



Coincidencias

Web fuentes

5

|   |  |       |
|---|--|-------|
| 1 | <b>es.wikipedia.org</b><br><a href="https://es.wikipedia.org/wiki/Etilenglicol">https://es.wikipedia.org/wiki/Etilenglicol</a>   | 0.45% |
| 2 | <b>vsip.info</b><br><a href="https://vsip.info/motores-de-combustion-interna-9-pdf-free.html">https://vsip.info/motores-de-combustion-interna-9-pdf-free.html</a>  | 0.14% |
| 3 | <b>idoc.pub</b><br><a href="https://idoc.pub/documents/investigacion-educativa-wl1pvxz72lj">https://idoc.pub/documents/investigacion-educativa-wl1pvxz72lj</a>   | 0.14% |
| 4 | <b>documentop.com</b><br><a href="https://documentop.com/tecnologia-y-accesibilidad-volumen-2-repositorio-digital-ups_598651c81723ddb4046288b4.html">https://documentop.com/tecnologia-y-accesibilidad-volumen-2-repositorio-digital-ups_598651c81723ddb4046288b4.html</a> | 0.14% |
| 5 | <b>repositorio.undac.edu.pe</b><br><a href="http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/1739/1/T026_45952843_T.pdf">http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/1739/1/T026_45952843_T.pdf</a>   | 0.14% |

## **Analysis of the cooling system of the combustion engine of the Audi Q5, using mathematical modeling.**

### **Análisis del sistema de refrigeración del motor de combustión del Audi Q5, mediante modelación matemática.**

**José Andrés Proaño Junta<sup>1</sup> Jefferson Andrés Mármol Guamán<sup>2</sup> Edwin Rolando Guamán Narváez<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Instituto Superior Tecnológico Central Técnico, Quito, Ecuador  
E-mail: andresitojose95@gmail.com

<sup>2</sup> Instituto Superior Tecnológico Central Técnico, Quito, Ecuador  
E-mail: andresct\_18@outlook.es

<sup>3</sup> Instituto Superior Tecnológico Central Técnico, Quito, Ecuador  
E-mail: erguamann@gmail.com

#### **RESUMEN**

El objetivo principal de la investigación es la eficiencia térmica que se produce en proceso de refrigeración en el motor de combustión interna Audi Q5, tras un análisis cuantitativo se comparó potencia y eficiencia a través de una modelación matemática no lineal enunciada en la segunda ley de la termodinámica, se analizó la eficiencia térmica del sistema de refrigeración y funcionamiento del motor de combustión interna del vehículo Audi Q5 en la cual el porcentaje de aprovechamiento de la energía calórica generada por el sistema, así como el poder de disipación de calor. A través de fichas técnicas, blogs y artículos relacionados que argumentan que estos cambios tienden a agregar calor adicional al sistema de enfriamiento y reducen el flujo de aire que pasa a través del radiador. Y este a su vez tiende a reducirse y a distorsionarse mucho.

En el método cuantitativo utilizado, se realizaron cálculos de un modelo matemático para estimar la temperatura de los componentes del cilindro y de la culata de cilindros para motores refrigerados por líquido refrigerante. Se ha tomado en cuenta un enfoque de parámetros agrupados utilizando relaciones tanto analíticas como empíricas. Para determinar el número apropiado de nodos térmicos y los dispositivos de transferencia de calor (conducción, convección, radiación) entre cada nodo, se han realizado análisis de motores térmicos.

En el análisis térmico del sistema de refrigeración se discutieron resultados numéricos basados en datos técnicos representativos para varios ciclos operativos para demostrar el desempeño del modelo dinámico en la predicción de temperaturas internas del motor. Para validar el modelo térmico, se han realizado investigaciones de campo, cuantitativas y se han registrado las temperaturas en varias ubicaciones del

motor, así como del sistema de refrigeración. El documento concluyo con una discusión de las estrategias para ampliar la eficiencia térmica del motor mientras se mantienen límites de temperatura aceptables para los componentes.

*Palabras clave*—Termodinámica; etilenglicol; Combustión; Depuración; Modelado.

### ABSTRACT

The main objective of the research is the thermal efficiency in the cooling system of the internal combustion engine Audi Q5, after a quantitative analysis power and efficiency were compared through a non-linear mathematical modeling stated in the second law of thermodynamics, analyzed the thermal efficiency of the cooling system and operation of the internal combustion engine of the Audi Q5 vehicle, in turn, the percentage of use of the caloric energy generated by the system, as well as the power of heat dissipation. Through tech sheets, blogs, and related articles arguing that these changes tend to add extra heat to the engine's cooling system and reduce airflow through the radiator. And this in turn tends to be reduced and distorted a lot.

In the quantitative method used, calculations of a mathematical model were made to estimate the temperature of the cylinder components and the cylinder head for coolant-cooled engines. A pooled parameter approach has been followed using both analytical and empirical relationships. To determine the appropriate number of thermal nodes and the heat transfer mechanisms (conduction, convection, radiation) between each node, heat engine analyzes have been performed.

In the thermal analysis of the cooling system, numerical results based on representative technical data for various operating cycles were discussed to demonstrate the performance of the dynamic model in predicting internal engine temperatures. To validate the thermal model, quantitative field investigations have been carried out and temperatures have been recorded at various locations in the engine, as well as in the cooling system. The paper concluded with a discussion of strategies to increase motor thermal efficiency while maintaining acceptable component temperature limits.

