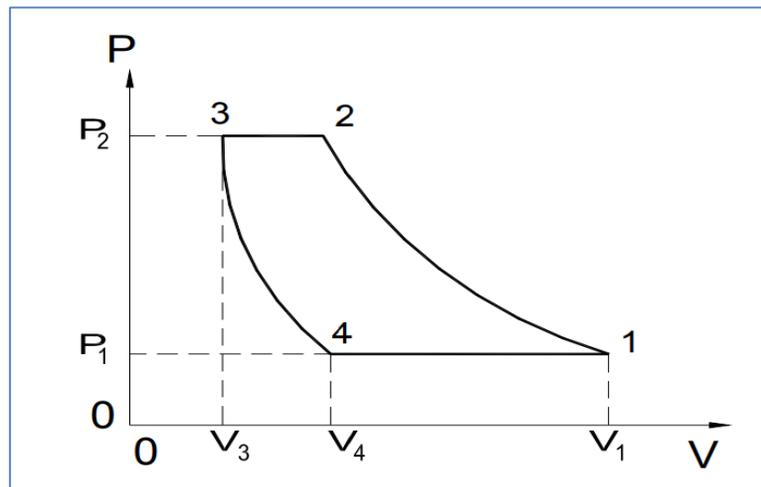
En el funcionamiento del motor del vehículo, éste tiene la función de suministrar energía mecánica hacia las ruedas para el desplazamiento, pero también entrega energía a los diferentes accesorios del vehículo, como son los elementos móviles, eje de levas, sistema de alimentación de combustible, bomba de agua, etc. Como también al compresor del sistema de aire acondicionado por compresión de vapor, si es que se requiere climatizar la cabina del camión Volvo.

El compresor del sistema, se activa mediante un acople magnético y una transmisión por correa dentada, acoge energía mecánica del cigüeñal, ésta energía lo emplea para oprimir el líquido refrigerante desde la presión atmosférica hasta la presión de compresión.

La presión en la salida del líquido refrigerante es de 60 PSI, es decir la relación de compresión del compresor es de  $60/14,7 = 4.08$

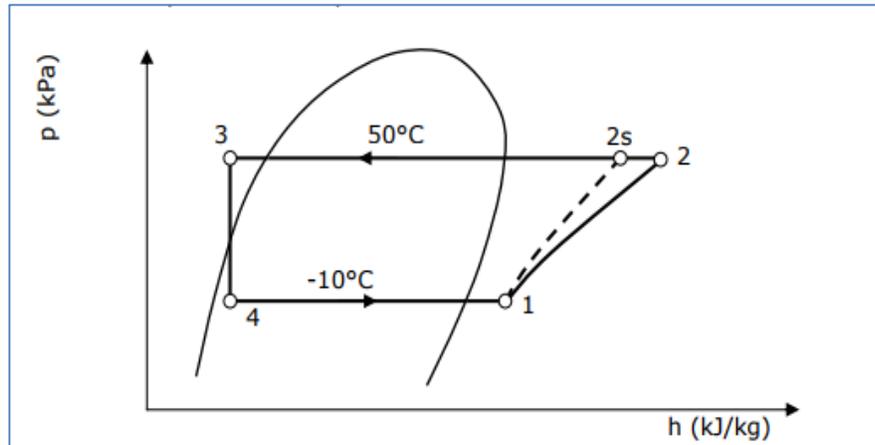
El análisis de los cambios de los estados termodinámicos dentro del compresor del vapor, desde los estados signados con los cambios 1-2 y 3-4 son procesos termodinámicos, en el sentido de que en ellos evoluciona una masa fija de gas. En cambio 2-3 y 4-1 son partes del ciclo en que varía la masa encerrada. Los puntos del segmento 2-3 no representan el estado del gas pues éste, si bien evacúa a presión  $p_2$ , lo hace con un volumen específico  $v_2$ .

Figura 15. Ciclos termodinámicos en el compresor de vapor



Fuente: Fayres, 2014.

Figura 16. Diagrama P-h (R-134a) del problema con subenfriamiento y recalentamiento



Fuente: Fayres, 2014.

Para el caso del sistema automotriz: Los valores de las entalpías de los puntos que pueden obtenerse son:  $h_1 = 267 \text{ kJ/kg}$ ,  $h_{2s} = 275 \text{ kJ/kg}$ ,  $h_3 = h_4 = 126 \text{ kJ/kg}$ , la energía que requiere el compresor está dado por la diferencia entre  $h_{2s} - h_1 = 8 \text{ kJ/kg}$ , que es el trabajo que requiere el compresor.

La eficiencia mecánica es de 0.85, por lo cual la energía mecánica que requiere el compresor es de:

$$E_m = \frac{8 \text{ kJ/kg}}{0.85}$$

$$E_m = 9.41 \text{ kJ/kg}$$

Para determinar la potencia mecánica, se divide entre el flujo másico del refrigerante que es de  $0.5 \text{ kg/s}$ .

Entonces la potencia mecánica será:

$$P_m = \frac{E_m}{Q}$$

Dónde.

$P_m$ : Potencia mecánica en kW.

$E_m$ : Energía mecánica en kJ/kg.

$Q$ : Flujo másico Kg/s

$$P_m = \frac{91.41 \text{ kJ/kg}}{0.5 \text{ kg/s}}$$

$$P_m = 18.82 \text{ kW}$$

Se reemplaza los valores obteniendo una potencia mecánica de 18.82 kW, o su equivalente a 25.2 HP.

El compresor es accionado por el compresor por medio de una faja, que tiene una relación de transmisión de 2 a 1.5, es decir que la velocidad del compresor cuando el motor gira a una velocidad crucero de 1100 rpm, será de 733.33 rpm.

El torque mecánico que requiere el compresor a éstas condiciones es:

$$T = \frac{60P_m}{2 * \pi * RPM}$$

Dónde:

T: Torque mecánico, en N-m.

Pm: Potencia mecánica en Watt.

Reemplazando valores se tiene:

$$T = \frac{60 * 18820}{2 * \pi * 733.33}$$

$$T = 245.2 \text{ N - m}$$

El compresor cuando gira a velocidad crucero el motor, requiere 245.2 N-m de torque, equivalente a 25 kg-m.

El motor girando a velocidad de 1100 RPM, entrega el torque máximo de 200.4 kg-m.

Por lo tanto, cuando trabaja el aire acondicionado para obtener el torque mecánico del cigüeñal del motor, éste reduce el número de rpm, y si se requiere mantener los rpm del motor, entonces se produce el incremento del consumo de combustible.

El motor para generar 25 kg-m, de torque adicional para accionar el compresor, consumirá combustible, equivalente a  $25/200.4 = 0.12$ , es decir 12% de energía para accionar el sistema de aire acondicionado por compresión de vapor.

### Consumo de combustible sin aire acondicionado:

Para la determinación de la cantidad de combustible que consume un motor a las condiciones normales de operación, es decir que no presente agotamiento en los componentes móviles y fijos del cilindro del motor, es necesario calcular el caudal de inyección.

$$m = \frac{P \cdot b \cdot 33,33}{n \cdot z} \text{ (mg/carrera)}$$

Dónde:

P: Potencia del motor en kW. (400 HP = 298.4 kW)

b: Consumo específico de combustible del motor en g/kW-h

n: RPM del motor.

z: Cantidad de cilindros del motor

El volumen de combustible o el caudal de inyección  $Q_h$  en  $mm^3/carrera$  o bien  $mm^3/carrera$ , y se expresa:

$$Q_h = \frac{P \cdot b \cdot 1000}{30 \cdot n \cdot z \cdot \rho}$$

$Q_h$ : Volumen de inyección  $mm^3/carrera$ .

b: Consumo específico de combustible del motor en 212 g/kW-h

n: RPM del motor: 1100

z: Cantidad de cilindros del motor: 6

$\rho$ : Densidad del combustible en  $g/cm^3$ : 0.85  $g/cm^3$

$$Q_h = \frac{298.4 \cdot 212 \cdot 1000}{30 \cdot 1100 \cdot 6 \cdot 0.85}$$

$$Q_h = 375.8 \text{ mm}^3/carrera$$

Reemplazando valores, el volumen de inyección será de  $375.8mm^3/carrera$ , en cada inyector de cada cilindro del motor D13.

