



DOI: <https://doi.org/10.23857/dc.v9i4.3640>

Ciencias Técnicas y Aplicadas  
Artículo de Investigación

*Estudio de los esfuerzos cortantes en el sistema refrigerante*

*Study of shear stresses in the refrigerant system*

*Estudo de tensões de cisalhamento no sistema refrigerante*

Juan Carlos Rubio-Terán <sup>I</sup>  
[jrubio@uide.edu.ec](mailto:jrubio@uide.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0001-7300-8204>

Geovanny Sebastián Álvarez-Balladares <sup>II</sup>  
[gealvarezba@uide.edu.ec](mailto:gealvarezba@uide.edu.ec)  
<https://orcid.org/0009-0002-4639-292X>

Steban Nicolás Rogel-Vilatuña <sup>III</sup>  
[strogelvi@uide.edu.ec](mailto:strogelvi@uide.edu.ec)  
<https://orcid.org/0009-0004-4359-6446>

Christian Nicolás Suárez-Salguero <sup>IV</sup>  
[chsuaresza@uide.edu.ec](mailto:chsuaresza@uide.edu.ec)  
<https://orcid.org/0009-0007-3055-1195>

**Correspondencia:** [jrubio@uide.edu.ec](mailto:jrubio@uide.edu.ec)

\***Recibido:** 29 de agosto de 2023 \***Aceptado:** 01 de septiembre de 2023 \* **Publicado:** 16 de octubre de 2023

- I. Magíster, Docente, Universidad Internacional del Ecuador, Ibarra, Ecuador.
- II. Estudiante, Universidad Internacional del Ecuador, Quito, Ecuador.
- III. Estudiante, Universidad Internacional del Ecuador, Quito, Ecuador.
- IV. Estudiante, Universidad Internacional del Ecuador, Quito, Ecuador.

## Resumen

El refrigerante G12 y el agua potable de Quito fueron analizados a mismas temperaturas de operación. Ambos fueron puestos a prueba en un VW Gol 1.6 del año 2014. Esto se da con el objetivo de determinar cuál cumple mejor la función de refrigerante

Para realizar el artículo los estudios se realizaron bajo las normas ASTM D3306 y ASTM D4985, estudios de esfuerzo cortante newtoniano y no newtoniano, así como el de la gradiente de velocidad, teniendo en cuenta que la bomba tiene una velocidad inicial de 1.5 m/s. Además, se desarrolló un software en lenguaje C++ para realizar los estudios de manera más eficiente. En este sentido, los resultados arrojaron que el refrigerante G12 tiene un esfuerzo cortante superior al agua en las temperaturas de 20°C y 90°C, ya que, como bien se sabe la viscosidad disminuye mientras la temperatura aumenta, por lo que a elevadas temperaturas esto se cumple con el esfuerzo cortante newtoniano y no newtoniano de ambos fluidos.

A partir de los estudios realizados se concluyó que el fluido refrigerante más idóneo para un sistema de refrigeración de un VW Gol 1.6 2014 es el líquido refrigerante G12 debido a que, en comparación al agua potable, este mantiene un esfuerzo cortante más elevado a los 90°C, lo cual se respalda con las tablas obtenidas. Por lo que va a ser capaz de cumplir la función principal de regular la temperatura de manera exitosa.

**Palabras Claves:** Sistema de refrigeración; Refrigerante G12; Agua; Esfuerzo; Software.

## Abstract

The G12 refrigerant and Quito's drinking water were analyzed at the same operating temperatures. Both were tested in a VW Gol 1.6 from 2014. This is with the aim of determining which one best performs the coolant function.

To carry out the article, the studies were carried out under the ASTM D3306 and ASTM D4985 standards, studies of Newtonian and non-Newtonian shear stress, as well as the velocity gradient, taking into account that the pump has an initial speed of 1.5 m/s. In addition, software was developed in C++ language to carry out the studies more efficiently. In this sense, the results showed that the G12 refrigerant has a higher shear stress than water at temperatures of 20°C and 90°C, since, as is well known, viscosity decreases as the temperature increases, so at high temperatures this is true. with the Newtonian and non-Newtonian shear stress of both fluids.

## Estudio de los esfuerzos cortantes en el sistema refrigerante

---

From the studies carried out, it was concluded that the most suitable coolant fluid for the cooling system of a VW Gol 1.6 2014 is the G12 coolant liquid because, compared to drinking water, it maintains a higher shear stress at 90°C. , which is supported by the tables obtained. So it will be able to fulfill the main function of regulating the temperature successfully.

**Keywords:** Refrigeration system; G12 coolant; Water; Effort; Software.

### Resumo

O refrigerante G12 e a água potável de Quito foram analisados nas mesmas temperaturas de operação. Ambos foram testados em um VW Gol 1.6 de 2014. Isso com o objetivo de determinar qual deles desempenha melhor a função de refrigeração.

Para a realização do artigo, os estudos foram realizados sob as normas ASTM D3306 e ASTM D4985, estudos de tensão de cisalhamento newtoniana e não newtoniana, bem como gradiente de velocidade, levando em consideração que a bomba possui velocidade inicial de 1,5 m /s. Além disso, foi desenvolvido um software em linguagem C++ para a realização dos estudos com maior eficiência. Nesse sentido, os resultados mostraram que o refrigerante G12 apresenta uma tensão de cisalhamento maior que a água nas temperaturas de 20°C e 90°C, pois, como se sabe, a viscosidade diminui à medida que a temperatura aumenta, portanto em altas temperaturas isso é verdade. e tensão de cisalhamento não newtoniana de ambos os fluidos.