**Index terms— Thermodynamics; ethylene glycol; Combustion; Depuration; Modeling**

## 1. INTRODUCCIÓN

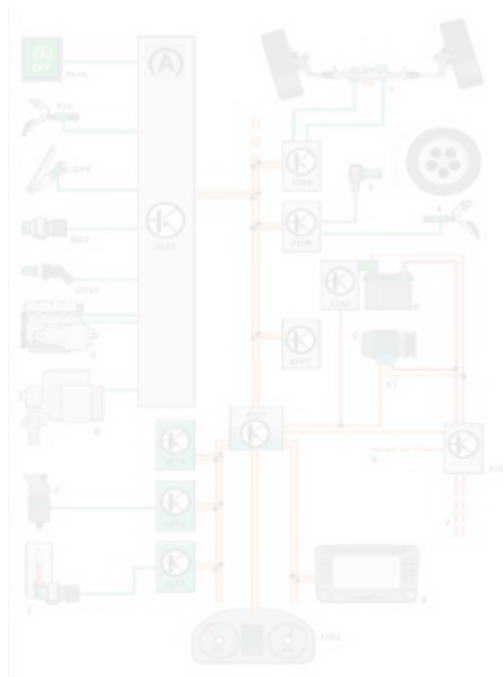
En la actualidad los motores de combustión interna son dispositivos empleados principalmente para la ejecución de trabajo y potencia; su principal deficiencia es su eficiencia ya que su funcionamiento depende de la gestión exitosa del combustible, la chispa y la transformación de enfriamiento para garantizar un rendimiento, el grado de emisión y economía de combustible aceptable.

Los motores de combustión interna se implementan en todo el mundo en automóviles, camiones y una multitud de otras máquinas que satisfacen las necesidades de una sociedad de una fuente de energía conveniente, confiable y asequible. Los vehículos livianos generalmente tienen componentes electrónicos para examinar los subsistemas del motor y el chasis para un mayor rendimiento, comodidad y garantía de los pasajeros.

Las unidades de control del motor (ECU) utilizan un conjunto estándar de sensores / actuadores para monitorear y ajustar el manejo del sistema según las especificaciones técnicas, desarrolladas durante el período de calibración de los fabricantes como se menciona en (Miño, 2020). Las ECU permiten el monitoreo y la regulación continuos del trabajo de combustión para lograr optimizar el rendimiento general y la economía de combustible, y para disminuir las emisiones de gases de escape. Las entradas del sensor primario que se utilizan para regular el proceso de inyección de combustible y suministro de chispa son la velocidad del motor, la posición del cigüeñal, la presión absoluta del colector (MAP) o el flujo de masa de

aire (MAF) y el sensor de oxígeno (lambda) con compensación adicional para la posición del acelerador, de esta manera proporcionando un trabajo óptimo para ayudar al buen funcionamiento de la máquina. Valores del sensor de temperatura del refrigerante, de detonación y de temperatura del aire del colector mejoran la situación del motor de esta manera previniendo un posible sobrecalentamiento de sus sistemas.

Figura 1:



Esquema, sistema de gestión del vehículo

FUENTE: (Audi Academy, 2018)

El régimen de gestión térmica para motores refrigerados líquido se basa en gran medida en el traspaso de calor por convección, forzada con contribuciones de conducción secundaria y radiación para mantener una temperatura de funcionamiento entre un rango específico (febi, 2020).

La circulación de una combinación de agua y refrigerante que circula por el motor elimina posibles puntos calientes térmicos, lo que disminuye la probabilidad del refrigerante sobre pase su grado de ebullicion y los componentes del motor se sobrecalienten.

Los componentes típicos del sistema incluyen un radiador, ventilador eléctrico, bomba de agua, termostato, camisa de agua del block y núcleo del calentador, como se muestra en la figura2. El radiador es un intercambiador de calor de flujo cruzado; El electroventilador o accionado por cigüeñal promueve el caudal de aire a través del radiador. La bomba de agua centrífuga accionada por correa (es decir, la carga de par del motor) hace circular refrigerante a través del sistema; Recientemente, se han propuesto bombas de agua eléctricas. La válvula termostática autorregula el calor del refrigerante controlando el flujo que pasa por el radiador.

Figura 2:



Sistema de refrigeración Audi Q5

Fuente: (Audi Academy, 2018)

Cuando el motor está frío, la válvula del termostato permanece cerrada y dirige el refrigerante a través de una línea de derivación que lo hace circular de regreso al motor sin pasar por el radiador.

Por el contrario, cuando el motor ha alcanzado la temperatura de funcionamiento deseada, la válvula del termostato como se indica en (febi, 2020) se abre y el refrigerante fluye a través del radiador para enfriarlo. El bloque del motor contiene camisas de agua (es decir, pasajes internos) que permiten que el refrigerante fluya alrededor de los cilindros y la cabeza para eliminar el calor. Finalmente, otra válvula permite que el refrigerante fluya a través del núcleo del calentador para calentar el interior del vehículo.

Mediante la modelación matemática no lineal enunciada bajo la segunda ley de la termodinámica, se analizará la eficiencia térmica del sistema de refrigeración del motor de combustión interna del vehículo Audi Q5 además de describir el comportamiento térmico transitorio de un motor de encendido por chispa de combustión interna. Con el cual se analizará, que porcentaje de energía calorífica es aprovechada por el motor y como se logra disipar la energía restante a través del sistema analizado.