### Consumo de combustible con aire acondicionado:

$$m = \frac{P \cdot b \cdot 33,33}{n \cdot z} \text{ (mg/carrera)}$$

Dónde:

P: Potencia del motor en kW. (298.4kW)

b: Consumo específico de combustible del motor en g/kW-h

n: RPM del motor.

z: Cantidad de cilindros del motor.

El volumen de combustible o el caudal de inyección  $Q_h$  en  $mm^3/carrera$  o bien  $mm^3/carrera$ , y se expresa:

$$Q_h = \frac{P \cdot b \cdot 1000}{30 \cdot n \cdot z \cdot \rho}$$

$Q_h$ : Volumen de inyección  $mm^3/carrera$ .

b: Consumo específico de combustible del motor en 237.4 g/kW-h (12% superior con respecto al no utilizarse en aire acondicionado)

n: RPM del motor: 1100

z: Cantidad de cilindros del motor: 6

$\rho$ : Densidad del combustible en  $g/cm^3$ : 0.85  $g/cm^3$

$$Q_h = \frac{298.4 \cdot 237.4 \cdot 1000}{30 \cdot 1100 \cdot 6 \cdot 0.85}$$

$$Q_h = 420.9 \text{ mm}^3/carrera$$

En resumen, se tiene la comparación entre el incremento de la inyección de combustible en cada cilindro al activarse el aire acondicionado.

Condición	Volumen de inyección (mm3/Carrera)
Sin aire acondicionado	375.08
Activado aire acondicionado	420.9

El incremento del consumo de combustible a velocidad de giro de 1100 rpm del motor D13, es de:

$$X = \frac{420.9 - 375.08}{375.08} * 100 = 12.2\%$$



En la figura 17, se muestra las dimensiones del vehículo Volvo FM, en el cual la altura total es de 3365 mm, el ancho de la cabina es de 2467mm, la longitud de 2225mm.

**b) Número de personas que ocupan la cabina del vehículo.**

Según la tarjeta de propiedad, la unidad vehicular es de un pasajero y dos asientos equipados con sistema ergonómico y de seguridad, así como también dispone de una cama litera para el descanso de los conductores de la unidad. Es decir el número de personas que ocupan la cabina son dos.

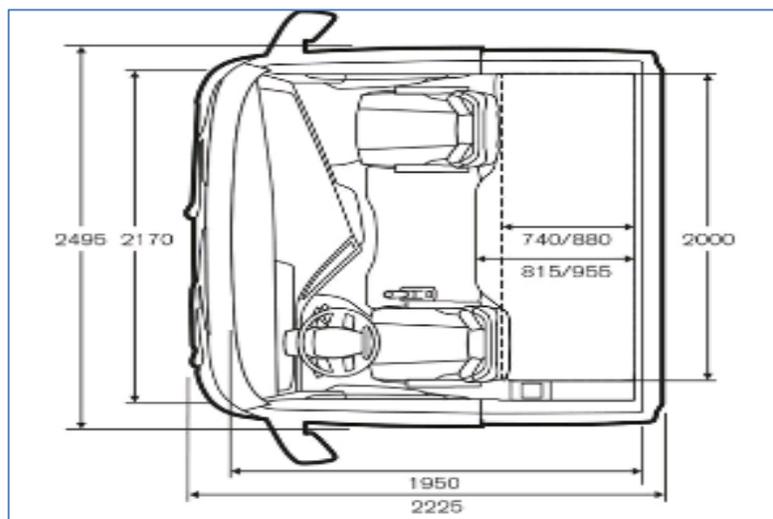
**c) Accesorios eléctricos en el interior de la cabina**

En el interior de la cabina, tiene equipos de radio comunicación, pantalla de video, cargador de celular, parlantes, 2 luminarias de 30 watt.

**d) Dimensiones y material de los asientos en la cabina.**

Las dimensiones y ubicación de los asientos en la cabina, se muestran en la figura 18, el material de los asientos es de estructura metálica, con revestimiento de fibra de vidrio y tela poliéster.

Figura 18. Asientos de cabina FM.



Fuente: Concesionario Volvo – Perú

**e) Flujo de calor por pisos, ventanas, techo y puertas de la cabina.**

Desde el exterior de la cabina, el flujo de calor está en función a la forma como se transfiere éste al interior de la cabina, siendo la forma de transmisión por convección la de mayor efecto debido al flujo de aire que sucede en la capa límite exterior de la carrocería de la cabina del vehículo Volvo FM.

En función al coeficiente de transferencia de calor, al área de transferencia de calor y a la diferencia de temperatura, se determina el flujo de calor desde el exterior al interior de la cabina del vehículo FM.

**f) Temperatura de confort en el interior de la cabina.**

La temperatura de confort en el interior de la cabina, debe de garantizar que la persona no presente efectos de deshidratación, estrés, cansancio, debido a las horas que está expuesto al viaje. Un valor de temperatura de un ambiente confortable para realizar viajes con más de seis horas de duración es de 19°C.

**g) Temperatura del medio exterior de la cabina.**

La temperatura del medio exterior es variable, el valor de temperatura que se requiere para el análisis del flujo de calor, es la temperatura máxima que ocurre dentro del día. Este vehículo opera en la costa norte, entre las cuales, la ciudad de Piura, es la que presenta mayores de temperatura, tal como se muestra en el reporte de SENAMHI, de los años 2018 y 2019.

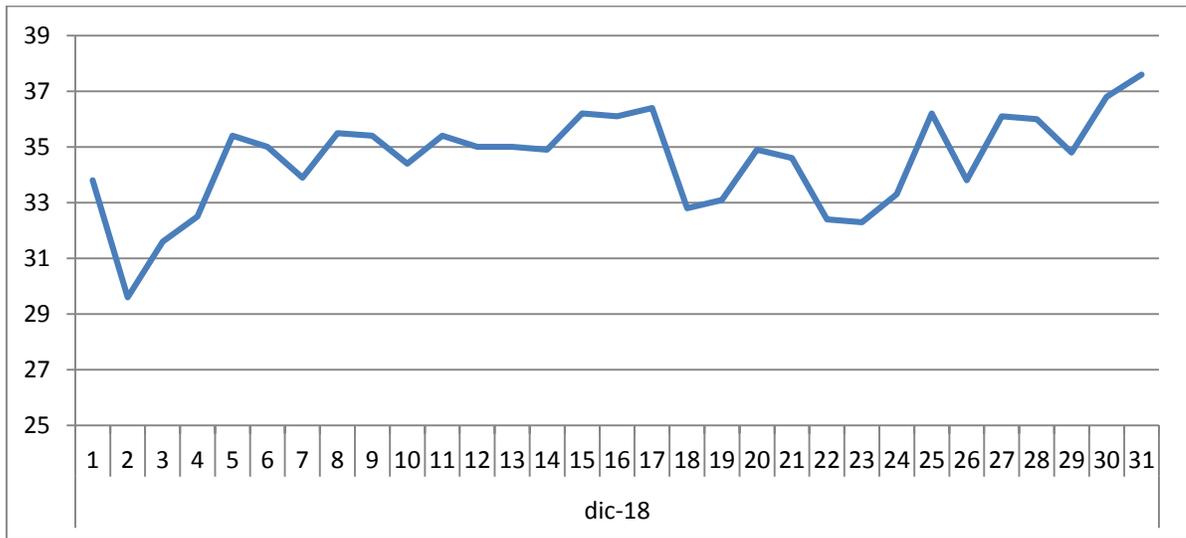
Los datos de temperatura corresponden al día de mayor temperatura de los años 2018 y 2019, fueron en el mes de diciembre, registrados en la estación de Mallares, Distrito de Marcavelica, Provincia de Sullana, Departamento de Piura, con latitud: 4°51'20.67", Longitud: 80°44'8", a una altura de 44 msnm. En la tabla 3 se muestra el registro histórico de temperaturas.

Tabla 3. Registros históricos de temperaturas máximas. Sullana- Piura.