Dos estudos realizados concluiu-se que o fluido refrigerante mais adequado para o sistema de refrigeração de um VW Gol 1.6 2014 é o líquido refrigerante G12 pois, comparado à água potável, mantém uma tensão de cisalhamento maior a 90°C, o que é suportado. pelas tabelas obtidas. Assim poderá cumprir com sucesso a função principal de regular a temperatura.

**Palavras-chave:** Sistema de refrigeração; Refrigerante G12; Água; Esforço; Programas.

### Introducción

En el Ecuador existe una problemática al momento de colocar o cambiar el líquido refrigerante en los vehículos, ya que muchas personas implementan otro tipo de fluido como es el agua en el sistema de enfriamiento. Incurrir a un incorrecto líquido puede provocar daños en este sistema y en el motor, por tal motivo el presente artículo busca estudiar los esfuerzos cortantes que pueden tener estos líquidos tomando en cuenta las características técnicas del refrigerante. El líquido que se utiliza en este sistema

## Estudio de los esfuerzos cortantes en el sistema refrigerante

---

debe cumplir con ciertas características para ser óptimo en cuanto a desempeño y eficiencia. Este va a ser el sujeto de estudio central, teniendo en cuenta que el objetivo principal es estudiar y entender que el refrigerante encapsula el calor de una mejor manera que el agua (Reyes, 2021).

El esfuerzo cortante del líquido refrigerante es el factor fundamental de estudio, ya que este va a partir de una fuerza inicial de empuje directamente proporcional a la multiplicación del área, velocidad de la placa móvil y viscosidad, e inversamente proporcional a la distancia entre placas (Nordeste, 2013), teniendo en cuenta la viscosidad de un líquido refrigerante a determinada temperatura, cuando pasa a través de tubos con determinado diámetro con cierta fuerza y aceleración.

El sistema de refrigeración como tal es aquel con una de las funciones más importantes dentro del vehículo para el correcto funcionamiento de este, esa función es la regulación de la temperatura de los diferentes componentes del motor, de manera que estos no tengan una temperatura elevada que pueda desembocar como consecuencia en dilataciones de las piezas, y si a su vez poseen una temperatura muy baja de funcionamiento, esto causaría una reducción considerable del rendimiento del motor. Cabe recalcar que las piezas que tienen necesidad de una refrigeración mayor son la culata, las válvulas y los cilindros (Cebrian A. A. J., 2016).

(Cabrera. F, Tigre. E, 2016) En su tesis de menciona que la refrigeración puede darse por dos tipos: por aire y por líquidos (Cabrera. F, Tigre. E, 2016). En este estudio el enfriamiento por aire es aquel que se da en los motores que van dispuestos de manera horizontal, como por ejemplo las motocicletas y vehículos pequeños, donde se dice que son motores fríos y van a aprovechar el flujo de aire para que se puedan refrigerar.

Juan Rueda en su artículo de sistema de refrigeración, explica que cuando el motor está por debajo de la temperatura de operación de  $90^{\circ}$ , el refrigerante circulará directo por el motor sin pasar por el radiador, provocando que el motor llegue a su temperatura ideal de funcionamiento. Además, el termostato interno del automotor se abrirá para permitir la circulación del refrigerante a través del radiador cuando este necesite bajar la temperatura (Rueda, 2020). Por lo que se reconoce que la elección correcta de un refrigerante garantiza el correcto funcionamiento del vehículo, ya que, de no ser así, uno de mala calidad podría ser perjudicial para este, causando daños que pueden ser irreversibles.

Henry Gavilema en su investigación define a la refrigeración por líquido como el sistema cerrado en un circuito que contiene refrigerante, el cual se encarga de absolver el calor radiado y de retornar a

## Estudio de los esfuerzos cortantes en el sistema refrigerante

---

un depósito refrigerante donde el líquido baja su temperatura para retornar de nuevo al circuito con el fin de cumplir nuevamente su misión de refrigeración, el circuito está establecido por el interior del bloque y culata que son piezas de fabricación huecas, para que de esta forma el líquido refrigerante circule entre las camisas y cámaras de combustión [6]. Por lo que el líquido que se use de refrigerante debe tener un punto de fusión suficientemente alto con el fin de que logre su propósito sin que existan escasas y pérdidas de líquido refrigerante en el proceso.

En el proyecto se usó los diferentes materiales, herramientas y normativas de obtención de datos con el objetivo de obtener un resultado final. Se procedió a dar forma al proyecto mediante la aplicación de las distintas herramientas, las cuales nos facilitó a la ejecución precisa y ordenada de este, como lo es el calibrador pie de rey, el cual tiene como propósito medir las paredes por donde va a circular el refrigerante. Además, se procedió a utilizar un vehículo de prueba estándar con un líquido refrigerante G12 (Superauto, 2020), tomando a su vez en cuenta al sistema de refrigeración del motor mediante tubos de retorno y capilares, ya mencionados con anticipación. Como punto final cabe recalcar que se empleó la norma ASTM D1177-16 y ASTM D 1120-16, con el fin de normar la obtención de datos y así cumplir con los objetivos planteados (Scacco, 2016).

