

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**

**FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA, ELECTRONICA,  
INFORMATICA Y MECANICA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECANICA**



**TESIS**

**ANÁLISIS DE LA POTENCIA Y OPACIDAD EN UN MOTOR  
ENCENDIDO POR COMPRESIÓN DE 3.0 KW, UTILIZANDO ACEITE  
VEGETAL RESIDUAL DE FRITURA (AVRF) COMO COMBUSTIBLE,  
MEDIANTE EL ANÁLISIS EXPERIMENTAL.**

**Presentado por:**

**Bach. JOSE ANTONIO CONTRERAS CAITUIRO.**

**Bach. LUIS ALBERTO GRAJEDA CAÑARI.**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO**

**Asesor:**

**MGT. ING. ARTURO MACEDO SILVA.**

**CUSCO - PERU  
2024**

# INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro. CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, Asesor del trabajo de investigación/tesis titulada: "ANÁLISIS DE LA POTENCIA Y OPACIDAD EN UN MOTOR ENCENDIDOS POR COMPRESIÓN DE 3.0 KW. UTILIZANDO ACEITE VEGETAL RESIDUAL DE TRITURA (AVRF) COMO COMBUSTIBLE MEDIANTE EL ANÁLISIS EXPERIMENTAL"

presentado por: JOSE ANTONIO CONTRERAS CAJALAN con DNI Nro.: 45325987 presentado por: LUIS ALBERTO GRASCO CAÑALI con DNI Nro.: 44848435 para optar el título profesional/grado académico de INGENIERO MECANICO

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 1 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 8%.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 6 de Mayo de 2024



Firma  
Post firma ARTURO MALCEDO SILVA

Nro. de DNI 23821894

ORCID del Asesor 0000-0002-2794-949X

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: **oid:** 27259:352753073

## NOMBRE DEL TRABAJO

**“ANÁLISIS DE LA POTENCIA Y OPACIDAD EN UN MOTOR ENCENDIDO POR COM PRESIÓN DE 3.0 KW, UTILIZANDO ACEIT**

## AUTOR

**JOSE ANTONIO y. LUIS ALBERT CONT RERAS CAITUIRO y. GRAJEDA CAÑARI.**

## RECUENTO DE PALABRAS

**37753 Words**

## RECUENTO DE CARACTERES

**192921 Characters**

## RECUENTO DE PÁGINAS

**196 Pages**

## TAMAÑO DEL ARCHIVO

**2.9MB**

## FECHA DE ENTREGA

**May 5, 2024 9:54 PM GMT-5**

## FECHA DEL INFORME

**May 5, 2024 9:57 PM GMT-5**

● **8% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 8% Base de datos de Internet
- 0% Base de datos de publicaciones

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Base de datos de Crossref
- Base de datos de contenido publicado de Crossref
- Base de datos de trabajos entregados
- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 9 palabras)
- Bloques de texto excluidos manualmente

## AGRADECIMIENTOS

A nuestra Escuela Profesional por habernos formado para esta senda que empezamos con este pequeño pasó.

A nuestros docentes que fueron mentores y guías en este camino recorrido durante nuestra permanencia en nuestra alma mater.

Agradecer a nuestro asesor Ing. Arturo Macedo Silva por el interés y el tiempo dedicado a esta investigación y al Ingeniero Alfonso Huamán Valencia (Q.E.P.D) por su guía y motivación al inicio de este trabajo.

Así como a nuestros dictaminantes Ing. Edgar Catacota Acevedo e Ing. Paola Triveños Ramos que con sus apreciaciones y observaciones nos ayudaron a mejorar nuestro trabajo de investigación.

Finalmente, a todas las personas que intervinieron en la producción de esta investigación:

Ing. Meriluz Masco Arriola.

Ing. Farid Caituiro Valenzuela.

Eliud Huirse Paullo.

Ing. Fernando Berrio Yabar.

Ángel Vitorino Galindo.

Alexander Llamacchima Tacoma.

Ing. Gonzalo Bonifacio Aymituma.

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de todo corazón a mi padre Marcial, mi madre Fanny y mi hermana Evelyn, quienes estuvieron y están en cada momento de mi vida levantándome en las caídas, apoyándome en cada decisión y sobre todo brindándome su comprensión; ustedes me protegen y me llevan por el buen camino, gracias por toda su paciencia y amor.

A mi familia, que siempre se preocuparon por mi bienestar y desarrollo, sus palabras de aliento me mantuvieron siempre en pie y sus recomendaciones siempre me llevan a ser una mejor persona; Cada uno de ustedes ha contribuido a mi fortaleza y ánimo.

A mis amigos, que estuvieron conmigo en los momentos de estrés y alegría durante este largo y retador camino. Su apoyo, confianza, soporte y cariño han sido invaluable. Su presencia en cada etapa de mi vida me hace disfrutarla.

José A. Contreras Caituiro.

## **DEDICATORIA**

A mi querida familia, cuyo amor incondicional y apoyo constante han sido mi roca durante este viaje académico. A cada uno de ustedes, gracias por creer en mí y por alentarme a perseguir mis sueños con valentía.

A mi amada pareja, quien ha sido mi inspiración y mi refugio en los momentos de duda. Tu apoyo, paciencia y tu ánimo han sido fundamentales para llegar hasta aquí.

A mis amigos, quienes han estado a mi lado en las buenas y en las malas, compartiendo risas, conocimientos y ánimos en cada etapa de este camino. Su apoyo inquebrantable y sus palabras de aliento han hecho más ligera esta travesía.

Este logro no habría sido posible sin ustedes. Gracias por ser mi soporte emocional y por creer en mí incluso cuando yo dudaba. Esta tesis es también suya, pues cada uno de ustedes ha dejado una huella imborrable en mi vida y en mi corazón.

Luis Grajeda Cañari.

## RESUMEN

El tema central del presente trabajo de tesis es experimentar con el Aceite Vegetal Residual de Frituras (AVRF) y determinar la potencia y opacidad generados por este combustible en un motor de combustión interna encendido por compresión y compararlo con el combustible DB5 que es el combustible estándar en el mercado, para lo cual se determinará la temperatura a la cual el Aceite Vegetal Residual de Frituras (AVRF) alcanza las propiedades del DB5.

El objetivo de la tesis es diseñar y construir un módulo experimental donde se podrá experimentar con los 2 tipos de combustibles a las condiciones deseadas y poder realizar mediciones necesarias para la obtención de los parámetros de potencia y opacidad.

Se diseñará un experimento que nos permita determinar el proceso que se tiene que seguir para lograr una correcta experimentación con los combustibles mediante un diseño completo al azar y lograr también un análisis objetivo de los parámetros a medir y comparar mediante un análisis estadístico.