Mes /Año	Día	Temperatura máxima °C	Mes /Año	Día	Temperatura máxima °C
dic-18	1	33.8	dic-19	1	34.4
	2	29.6		2	35.4
	3	31.6		3	35.3
	4	32.5		4	34.6
	5	35.4		5	36.2
	6	35		6	35
	7	33.9		7	36.1
	8	35.5		8	35
	9	35.4		9	31.2
	10	34.4		10	31.9
	11	35.4		11	34.2
	12	35		12	33.7
	13	35		13	36.6
	14	34.9		14	33.5
	15	36.2		15	35.8
	16	36.1		16	35.8
	17	36.4		17	35.8
	18	32.8		18	35.8
	19	33.1		19	34.8
	20	34.9		20	36.1
	21	34.6		21	36.6
	22	32.4		22	36.8
	23	32.3		23	36.9
	24	33.3		24	37.2
	25	36.2		25	36
	26	33.8		26	37
	27	36.1		27	36.8
	28	36		28	36.5
	29	34.8		29	32.4
	30	36.8		30	33.8
	31	37.6		31	36.5

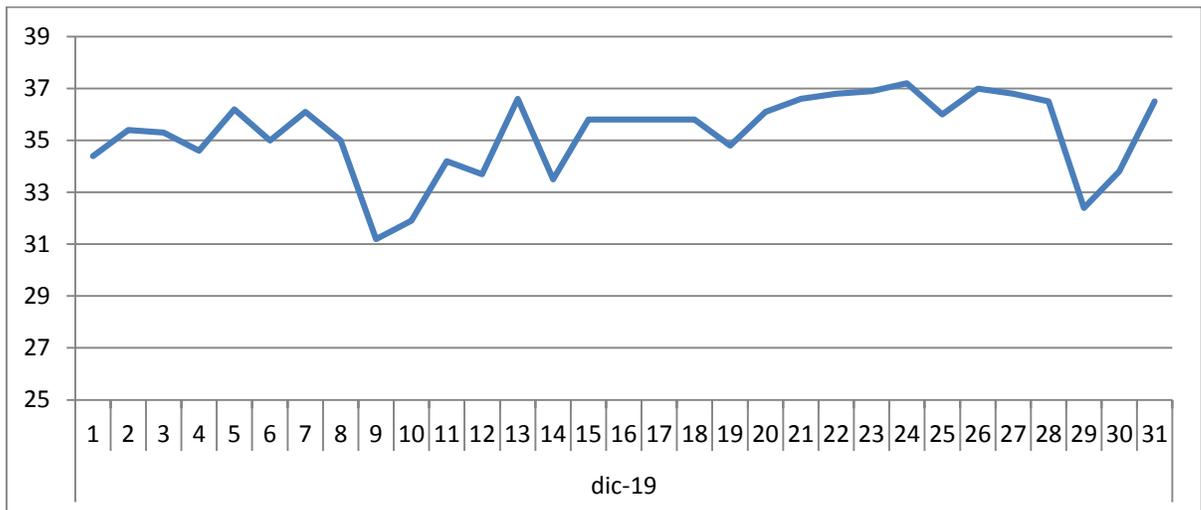
Fuente: SENAMHI, 2020.

Figura 19. Evolución de temperatura máxima, diciembre 2018



Fuente: SENAMHI, 2020.

Figura 20. Evolución de temperatura máxima, diciembre 2019



Fuente: SENAMHI, 2020.

En el año 2018, el día que alcanzó el mayor valor de temperatura fue el 31 de diciembre con un valor de 37.6°C, mientras que en el año 2019, el mes que alcanzó mayor valor de temperatura fue el 24 de diciembre con 37.2°C. Para efectos del cálculo del flujo de calor desde el exterior al interior, se evalúa con el mayor valor, es decir con 37.6°C.

En función a todas la cargas térmicas analizadas, se realiza la cuantificación del valor de la cantidad de calor que se requiere extraer de la cabina del camión Volvo FM, con el sistema de aire acondicionado, y que en éste proyecto de investigación se plantea que el compresor del sistema, será activado con un turbo ubicado en el sistema de escape del vehículo. En la tabla 4, se muestran los valores de las cargas térmicas.

Tabla 4. Cargas térmicas en cabina Volvo FM.

Calor que se extrae:	Unidades	Área	Coefficiente total de transferencia de calor (watts/ hr. m2. $\Delta t$ )	$\Delta t$ . Variación de temperatura (°C)	Calor Total: Watt
Piso de la cabina	m2	4.3	2.56	18.6	204.7
Techo de cabina con revestimiento de fibra de vidrio	m2	3.7	3.45	18.6	237.4
Ventana de cristales laminados de 2.00mm estructura metálica	m2	2.8	6.45	18.6	335.9
Puerta metálicas, plancha 1.2mm	m2	1.6	3.43	18.6	102.1
Sub Total S1					880.2
Calor interno		Cantidad			
Ocupantes	Unidades	2	5.89	18.6	438.2
Sub Total S2					438.2
Accesorios eléctricos		Unidades	Cantidad		
Radio 10 Watt	Kilowatt	1	1.12	18.6	20.8
Pantalla video 35 Watt	Kilowatt	1	1.34	18.6	24.9
Luminarias 30 Watt	Kilowatt	2	1.56	18.6	58.0
Parlante 250 Watt	Kilowatt	2	1.87	18.6	69.6
Sub Total S3					152.5
Asientos		Unidades	Área		
2 Asiento estructura metálica, con revestimiento de fibra de vidrio y tela poliéster.	m2	6.7	2.34	18.6	583.2
Sub Total S4					583.2
Total (Watt)					2054.1

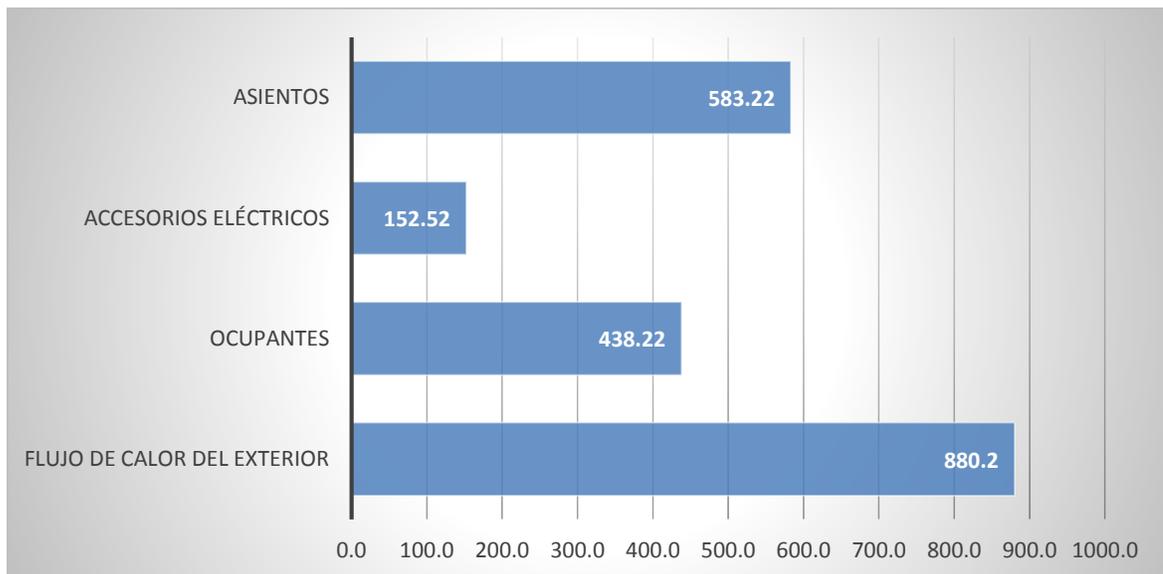
Fuente: Autoría Propia.

Tabla 5. Cargas térmicas en cabina Volvo FM.

Carga térmica	Calor (Watt)	% de Calor
Flujo de calor del exterior	880.2	42.85
Ocupantes	438.22	21.33
Accesorios eléctricos	152.52	7.43
Asientos	583.22	28.39
Total (Watt)	2054.13	100.00

Fuente: Autoría Propia.

Figura 21. Cargas térmicas (Watt), en cabina Volvo FM.

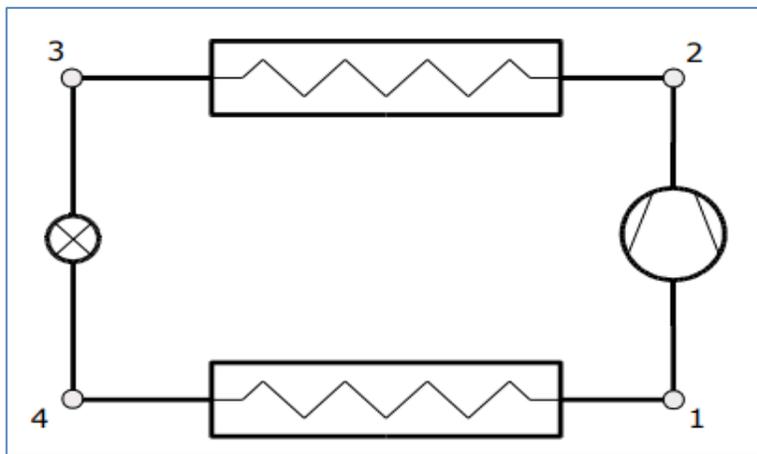


Fuente: Autoría Propia.