### Marco teórico

Los inicios del sistema de refrigeración se presentan en el año 1885 de la parte de Karl Benz, dando una solución ante la gran cantidad de agua que se usaba para enfriar sus motores, Karl implemento el radiador en el vehículo, en su inicio se implementaban líquidos como agua o alcohol de madera que cumplían la función del líquido refrigerante. En el año 1856 Charles Wurtz creo el glicol etílico (componente principal del líquido de refrigeración), pero no fue hasta el año 1926 que el glicol etílico fue utilizado como anticongelante. En la actualidad otros químicos han comenzado a ganar popularidad como es la tecnología de propilenglicol y ácido orgánico, pero el glicol etílico sigue siendo el componente ideal y de excelencia para muchas marcas de líquidos refrigerantes. El glicerol es el químico que presenta similares características al glicol etílico y es una alternativa a futuro para el sistema de refrigeración ya que no es tóxico no obstante su costo incrementa (Bardahl, 2020).

El sistema de refrigeración es el encargado de transformar y controlar el incremento de calor para que la temperatura del motor sea estable, manteniéndole en óptimas condiciones de trabajo. La temperatura ideal de trabajo de motor oscila entre los 80°C a los 105°C. Existen seis componentes

## Estudio de los esfuerzos cortantes en el sistema refrigerante

que forman el sistema de refrigeración los cuales permiten que circule el fluido con facilidad para refrigerar el motor (Bardahl, 2018). Entre estos componentes tenemos:

Las mangueras las cuales se encargan de conectar el radiador, la bomba de agua y que pase por el motor el líquido refrigerante.

Ventilador el cual aspira grandes cantidades de aire para que circule por el radiador.

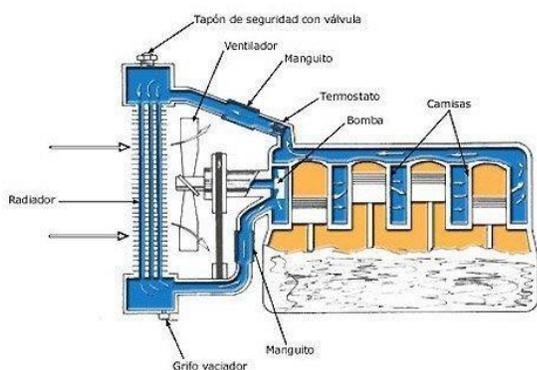
Bomba de agua se encarga de hacer circular el fluido a través del bloque motor y los demás componentes del motor, el cual es accionado por la correa de transmisión ya que se conecta al cigüeñal.

Tapón del radiador es el encargado de mantener la presión y el volumen adecuados en el sistema de refrigeración.

Radiador es por donde recibe directamente aire el fluido, donde disminuye su temperatura debido a la velocidad del aire.

Termostato es la válvula encargada de mantener la temperatura adecuada del líquido refrigerante.

### **Ilustración 1.** Sistema de refrigeración



**Fuente:** David Utrilla, 2015

El fluido a ser sujeto de estudio es el refrigerante G12, el cual es peculiar debido a que se trata de un anticongelante orgánico y es por eso por lo que no es recomendable mezclarlo con ningún otro producto que no sea G12, ya que de no seguir la recomendación el refrigerante pasará de un color salmón a uno marrón, este a su vez generará un precipitado que va a desembocar en un purgado con fines de limpieza para no causar daños a la bomba a largo plazo (Bocanegra, 2019).

### **Ilustración 2.** Refrigerante G12

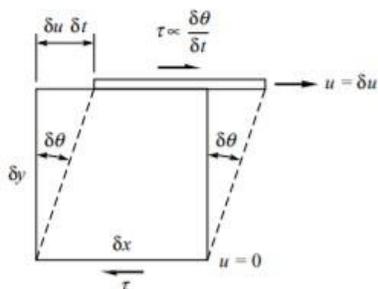
Estudio de los esfuerzos cortantes en el sistema refrigerante



**Fuente:** Esteban Bocanegra, 2019

Cuando se habla de viscosidad se menciona a una medida cuantitativa de la resistencia del fluido a fluir, por lo que va a determinar la velocidad de deformación cuando se aplica un esfuerzo cortante al fluido (White, 2004). Si consideramos una partícula fluida sometida a un esfuerzo cortante en un plano se tiene la siguiente ilustración.

**Ilustración 3.** Esfuerzo cortante en un fluido



**Fuente:** (White, 2004).

En el gráfico se puede observar el ángulo de deformación aumenta mientras se le aplique un esfuerzo cortante a través del tiempo, notando así un movimiento en la superficie superior con cierta velocidad mayor a la superficie inferior.

De la ilustración 1 se puede obtener la siguiente ecuación

*Ecuación 1:*

$$\tau = \mu \frac{du}{dy}$$

**Fuente:** (White, 2004).

Esta misma ecuación cuando se habla de un caso de variaciones infinitesimales, se tiene como resultado entre la velocidad de deformación y el gradiente de velocidad.