Se realizaron pruebas de laboratorio para determinar a qué temperatura debería ser calentado el Aceite Vegetal Residual de Frituras (AVRF) y así reducir su viscosidad dinámica a los niveles de viscosidad del DB5, determinando que la temperatura del AVRF se debe encontrar en un rango de temperatura de 120°C a 123°C en el tanque que lo contiene.

Se diseño y construyo un módulo experimental a partir de un generador diésel, en el cual se pudo dar las propiedades deseadas a los 2 tipos de combustibles y nos permitió experimentar y obtener resultados para las variables de potencia y opacidad.

De la experimentación con los combustibles, respecto a la potencia se concluye que, en nuestro módulo experimental las potencias desarrolladas por el DB5 y el Aceite Vegetal Residual de Frituras (AVRF) son parecidas, el AVRF alcanza una eficiencia de potencia del 96% respecto al desarrollo de potencia del DB5.

En cuanto a los resultados obtenidos en los porcentajes de opacidad, se concluye que, los niveles de opacidad son más estables en el uso del DB5 y más irregulares en el uso del AVRF,

lo que indica que se tiene una ligera irregularidad en la combustión con el AVRF, esto no necesariamente indica que el AVRF se más contaminante que el DB5, ya que su composición química es distinta y por ende los productos de la combustión también lo son. A pesar de la superioridad de niveles de opacidad producidos por el AVRF respecto al DB5, estos se encuentran muy por debajo de los límites máximos permisibles establecidos en la normativa peruana.

Se recomienda Experimentar con distintos tipos de AVRF, para determinar la eficiencia de cada uno en cuanto a su potencia y niveles de opacidad, realizar modificaciones en el sistema de alimentación (aire – combustible), para analizar si es posible mejorar la combustión de este combustible al realizar estos cambios. También se recomienda realizar un análisis de productos de la combustión en un cromatógrafo de gases para conocer exactamente la composición de los gases de la combustión y realizar una comparación y valorización sobre los niveles de contaminación de cada combustible.

Palabras clave: Aceite vegetal residual de frituras, potencia, opacidad, análisis estadístico.



## ABSTRACT

The central theme of this thesis work is to experiment with the Residual Vegetable Oil from Frying (AVRF) and to determine the power and opacity generated by this fuel in an internal combustion engine ignited by compression and compare it with the DB5 fuel which is the standard fuel in the market, for which the temperature at which the Residual Vegetable Oil from Frying (AVRF) reaches the properties of DB5 will be determined.

The objective of the thesis is to design and build an experimental module where it will be possible to experiment with the 2 types of fuels at the desired conditions and to be able to make the necessary measurements to obtain the power and opacity parameters.

An experiment will be designed to determine the process to be followed to achieve a correct experimentation with the fuels by means of a complete randomized design and also to achieve an objective analysis of the parameters to be measured and compared by means of a statistical analysis.

Laboratory tests were carried out to determine at what temperature the Residual Vegetable Oil from Frying (AVRF) should be heated and thus reduce its dynamic viscosity to the viscosity levels of DB5, determining that the temperature of the AVRF should be in a temperature range of 120°C to 123°C in the tank that contains it.

An experimental module was designed and built from a diesel generator, in which we were able to give the desired properties to the 2 types of fuels and allowed us to experiment and obtain results for the variables of power and opacity.

From the experimentation with the fuels, with respect to the power it is concluded that, in our experimental module, the powers developed by the DB5 and the Residual Vegetable Oil from Frying (AVRF) are similar, the AVRF reaches a power efficiency of 96% with respect to the power development of the DB5.

Regarding the results obtained in the opacity percentages, it is concluded that the opacity levels are more stable in the use of DB5 and more irregular in the use of AVRF, which indicates that

there is a slight irregularity in the combustion with AVRF, this does not necessarily indicate that AVRF is more polluting than DB5, since its chemical composition is different and therefore the combustion products are also different. Despite the superior opacity levels produced by AVRF with respect to DB5, these are well below the maximum permissible limits established in Peruvian regulations.

It is recommended to experiment with different types of AVRF, to determine the efficiency of each one in terms of power and opacity levels, to make modifications in the feeding system (air - fuel), to analyze if it is possible to improve the combustion of this fuel by making these changes. It is also recommended to perform an analysis of combustion products in a gas chromatograph to know exactly the composition of the combustion gases and to make a comparison and assessment of the contamination levels of each fuel.

Keywords: Residual vegetable oil from frying, potency, opacity, statistical analysis.

## CONTENIDO

<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>1</b>
1.1 TITULO DE TESIS.....	1
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA. ....	1
1.2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA. ....	2
1.3 JUSTIFICACION.....	3
1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN .....	4
1.4.1 ALCANCES.....	4
1.4.2 LIMITACIONES.....	4
1.5 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION.....	5
1.5.1 OBJETIVO GENERAL. ....	5
1.5.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	5
1.6 ANTECEDENTES .....	5
1.6.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES.....	6
1.6.2 ANTECEDENTES NACIONALES.....	8
1.6.3 ANTECEDENTES LOCALES .....	11
1.7 HIPOTESIS.....	14
1.7.1 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS .....	14
1.8 VARIABLES.....	14
1.8.1 VARIABLES INDEPENDIENTE.....	14
1.8.2 VARIABLES DEPENDIENTES.....	14
1.9 METODOLOGIA.....	15
1.9.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	15
1.9.2 DISEÑO DEL EXPERIMENTO.....	15
1.9.3 POBLACIÓN DE ESTUDIO.....	16
1.9.4 TIPO DE MUESTRA.....	16

1.9.5	TECNICAS DE RECOLECCION DE DATOS.....	16
<b>CAPITULO II</b>		
<b>MARCO TEORICO.....</b>		<b>18</b>
2.1	MOTOR TERMICO.....	18
2.1.1	DEFINICION.....	18
2.2	MOTOR DIESEL.....	19
2.2.1	DEFINICION.....	19
2.2.2	CLASIFICACIÓN DE LOS MOTORES DIÉSEL.....	20
2.2.3	ELEMENTOS ESTATICOS Y DINAMICOS DE UN MOTOR.....	20
2.2.4	PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.....	20
2.3	COMBUSTIBLE DIESEL.....	21
2.3.1	DEFINICION.....	21
2.3.2	REQUISITOS DEL COMBUSTIBLE DIESEL PARA LA COMBUSTION.....	23
2.3.3	PROPIEDADES:.....	24
2.4	ACEITE VEGETAL.....	24
2.4.1	EXTRACCION DE ACEITE COMESTIBLE.....	25
2.4.2	COMPOSICIÓN DE LOS ACEITES.....	26
2.4.3	FUENTES DE ACEITE.....	26
2.4.4	ÍNDICE DE ACIDEZ.....	26
2.4.5	DENSIDAD.....	27
2.4.6	PODER CALORÍFICO.....	27
2.4.7	MÓDULO DE COMPRESIBILIDAD.....	28
2.4.8	CALOR ESPECÍFICO.....	28
2.4.9	TEMPERATURA DE INFLAMABILIDAD.....	28
2.4.10	LUBRICABILIDAD.....	28
2.4.11	SOLVIBILIDAD.....	29
2.5	ACEITE DE FRITURA.....	29