El sistema de refrigeración se enfoca en la temperatura del motor para prevenir daños al mismo, también debe mantener una temperatura aceptable de funcionamiento, de acuerdo a los parámetros de diseño, el rango se encuentra de 80° a 91°c aproximadamente de acuerdo a (febi, 2020).

De acuerdo a los análisis de modelos matemáticos analíticos y empíricos, y los conceptos de la teoría de termodinámica se podrá estimar la temperatura de los componentes críticos del cilindro y cabezote del motor de combustión del vehículo Audi Q5, su potencia máxima que genera en su funcionamiento de esto según (Audi Academy, 2018) facilitará el desarrollo del cálculo planteado en nuestra investigación, con los siguientes datos técnicos proporcionados por la empresa Audi y los que se mencionan en la tabla 1.

**Tabla 1.**

*Datos Técnicos-Audi Q5 Híbrido-2.0 TFSI 155 KW quattro tiptronic.*

| DATOS TÉCNICOS DEL MOTOR                         |  |
|--|--|
| <b>Tipo de motor</b>                             | Motor de 4 cilindros en serie con inyección directa de gas, sobrealimentación por turbocompresor de escape y sistema Audi Valvelitt. |
| <b>Control val / # de val</b>                    | Levas rodillo, ajuste continuo de árbol levas admisión, ajuste carrera de válvulas de escape AVS/4                                   |
| <b>Cilindrada en cm3 /perf x cil en mm/comp.</b> | 1984 / 82,5 x 92,8 / 9,6   |
| <b>Max pot kw(ps) /rpm</b>                       | 155 (211) / 4300 - 6000  |
| <b>Par máx. Nm/rpm</b>                           | 350 / 1500 - 4200  |
| <b>Sistema de depuración de gases de escape</b>  | Catalizador cerámico cerca del motor, sonda lambda, aguas arriba y abajo del mismo, sist sec de aire.                                |
| <b>Clase de emisión</b>                          | EU5  |
| <b>Generador en A/batería en A/ Ah</b>           | Convertidor CC/CC 180/plomo de vidrio absorbente 380/68  |

Fuente: (Audi Academy, 2018)

## 2. MÉTODOS Y MATERIALES

Se presentará una sucesión de modelos térmicos para ayudar en el estudio de

componentes del sistema de gestión térmica. Estos modelos servirán como herramienta para predecir el comportamiento térmico del motor y específicamente el sistema de refrigeración.

La investigación fue de método cuantitativo. Se diseñó una propuesta de trabajo que se llevó a cabo un estudio de caso en el vehículo didáctico Audi Q5 además de fichas técnicas y datos reales tomados en campo (proyectos de investigación, fichas técnicas, revistas, blogs). Aquí se efectuaron dos análisis:

a) Una interpretación del contenido, para el cual se establecieron valores estándar que se obtuvieron en tablas y demás bibliografía de este vehículo.

b) Para profundizar en el trabajo de la determinación de rangos térmicos, se recogieron datos de cada uno de los componentes de estudio e incorporarlos a las fórmulas matemáticas. De esta manera se dio a conocer resultados obtenidos en distintos momentos con el propósito de detectar cambios y evoluciones en el proceso de estudio.

A continuación, se menciona y justifica las distintas fases de la investigación, así como de la elaboración de los instrumentos de análisis.

(Ruano, 2018) se refieren al ciclo termodinámico de Otto (admisión-compresión-esplosión-escape). Se le conoce como ciclo Otto a dicho proceso termodinámico porque de manera funcional de cada uno de los motores que requieren la gasolina para un efecto de combustión interna. Dicho nombre se debe al inventor, Nicolaus Otto, quien dio los principios de la termodinámica en lo funcional, la misma se dio en 1876 bajo

las respectivas fórmulas que se generaron (Mena, 2019) se puede comprender de mejor manera el ciclo otto.

Como el ideal para las máquinas reciprocantes de encendido por chispa debido que se vuelve mas eficiente, gracias a sus cuatro tiempos; deduciendo que en el ciclo de compresión alcanza su trabajo y temperatura maxima y perdida de calor en el proceso debido a que no es adiabático en su totalidad, El motor durante su funcionamiento, tiende a realizar una serie de procesos que se repiten periódicamente que constituyen un ciclo termodinámico abierto (este no puede ser cerrado por ser un motor de combustión interna); de esta forma afectando a su eficiencia de térmica.

En los motores de inyección secuencial de combustible (SFI), la gasolina se introduce en la corriente de aire del colector en la vecindad de la válvula de admisión.

Los procesos de admisión y escape conforman lo que se denomina renovación de la carga en las actividades que con los recursos o elementos de la masa con la parte externa del motor. Entonces los procedimientos de compresión, combustión y expansión conforman el ciclo termodinámico del motor y son procesos en los cuales no presenta un intercambio de materia con el exterior.

Esta mezcla de aire y combustible luego fluye hacia el cilindro cuando la válvula de admisión está abierta. El evento de combustión genera gases a temperaturas y presiones extremadamente altas que transfieren calor a las paredes del cilindro, pistón, culata, aceite lubricante y válvulas. A su vez que estos gases calientes salen por la válvula de escape, el inserto del asiento de la válvula alcanza temperaturas comparables.

Para evitar daños, el calor se transfiere desde la válvula de escape al inserto del asiento de esta cuando entran en contacto entre sí durante la etapa de apertura y cierre. En los motores con refrigerante, el calor eliminado se transfiere al refrigerante que circula cerca del inserto del asiento de las válvulas y por todo el bloque.