## Estudio de los esfuerzos cortantes en el sistema refrigerante

---

*Ecuación 2:*

$$\frac{d}{dt} = \frac{du}{dy}$$

**Fuente:** (White, 2004).

Por lo que, al saber que el esfuerzo aplicado es proporcional a la gradiente de velocidad (para fluidos comunes), se tiene la siguiente ecuación con el coeficiente de viscosidad como la constante de proporcionalidad:

*Ecuación 3*

$$\tau = \mu \frac{du}{dy}$$

**Fuente:** (White, 2004).

Que reemplazándola con la ecuación 2 se tendría la siguiente ecuación de esfuerzo cortante

*Ecuación 4:*

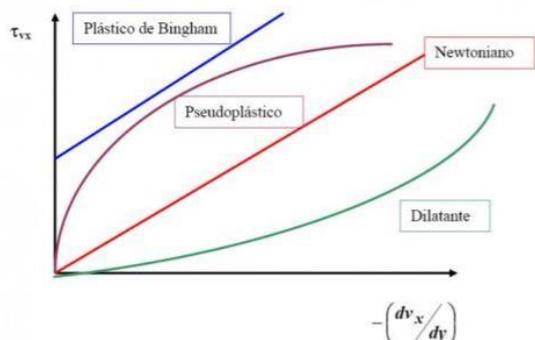
$$\tau = \mu \frac{du}{dy}$$

**Fuente:** (White, 2004).

La clasificación de los fluidos, teniendo en cuenta el objetivo presente del artículo, se dividen entre newtonianos, que son los más comunes como lo son gases o líquidos, y no newtonianos como lo son hidrocarburos espesos y cadena de cargas. Además, de manera general los fluidos también se dividen en:

**Ilustración 4.** Clasificación de los fluidos

## Estudio de los esfuerzos cortantes en el sistema refrigerante



**Fuente:** Ing. Gorky G. Reyes C. Msc, 2021

En un fluido newtoniano existe un enlace lineal entre la magnitud del esfuerzo cortante aplicado y la tasa de deformación resultante, En un fluido no newtoniano existe una relación no lineal entre la magnitud del esfuerzo cortante aplicado y la tasa de deformación angular.

## Materiales y métodos

### Metodología

La metodología de investigación aplicada a la presente investigación es de carácter cuantitativa. Por ello, se debe definir en qué consiste esta. Una de las características principales de la presente metodología es la presencia de variables numéricas para representar el problema del artículo. Esta variable viene plasmada mediante el esfuerzo cortante, el cual debe ser calculado en función del diámetro, la viscosidad, la velocidad y la longitud de los conductos por donde pasa el refrigerante. Por otro lado, al tener los datos en función a los ya mencionados parámetros, se esperan datos en función a las diferentes temperaturas establecidas del fluido. Dentro de los cálculos obtenidos se va a tener resultados de la parte newtoniana y no newtoniana, así como la gradiente de velocidad del fluido.

### *Componentes del sistema refrigerante del VW gol 1.6 2014*

El sistema de refrigeración del automóvil Volkswagen Gol 1.6 2014 está compuesto de nueve partes (Ferrer, 2014), las cuales están:

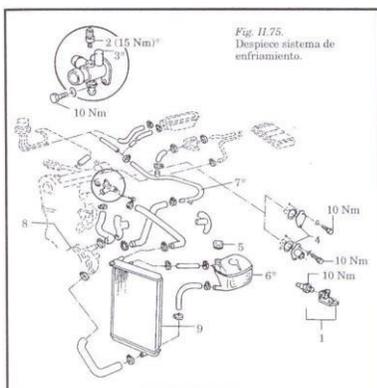
1. Interruptor térmico para funcionamiento posterior del ventilador
2. Sensor de temperatura del líquido

## Estudio de los esfuerzos cortantes en el sistema refrigerante

3. Brida de las mangueras
4. Brida posterior
5. Tapa del depósito del líquido
6. Depósito del líquido
7. Tubo rígido
8. Bomba de agua
9. Radiador

Así como lo muestra la ilustración

### Ilustración 5. Sistema de refrigeración del auto Volkswagen Gol 1.6



**Fuente:** (Ferrer, 2014).

### Refrigerante G12

Dentro del estudio a realizar se ocupó el fluido anticongelante G12 que será el sujeto de pruebas a analizar, se escogió este refrigerante ya que es el refrigerante por excelencia y recomendación para el modelo de vehículo de prueba, siendo a su vez un refrigerante orgánico el cual no es recomendable mezclar o utilizar otro tipo de refrigerante en el sistema de refrigeración del Volkswagen Gol G6 1.6. La viscosidad de este refrigerante va a tomar los valores de la siguiente tabla (The Viking Corporation, 2011):

**Tabla 1.** Viscosidad del refrigerante G12 con respecto a la temperatura

<i>Temperatura</i>	<i>Viscosidad (Ns/m<sup>2</sup>)</i>
20°C	0.004
90°C	0.0026

**Fuente:** (The Viking Corporation, 2011)

## Estudio de los esfuerzos cortantes en el sistema refrigerante

---

### ***Norma ASTM D3306, ASTM D4985***

La norma ASTM D3306 hace referencia a un estándar de especificación para refrigerantes automovilísticos a base de glicol. Aquí menciona que cuando los concentrados usados van entre 40% y 70% por volumen en agua o cuando los refrigerantes de motor prediluido a base de glicol, con un volumen de 50% mínimo, no son diluidos más, estos funcionarán para dar protección al auto sobre agentes externos (American Society for Testing Materials, 2014).