2.6	GASES PRODUCTOS DE LA COMBUSTION.....	30
2.6.1	COMPONENTES DE LOS GASES DE ESCAPE.....	31
2.6.2	DESCRIPCIÓN DE LAS SUSTANCIAS QUE INTEGRAN LOS GASES DE ESCAPE.....	32
2.6.3	LÍMITES PERMISIBLES PARA LOS GASES DE ESCAPE.....	34
2.7	PARÁMETROS DE DESEMPEÑO DEL MOTOR.....	35
2.7.1	POTENCIA ELÉCTRICA CEDIDA POR EL GENERADOR.....	35
2.7.2	RENDIMIENTO DEL GENERADOR.....	36
2.7.3	POTENCIA AL FRENO DEL MOTOR - BRAKE HORSEPOWER (BHP).....	36
2.7.4	MOMENTO EFECTIVO DEL MOTOR.....	36
2.7.5	PRESIÓN MEDIA EFECTIVA DEL MOTOR.....	37
2.7.6	CONSUMO HORARIO DEL COMBUSTIBLE.....	37
2.7.7	CONSUMO ESPECÍFICO DEL COMBUSTIBLE.....	38
2.7.8	EFICIENCIA EFECTIVA DEL MOTOR.....	39
 <b>CAPITULO III</b>		
<b>DISEÑO, ADAPTACIÓN Y PRUEBAS DE MÓDULO EXPERIMENTAL.....</b>		<b>40</b>
3.1	GENERALIDADES DEL MÓDULO EXPERIMENTAL:.....	40
3.2	DISEÑO.....	40
3.2.1	MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA ENCENDIDO POR COMPRESIÓN.....	40
3.2.2	TABLERO DE LUCES.....	41
3.3	CONSTRUCCIÓN.....	41
3.3.1	MODIFICACIÓN DE MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA ENCENDIDO POR COMPRESIÓN DE 3.0 KW.....	41
3.3.2	TABLERO DE LUCES.....	50
3.4	COMBUSTIBLES.....	53
3.4.1	DIÉSEL DB5.....	53
3.4.2	ACEITE VEGETAL RESIDUAL DE FRITURAS (AVRF).....	53
3.5	TOMA DE DATOS EXPERIMENTALES.....	62

3.5.1	EQUIPOS, HERRAMIENTAS E INSUMOS.....	63
3.5.2	PROCESO .....	64

#### **CAPÍTULO IV**

### **DISEÑO, PLANEACIÓN Y EJECUCIÓN DEL EXPERIMENTO ..... 66**

4.1	DISEÑO Y PLANEACIÓN DEL EXPERIMENTO .....	66
4.1.1	TÍTULO DEL EXPERIMENTO.....	66
4.1.2	LUGAR DE EXPERIMENTACIÓN .....	66
4.1.3	EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS.....	66
4.1.4	PLANEACIÓN DEL EXPERIMENTO.....	66
4.2	EJECUCIÓN DEL EXPERIMENTO .....	72
4.2.1	EJECUCIÓN DE LAS PRUEBAS PRE EXPERIMENTALES .....	72
4.2.2	EJECUCIÓN DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES .....	74

#### **CAPITULO V**

### **ANÁLISIS DEL EXPERIMENTO EN LA VARIABLE POTENCIA..... 106**

5.1	ANÁLISIS DE LA POTENCIA.....	106
5.1.1	ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA POTENCIA CON UNA RESISTENCIA DE 320W .....	106
5.1.2	ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA POTENCIA CON UNA RESISTENCIA DE 640W .....	111
5.1.3	ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA POTENCIA CON UNA RESISTENCIA DE 960W .....	117
5.1.4	ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA POTENCIA CON UNA RESISTENCIA DE 1280W ....	121
5.1.5	ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA POTENCIA CON UNA RESISTENCIA DE 1600W ....	126
5.2	DETERMINACIÓN DE LAS POTENCIAS MÁXIMAS ALCANZADAS EN EL MÓDULO EXPERIMENTAL .....	131
5.2.1	POTENCIA EFECTIVA AL FRENO MÁXIMA.....	131
5.2.2	ANÁLISIS DE LA POTENCIA MÁXIMA ALCANZADA EN EL MÓDULO EXPERIMENTAL .....	132

#### **CAPITULO VI**

### **ANÁLISIS DEL EXPERIMENTO EN LA VARIABLE NIVEL DE OPACIDAD..... 133**

6.1	ANÁLISIS DE LA OPACIDAD .....	133
6.1.1	ANÁLISIS DE VARIANZA DEL PORCENTAJE DE OPACIDAD CON UNA RESISTENCIA DE 0W 134	
6.1.2	ANÁLISIS DE VARIANZA DEL PORCENTAJE DE OPACIDAD CON UNA RESISTENCIA DE 320W .....	138
6.1.3	ANÁLISIS DE VARIANZA DEL PORCENTAJE DE OPACIDAD CON UNA RESISTENCIA DE 640W .....	143
6.1.4	ANÁLISIS DE VARIANZA DEL PORCENTAJE DE OPACIDAD CON UNA RESISTENCIA DE 960W .....	147
6.1.5	ANÁLISIS DE VARIANZA DEL PORCENTAJE DE OPACIDAD CON UNA RESISTENCIA DE 1280W .....	151
6.1.6	ANÁLISIS DE VARIANZA DEL PORCENTAJE DE OPACIDAD CON UNA RESISTENCIA DE 1600W .....	155

## **CAPITULO VII**

<b>EVALUACIÓN ECONÓMICA .....</b>	<b>161</b>	
7.1	COSTOS TOTALES DEL MÓDULO EXPERIMENTAL .....	161
7.1.1	EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA GENERACIÓN DE ENERGÍA DEL MÓDULO EXPERIMENTAL. ....	162
7.1.2	COSTOS TOTALES DE GENERADORES .....	162
7.1.3	COSTOS FIJOS Y COSTOS VARIABLES .....	163
7.1.4	DETERMINACIÓN DE COSTOS DE KWH INSTALADO Y KWH PRODUCIDO .....	166
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>171</b>	
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>174</b>	
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>175</b>	