De manera similar, el calor producido se elimina de la pared del cilindro y se dirige al refrigerante. Es por esto que en esta investigación se analizó el liquido refrigerante en las proporciones como indica (Pinos, 2016), el cual afirma que liquido mencionado sin ninguna mezcla, el agua se mantiene liquida entre 0°C y 100°C. La función principal es extender ese rango.

En una mezcla al 50%, los glicoles van a bajar el punto de congelamiento a -45°C y subir el de ebullición a 118°C. A la composición de agua y base refrigerante se le agrega otros inhibidores químicos que controlen el deterioro y la cavitación según (febi, 2020). De esta manera no dañara la integridad del motor y permanecer en óptimas condiciones de funcionamiento.

El componente base de los refrigerantes es el etilenglicol ( $C_2H_6O_2$ ), es un compuesto químico que pertenece al grupo de los dioles, es un líquido transparente, incoloro, ligeramente espeso con leve sabor dulce, son por estas rasgos organolépticas que se suele manejar distintos colorantes (los distintos colores que se manipulan en los refrigerantes) para reconocerlo. Se fabrica a partir de la hidratación del óxido de etileno.

Donde la densidad es de  $1.116 \frac{kg}{m^3}$ , la masa molar es  $62.08 \frac{g}{mol}$ , el punto de fusión es  $-13.15^{\circ}C$  y su punto de ebullición es  $195.85^{\circ}C$  y su viscosidad es  $1.61 Pa$  de según menciona (Pinos, 2016).

**Tabla 2.**

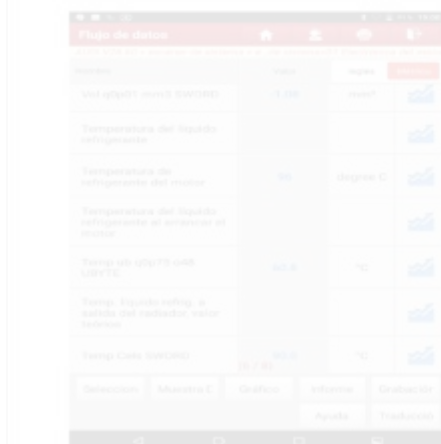
Parámetros del proceso de combustión de los motores.

| Tipo de motor | $a$     | $\varepsilon$ | $T_z^{\circ}$ | $\lambda =$ | $\rho =$ | $P_z \bar{c}$ |
|---------------|---------|---------------|---------------|-------------|----------|---------------|
| Inyección     | 0,8-0,9 | 0,85-0,95     | 2500-2700     | 3,0-4,0     | 1        | 25-50         |

Fuente: (Mena, 2019)

Mediante, la transformación de energía calórica en mecánica en el motor existen varias perdidas de energía que no es considerada en la segunda ley de la termo-dinámica.

Figura 3:



Temperatura la salida del motor

Fuente: Propia

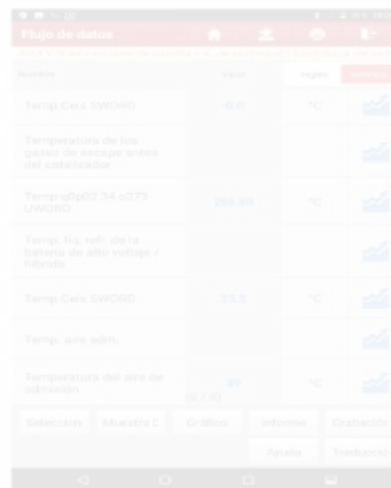
Figura 4:



Temperatura de trabajo

Fuente: Propia

Figura 5:



Temperatura aire de admison

Fuente Propia

Tabla 3

Temperaturas con las que trabaja el audi Q5

|  |    |    |
|--|----|----|
| Temperatura del refrigerante al arranque de motor. | 20 | °C |
|--|----|----|

Datos obtenidos a travez de la lectura con el scanner al vehiculo de estudio.

Fuente: Propia.



El conocimiento de la termodinámica tradicional en temas de equilibrio, donde el sistema va de lo más simple e ideal de un motor para la transformación de calor, ese proceso denomina el ciclo de Carnot (Bartlett, 2021), que a su vez dice que la eficiencia térmica es directamente proporcional al calor sedido e inversamente proporcional al calor extraído  $q_2$ .

Según (Mena, 2019), plantea que:

$$\eta = 1 - \left( \frac{q_2}{q_1} \right) \quad (1)$$

Donde:

$q_1 = \dot{Q}$  Es el calor suministrado al sistema y  $q_2 = \dot{Q}$  el calor extraído del proceso de refrigeración, donde va a ver una pérdida de energía y la temperatura de entrada debe ser inferior a la de salida del motor al sistema adiabático.

$q_1$  es el calor suministrado al sistema y este dado según (Mena, 2019) por:

$$q_1 = C_v (T_z - T_c) \quad (2)$$

Donde

$C_v = \dot{Q}$  Es el calor específico a volumen constante, el cual ayuda al refrigerante alcanzar su  $T_z = \dot{Q}$  temperatura máxima sin evaporarse en el proceso de refrigeración que actúa internamente del sistema.

$T_c = \dot{Q}$  Es la temperatura de trabajo del motor.

Y  $q_2 = \dot{Q}$  es el calor extraído en la salida del proceso de trabajo del motor deduciendo que es la máxima

temperatura que cede al radiador para ser refrigerada y según (Mena, 2019) platea como:

$$q_2 = C_v (T_b - T_a) \quad (3)$$

Donde:

$T_b = \dot{Q}$  Es la temperatura máxima que sale del sistema de enfriamiento del motor y pasa por la cañería hacia el radiador.