La siguiente norma es la ASTM D4985, en la cual se mencionan los requerimientos para los refrigerantes de motor a base de etilenglicol con bajo contenido de silicato. Que cuando los concentrados usados son de entre 40% y 60% por volumen en agua, o cuando los refrigerantes de motor a base de glicol prediluido, son usados con un 50% de volumen mínimo, trabajan de manera más efectiva (American Society for Testing Materials, 2016)

### ***Variables***

Las variables que se utilizarán para el proceso de análisis de esfuerzo cortante en el sistema de refrigeración serán:

- El anticongelante G12, el cual tiene una protección de hasta  $-31^{\circ}\text{C}$ , actúa de manera eficaz en un circuito de presión, retarda su ebullición hasta  $145^{\circ}\text{C}$ , esto evita cualquier calentamiento en el motor.
- Para medir el diámetro de la cañería del sistema de refrigeración en el vehículo de prueba se recurrió a utilizar un calibrador pie de rey el cual arroja medidas de 16 (mm) de diámetro y con una longitud de 15 (m)
- La velocidad en la bomba es la velocidad a la que transcurre el fluido por la bomba de agua es una velocidad fija, esta depende de las revoluciones del motor, la velocidad máxima que puede transcurrir por la tubería del sistema de refrigeración es de 1,5 m/s
- Estos valores de las variables previamente dichas permitirán realizar la parte de resultados a la cual mediante diversas fórmulas se procederá a resolver y hallar el esfuerzo cortante en el líquido del sistema de refrigeración.

### ***Agua potable de Quito***

El agua potable va a ser otro elemento que tener en consideración en cuanto a este estudio comparativo con el refrigerante G12. Este tipo de fluido vital se rige bajo la norma NTE INEN 1108, la cual determina los requisitos que debe cumplir el agua para uso humano, a continuación, se muestra

Estudio de los esfuerzos cortantes en el sistema refrigerante

las características físicas, sustancias inorgánicas y radioactivas de esta (Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, 2020).

**Tabla 2.** Tabla de parámetros del agua potable de Quito

Parámetro	Unidad Límite	Máximo permitido
<b>Características físicas</b>		
<b>Color</b>	Unidades de color transparente (Pi-Co)	15
	<b>Inorgánicos</b>	
<b>Antimonio</b>	Mg/L	0.02
<b>Boro</b>	Mg/L	2.4
<b>Cadmio</b>	Mg/L	0.003
<b>Plomo</b>	Mg/L	0.01

**Fuente:** (Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, 2020).

Por lo que, para su uso en este artículo, se van a tomar las viscosidades a los 20°C y 100°C, las cuales se ven en la siguiente tabla (Vaxa Software, 2017).

**Tabla 3.** Viscosidad del Agua a diferentes temperaturas

<i>Temperatura</i>	<i>Viscosidad</i>
20°C	1.0 x10 <sup>-3</sup>
90°C	0.32 x10 <sup>-3</sup>

**Fuente:** (Vaxa Software, 2017).

**Agua en comparación con el refrigerante g12**

A continuación, se presentan los estados de los diferentes líquidos sujetos a estudio en cuanto a diferentes escalas de temperatura.

**Tabla 4.** Tabla comparativa Agua-Refrigerante en cuanto a estado de la materia en diferentes temperaturas

<i>Temperatura</i>	<i>Refrigerante</i>	<i>Agua</i>
-16°C	Congelación	Congelación

Estudio de los esfuerzos cortantes en el sistema refrigerante
 

---

-24°C	Normal	Congelación
0°C	Normal	Congelación
90°C	Normal	Normal
100°C	Normal	Ebullición
>145°C	Ebullición	Evaporación

**Fuente:** Autores

### **Modelo matemático**

Con el fin de encontrar el esfuerzo cortante del refrigerante en los diferentes tubos que forman parte del sistema de refrigeración, se procedió a realizar los cálculos tanto de la parte newtoniana como la no newtoniana.

Cuando se habla de la parte Newtoniana, se procedió a tomar en cuenta las medidas del diámetro y largo de las ya mencionadas tuberías del sistema de refrigeración. Hay que considerar que al ser newtoniano se usa la ecuación de la recta, con la cual se va a obtener una ecuación de velocidad en función de  $Y$ , esta va a ser derivada y multiplicada por el valor de la viscosidad del fluido.

Mientras que cuando se trata de un fluido no newtoniano, se va a tener la ecuación de la parábola con eje la placa fija. Como resultado del paso anterior se obtiene “P”, el cual va a ser reemplazado en la ecuación de la velocidad para fluidos no newtoniano en función de  $Y$ . Se procede a derivar el resultado y a multiplicarlo por la viscosidad del fluido.

### **Simulación en software**

El modelo matemático explicado anteriormente es introducido mediante código al programa Atom con lenguaje C++. Con el fin de facilitar al usuario su uso, se piden datos concretos como lo son las medidas de las tuberías y la viscosidad del fluido.

Cabe recalcar que este programa aplica con bombas que generen una velocidad de 1.5 m/s para la manguera de la bomba de agua mientras que, para los demás diámetros de las diferentes mangueras, se procedió a calcular la velocidad mediante la fórmula de caudal.