## **ANEXOS**

**ÍNDICE DE TABLAS**

<b>TABLA 1</b> <i>Especificaciones para el diésel, Norma ASTM D-975</i> .....	22
<b>TABLA 2</b> <i>Limites máximos permisibles de opacidad.</i> .....	35
<b>TABLA 3</b> <i>Especificaciones técnicas Generador encendido por compresión.</i> .....	43
<b>TABLA 4</b> <i>Datos técnicos Viscosímetro Anton SVM3000.</i> .....	57
<b>TABLA 5</b> <i>Valores medidos para el DB5.</i> .....	59
<b>TABLA 6</b> <i>Valores medidos para el AVRF</i> .....	60
<b>TABLA 7</b> <i>Datos de extrapolacion para obtener temperatura deseada</i> .....	60
<b>TABLA 8</b> <i>Factores de estudio.</i> .....	69
<b>TABLA 9</b> <i>Formación del número total de tratamientos</i> .....	69
<b>TABLA 10</b> <i>Aleatorización de datos</i> .....	70
<b>TABLA 11</b> <i>Pruebas realizadas a 1000 Watts de resistencia.</i> .....	73
<b>TABLA 12</b> <i>Coficiente de variacion</i> .....	73
<b>TABLA 13</b> <i>Toma de muestras para parámetros del generador.</i> .....	75
<b>TABLA 14</b> <i>Resultados obtenidos en el modulo experimental para el DB5</i> .....	78
<b>TABLA 15</b> <i>Resultados obtenidos en el modulo experimental para el AVRF</i> .....	78
<b>TABLA 16</b> <i>Voltaje (V) Promedio</i> .....	79
<b>TABLA 17</b> <i>Intensidad de corriente (A) promedio</i> .....	80
<b>TABLA 18</b> <i>Frecuencia (Hz) promedio</i> .....	81
<b>TABLA 19</b> <i>RPM (rpm) Promedio.</i> .....	82
<b>TABLA 20</b> <i>Tiempo (Min) Promedio</i> .....	83
<b>TABLA 21</b> <i>Parametros calculados para el DB5</i> .....	89
<b>TABLA 22</b> <i>Parametros calculados para el AVRF</i> .....	90
<b>TABLA 23</b> <i>Consumo horario de combustible (Gc) [Kg/h]</i> .....	91
<b>TABLA 24</b> <i>Consumo específico de combustible (gc) [gr/KW-h]</i> .....	92
<b>TABLA 25</b> <i>Momento efectivo del motor (Me) [Nm]</i> .....	93
<b>TABLA 26</b> <i>Eficiencia efectiva del motor (ne)</i> .....	94
<b>TABLA 27</b> <i>Eficiencia efectiva del sistema (ns)</i> .....	95
<b>TABLA 28</b> <i>Muestras parametros emision de gases Combustible 1: DB5</i> .....	97
<b>TABLA 29</b> <i>Muestras parametros emision de gases Combustible 2: AVRF</i> .....	98
<b>TABLA 30</b> <i>Porcentaje de opacidad N% (Promedio).</i> .....	99
<b>TABLA 31</b> <i>Coficiente de absorción K(/m), (Promedio)</i> .....	100
<b>TABLA 32</b> <i>Hidrocarburos HC (ppm), (Promedio)</i> .....	101
<b>TABLA 33</b> <i>Oxido nitroso NO (ppm), (Promedio)</i> .....	102



<b>TABLA 34</b> <i>Oxígeno O<sub>2</sub> (%), (Promedio)</i> .....	103
<b>TABLA 35</b> <i>Temperatura de escape T (°C), Promedio.</i> .....	104
<b>TABLA 36</b> <i>Varianza con una resistencia de 320W</i> .....	107
<b>TABLA 37</b> <i>Análisis de varianza 320W</i> .....	110
<b>TABLA 38</b> <i>Varianza con una resistencia de 640W</i> .....	112
<b>TABLA 39</b> <i>Análisis de varianza 640W</i> .....	115
<b>TABLA 40</b> <i>Varianza con una resistencia de 960W</i> .....	117
<b>TABLA 41</b> <i>Análisis de Varianza con una resistencia de 960W</i> .....	120
<b>TABLA 42</b> <i>Varianza con una resistencia de 1280W</i> .....	122
<b>TABLA 43</b> <i>Análisis de Varianza con una resistencia de 1280W</i> .....	125
<b>TABLA 44</b> <i>Varianza con una resistencia de 1600W</i> .....	127
<b>TABLA 45</b> <i>Análisis de Varianza con una resistencia de 1600W</i> .....	130
<b>TABLA 46</b> <i>Potencia al freno</i> .....	131
<b>TABLA 47</b> <i>N% Promedio</i> .....	133
<b>TABLA 48</b> <i>Varianza porcentaje de opacidad con una resistencia de 0W</i> .....	134
<b>TABLA 49</b> <i>Análisis de Varianza porcentaje de opacidad con una resistencia de 0W</i> .....	137
<b>TABLA 50</b> <i>Análisis de Varianza porcentaje de opacidad con una resistencia de 320W</i> .....	138
<b>TABLA 51</b> <i>Análisis de Varianza porcentaje de opacidad con una resistencia de 320W</i> .....	141
<b>TABLA 52</b> <i>Análisis de Varianza porcentaje de opacidad con una resistencia de 640W</i> .....	143
<b>TABLA 53</b> <i>Análisis de Varianza porcentaje de opacidad con una resistencia de 640W</i> .....	146
<b>TABLA 54</b> <i>Varianza porcentaje de opacidad con una resistencia de 960W</i> .....	147
<b>TABLA 55</b> <i>Análisis de Varianza porcentaje de opacidad con una resistencia de 960W</i> .....	150
<b>TABLA 56</b> <i>Análisis de Varianza porcentaje de opacidad con una resistencia de 1280W</i> .....	152
<b>TABLA 57</b> <i>Análisis de Varianza porcentaje de opacidad con una resistencia de 960W</i> .....	154
<b>TABLA 58</b> <i>Varianza porcentaje de opacidad con una resistencia de 1600W</i> .....	156
<b>TABLA 59</b> <i>Análisis de Varianza porcentaje de opacidad con una resistencia de 1600W</i> .....	158
<b>TABLA 60</b> <i>Costos Totales Modulo Experimental</i> .....	161
<b>TABLA 61</b> <i>Costo generador DB5 1.6 kW</i> .....	162
<b>TABLA 62</b> <i>Generador Avrf 1.6 KW</i> .....	163
<b>TABLA 63</b> <i>Costo del kW/h instalado y kW/hora generado con generador DB5 1.6 KW</i> .....	167
<b>TABLA 64</b> <i>Costo del kW/h instalado y kW/hora generado con generador AVRF 1.6 KW</i> .....	168