### Parámetros de funcionamiento del sistema de aire acondicionado por compresión de vapor.

Los parámetros de funcionamiento del sistema de aire acondicionado por compresión de vapor, permite determinar en función a la carga térmica que se extrae de la cabina del camión volvo FM, la potencia mecánica que necesita el compresor del sistema y que será activado por un turbo ubicado a la salida de los gases de escape del vehículo. Se determinó que la carga térmica es de 2054.13 Watt, que es el calor que absorbe el evaporador del sistema de aire acondicionado por compresión de vapor.

Figura 22. Ciclo de aire acondicionado por compresión de vapor.



Fuente: Celaya, 2017.

En la figura 22, se tiene el diagrama del ciclo de aire acondicionado por compresión de vapor, en el cuál:

Proceso 1 – 2. Compresión de vapor, está dada por la potencia que requiere el sistema, en éste caso es la potencia mecánica del turbo que es accionado por lo gases de escape del vehículo Volvo FM.

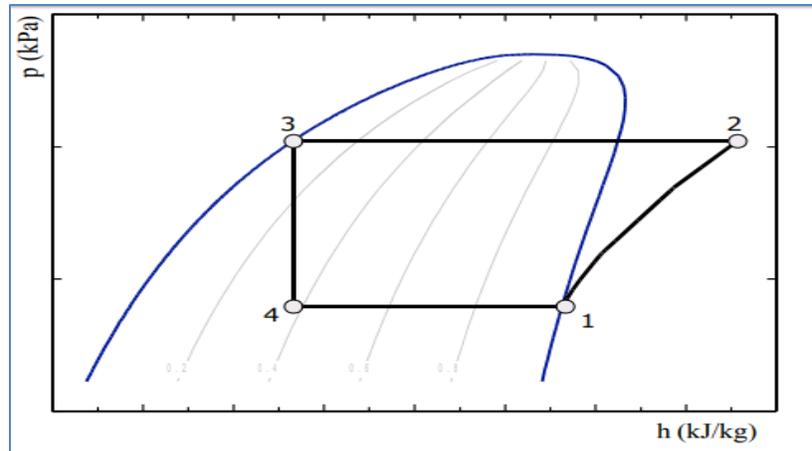
Proceso 2-3. Condensación.

Proceso 3-4. Expansión.

Proceso 4-1. Evaporación, es la cesión de calor desde el interior de la cabina hacia el evaporador, para alcanzar la temperatura de confort, que es de 19°C.

En la figura 23, se muestra en el diagrama Presión – Entalpía, los estados termodinámicos del líquido refrigerante en cada dispositivo del sistema.

Figura 23. Diagrama Presión – Entalpía.



Fuente: Celaya, 2017.

Del diagrama, se determina los valores de entalpía de cada uno de los estados termodinámicos del líquido refrigerante R134a, la temperatura de evaporación es de 19°C (Cabina del camión), y la temperatura en el ambiente del condensador es de 37.6°C.

Con los valores de temperatura del líquido refrigerante, se determina la presión y el valor de entalpía.

Punto 1 vapor saturado a la presión de evaporación: de las tablas termodinámicas del líquido refrigerante R134a, a 19°C, el valor de la presión es de 555.1 KPa. Entalpía:  $h_1 = 260 \text{ KJ/kg}$

Punto 3 líquido saturado a la presión de condensación: de las tablas del líquido refrigerante R134a, a 37.6°C, el valor de la presión es de 963 KPa. Entalpía:  $h_3 = h_4 = 79.52 \text{ KJ/Kg}$ .

Para obtener la entalpía del punto 2 debemos usar las tablas de vapor sobrecalentado del R-134a, y localizar el punto que se encuentra a la presión de condensación y con una entropía igual a la del punto 1,  $s_2 = s_1 = 0.92 \text{ kJ/Kg}$ . Ubicando dicho valor de entropía en vapor saturado, se obtiene el valor de la temperatura 2 y la entalpía 2, es decir  $T_2 = 60.1^\circ\text{C}$ ,  $h_2 = 293.68 \text{ KJ/Kg}$

### **Cálculo del caudal del refrigerante.**

Realizando un balance de energía en el evaporador, se tiene que la expresión que determina la potencia frigorífica o efecto refrigerante es la diferencia de entalpías entre la salida e ingreso del evaporador multiplicado por el flujo másico, es decir:

$$Q_f = m(h_1 - h_4)$$
$$m = \frac{Q_f}{(h_1 - h_4)}$$
$$m = \frac{2.054 \text{ KW}}{(260 - 79.52)} = 0.011 \text{ Kg/s}$$

### **Cálculo de la potencia del compresor.**

La potencia que requiere el compresor para que incremente la energía la refrigerante desde el estado termodinámico 1, que es vapor saturado hasta el estado 4 que es vapor sobre saturado, se determina con la expresión, teniendo en cuenta la eficiencia mecánica del compresor, que es de 0.85

$$W = \frac{m(h_2 - h_1)}{n}$$
$$W = \frac{0.011(293.68 - 260)}{0.85} = 5.09 \text{ KW}$$

El valor de 5.09 KW, es la potencia que requiere el compresor del sistema de aire acondicionado para extraer el calor de la cabina del camión Volvo FM, el compresor es accionado por un turbo en el sistema de escape del motor del vehículo.

**4.3. Diseñar el turbo que accionara al sistema de aire acondicionado, en función a la oferta de energía de los gases de escape, así como también de la demanda de energía del sistema de aire acondicionado.**

**Características de los gases de la combustión.**

Según el reporte de opacidad de los gases de escape de los 5 vehículos de prueba Volvo FM, de año de fabricación 2014, realizado en el Centro de Inspección Técnico Vehicular, se muestra en la tabla 6.

Tabla 6. Reporte de opacidad de gases de escape.

Ítem	Unidad de medida	Reporte de opacidad de gases de escape				
		Vehículo1	Vehículo2	Vehículo3	Vehículo4	Vehículo5
Kilometraje de la unidad	Km	114323	187878	224343	234232	287342
Velocidad de giro	RPM	1560	1589	1540	1610	1530
Temperatura del aceite	°C	84	86	83	86	88
Opacidad	m(-1)	0.28	0.31	0.29	0.33	0.38
CO	g/KW-h	1.03	1.12	1.04	1.15	1.21
HC	g/KW-h	0.32	0.28	0.31	0.15	0.21
Particulados	g/KW-h	0.04	0.03	0.05	0.05	0.04

Fuente: CITV – Chiclayo.

Los valores de opacidad de la tabla 6 están dentro de lo que estipula el DECRETO SUPREMO N° 047-2001-MTC, en el cual el límite máximo permisible es de 0.60 para vehículo de éstas características.

**Cantidad de gases de la combustión.**

La determinación de la cantidad de gases de la combustión, está en función a la cantidad de combustible que se consumió en el motor, el motor del vehículo es de cilindrada 12800 cm<sup>3</sup> (12.8 Litros); la cantidad de aire que ingresa a los cilindros del motor será igual a la cilindrada siempre y cuando el llenado del aire se produzca al 100%, realmente la cantidad de aire que ingresa está en función a un parámetro

denominado grado de admisión, que es el porcentaje de aire que llena el volumen de los cilindros; es decir:

$$V_r = GA * V_c$$

Dónde:

$V_r$ : Volumen de aire admitido, en  $cm^3$ .

$GA$ : Grado de admisión, según dato del motor es 0.92

$V_c$ : Volumen de los cilindros del motor, en  $cm^3$ .

Reemplazando se tiene:

$$V_r = 0.92 * 12800 = 11776 \text{ cm}^3$$

El volumen de aire que ingresa al motor en un ciclo de trabajo es de 11776  $cm^3$ . El número de moles de aire se determina a partir de la ecuación:

$$m_a = V_r * \rho$$

Dónde:

$V_r$ : Volumen del aire admitido, en  $cm^3$

$m_a$ : Masa de aire, en Kg

$\rho$ : Densidad del aire.  $1.2 * 10^{-6} \text{ Kg/cm}^3$

Reemplazando se tiene que la masa de aire es de  $14.13 * 10^{-3} \text{ Kg}$ , luego la cantidad de moles de aire, se divide la masa del aire entre la masa molar del aire., es decir:

$$n = \frac{m_a}{M}$$

Dónde:

$n$ : Número de moles de aire admitido en el motor.