$T_a = \dot{Q}$  Es la temperatura de ingreso sistema y se considera 39°C como se muestra en la tabla 3.

Entonces se remplazar en la ecuación (2) y (3) en la ecuación (1) para obtener la nueva ecuación

$$\eta = 1 - \frac{T_b - T_a}{T_z - T_c} \quad (4)$$

Y al mismo tiempo puede ser reemplazada como:

$$\eta = 1 - \left( \frac{1}{\epsilon^k - 1} \right) \quad (5)$$

Sabiendo que:

Su temperatura de trabajo de acuerdo a la figura 4, describe que es 96.8°C para lo cual (Mena, 2019), plantea que la temperatura es representada mediante la siguiente evaluación:

$$T_c = T_a \left( \frac{V_a}{V_c} \right)^{\gamma} k - 1 = T_a \frac{\gamma}{\gamma - 1} - 1 \quad (6)$$

Para calcular el coeficiente de calor adiabático usamos la ecuación (7) planteada por (Mena, 2019).

$$k = \left( \frac{C_p}{C_v} \right) \quad (7)$$

Donde:

$k = \gamma$  Coeficiente de calor adiabático.

$C_p = \gamma$  Es el coeficiente de calor a presión constante.

$C_v = \gamma$  Es el coeficiente de calor a volumen constante.

El  $C_p$  es de  $1.005 \frac{KJ}{Kg \cdot K}$  y  $C_v$  es  $0.718 \frac{kJ}{kg \cdot K}$  según (Mena, 2019).

Que al reemplazar en la ecuación (7) de un resultado de  $k=1.4$ , donde se especifican los valores para  $C_p$  y  $C_v$  de algunos de los gases más comunes en la industria.

Para la obtención de la  $T_z$  del sistema es necesario conocer su relación de compresión, debido que en este ciclo el motor alcanza su temperatura máxima de trabajo y según (Mena, 2019):

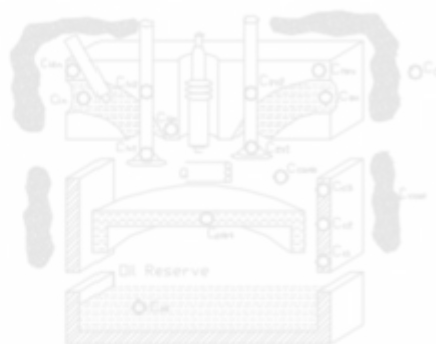
$\epsilon = \gamma$  Es la relación de compresión dada por (Mena, 2019) y su valor es de 9.6 según (Audi Academy, 2018).

## 2.1 CÁLCULO DE PROCESOS

De acuerdo a esto si se realizan los procesos termodinámicos en cada una

de las etapas del funcionamiento del motor en las cuales el calor es dispersado hacia el exterior y al sistema de refrigeración como se muestra en la siguiente figura.

Figura 6:  
cálculo



Modelo térmico de nodos para el  
Fuente: (Hidalgo Guamán, 2021)

Para estos cálculos se toman las siguientes condiciones iniciales:

Tabla 4.

Condiciones iniciales en Quito para cálculo de procesos.

| Variable                   | Valor    | Unidad   |
|----------------------------|----------|----------|
| Presión inicial (Po) Quito | 71994,08 | Pa       |
| Temperatura ambiente (To)  | 15       | °C       |
| Constante R aire           | 286,9    | Nm/Kg °K |

|   |                |                   |
|---|----------------|-------------------|
| Densidad aire<br><u>(<math>\rho_o</math>)</u>       | 0,87085<br>854 | Kg/m <sup>3</sup> |
| Variación de temp<br><u>(<math>\Delta T</math>)</u> | 15             | °K                |
| Presión gas residual (Pr)                           | 120000         | Pa                |
| Temp gas residual (Tr)                              | 777            | °C                |

Fuente: Propia

Con esto se pueden calcular las presiones y las temperaturas de cada uno de los ciclos del motor. Es imprescindible indicar que estos cálculos se los realiza con 2500 revoluciones con las cuales se alcanza una velocidad promedio de 50 Km/h.

$$P_a = P_o - (\beta^2 + \xi) \frac{\omega}{2} \rho_o 10^{-6} \quad (8)$$

$$T_a = \frac{T_o + \Delta T + \gamma T_r}{1 + \gamma} \quad (9)$$

Ta = Temperatura en el ciclo de admisión (K)

To = Temperatura inicial (K)

$\Delta T$  = Es el incremento de las temperatura en los procedimientos para el calentamiento de la carga (°C)

$\gamma$  = Coeficiente de gases residuales 0.077 (adimensional)

Tr = Temperatura de los gases residuales (K)

Aquí se obtiene resolviendo (8) y (9):

$$T_a = 356.70 \text{ °K} \approx 83.56 \text{ °C}$$

$$P_a = 59208.47 \text{ Pa}$$

Para el proceso de compresión, lo consideraremos como un proceso politrópico con k que se calculó con la fórmula (7) y resolvemos la ecuación (10) y (11) con los valores correspondientes y que están vinculados al proceso anterior de admisión:

$$P_c = P_a \xi^{-k} \quad (10)$$

$$P_c = 59208.47 * 9.6^{1.4}$$

$$P_c = 1404872.4 \text{ Pa} \approx 1.405 \text{ MPa}$$

$$T_c = T_a \xi^{k-1} \quad (11)$$

$$T_c = 356.70 * 9.6^{1.4-1}$$

$$T_c = 1012.36 \text{ °K} \approx 739.21 \text{ °C}$$

En el proceso de combustión que es instantáneo se tienen más pasos complejos de cálculos debido a que se debe tomar en cuenta la composición del combustible y el coeficiente de variación molecular, así la temperatura al final de la combustión se la obtiene de la tabla, con la debida interpolación.