**ÍNDICE DE FIGURAS**

<b>FIGURA 1</b> <i>Maquinas térmicas motoras</i> .....	19
<b>FIGURA 2</b> <i>Composición de los gases de escape</i> .....	32
<b>FIGURA 3</b> <i>Generador con motor de combustión interna encendido por compresión</i> .....	42
<b>FIGURA 4</b> <i>Dos salidas a 220v AC</i> .....	43
<b>FIGURA 5</b> <i>Instrumento de control digital de temperatura CJ Intellgence (XMTG-818(J))</i> .....	44
<b>FIGURA 6</b> <i>Esquema Instrumento de control digital</i> .....	44
<b>FIGURA 7</b> <i>Contactora Potencia Magnético 3P 18A Ac3 Bob 220Vac 1Na 7.5Kw 50/60Hz</i> .....	45
<b>FIGURA 8</b> <i>Resistencia térmica de inmersión</i> .....	45
<b>FIGURA 9</b> <i>Termocupla tipo J</i> .....	46
<b>FIGURA 10</b> <i>Tanque adaptado con resistencia térmica sumergible</i> .....	46
<b>FIGURA 11</b> <i>Depósito de combustibles 1 y 2</i> .....	47
<b>FIGURA 12</b> <i>Conexión triple de válvulas de paso para el cambio de combustible</i> .....	47
<b>FIGURA 13</b> <i>Manguera de alta temperatura 5/16" Ø</i> .....	48
<b>FIGURA 14</b> <i>Tablero de luces armado</i> .....	50
<b>FIGURA 15</b> <i>Cableado eléctrico paralelo</i> .....	52
<b>FIGURA 16</b> <i>Aceite vegetal comercial Marca Sao</i> .....	54
<b>FIGURA 17</b> <i>Utilización del aceite vegetal</i> .....	55
<b>FIGURA 18</b> <i>Filtrado del fluido utilizando papel filtro de bajo tránsito</i> .....	55
<b>FIGURA 19</b> <i>Impurezas (izquierda) y Aceite Vegetal Residual de Frituras (derecha)</i> .....	56
<b>FIGURA 20</b> <i>Viscosímetro Anton SVM3000</i> .....	57
<b>FIGURA 21</b> <i>Muestras de laboratorio</i> .....	58
<b>FIGURA 22</b> <i>Lectura de Viscosímetro Anton SVM3000</i> .....	59
<b>FIGURA 23</b> <i>Opacímetro Jevol JVS-600</i> .....	63
<b>FIGURA 24</b> <i>Multímetros marca SANWA utilizados para la toma de datos</i> .....	63
<b>FIGURA 25</b> <i>Pinza amperimétrica</i> .....	64
<b>FIGURA 26</b> <i>Analizador de gases</i> .....	64
<b>FIGURA 27</b> <i>Variabilidad dentro del mismo grupo y entre los grupos</i> .....	68
<b>FIGURA 28</b> <i>Distribución de datos</i> .....	71
<b>FIGURA 29</b> <i>Anova para el diseño completo al azar</i> .....	71
<b>FIGURA 30</b> <i>Toma de muestras</i> .....	74
<b>FIGURA 31</b> <i>Voltaje (V) promedio</i> .....	79
<b>FIGURA 32</b> <i>Amperaje (A) promedio</i> .....	81
<b>FIGURA 33</b> <i>Frecuencia (Hz) promedio</i> .....	82

<b>FIGURA 34</b> <i>RPM (rpm) Promedio.</i> .....	83
<b>FIGURA 35</b> <i>Tiempo para consumir 100 ml (Min)</i> .....	84
<b>FIGURA 36</b> <i>Consumo horario de combustible (Gc) [Kg/h]</i> .....	91
<b>FIGURA 37</b> <i>Consumo específico de combustible (gc) [gr/KW-h]</i> .....	92
<b>FIGURA 38</b> <i>Momento efectivo del motor (Me) [Nm]</i> .....	93
<b>FIGURA 39</b> <i>Eficiencia efectiva del motor (ne)</i> .....	94
<b>FIGURA 40</b> <i>Eficiencia efectiva del sistema (ns)</i> .....	95
<b>FIGURA 41</b> <i>Porcentaje de opacidad N% (Promedio).</i> .....	99
<b>FIGURA 42</b> <i>Coeficiente de absorción K(/m), (Promedio)</i> .....	100
<b>FIGURA 43</b> <i>Hidrocarburos HC (ppm), (Promedio)</i> .....	101
<b>FIGURA 44</b> <i>Óxido nitroso NO (ppm), (Promedio)</i> .....	102
<b>FIGURA 45</b> <i>Oxígeno O2 (%), (Promedio)</i> .....	103
<b>FIGURA 46</b> <i>Temperatura de escape T (°C), Promedio.</i> .....	104
<b>FIGURA 47</b> <i>Resistencia de 320W</i> .....	107
<b>FIGURA 48</b> <i>Intervalos de C1R2; C2R2; (95% IC para la media)</i> .....	110
<b>FIGURA 49</b> <i>Resistencia de 640W</i> .....	111
<b>FIGURA 50</b> <i>Grafica de intervalos de C1R3; C2R3; (95% IC para la media)</i> .....	115
<b>FIGURA 51</b> <i>Resistencia de 960W</i> .....	117
<b>FIGURA 52</b> <i>Grafica de intervalos de C1R4; C2R4; (95% IC para la media)</i> .....	120
<b>FIGURA 53</b> <i>Resistencia 1280W</i> .....	121
<b>FIGURA 54</b> <i>Grafica de intervalos de C2R5; C2R5; (95% IC para la media)</i> .....	125
<b>FIGURA 55</b> <i>Resistencia de 1600W</i> .....	126
<b>FIGURA 56</b> <i>Grafica de intervalos de C1R6; C2R6; (95% IC para la media)</i> .....	130
<b>FIGURA 57</b> <i>Potencia al freno</i> .....	132
<b>FIGURA 58</b> <i>Grafica de intervalos de C1R1; C2R2; (95% IC para la media)</i> .....	137
<b>FIGURA 59</b> <i>Grafica de intervalos de C1R2; C2R2; (95% IC para la media)</i> .....	141
<b>FIGURA 60</b> <i>Grafica de intervalos de C1R3; C2R3; (95% IC para la media)</i> .....	146
<b>FIGURA 61</b> <i>Grafica de intervalos de C1R4; C2R4; (95% IC para la media)</i> .....	150
<b>FIGURA 62</b> <i>Grafica de intervalos de C1R5; C2R5; (95% IC para la media)</i> .....	154
<b>FIGURA 63</b> <i>Grafica de intervalos de C1R6; C2R6; (95% IC para la media)</i> .....	159
<b>FIGURA 64</b> <i>Costo de kW instalado (0 – 8760 horas)</i> .....	169
<b>FIGURA 65</b> <i>Costo de kW instalado (0 – 380 horas)</i> .....	169
<b>FIGURA 66</b> <i>Costo de Kw-h generado</i> .....	170