**Ilustración 6.** Código del software desarrollado para el cálculo de los esfuerzos cortantes y gradientes de velocidad

## Estudio de los esfuerzos cortantes en el sistema refrigerante

```
printf ("Ingerese el diametro\n");
scanf ("%f",&diámetro);
printf ("Ingerese la longitud\n");
scanf ("%f",&longitud);
printf ("Ingerese la viscosidad\n");
scanf ("%f",&viscosidad);
printf ("Ingerese la velocidad\n");
scanf ("%f",&ve);

y=diámetro/2;
printf ("El valor radio %f\n",y);
m=y/ve;
printf ("El valor pendiente %f\n",m);
mdos=1/m;
v=mdos*1;
printf ("El valor de v es: %f\n",v);
u=v*(y/2);
printf ("El valor del gradiente de velocidad %f\n",u);
dv=v;
z=viscosidad*dv;
printf ("El Esfuerzo cortante newtoniano es: %f\n",z);

printf ("Calculo no newtoninao\n");
mtres=(ve*ve)/diámetro;
printf ("La pendiente tres es: %f\n",mtres);
vdos=(2*mtres);
printf ("La vdos es: %f\n",vdos);
udos=vdos/(2*(sqrt(vdos*(y/2))));
printf ("El valor del gradiente de velocidad no newtoninao es: %f\n",u);
dvdos=vdos/(2*sqrt(vdos*y));
printf ("La derivada es: %f\n",dvdos);
zdos =viscosidad*dvdos;
printf ("El Esfuerzo cortante no newtoniano 2 es: %f\n",zdos);

zt=z+zdos;
printf ("El Esfuerzo cortante total: %f\n",zt);
```

**Fuente:** Autores

### Resultados

Los resultados que van a ser mostrados a continuación se muestran el esfuerzo cortante tanto del refrigerante G12 como del agua a temperaturas de 20°C y 90°C, tomando en cuenta los diferentes diámetros y velocidades obtenidas mediante cálculos previamente explicados. Cabe recalcar que, para el cálculo de los gradientes de velocidad, se toma un cuarto del diámetro del diámetro de la manguera. A continuación, se procede a exponer los datos de entrada previos a los diferentes cálculos.

#### *Tabla de datos de entrada*

Los resultados condicionales iniciales que se realizaron en esta investigación se tomaron en cuenta mediante las medidas de las mangueras del vehículo de prueba, a su vez de la viscosidad tanto como del refrigerante de prueba G12 como del agua potable de la ciudad de Quito y la velocidad por la que los distintos fluidos pasan por los diferentes diámetros de las mangueras.

**Tabla 5.** Diámetros y velocidades de las diferentes mangueras del sistema de refrigeración

<b>PARTES</b>	<b>DIÁMETR</b>	<b>VELOCIDAD</b>
	<b>O</b>	
Radiador superior	0.030 m	0.5399 m/s
Radiador inferior	0.031 m	0.505 m/s

Estudio de los esfuerzos cortantes en el sistema refrigerante

Vaso de expansión superior	0.016 m	1.89 m/s
Vaso de expansión inferior	0.016 m	1.89 m/s
Calefactor de entrada	0.016 m	1.89 m/s
Calefactor de salida	0.016 m	1.89 m/s
Bomba de agua	0.018 m	1.5 m/s
Bomba de agua rígida	0.018 m	1.5 m/s

**Fuente:** Autores

Mediante procedimiento matemático se procedió a resolver y a encontrar el esfuerzo cortante. Se halló la pendiente tanto del esfuerzo newtoniano como del no newtoniano, una vez hecho eso se procedió a encontrar la derivada de la velocidad sobre la derivada de la distancia ( $dv/dy$ ), la cual mediante la multiplicación entre la viscosidad y la derivada nos dio a conocer el esfuerzo cortante de los fluidos en cada tramo especificado en la tabla 6.

**Resultados individuales**

A continuación, se procederán a mostrarse los resultados individuales de cada fluido mediante la entrada de los datos en el software de Visual Estudios, se comienza exponiendo los datos primero con temperaturas de 20°C para concluir con 90°C, que es la temperatura de funcionamiento del vehículo.

**Refrigerante G12**

Temperatura: 20°C

**Tabla 6.** Tabla de valores de gradiente de velocidad y esfuerzos cortantes newtonianos y no newtonianos del refrigerante G12 a 20°C

<b>Tipo</b>	<b>Gradiente de velocidad (m/s)</b>	<b>Esfuerzo newtoniano (N/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Esfuerzo no newtoniano (N/m<sup>2</sup>)</b>
Radiador Superior	0.26995	0.143973	0.071987
Radiador Inferior	0.2525	0.130323	0.065161
Vaso de expansión superior	0.945	0.945	0.4725
Vaso de expansión a radiador	0.945	0.945	0.4725

Estudio de los esfuerzos cortantes en el sistema refrigerante

Calefactor superior	0.945	0.945	0.4725
Calefactor inferior	0.945	0.945	0.4725
Bomba de agua	0.75	0.666	0.3333
Bomba de agua a tubo rígido	0.75	0.666	0.3333

**Fuente:** Autores

Temperatura: 90°C

**Tabla 7.** Tabla de valores de gradiente de velocidad y esfuerzos cortantes newtonianos y no newtonianos del refrigerante G12 a 90°C