**Tabla 5.**

Valores de Tz en función de la energía interna Uz”.

| Uz”<br>KJ/<br>(Kmol) | Tz<br>(°C)   |
|----------------------|--------------|
| 67213                | 2300,00<br>0 |
| 70543                | 2400,00<br>0 |

Fuente: (Carrillo & Mayorga, 2017)

Con el dato de energía interna del combustible 90399.4 KJ. Se obtiene una temperatura de 3269.44 K equivalente a 2996.29 °C y esta será usada para la obtención de la presión a la final de la combustión  $P_z$  en (12)

$$P_z = \frac{T_z}{T_c} P_c$$

$$P_z = \frac{1.08 * 3269.44}{881.5} * 1404872.4$$

$$P_z = 5604442.9 Pa \approx 5.6 MPa$$

Estos son los valores más críticos que se tienen en el ciclo del motor principalmente el de temperatura debido a que esta es la que se debe ser disipada por el sistema de refrigeración y así evitar el daño de los materiales del motor.

Y por último en el proceso de expansión se calcula mediante (13) y (14)

$$P_b = \frac{P_z}{\epsilon^{1.2}} \quad (13)$$

$$P_b = \frac{1404872.4}{9.6^{1.4}}$$

$$P_b = 264524.7 K \approx 0.265 MPa$$

$$T_b = \frac{T_c}{\epsilon^{1.4-1}} \quad (14)$$

$$T_b = 3269.44 * 9.6^{1.4-1}$$

$$T_b = 1481.42 K \approx 1208.2 °C$$

Con estos valores ya se pudo realizar el gráfico presión.

Figura 7:

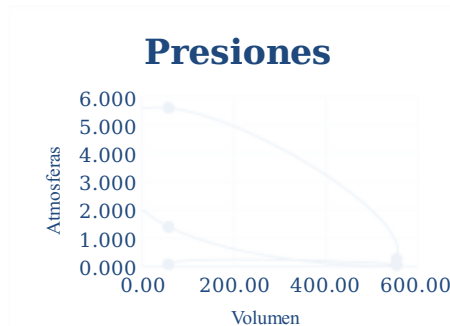


Diagrama presión volumen con resultados

Fuente: Propia

Tanto la presión como la temperatura van cambiando a medida que gira el cigüeñal como muestra en las figuras 5 y 6 tomando en cuenta que la temperatura tiene su máximo justamente en el proceso de combustión llegando a estar cerca de los 3000°C el cual tiene que ser absorbido por el sistema de refrigeración y a su vez también es irradiado hacia los demás componentes colindantes.

Figura 8:

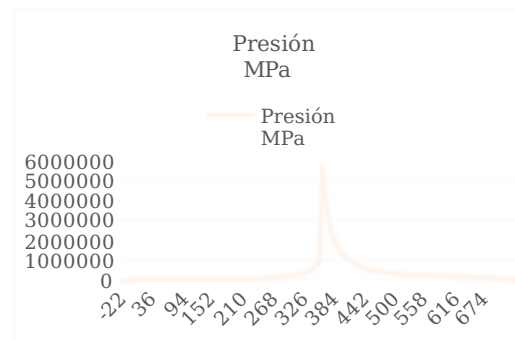


Diagrama presión en función de giro del cigüeñal

Fuente: Propia

Figura 9:

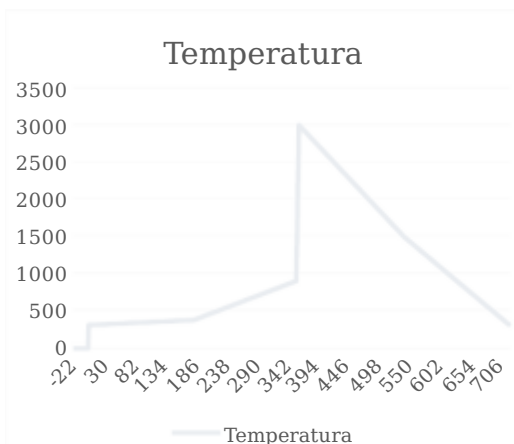


Diagrama temperatura en función de giro del cigüeñal

Fuente: Propia

Obteniendo todos los datos de las temperaturas que influyen dentro del sistema y reemplazando en las ecuaciones 2 y 3 respectivamente.

En la ecuación del calor suministrado se reemplaza los valores obtenidos en la ecuación 8 y en la tabla 2 reemplazamos en la ecuación 2 y queda de la siguiente manera.

$$q1 = 0,718(2996.29 - 881.5)$$

$$q1 = 1714.54 \text{ KJ}$$

Y su calor a la salida del sistema es reemplazando valores de la ecuación 9 y según (febi, 2020) su temperatura es de 40°C .

$$q2 = 0,718(1481.42 - 356.7)$$

$$q2 = 807.54 \text{ KJ}$$

Conociendo su calor reemplazamos en la ecuación 1:

$$\eta = 1 - \left( \frac{807.54}{1714.54} \right)$$

$$\eta = 0.529$$

## 2.2 El balance térmico del motor

Para la revisión del ciclo del motor se deslinda de herramientas, elementos que fortalece una labor de forma eficiente. Es decir, se ha consumido una porción muy pequeña de calor que se obtuvo por la quema del combustible. Entonces, la determinación de la tendencia para aprovechar la funcionalidad del calor previo a su mejoramiento del sistema con los cálculos realizados en el proceso de enfriamiento. Antes debe realizar un análisis del aprovechamiento o no del calor que se introduce al motor.