## GLOSARIO

- **Alcohol isopropílico:** Se emplea para la limpieza de equipos electrónicos.
- **ANOVA:** En estadística, el análisis de la varianza (ANOVA por acrónimo en inglés, Analysis Of Variance).
- **ASTM D6751:** Standard Specification for Biodiesel Fuel Blendstock (B100) for Middle Distillate Fuels
- **ASTM D-975:** especificación estándar para aceites combustibles diésel.
- **ASTM:** American Society for Testing and Materials
- **AVRF:** Aceite vegetal residual de frituras.
- **BD100:** combustible diésel derivado de recursos renovables que puede ser obtenido a partir de aceites vegetales o de grasas animales.
- **Centipoise (cP):** Centésima parte del poise o milipascal por segundo (mPa·s)
- **CO<sub>2</sub>:** Dióxido de carbono
- **Coefficiente de absorción K:** es la medida para cuantificar la capacidad de emisiones de escape para interferir la transmisión de luz, expresada en unidades de metros a la menos uno (m<sup>-1</sup>).
- **Contactador eléctrico:** dispositivo eléctrico que cumple la función de apertura y cierre de circuitos eléctricos, mediante la conexión y desconexión de sus contactos a través de una señal externa.
- **D-2:** combustible derivado de hidrocarburos obtenido de procesos de refinación.
- **DB5:** combustible constituido por una mezcla de Diésel N.º 2 y 5% en volumen de biodiésel (B100).
- **Desviación estándar:** mide la dispersión de una distribución de datos, es la raíz cuadrada de la varianza.
- **Diseño experimental:** El diseño experimental es una técnica estadística que permite identificar y cuantificar las causas de un efecto dentro de un estudio experimental. En un diseño experimental

se manipulan deliberadamente una o más variables, vinculadas a las causas, para medir el efecto que tienen en otra variable de interés.

- **Diseño Monofactorial:** permite estudiar la influencia de un factor cualitativo sobre una variable respuesta observada, agrupada en k-grupos o tratamientos.
- **HC:** Hidrocarburos
- **HP:** Caballos de fuerza
- **kcal/kg:** Kilocaloría por kilogramo
- **kcal/l:** Kilocaloría por litro
- **kJ/kg:** Kilojulio por kilogramo
- **KW:** kilowatts
- **MJ/kg:** Megajulio por kilogramo
- **N<sub>2</sub>:** Nitrógeno
- **NO<sub>x</sub>:** Óxidos nítricos
- **O<sub>2</sub>:** Oxígeno
- **Opacidad:** medida indirecta del contenido de hollín que tiene el material particulado generado durante la combustión y el escape, en otras palabras, cantidad de humo generado en la combustión.
- **SO<sub>2</sub>:** Dióxido de azufre
- **Termocupla:** sensores de temperatura simples, robustos y de bajo costo
- **UNE 14214:** Productos petrolíferos líquidos. Ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME) para motores diésel y equipos de calefacción. Requisitos y métodos de ensayo.
- **UNE:** Organismo de Normalización española
- **Varianza:** es una medida de dispersión, es el promedio de las distancias al cuadrado que van desde las observaciones a la media.

## CAPÍTULO I

### 1.1 TITULO DE TESIS.

**“ANÁLISIS DE LA POTENCIA Y OPACIDAD EN UN MOTOR ENCENDIDO POR COMPRESIÓN DE 3.0 KW, UTILIZANDO ACEITE VEGETAL RESIDUAL DE FRITURA (AVRF) COMO COMBUSTIBLE, MEDIANTE EL ANÁLISIS EXPERIMENTAL”.**

### 1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.

#### 1.2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Los motores de combustión interna son máquinas capaces de convertir energía térmica en energía mecánica, esto se obtiene a partir de la combustión de la mezcla entre aire y un fluido con poder calorífico (combustible), este proceso se realiza en una cámara de combustión. Este proceso de combustión de la mezcla genera residuos en forma de gases los cuales en su mayor parte son monóxido de carbono, dióxido de carbono y óxidos de nitrógeno. Estos productos de la combustión son, en parte, grandes responsables de provocar el efecto invernadero en el mundo, debido a su masificación de su uso en el sector transporte y el sector industrial.

Los aceites vegetales son líquidos que al poseer poder calorífico también son considerados combustibles del tipo renovables, pero su uso como tal es muy poco frecuente o nulo; el estudio y desarrollo de tecnología de este combustible como tal se vio frenado a causa de la masificación del uso del petróleo como combustible preferido en el mundo debido a su bajo costo; también se da un mayor interés en el uso del biodiésel, ya que no amerita una gran modificación en los motores diseñados para funcionar con diésel.

El diésel es un combustible del tipo no renovable, por lo que su disponibilidad es finita en el tiempo, este tiempo dependerá del requerimiento y uso que se le dé al mismo. El biodiésel es un combustible del tipo renovable, normalmente tiene que ser mezclado con diésel que es un combustible no renovable para evitar algunos inconvenientes, como la solidificación a bajas temperaturas, pérdida de propiedades a corto plazo, entre otros.

Según reporte del INEI del 2013 en la ciudad del Cusco “existen 7318 locales formales de expendio de comida donde el consumo de frituras tiene alta demanda por lo cual se genera grandes volúmenes de Aceite Vegetal Residual de Fritura (AVRF). En dichos establecimientos no se efectúa un control sanitario sobre la forma de desechar estos aceites los cuales son generalmente vertidos a los desagües, ríos, suelos, entre otros; un litro de este aceite puede contaminar hasta 1000 litros de agua, gracias a su característica aglutinante que generan bolos y estos producen atascos en las cabeceras de las canalizaciones de la red de aguas residuales”. (INEI, 2014)

El aceite vegetal usado no modificado puede ser utilizado como combustible, por otro lado, las potencias de los motores de combustión interna disminuyen con el incremento de la altura debido a la baja cantidad de oxígeno y también con la caída de la temperatura disminuye la ductilidad del combustible, lo que hace necesario un estudio sobre el comportamiento del motor en la utilización de este combustible a grandes altitudes.

## **1.2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.**

### **1.2.2.1 PROBLEMA GENERAL:**

Ante lo expuesto, se puede realizar la siguiente pregunta para formular el problema:

**¿Cómo influye en la potencia y opacidad, en un motor encendido por compresión de 3.0 KW, el uso del aceite vegetal residual de fritura (AVRF), como combustible, mediante el análisis experimental, en comparación al DB5?**

### 1.2.2.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS:

- ¿Cómo se puede realizar pruebas en un motor encendido por compresión de 3.0 KW, para analizar la potencia y opacidad, utilizando los combustibles: aceite vegetal residual (AVRF), DB5?
- ¿Cómo se puede analizar las mediciones de potencia y opacidad obtenidas en el módulo experimental en base a las variables dependientes e independientes?
- ¿Existe variación entre la potencia obtenida con el Aceite Vegetal Residual de Frituras (AVRF) y las potencias obtenidas con el DB5?
- ¿Existe variación entre los niveles de opacidad del Aceite Vegetal Residual de Frituras (AVRF) y los niveles de opacidad del DB5?
- ¿Existe variación en los costos de generación de energía entre el Aceite Vegetal Residual de Frituras y el DB5?