<b>Tipo</b>	<b>Gradiente de velocidad (m/s)</b>	<b>Esfuerzo newtoniano (N/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Esfuerzo no newtoniano (N/m<sup>2</sup>)</b>
Radiador Superior	0.26995	0.093583	0.046791
Radiador Inferior	0.2525	0.084710	0.042355
Vaso de expansión superior	0.945	0.61425	0.307125
Vaso de expansión a radiador	0.945	0.61425	0.307125
Calefactor superior	0.945	0.61425	0.307125
Calefactor inferior	0.945	0.61425	0.307125
Bomba de agua	0.75	0.288889	0.14444

Estudio de los esfuerzos cortantes en el sistema refrigerante

*Agua*

Temperatura:

Bomba de agua a tubo rígido	0.75	0.288889	0.14444
-----------------------------	------	----------	---------

**Fuente:** Autores

20°C

**Tabla 8.** Valores de gradiente de velocidad y esfuerzos cortantes newtonianos y no newtonianos del agua a 20°C

<b>Tipo</b>	<b>Gradiente de velocidad (m/s)</b>	<b>Esfuerzo newtoniano (N/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Esfuerzo no newtoniano (N/m<sup>2</sup>)</b>
Radiador Superior	0.2699	0.3599	0.01799
Radiador Inferior	0.2525	0.0325	0.0162
Vaso de expansión superior	0.9450	0.2362	0.1181
Vaso de expansión a radiador	0.9450	0.2362	0.1181
Calefactor superior	0.9450	0.2362	0.1181
Calefactor inferior	0.9450	0.2362	0.1181
Bomba de agua	0.5	0.1111	0.05556
Bomba de agua a tubo rígido	0.5	0.1111	0.05556

**Fuente:** Autores

Estudio de los esfuerzos cortantes en el sistema refrigerante

*Temperatura: 90°C*

**Tabla 9.** Valores de gradiente de velocidad y esfuerzos cortantes newtonianos y no newtonianos del agua a 90°C

<b>Tipo</b>	<b>Gradiente de velocidad (m/s)</b>	<b>Esfuerzo newtoniano (N/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Esfuerzo no newtoniano (N/m<sup>2</sup>)</b>
Radiador Superior	0.2699	0.0115	0.2699
Radiador Inferior	0.2525	0.0104	0.0052
Vaso de expansión superior	0.9450	0.0756	0.0378
Vaso de expansión a radiador	0.9450	0.0756	0.0378
Calefactor superior	0.9450	0.0756	0.0378
Calefactor inferior	0.9450	0.0756	0.0378
Bomba de agua	0.5	0.0355	0.0177
Bomba de agua a tubo rígido	0.5	0.0355	0.0177

**Fuente:** Autores

### Comparativa de resultados

Los resultados determinaron que el agua no es un líquido apto para un sistema de refrigeración, pero no obstante si cumple con el propósito de mantener la temperatura del motor ya que tiene una mejor disipación de calor, pero debido a su punto de congelación, que es a los 0 °C y ebullición a los 100°C, hace que el agua se evapore o se congele de manera más rápida. De igual manera el agua oxida el sistema, ya que genera cavitaciones o espumas, dando como consecuencia que el sistema se malogre. El líquido adecuado para el sistema es el refrigerante G12, ya que al ser un líquido orgánico y

## Estudio de los esfuerzos cortantes en el sistema refrigerante

---

fabricado con etilenglicoles que son alcoholes, le brinda a este la propiedad de no congelación a baja temperatura y por otra parte su punto de ebullición se encuentra a una temperatura más alta. Los aditivos que se le agregan a la fabricación del refrigerante, como son los antiespumantes, conservadores, colorantes, antioxidantes, anticorrosivo, ayudan en cuanto a su dinámica ya que no se producirá espumas y caso contrario, ayudan a que estas se eliminen rápido.

### Conclusiones

En conclusión, mediante los estudios previos realizados en la investigación se pudo determinar que el esfuerzo cortante del líquido refrigerante analizado (G12) es mayor al esfuerzo cortante del agua potable de Quito, por ende, la utilización de un refrigerante adecuado para el vehículo permitirá el enfriamiento respectivo del motor.

En síntesis, al analizar los resultados plasmados en la sección podemos asegurar que se cumple la afirmación que establece que la viscosidad disminuye cuando la temperatura del fluido aumenta y, por ende, observando las ecuaciones planteadas, también va a reducir su esfuerzo cortante. Además, es posible denotar que la velocidad del fluido por las distintas cañerías va a variar ya que se sigue la ecuación del caudal, que dice que el caudal se mantendrá constante pero la velocidad del fluido variará dependiendo del área de la tubería que se está estudiando.

En conclusión, el software desarrollado fue una pieza fundamental a la hora de la obtención de resultados, ya que gracias a este fue posible obtener datos con mayor rango de exactitud en cuanto a los esfuerzos cortantes newtonianos y no newtonianos, así como los gradientes de velocidad. Además, cabe recalcar que gracias a este se pudo tener ahorro de recursos en cuanto a tiempo, debido a que el proceso de cálculos fue rápido ya que este realizaba todos los procesos necesarios para obtener el resultado en base a datos introducidos por el usuario.

### Referencias

- Reyes, G. (2021). Mecánica de fluidos [Material de clase, “Mecánica de fluidos”]. UIDE-EIA, Quito.  
Nordeste, N d (2013). “Mecánica de fluidos”. Universidad Nacional del Nordeste.  
<http://ing.unne.edu.ar/pub/fisica2/2013/20130610/CLASEFLUIDOS.pdf>. [Último acceso: 06 04 2021].