La investigación se relaciona con la revisión del motor y sus componentes de manera individual y previo aún balance técnico, funcional, características y condiciones que aprovechamiento de la carga. Siempre teniendo en cuenta la rotación, la mezcla y composición del motor. (Carrillo & Mayorga, 2017)

La funcionalidad del balance térmico que mide la cantidad de calor en relación al tiempo está dada por la siguiente ecuación:

$$Q_0 = Q_e + Q_{ref} + Q_g + Q_{ci} + Q_1 + Q_r \quad (15)$$

La nomenclatura está dada de la siguiente manera:

$Q_0$  = representa la cantidad total del calor que se introduce junto al combustible al motor.

$Q_e$  = es la equivalencia del calor al trabajo del motor, es decir, la eficiencia.

$Q_{ref}$  = la disminución del calor por medio del proceso refrigerante.

$Q_g$  = el proceso del calor que genera el motor y se atribuye a los gases de escape.

$Q_{ci}$  = es la pérdida del calor junto al combustible por su mala combinación o falta de equivalencia.

$Q_1$  = es el calor que se entregó al lubricante.

$Q_r$  = es un término aislado que mide las pérdidas no cuantificadas en los componentes del balance térmico. (Carrillo & Mayorga, 2017)

La cantidad total de calor consumida en 1 s es:

$$Q_0 = H_u G_c \quad (16)$$

Las nomenclaturas responden a:

$G_c$  = el consumo del combustible en kg/s.

$H_u$  = la cantidad calorífica a nivel inferior en J/kg

Entonces, el calor (en J/s) que es igual a la potencia efectiva (en W) es:

$$Q_e = N_e \quad (17)$$

La transmisión del calor por el medio refrigerante por medio de las paredes del cilindro, pistón, culata como de los segmentos, la medición se da por medio la siguiente ecuación:

$$Q_{ref} = G_{ref} C_{ref} (t_{sal} - t_{ent}) \quad (18)$$

El  $G_{ref}$  se considera la cantidad del agente refrigerado que pasa por el

conducto del motor en kg/s. Mientras el  $C_{ref}$  es considerado como el calor de forma específica con el agua ca = 4186 J/kg).

$t_{sal}$  es la cuantificación de la temperatura del agente refrigerante cuando sale del motor en °C; y,  $t_{ent}$ , tiene la mismo proceso pero en la entrada al motor en °C (Jóvaj, 2012).

La funcionalidad que conduce los gases de escape al calor es:

$$c_p \{t\} r_{sub} \{g\} - \{M\} r_{sub} \{1\} \quad (c_p) \{t\} r_{sub} \{0\} \\ Q_g = G_c M_2 \dot{t} \quad (19)$$

Aquí el  $G_c M_2 (\mu c_p) t_g$ , es la cuantificación del calor que es arrojado por medio del cilindro junto a los gases o denominada de escape en J/s.

$G_{CM1} (\mu c_p) t_0$ , es la cuantificación del calor que se introduce al cilindro del motor bajo una carga fresca en J/s [ $\mu c_p$ ]; y,  $\mu c_p$  que es el calor fusionada con la presión constante a base del proceso de la combustión y de la carga fresca en J/ (kmol\*°C)].

$T_g$ , representa la temperatura de los gases que fueron quemados y su medición se dio detrás del colector del escape en °C. por último la  $t_0$ , es la temperatura de la carga que ingresa en cilindro del motor en °C.

Por lo tanto:

$$Q_e = \frac{4300 \text{ KJ}}{s} \\ Q_{ref} = G_{ref} C_{ref} (t_{sal} - t_{ent}) \\ Q_{ref} = 3 \frac{\text{Kg}}{s} * 4.19 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \cdot \text{K}} (98^\circ\text{C} - 65^\circ\text{C}) \\ Q_{ref} = 414.81 \frac{\text{KJ}}{s}$$

Para encontrar el gasto de combustible

$$B = b_e * N_e / 3600 \\ B = \frac{0.252 * 4300}{3600}$$

$$B = 0.301 \frac{Kg}{s}$$

$$c p) \{t\} rsub \{g\} - \{M\} rsub \{1\} ( cp) \{t\} rsub \{g\} = B M_2 \dot{v}$$

$$Q_g = 0.30116.4 * 1.44 * 777 - 15.5 * 1.44 * 15$$

$$Q_g = 5422.46 \frac{KJ}{s}$$

$$Q = B * Q_c^o = 0.301 * 44000$$

$$Q = 13244 \frac{KJ}{s}$$

Con estos valores se puede sacar el calor perdido en otros elementos como radiación y en el lubricante.

$$Q_{res} = Q - (\dot{v} g + Q_{refr} + Q_e)$$

$$Q_{res} = 13244 - (5422.46 + 414.81 + 4300)$$

$$Q_{res} = 3521.53 \frac{KJ}{s}$$

Ahora con los valores obtenidos se genera la tabla y los porcentajes que representa sobre el calor generado en el motor.