### 1.3 JUSTIFICACION.

La presente investigación pretende determinar la posibilidad de uso del Aceite Vegetal Residual de Frituras (AVRF) como combustible alternativo y ser así una opción de reutilización antes de ser desechado.

Esta investigación es importante porque no se tiene estudios de la influencia del Aceite Vegetal Residual de Frituras (AVRF) en las variaciones de potencia y niveles de opacidad con respecto al DB5 en nuestro ámbito local.

Despertar el interés a estudiantes y profesionales investigadores en el tema sobre la viabilidad y desarrollo de fuentes de generación de energías renovables.

El módulo servirá de banco de pruebas, para todo estudiante y/o investigador que desee realizar estudios respecto al tema de combustibles en el ámbito de las energías renovables



## **1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.4.1 ALCANCES.**

- Determinar la viabilidad del Aceite Vegetal Residual de Frituras (AVRF) como combustible alternativo.
- Realizar un análisis y comparación tanto de potencia y niveles de opacidad producto de la combustión frente al DB5.
- Esta tesis servirá de base de estudio en el tema de energías renovables, para dar una opción de reciclaje del Aceite Vegetal Residual de Frituras (AVRF) a los locales de expendio de comida y como una fuente de generación de energía para todos los que deseen usar este tipo de combustible.

### **1.4.2 LIMITACIONES.**

- El Aceite Vegetal Residual de Frituras (AVRF), será el combustible base de estudio y será comparado con el DB5 mediante pruebas en módulo experimental.
- El desarrollo total de la tesis, así como las pruebas y toma de data se realizará en la ciudad del Cusco a 3360 m.s.n.m.
- Las pruebas serán realizadas en un motor diseñado para funcionar con diésel comercial.
- El módulo experimental se desarrollará en base a un generador con motor diésel monocilíndrico Panther SPK178F de 3.0 KW de 4 tiempos.
- El generador trabaja a una frecuencia aproximada de 60 Hz, los resultados se limitarán a este régimen de trabajo.

## **1.5 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION.**

### **1.5.1 OBJETIVO GENERAL.**

Analizar cómo influye en la potencia y opacidad, en un motor encendido por compresión de 3.0 KW, con el uso del aceite vegetal residual de fritura (AVRF), como combustible, mediante el análisis experimental, en comparación al DB5.

### **1.5.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.**

- Diseñar y adaptar un módulo experimental en base a un motor encendido por compresión de 3.0 KW, para realizar pruebas y analizar la potencia y opacidad, utilizando los combustibles: Aceite Vegetal Residual de Frituras (AVRF) y DB5.
- Diseñar un experimento para analizar las mediciones de potencia y opacidad obtenidas en el módulo experimental en base a las variables dependientes e independientes.
- Analizar mediante la matemática estadística la variación entre la potencia obtenida con el Aceite Vegetal Residual de Frituras (AVRF) y las potencias obtenidas con el DB5.
- Analizar mediante la matemática estadística la variación entre los niveles de opacidad del Aceite Vegetal Residual de Frituras (AVRF) y los niveles de opacidad del DB5.
- Realizar una evaluación económica para determinar si existe variación en los costos de generación de energía entre el Aceite Vegetal Residual de Frituras y el DB5.

## **1.6 ANTECEDENTES**

Estudios relacionados al aceite vegetal como fuente de energía renovable y el uso del biodiesel como combustible.

## 1.6.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES

### 1.6.1.1 PÉREZ, (2001). En su investigación “DESARROLLO Y ENSAYO DE NUEVOS BIOCOMBUSTIBLES PARA MOTORES DIESEL PROCEDENTES DE DIVERSAS SEMILLAS OLEAGINOSAS Y DE GRASAS VEGETALES USADAS”.

El objetivo principal de este trabajo es la obtención de nuevos combustibles para su empleo en motores Diesel a partir, por un lado, del aceite usado en las cocinas, y por otro, del de las semillas de Brassica carinata, conocida comúnmente como colza etíope.

Para ello se utilizó la *metodología estadística*, Para ver la influencia del biocombustible sobre las prestaciones del motor se analizaron estadísticamente las curvas características, así como la relación entre las energías obtenidas y las suministradas. Este estudio es especialmente útil cuando, mediante los tratamientos de datos previamente descritos, no se pueda deducir ninguna conclusión, por ejemplo, por disparidad de los mismos.

Llegaron a las siguientes conclusiones:

- Los aceites usados en fritura suelen presentar un bajo contenido en agua que no dificulta, en modo alguno, su transformación en ésteres metílicos.
- Si la cantidad de alcohol es menor de la que requiere la reacción, no se produce separación de fases. En el caso de que se produzca, aparece una capa gelatinosa formada por triglicéridos sin reaccionar. Si se añade metanol en exceso, la fase de los ésteres aparece turbia, ya que el alcohol sobrante tiene un efecto negativo en la conversión de los triglicéridos.
- Si la temperatura ambiente es inferior a 25 °C, la separación de fases entre los ésteres metílicos y la glicerina precisa varios días, e incluso en determinadas ocasiones, varias semanas.
- En general, las propiedades como combustibles son mejores para los ésteres metílicos de aceite de colza etíope frente a los de aceite usado. Si se comparan con las del gasoil, no se

aprecian cambios significativos que indiquen un comportamiento inadecuado, ni siquiera en climas fríos o en invierno.

- El estudio estadístico efectuado a los resultados proporcionados por los ensayos con biodiesel y gasoil no mostró diferencias significativas entre los resultados sí. Los resultados arrojados por el motor tras alimentarlo con biocombustible procedente de aceite usado fueron satisfactorios.
- A lo largo de los ensayos realizados no se observó ninguna anomalía de funcionamiento en el motor ensayado.
- Finalmente, en cuanto a la viabilidad económica, se observa que el precio de la energía proporcionada por ambos biocombustibles, especialmente por el procedente de aceite usado, es inferior al del gasoil.

#### APORTE DE LA INVESTIGACION

En el presente trabajo se han estudiado dos nuevos biocombustibles, obtenidos mediante la reacción química de transesterificación de triglicéridos, a partir de aceite usado para freír y de aceite de las semillas de Brassica carinata sin ácido erúxico.