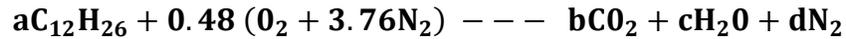
$m_a$ : Masa de aire admitido, en Kg

$M$ : Masa molar del aire. 28.97 Kg/Kmol.

Reemplazando, se tiene:

$$n = \frac{14.13 * 10^{-3} \text{ Kg}}{28.97 \text{ Kg/Kmol}} = 0.48 \text{ Mol de aire.}$$

La ecuación estequiométrica de la combustión del motor diésel, relaciona el combustible más el aire de la combustión con las características de los gases de la combustión, es decir que cantidad de combustible se requiere para quemar los 0.48 moles de aire que ingresan al motor en cada ciclo de trabajo.



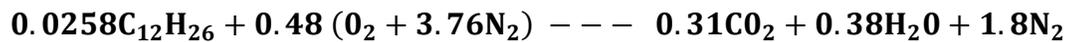
Realizando el balance de la ecuación de la combustión:

$$1.80 = d$$

$$0.96 = 2b+c$$

$$12a = b$$

$$13a = c$$



El combustible diésel su composición es un hidrocarburo de 12 carbonos y 26 Hidrógenos,  $C_{12}H_{26}$ , tiene una masa molecular de 170.34 Kg/Kmol.

Luego, la masa de combustible que se utiliza en la combustión para cada ciclo del motor es de:

$$mc = nc * Mc$$

Dónde:

mc: Masa de combustible en Kg

nc: Número de moles del combustible. 0.0258 Moles.

Mc. Masa molar del combustible. 170.34 Kg/Kmol

Reemplazando se tiene:

$$mc = 0.0258 * 170.34 = 4.40 * 10^{-3}Kg$$

Del mismo modo se hace el análisis de la masa de cada uno de los gases de la combustión, se tiene para el caso del dióxido de carbono, tiene 0.31 Moles, y su masa molar es de 44.01 Kg/Kmol, por lo tanto la masa de CO<sub>2</sub> es  $0.31 \times 44.01 = 13.64 * 10^{-3} Kg$ ; de igual forma para el vapor de agua, el cual tiene 0.38 Moles, masa molar de 18.02 Kg/Kmol, se tiene una masa del vapor de agua de  $0.38 \times 18.02 = 6.84 * 10^{-3} Kg$ ; así como también la masa del nitrógeno se determina por el número de moles de nitrógeno que es de 1.8 por su masa molar que es de 28.01 Kg/Kmol, obteniendo  $28.01 \times 1.8 = 50.41 * 10^{-3} Kg$  de Nitrógeno.

En la tabla 7, se tiene los resultados del análisis de la combustión para la masa de combustible y masa de los gases de la combustión en un ciclo de trabajo del motor, es decir para 2 vueltas del cigüeñal.

Tabla 7. Masa de combustible y gases de escape por ciclo de trabajo del motor

N°	Sustancia	Masa ( $10^{-3} Kg$ )
1	Combustible diésel	4.4
2	Dióxido de carbono	13.64
3	Vapor de agua	6.84
4	Nitrógeno	50.41

Fuente: Cengel, 2015

Para el funcionamiento del vehículo Volvo FM a diferentes regímenes de velocidad, la masa se obtiene multiplicando la masa de cada tipo de gas por el número de rpm dividido entre dos, debido a que las cantidades de masa es para un ciclo del motor (2 vueltas del motor). En la tabla 8, se tiene la masa de cada gas de la combustión a diferentes RPM de giro del motor.

Tabla 8. Masa de combustible y gases de la combustión a diferentes velocidades

RPM	Masa de combustible (Kg)	Masa de gases de la combustión (Kg)		
		CO2	H2O	N2
800	0.12	0.40	0.20	1.47
850	0.13	0.42	0.21	1.56
900	0.13	0.45	0.22	1.66
950	0.14	0.47	0.24	1.75
1000	0.15	0.50	0.25	1.84
1050	0.16	0.52	0.26	1.93
1100	0.16	0.55	0.27	2.02
1150	0.17	0.57	0.29	2.12
1200	0.18	0.60	0.30	2.21
1250	0.19	0.62	0.31	2.30
1300	0.19	0.65	0.32	2.39
1350	0.20	0.67	0.34	2.48
1400	0.21	0.70	0.35	2.58
1450	0.22	0.72	0.36	2.67
1500	0.22	0.75	0.37	2.76
1550	0.23	0.77	0.39	2.85
1600	0.24	0.80	0.40	2.94
1650	0.25	0.82	0.41	3.04
1700	0.25	0.85	0.42	3.13
1750	0.26	0.87	0.44	3.22
1800	0.27	0.90	0.45	3.31

Fuente: Cengel, 2015

### **Diseño del turbo.**

El diseño de la turbina de gas que es el constituyente del turbo del sistema, el cual entrega la energía mecánica al líquido refrigerante del sistema de refrigeración por compresión de vapor, con el análisis realizado, requiere de una potencia mecánica de 5.09 KW. La temperatura en promedio a la salida de los gases de la combustión es de 630°C. La relación de compresión que se requiere es de  $963/555.1 = 1.73$ , valor calculado entre las presiones que requiere el sistema de compresión de vapor por compresión para el sistema de aire acondicionado entre la presión del condensador y evaporador.

El turbo realiza el ciclo de trabajo Joule Bryton, en el cual la eficiencia del ciclo está dado por:

$$e = \frac{W}{Q}$$

Dónde:

e: Eficiencia.

W: Trabajo útil.

Q: Calor aportado.

### **Cálculo del flujo másico**

La potencia mecánica a la salida del eje de la turbina es de 5.07 Kw, en función a ello se determinó los parámetros de funcionamiento.

$$\frac{W}{n} = Q = C_p (T_3 - T_2)$$

Dónde:

W: Trabajo útil.

n: Eficiencia de la turbina.

Q: Calor aportado, en J

Cp: Calor específico a presión constante. 1004 J/Kg-K

T3: Temperatura de los gases de escape (903 K)

T1: Temperatura ambiente (290 K)

P1: 101.3 KPa

P2: 16.2 MPa

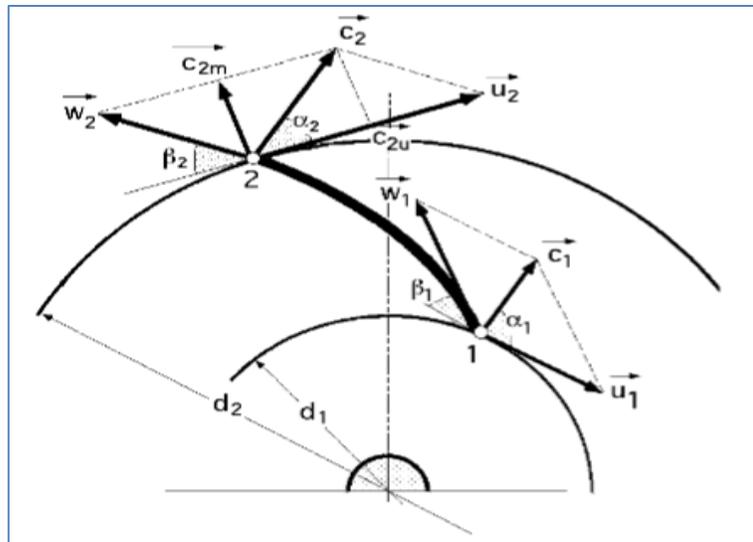
Reemplazando, se tiene el valor del calor aportado

$$\dot{Q} = 1004 (903 - 290) = 615642 \text{ J/Kg}$$

$$W = 5000 \text{ Watt} * 0.25 = 1250 = \dot{Q} = m\dot{Q}$$

Despejando se obtiene el flujo másico de gases de escape que se requieren para generar 5 KW de potencia mecánica de 0.21 Kg/s. La entalpía de los gases de escape es de 53326 KJ/Kg para la condición de 630°C (903 K). En la figura 24, se muestra las velocidades en el punto 1 y 2 que son el ingreso y salida del fluido en el álabe de la turbina de gas.