Estudio de los esfuerzos cortantes en el sistema refrigerante

---

- Cebrian, A. A. J (2016). “Mecánica y entretenimiento simple del automóvil”.  
<https://www.dgt.es/Galerias/seguridad-vial/formacion-vial/cursos-para-profesores-y-directores-de-autoescuelas/XIX-curso-de-profesores/Mecanica-y-entretenimiento-simple-delautomovil.pdf>. [Último acceso: 06 04 2021].
- Cabrera, F. Tigre, E. (2016). “Diseño y construcción de los sistemas de refrigeración de un vehículo formula SAE eléctrico”. (Publicación No. UPS-CT006846) [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana]. DSpace.ups.edu.ec.  
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/13257/1/UPS-CT006846.pdf>
- Rueda, J. (2020, septiembre). “SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DEL MOTOR”.  
<http://juanruedaconinternational.com/content/sistema-de-refrigeraci%C3%B3n-del-motor-0>. [Último acceso: 13 abril 2021].
- Gavilema, D. (2014). “Estudio teórico y experimental de los parámetros de funcionamiento de un motor de combustión interna a gasolina a diferente concentración de agua-refrigerante”. [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. DSpace ESPOCH.  
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4027>
- Superauto (2020, diciembre 8). “Anticongelante G12”. Superauto. <https://superauto.es/mejor-anticongelante-g12-barato/>.
- Scacco, M. Vargas, K. (2016).” Estudio de la factibilidad para la fabricación local de refrigerante en los motores de combustión interna”. [Tesis de grado, Universidad Internacional del Ecuador]. Repositorio Digital UIDE. <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/1589>
- Bardahl. (2020).” La Historia del Sistema de Enfriamiento”. Bardahl.  
<https://www.bardahl.com.mx/la-historia-del-sistemaenfriamiento/#:~:text=Inicios%20del%20sistema%20de%20enfriamiento,de%20su%20punto%20de%20bullici%C3%B3n>.
- Bardahl, I (2018, abril 30). “Breve Historia del Líquido Anticongelante”. Bardahl.  
<https://www.bardahlindustria.com/breve-historia-del-liquido-anticongelante/>
- Bocanegra, E. (2019, octubre 2). “¿Quieres saberlo todo sobre el líquido anticongelante o refrigerante?”. Autonoción. <https://www.autonocion.com/anticongelante-coche-refrigerante-g12/>.

Estudio de los esfuerzos cortantes en el sistema refrigerante

---

- White, F. (2004). “VISCOSIDAD Y OTRAS PROPIEDADES SECUNDARIAS”. McGraw-Hill. Mecánica de fluidos (2nd ed., pp 22-23).
- Ferrer, G. (2014). “Reparación y ajuste de automóviles GOL.”. Volkswagen.
- The Viking Corporation. (2011). “Sistema de protección de cámara frigoríficas con ESFR”. [PDF]. Viking Group Inc. [https://www.vikinggroupinc.com/sites/default/files/databook/freezerstorage/033004\\_es.pdf](https://www.vikinggroupinc.com/sites/default/files/databook/freezerstorage/033004_es.pdf)
- American Society for Testing Materials. (2014). “Standard Specification for Glycol Base Engine Coolant for Automobile and Light-Duty Service”. ASTM D3306-11. <https://www.astm.org/d3306-11.html>
- American Society for Testing Materials. (2016). “Standard Specification for Low Silicate Ethylene Glycol Base Engine Coolant for Heavy Duty Engines Requiring a Pre-Charge of Supplemental Coolant Additive (SCA)”. ASTM D4985-10 (2015). <https://www.astm.org/d4985-10r15.html>
- Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN. (2020). Agua para consume humano. Requisitos. Sexta revisión. NTE INEN 1108. <https://www.normalizacion.gob.ec/normas-oficializadas/>
- Vaxa Software. (2017). Propiedades del agua en función de la temperatura. [PDF]. Vaxa Software. [http://www.vaxasoftware.com/doc\\_edu/qui/viscoh2o.pdf](http://www.vaxasoftware.com/doc_edu/qui/viscoh2o.pdf)
- Autopartes (2016). “El sistema de refrigeración”. Autopartes. [http://www.revistaautopartes.co/enprofundidad/ver/?tx\\_ttnews%5Btt\\_news%5D=109&cHash=29bd622adeda7f8fb5a94b616a79a7b6](http://www.revistaautopartes.co/enprofundidad/ver/?tx_ttnews%5Btt_news%5D=109&cHash=29bd622adeda7f8fb5a94b616a79a7b6).
- Autopartes (2016). “El sistema de refrigeración”. Autopartes. [http://www.revistaautopartes.co/enprofundidad/ver/?tx\\_ttnews%5Btt\\_news%5D=109&cHash=29bd622adeda7f8fb5a94b616a79a7b6](http://www.revistaautopartes.co/enprofundidad/ver/?tx_ttnews%5Btt_news%5D=109&cHash=29bd622adeda7f8fb5a94b616a79a7b6).
- Olipes. (2020). “Anticongelante 50% G12 Plus”. Olipes. <https://www.olipes.com/eu/es/automocion/18-anticongelante-50-g12--8436044740305.html>