**Tabla 6.**

Tabla de resultados obtenidos de las energías.

| Energías   | Valor KJ/S | %    |
|------------|------------|------|
| $Q_e$      | 4300       | 32%  |
| $Q_{refr}$ | 414,81     | 3%   |
| $Q_g$      | 5422,46    | 41%  |
| $Q_{res}$  | 3521,54    | 27%  |
| $Q$ total  | 13244      | 100% |

Nota: Fuente Propia

Figura 10:



Diagrama Sankey de energías aprovechadas  
Nota: Fuente: Propia

### 3. DISCUSION.

(Frankin Alberto Cabrera Cortez, Edison Muuricio Tigre Guncay, 2016), muestra que un MCI mantenido por gasolina, no logra alcanzar el 100% de la eficiencia térmica perfecta. El cual menciona que solo un 30% de la energía calórica que contienen se transforma en movimiento y lo restante se disipa hacia la atmósfera a través del sistema de escape de esta manera deduciendo que no es posible que se pueda crear una maquina térmica que trabaje al 100% ya que siempre va a existir perdidas de calor en sus paredes metálicas del cilindro, cámara de combustión y pistones del motor .

De acuerdo a (LEON, 2020) la eficiencia térmica aprovechada por el motor solo es de un 52.9% de la energía producida lo restante debido a los multiples inconvenientes que presentan el sistema (fricción, altas temperatura, refrigerantes fuera de especificaciones técnicas), que se muestra en las formulas que nos proporciona (Mena, 2019) deduciendo que la eficiencia es el calor cedido siempre va a ser mayor al calor aprovechado es por lo cual que se genera un deficit en el proceso de trabajo.

Se asimila que los nuevos prototipos los motores aumentan su eficiencia ya que consumen de 4-5 litros de gasolina a diferencia de los anteriores que consumían unos 15 litros aproximadamente, ya que gracias a la mejora de líquidos refrigerantes y materiales de construcción del motor se puede aumentar un porcentaje su eficiencia pero aun así se sigue viendo la pérdida de energía térmica en el ciclo de Otto.

Sin embargo (Carrillo & Mayorga, 2017) dice que el ciclo del motor al realizar el trabajo solo se consume una mínima parte del calor producido al momento de la combustión por lo cual se debe tener presente en que se gasta el calor introducido al motor, se determinan los componentes separados del balance térmico en función de los diferentes parámetros que caracterizan las condiciones de explotación.

#### 4. RESULTADOS

En el análisis hecho al sistema de refrigeración del motor de combustión interna del Audi Q5 de acuerdo a los parámetros con los que se dispone en el vehículo y en los manuales sobre la relación que existe entre la potencia, velocidad y consumo de combustible y, además la determinación cuantitativa del balance térmico cuyos parámetros nos permitirán establecer si la energía aprovechada y la energía perdida están entre los rangos técnicos prefijados para su funcionamiento óptimo del motor

De acuerdo a (Carrillo & Mayorga, 2017) explicaron que  $Q_0$  es la cuantificación total del calor que fue introducida junto al combustible en el motor bajo un proceso estipulado. Mientras  $Q_e$ , fue el calor que es igual al trabajo que realizó el motor.

Pero  $Q_{ref}$ , es el calor que dio en el sistema refrigerante. La  $Q_{ci}$ , es el sector donde se genera el calor del combustible pero se pierde por una mala combustión.  $Q_1$ , fue el calor que se entregó al lubricante. Por último  $Q_r$ , un medio que determina la pérdida de calor que fueron incluidas en los componentes del balance térmico.

De esta forma se obtuvo que su trabajo efectivo solo se aprovecha en un 32% lo cual dice que está por debajo al estudio de la segunda ley de la termodinámica que el refrigerante solo ayuda a aprovechar un 3% del calor producido en el sistema ya que el 41% del calor es evacuado por el sistema de escape y el calor restante que sería el 27% es disipado a la atmósfera representado en el diagrama de Sankey.

A partir de una metodología en la cual se cuantifique la entrada y salida del flujo energético se puede establecer el comportamiento energético en el motor de combustión interna del Audi Q5. El análisis de los ciclos termodinámicos ha demostrado que, bajo condiciones ideales, un MCI puede presentar una eficiencia de hasta 56.5 %, sin embargo, en condiciones reales la eficiencia energética es mucho menor siendo un 32 %.

#### 5. CONCLUSION Y RECOMENDACION

Por lo que se concluye que estas pérdidas de energía en el motor se manifiestan por el aumento de la altura generando mayor esfuerzo produciendo que su temperatura sea mayor a un motor que trabaje al nivel de mar, la presión atmosférica en menor con lo cual el aire es menos denso, ósea que hay menor oxígeno en el mismo volumen de aire es decir tenemos una



---

mezcla pobre en la cámara de combustión, esto afecta notablemente en su rendimiento, también la mala calidad del refrigerante (agua al 100%) esto a demostrado que no se puede a disipar el calor según los datos técnicos que nos proporciona el fabricante, son los principales cuasantes de perdida de energía calórica en el proceso.

De acuerdo a los resultados proporcionados del cálculo térmico se graficó y considero porcentualmente en el diagrama de SANKEY, de cuyo análisis se puede concluir que el motor, del calor o energía suministrado, presenta un eficiente aprovechamiento en calor útil, y los calores cedidos al refrigerante también están en defecto, y los calores cedidos a los gases de escape y las pérdidas de calor no calculadas son mayores.

Se recomienda utilizar refrigerantes al 100% y un buen aceite de motor para una optima eficiencia y no exista sobrecalentamientos o perdidas de potencia y trabajo.