Figura 24. Velocidades en álabe de turbina



Fuente: Mataix, 2017.

La velocidad lineal del rodete se determina por la expresión:

$$U_e = \sqrt{\frac{2 * h_e}{\varphi}}$$

Dónde:

$U_e$ : Velocidad tangencial del rodete de la turbina, en m/s.

$h_e$ : Entalpía de los gases de escape 53326 KJ/Kg.

$\varphi$ : el coeficiente de presión 1,01, turbina de reacción.

Reemplazando valores:

$$U_e = \sqrt{\frac{2 * 53326}{1.01}} = 324.5 \text{ m/s}$$

La relación entre la velocidad tangencial y el número de revoluciones de la turbina, determina el diámetro exterior de la turbina, es decir:

$$d_2 = \frac{U_2 * 60}{\pi * \text{rpm}}$$

Dónde:

$d_2$ : Diámetro exterior de la turbina, en m

$U_2$ : Velocidad tangencial a la salida, en m/s.

Rpm: Velocidad de giro de la turbina. Turbina rápida 60000 rpm

Reemplazando:

$$d_2 = \frac{324.5 * 60}{\pi * 60000} = 0.103 \text{ m} = 103 \text{ mm}$$

Se diseña de  $d_2 = 100\text{mm}$ .

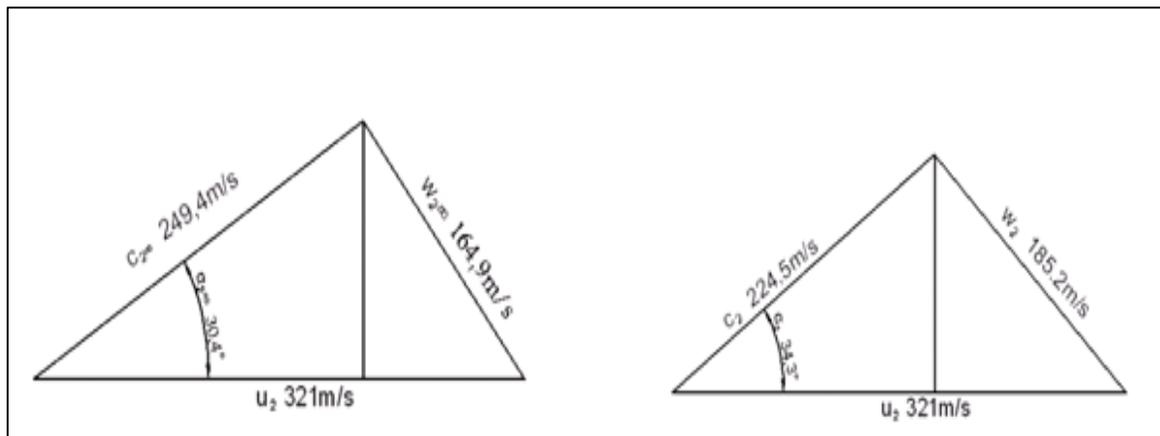
Por lo cual el diámetro  $d_1 = d_2/2 = 100 / 2 = 50\text{mm}$

La velocidad periférica al ingreso del álabe 1, es:

$$U_1 = \frac{d_1}{d_2} * U_2 = \frac{50}{100} * 324.5 = 162.25 \text{ m/s}$$

En función a las velocidades periféricas, y con la selección de los ángulos del álabe al ingreso y salida, se tiene en las figura 25, el triángulo de velocidades, el ángulo de salida de  $30.4^\circ$  y el ángulo de ingreso de  $34.3^\circ$

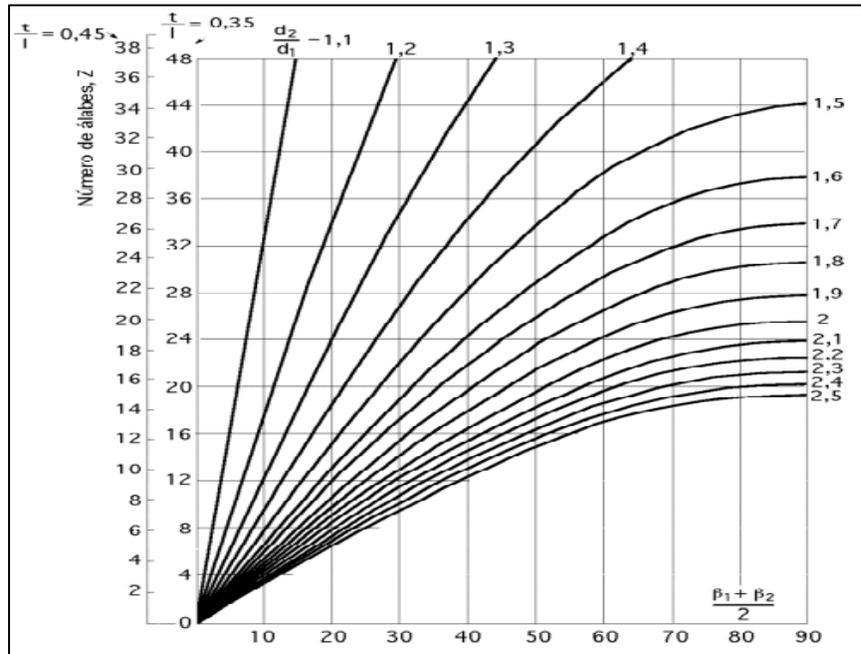
Figura 25. Triángulo de velocidades para salida e ingreso de álabe de turbina de gas



Fuente: Mataix, 2017.

El número de álabes de la turbina se determina de manera gráfica, en el cual con los valores del ángulo promedio ( $\beta_1$  y  $\beta_2$ ) y la relación entre los diámetros de ingreso y salida ( $d_1$  y  $d_2$ ), obtenido 15 álabes.

Figura 26. Gráfico para determinar número de álabes de turbina de gas



Fuente: Mataix, 2017.

### Cálculo de las RPM de giro de turbo.

De la expresión de la dinámica, se tiene:

$$U_e = w \cdot R$$

Dónde:

$U_e$ : Velocidad de los gases de escape, en m/s

$w$ : Velocidad angular de turbo en rad/s.

$R$ : Radio exterior, en m

Reemplazando:

$$w = 324.5 / 0,05 = 690 \text{ rad/s}$$

La velocidad de giro en rpm, se obtiene:

$$\text{rpm} = \frac{60 * w}{2\pi}$$

$$\text{rpm} = \frac{60*690}{6.28} = 6592.38 \text{ RPM}$$

La velocidad de giro del turbo es de 6592.38 RPM, para una velocidad de los gases de escape de 324,5m/s

**Cálculo de torque mecánico del turbo.**

$$P_m = T * w$$

Dónde:

P<sub>m</sub>: Potencia Mecánica, en Watt.

T: Torque de turbo, en N-m.

w: Velocidad angular, en rad/s

Reemplazando valores, se tiene:

$$T = \frac{5090}{690} = 7.37 \text{ N - m}$$

El máximo valor de torque mecánico que realiza el turbo es para una potencia de 5.09 Kw, y velocidad angular de 6690 rad/s, es de 7.37 N-m.

### Cálculo del grado de reacción de la turbina.

El grado de reacción de la turbina de gas, se determina a partir de la relación entre las velocidades en el ingreso y salida, definidas en el triángulo de velocidades, que es la forma en la cual la energía cinética de los gases se convierten en energía mecánica en la rueda, siendo ésta la transformación de Euler.

$$R = \frac{(W1 - W2)^2 + (U2 - U1)^2}{(C2 - C1)^2 + (U2 - U1)^2 + (W1 - W2)^2}$$

De los triángulos de velocidades, en función a los ángulos se tiene los valores de las velocidades periféricas U, Velocidades absolutas C y velocidades relativas W, reemplazando los valores, se tiene el grado de reacción de la turbina de gas igual a 0.56

$$R = \frac{(175.1 - 185.2)^2 + (321.160.2)^2}{(224.5 - 87.55)^2 + (321 - 160.2)^2 + (185.2 - 175.1)^2} = 0.56$$

Figura 27. Esquema de turbina con gases de escape de motor diésel



Fuente: Mataix, 2017.

Figura 28. Esquema del turbo



Fuente: Mataix, 2017.

### Parámetros para construcción de turbo.

Tabla 9. Dimensiones de turbo

Ítem	Unidad	Valor
Potencia mecánica	KW	5.09
Temperatura de gases de la combustión	°C	630
Flujo másico máximo	Kg/s	0.21
Velocidad tangencial del rodete de la turbina	m/s	324.5
Velocidad de giro	rpm	6592
Diámetro exterior	mm	100
Diámetro interior	mm	50
Grado de reacción	Grado	0.56
Número de alabes	Número	15
ángulo de salida	Grados	30.4
ángulo de ingreso	Grados	34.3
Torque Mecánico	N-m	7.37

Fuente: Auditoria Propia

**4.1. Hacer la evaluación económica, utilizando indicadores tales como VAN, TIR y relación beneficio – costo.**

**Inversión inicial de la propuesta.**

La inversión inicial de la propuesta, se detalla en la tabla 10, el cual asciende a un valor de 7460 Soles

Tabla 10. Inversión inicial

N°	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (S/.)	Precio Total (S/.)
1	Turbocompresor modelo GT2049S 754111-0009	Unidad	1	5100	5100
2	Adaptación de brida en tubo de escape	Unidad	1	450	450
3	Sensor de temperatura de gases de escape	Unidad	1	240	240
4	Cañerías y accesorios	Unidad	1	320	320
5	Mano de obra de instalación	Unidad	1	1350	1350
	<b>Total</b>				<b>7460</b>

Fuente: Autoría Propia.

**Ingresos del proyecto.**

Los ingresos del proyecto está dado por el ahorro del combustible en la unidad vehicular, se determinó que el análisis que los vehículos Volvo FM, cuando utilizan el aire acondicionado utilizan un 12.2% más de combustible, en comparación a cuando el vehículo no utiliza el sistema de aire acondiona por compresión de vapor. En la tabla 11, se muestra el cálculo de ahorro en el periodo de 12 meses.

Tabla 11. Ahorro mensual por uso de aire acondicionado

Estado del vehículo	Mes											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Aire Acondicionado activado	11440	10860	12867	9428	13531	6619	14388	13078	12198	14898	14302	13014
Sin Activar aire acondicionado	10214	9697	11488	8418	12081	5910	12847	11677	10891	13302	12770	11619
Ahorro S/	1226	1164	1379	1010	1450	709	1542	1401	1307	1596	1532	1394

Fuente: Autoría Propia.

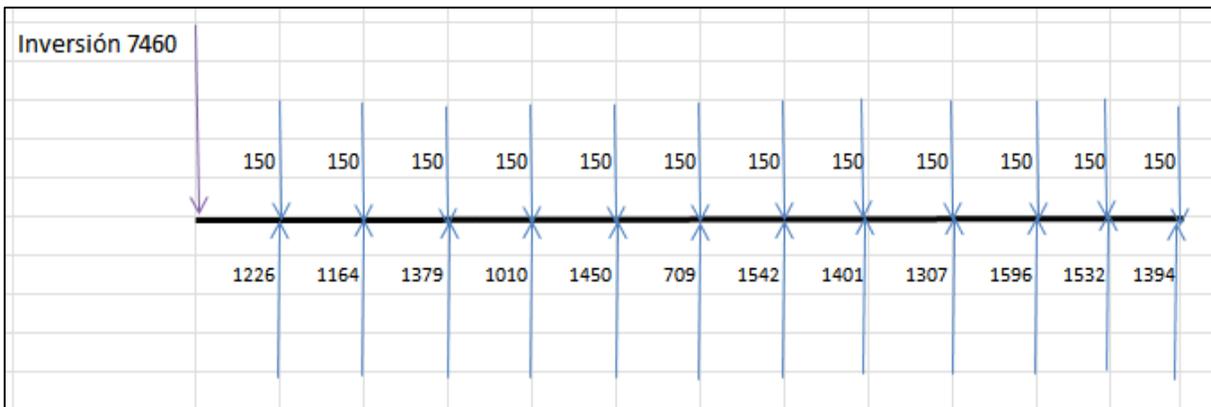
### Egresos del proyecto.

Para el caso del costo de mantenimiento preventivo, que consiste en la limpieza, ajuste de los accesorios, entre otros, representan el 2% mensual del costo de la inversión del proyecto, es decir  $0.02 \times 7460 = 150$  Soles mensuales.

### Flujo de caja del proyecto.

El flujo de caja se elabora con todos los ingresos, egresos e inversión inicial del proyecto, se analiza en el tiempo de 12 meses, debido a que es un proyecto de corto plazo, tal como se detalla en la figura 29.

Figura 29. Flujo de caja del proyecto



Fuente: Auditoria Propia

Tabla 12. Flujo de caja de proyecto.

Meses	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Inversión inicial (S/.)	7460												
Ingresos (S/.)		1226	1164	1379	1010	1450	709	1542	1401	1307	1596	1532	1394
Egresos: Mantenimiento (S/.)		150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Utilidad: Ingresos -Egresos (S/.)		1076	1014	1229	860	1300	559	1392	1251	1157	1446	1382	1244

Fuente: Autoría Propia.

## Análisis con indicadores económicos.

### Valor actual neto.

Los valores de los ingresos y egresos anuales, llevándolos al mes cero, donde se inicial el proyecto, con una tasa de interés del 2.5 Mensual, que es la tasa de interés para proyectos de inversión del sector privado a corto plazo.

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)

i :Tasa de interés: 2,5% Mensual

n : Número de meses: 12

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

Tabla 13. Cálculo del valor actual neto

Meses	0	1	2	3	10	11	12		
Inversión Inicial (S/.)	7460								
Ingresos (S/.)		1226	1164	1379	1596	1532	1394		
Egresos: Mantenimiento (S/.)		150	150	150	150	150	150		
Utilidad: Ingresos -Egresos (S/.)		1076	1014	1229	1446	1382	1244	S/. 11,797.80	
								VNA(0.025,F9:Q9)	

Fuente: Autoría Propia

Se obtiene: Ia = S/. 11797.8

Por lo tanto, el valor actual neto es la diferencia entre la utilidad actualizada del proyecto (Ia) y el valor de la inversión: 11797.8 - 7460=.S/. 4337.8

### Tasa interna de retorno.

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

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

Dónde:

Inv: Inversión inicial S/. 7460

Ia: Utilidades mensuales

TIR: Tasa interna de retorno.

n; Número de Meses: 12

Tabla 14. Cálculo de la tasa interna de retorno

Meses	0	1	2	3	9	10	11	12	
Inversión Inicial (S/.)	7460								
Ingresos (S/.)		1226	1164	1379	1307	1596	1532	1394	
Egresos: Mantenimiento (S/.)		150	150	150	150	150	150	150	
Utilidad: Ingresos -Egresos (S/.)	-7460	1076	1014	1229	1157	1446	1382	1244	10.56%
									TIR(E9:Q9)

Fuente: Autoría Propia.

Reemplazando valores, y mediante una metodología de aproximaciones o utilizando el software Microsoft Excel, se calcula el valor del TIR, siendo éste igual a 10.65% mensual, que representa un valor superior a la tasa de interés mensual de 2.5% para proyectos de inversión a corto plazo

### Relación Beneficio Costo

La relación beneficio / costo está dado por:

B/C = Utilidades actualizadas al mes 0 / Inversión inicial del proyecto

Reemplazando valores: 11797.8 / 7460, es de 1.58

## V.DISCUSIÓN

El aprovechamiento de la energía calorífica de los gases de escape para el accionamiento del aire acondicionado del camión Volvo FM, incrementa la eficiencia del uso del combustible en el motor, debido a que no se requiere de la utilización de combustible adicional para el accionamiento del aire acondicionado por compresión de vapor, sino se utiliza la energía de los gases de escape caliente que son expulsados al medio exterior.

En el análisis realizado, la energía calorífica que se genera en la combustión en el interior de los seis cilindros del motor, es entregada al eje cigüeñal del motor, el cuál absorbe entre el 25 y 30% de dicha energía. El 30% de la energía calorífica generada en la combustión lo transfieren los gases de escape hacia el medio ambiente; por lo tanto el aprovechamiento de éste tipo de energía, transformándolo en energía mecánica al accionar un turbo. Este dispositivo a la vez es el encargado de mover al compresor del sistema de aire acondicionado.

Las cargas térmicas que se determinaron en el interior de la cabina del camión Volvo FM, determina la demanda de energía que requiere el sistema de aire acondicionado. El aire acondicionado recibe energía externa a través del compresor del líquido refrigerante. La oferta de la energía está dado por la entalpía de los gases de escape, es decir de la presión y temperaturas que tienen éstos al salir del motor a diferentes presiones y temperaturas.

Dentro de los componentes del sistema de aire acondicionado, el compresor, es el encargado de incrementar la presión del vapor del refrigerante, con la finalidad que el incremento de presión también eleve el valor de la temperatura, de manera que el valor de la entalpía del refrigerante se incrementa. El compresor es accionado, mediante un acoplamiento magnético al momento de poner en marcha el sistema de aire acondicionado. El accionamiento del compresor es por medio de una correa dentada, el cual trasmite la energía mecánica desde la polea del cigüeñal del motor de combustión interna hacia la polea del compresor.

El evaporador del sistema se encuentra en la cabina del camión Volvo FM, el aire caliente se enfría si fluye a través de un evaporador frío, como resultado, la temperatura en el interior de la cabina de las unidades pesadas disminuyen. En cuanto a la humedad del aire, éste se condensa en el evaporador por la baja temperatura, como resultado de ello, la humedad disminuye.

El resultado del cálculo de la potencia mecánica que requiere el compresor, es por el incremento de la presión del refrigerante, desde un estado de vapor saturado hasta vapor sobrecalentado. La potencia que requiere el compresor para que incremente la energía la refrigerante desde el estado termodinámico 1, que es vapor saturado hasta el estado 4 que es vapor sobre saturado, para el cálculo se hizo en función al flujo másico y a la diferencia de las entalpías de salida e ingreso del compresor, determinándose un valor de 5.09 KW, que es la potencia que genera el turbo a diferentes velocidad de giro.

## VI.CONCLUSIONES

- Se hizo la descripción del funcionamiento del sistema de aire acondicionado por compresión de vapor en cuanto al consumo de combustible en los vehículos Volvo FM, y se estableció que los camiones Volvo FM, que utilizaron el sistema de aire acondicionado, tuvieron un consumo 12.2%, con respecto a los que no activaron el aire acondicionado.
- Se realizó el análisis de los parámetros de funcionamiento de cada dispositivo del sistema de aire acondicionado, en función a los flujos de refrigerante y a la potencia que requieren. Se determinó que la carga térmica es de 2054.13 Watt, que es el calor que absorbe el evaporador del sistema de aire acondicionado por compresión de vapor.
- Se hizo el diseño del turbo que accionara al sistema de aire acondicionado, en función a la oferta de energía de los gases de escape, así como también de la demanda de energía del sistema de aire acondicionado, con una potencia mecánica de 5.09 KW.
- Se hizo la evaluación económica, con un VAN de S/. 4337.8 La Tasa Interna de retorno de 10.65% mensual, que representa un valor superior a la tasa de interés mensual de 2.5% para proyectos de inversión a corto plazo. El tiempo de recuperación es de 12 meses.

## VII.RECOMENDACIONES

- Utilizar el calor del agua del radiador para el accionamiento del aire acondicionado aplicando el sistema de refrigeración por absorción.
- Analizar el aprovechamiento de la energía de los gases de escape para el accionamiento de otras cargas en el vehículo.
- Medir el impacto que causa la instalación del turbo en el funcionamiento del motor en cuanto a su potencia y temperatura de los gases de escape.

## REFERENCIAS:

- SISTEMA AUTOMOTRIZ. Equipamientos para líneas de inspección técnico de vehículos pesados, 2017, 56pp.
- VOLVO TRAUUCK DEL PERÚ. Tecnología de mitigación de los gases de la combustión de motor Volvo FM, 2018, 69pp.
- GERENCIA REGIONAL DE TRANSPORTE. Informe Anual del transporte de vehículos pesados en la región Norte del Perú. Lambayeque, Perú, 2017, 56pp.
- YALTA, Y. ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DEL USO DE GASES DE ESCAPE DE MOTOR VEHICULAR 1500CC PARA ACCIONAR EL AIRE ACONDICIONADO POR ABSORCION, Chiclayo, Perú, 2018, 78pp.
- Matarazzo, T. Refrigeración local de vehículos con calor excedente, presentado a la escuela técnica superior de ingenieros industriales y de telecomunicación de la universidad de Cantabria, España, 2014, 89pp.
- BARAHONA. SELECCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE SOBREALIMENTACIÓN, PARA UN VEHÍCULO HYUNDAI H100 MOTOR DIESEL 2.6. ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ, Chimborazo, Ecuador, 2013.
- FAYRES. Termodinámica, Mc Graw Hill, 2014, 343pp.
- DÍAZ, R. Ciclo de Refrigeración por compresión de vapor, 2015, 56pp.
- PÉREZ, Y. Ciclos termodinámicos Irreversible, Lima Perú, 2017, 64pp.
- BOSCH. Sistemas de Inyección electrónica en Motores Diesel, 2016, 45pp.
- 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.
- 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.

Anexo 3. Matriz de operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Escala de medición
<p><u>Independiente:</u> Diseño de un turbo</p>	<p>Es el resultado de un proceso de proyectar los mecanismos que realizan la función de accionar el sistema de aire acondicionado utilizando la energía de los gases de escape del motor.</p>	<p>La medición de ésta variable está dada por la interrelación de los parámetros de funcionamiento del sistema de aire acondicionado, específicamente la energía para el accionamiento del compresor del sistema.</p>	<p>Temperatura de gases de escape Caudal de gases de escape velocidad de giro de turbo</p>	<p>° Centígrado. Kg/s. RPM</p>
<p><u>Dependiente:</u> Accionamiento del sistema de aire acondicionado en los vehículos volvo FM.</p>	<p>Es la cantidad de combustible que ingresa al motor de combustión interna, al tener el sistema de aire acondicionado activado para dar confort al conductor de la unidad vehicular.</p>	<p>La cantidad de combustible que consume el motor Volvo, está dada por el consumo específico de combustible, en el cual se mide el recorrido del vehículo y el consumo de combustible, expresado en Km/galón</p>	<p>Densidad Volumen Masa Recorrido</p>	<p>Kg/m3 m3 Kg Km</p>

Anexo 4. Instrumento de recolección de datos  
GUÍA DE OBSERVACIÓN 1

**Cálculo de cargas térmicas en cabina camión Volvo FM**

Instrucciones: Realice el cálculo de las cargas térmicas en función a la variación de la temperatura exterior y de confort.

Calor que se extrae:	Unidades	Área	Coeficiente total de transferencia de calor (watts/ hr. m2. $\Delta t$ )	$\Delta t$ . Variación de temperatura (°C)	Calor Total: Watt
Piso de la cabina	m2	4.3	2.56	18.6	204.7
Techo de cabina con revestimiento de fibra de vidrio	m2	3.7	3.45	18.6	237.4
Ventana de cristales laminados de 2.00mm estructura metálica	m2	2.8	6.45	18.6	335.9
Puerta metálicas, plancha 1.2mm	m2	1.6	3.43	18.6	102.1
Sub Total S1					880.2
Calor interno		Cantidad			
Ocupantes	Unidades	2	5.89	18.6	438.2
Sub Total S2					438.2
Accesorios eléctricos		Unidades	Cantidad		
Radio 10 Watt	Kilowatt	1	1.12	18.6	20.8
Pantalla video 35 Watt	Kilowatt	1	1.34	18.6	24.9
Luminarias 30 Watt	Kilowatt	2	1.56	18.6	58.0
Parlante 250 Watt	Kilowatt	2	1.87	18.6	69.6
Sub Total S3					152.5
Asientos		Unidades	Área		
2 Asiento estructura metálica, con revestimiento de fibra de vidrio y tela poliéster.	m2	6.7	2.34	18.6	583.2
Sub Total S4					583.2
Total (Watt)					2054.1

## Cálculo del tamaño de la muestra

La expresión para determinar el número de la muestra es:

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

Dónde:

N: Total de la población de vehículos Volvo FM en la Región Norte del Perú inscritos en SUNARP, de año de fabricación 2014. N = 125

Z<sub>α</sub>: 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%)

$$n = \frac{125 * 1.64^2 * 0.02 * 0.98}{0.1^2 * (125 - 1) + 1.64^2 * 0.02 * 0.98} = 5.09$$

n = 5

5 vehículos Volvo FM de año de fabricación 2014. La selección de las 5 unidades son aquellos que tienen alto consumo de combustible al utilizar el sistema de aire acondicionado.