#### **1.6.1.2 FERNANDEZ & RON, (2010). En su investigación “ADAPTAR EL MOTOR A DIESEL CHANG FA DE 22 HP M/S195H0 PARA LA UTILIZACIÓN DE ACEITE COMESTIBLE RECICLADO”.**

Tuvieron como objetivos:

1. Adaptar el motor a diésel Chang fa de 22 HP M/S195H0 para la utilización de aceite comestible reciclado.
2. Investigar el mercado de recolección de aceite comestible usado.
3. Procesar el aceite contaminado reciclado.
4. Reciclaje del desecho del aceite comestible usado.

5. Diseñar la adaptación del motor a Diesel Chang fa de 22 HP M/S195HO para el funcionamiento con aceite comestible reciclado.
6. Realizar pruebas de funcionamiento, y elaborar la guía del proceso de conversión del motor y reciclaje del aceite usado.

La investigación que se llevó a cabo es de naturaleza (Metodología):

Tecnológico – Practico - Teórico.

Llegando a las siguientes conclusiones:

1. El aceite vegetal comestible usado, utilizado como combustible tiene menores gases contaminantes con niveles muy bajos de opacidad en un motor en marcha en las mismas condiciones, a comparación del diésel.
2. El estudio de este proyecto lleva a la conclusión que el aceite no tiene que tener un proceso riguroso para que funcione como combustible, es mas solo se necesita una filtración a una cierta temperatura.

El trabajo práctico que se realizó nos deja como conclusión que el sistema de alimentación será más duradero por que el aceite comestible usado, tiene las propiedades de lubricar, limpiar y mantenerle libre de corrosión

## **1.6.2 ANTECEDENTES NACIONALES**

### **1.6.2.1 CACERES, (2015). EN SU INVESTIGACION “GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA USANDO BIODIESEL DE ACEITE DE PIÑÓN (*Jatropha curcas*)”**

El presente trabajo tiene como objetivo general, la generación de energía eléctrica a través de un motor de combustión interna y un generador de corriente alterna utilizando como combustible petróleo diésel D-2 y diferentes porcentajes de biodiesel a base de aceite de piñón (*Jatropha curcas*) en el mismo. Se consideraron los siguientes objetivos específicos:

1. Evaluar la variación del consumo específico efectivo de combustible en función de la potencia generada por el motor.
2. Evaluar la variación de la opacidad de los gases del escape en función de la potencia desarrollada por el motor bajo diferentes mezclas de diésel 2 y biodiesel.

Se utilizó el *análisis estadístico* como metodología de investigación para procesar los resultados obtenidos en las pruebas realizadas en el banco de pruebas y llegar a las siguientes conclusiones:

1. Se obtuvo un significativo aumento de potencia eléctrica cuando el motor funcionó con el 20% y 30% de biodiesel, estadísticamente.
2. En todos los casos el valor de la opacidad muestra que el motor independientemente de la concentración de biodiesel en el combustible alcanza su potencia nominal con valores de opacidad muy por encima del límite permitido.
3. Las densidades obtenidas de las diferentes mezclas, se incrementaron levemente respecto al diésel D-2, lo cual le brinda una buena propiedad de lubricidad.

El biodiesel presenta ventajas ambientales globales al reducir el aporte neto de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, evitando en alguna medida la contribución del uso de combustibles fósiles a empeorar el “efecto invernadero”.

#### **1.6.2.2 SANAGUANO, (2018). En su investigación “CONVERSION DE LOS ACEITES RESIDUALES DE LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS EN BIODIESEL”**

Se tiene como objetivo convertir los aceites residuales de la Industria de alimentos en biodiesel de manera sostenible. Tomando en cuenta los siguientes objetivos específicos.

1. Seleccionar las condiciones para la reacción de transesterificación con metanol sub crítico entre las temperaturas de 160°C a 200°C.

2. Establecer las características físicas - químicas del biodiesel obtenido en condiciones de metanol sub crítico.
3. Comparar la cantidad de gases de combustión que emiten al ambiente el biodiesel obtenido con respecto al diésel de petróleo.

La metodología que se empleó, se fundamenta en las condiciones de un proceso de conversión de los aceites de fritura usados en biodiesel basado en la transesterificación de triglicéridos en condiciones de metanol sub crítico, es decir, a temperaturas cercanas a (239,5°C punto crítico del metanol) con catalizador. Este método permitió procesar materia prima originaria de desechos de frituras en tiempos cortos de reacción. La parte experimental de este proyecto se llevó a cabo mediante las siguientes etapas principales: la primera fue la caracterización del aceite de fritura, en la segunda etapa se obtuvo el biodiesel en condiciones de metanol sub crítico en un reactor tipo discontinuo con recirculación externa, la tercera etapa fue la caracterización físico química del biodiesel y finalmente se determinó los gases de combustión del biodiesel y del diésel de petróleo. Llegando a las siguientes conclusiones:

1. El análisis de cromatografía de gases del biodiesel que se obtuvo mostró la presencia de ésteres derivados de los triglicéridos del aceite de fritura usado, los FAME que se lograron identificar son: Laureato de metilo (C12:0), Miristato de metilo (C14:0), Palmitato de metilo (C16:0), Palmitoleato de Metilo (C16:1), Estearato de netilo (C18), Oleato de metilo (C18:1), Linoleato de metilo (C18:2), Linolenato de metilo (C18:3) y Araquidato de metilo (C20:0), los mismos que le dan la característica física y química al biodiesel.
2. La cantidad de gases de combustión del biodiesel en estos estudios fueron menores comparadas con las del diésel de petróleo, así en CO fue de 704 mg/m<sup>3</sup> y 12 mg/m<sup>3</sup> en SO<sub>2</sub> para el biodiesel, mientras que con el diésel fue de 899 mg/m<sup>3</sup> en CO y 38 mg/m<sup>3</sup> en SO<sub>2</sub>,

en CO<sub>2</sub> es de 3,2 % para el biodiesel versus 4,0% para del diésel y NO<sub>x</sub> en el biodiesel fue de 42 mm/m<sup>3</sup> versus 39 mm/m<sup>3</sup> para diésel.

3. Concluyendo que por cada 1200 ml de Biodiesel que se combustione en una hora disminuirá: 11700 (mg/m<sup>3</sup>) de CO, 48 % CO<sub>2</sub> y 1551 (mg/m<sup>3</sup>) SO, contribuyendo de esta manera a disminuir la cantidad de CO, CO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> al medio ambiente y además, al ser utilizado el aceite de fritura de la industria alimenticia como materia prima para el proceso de obtención del biodiesel tendrá también un beneficio ambiental ya que se evitará que se siga desechando a la alcantarilla o a la basura este residuo alimenticio y contamine el agua o el suelo.

#### APORTE DE LA INVESTIGACION

Concluyendo que se puede obtener biodiesel a partir de aceites de fritura usado en 10 minutos de reacción mediante el método de transesterificación en metanol sub crítico, las variables que se consideraron para este trabajo fueron la temperatura, relación molar aceite – metanol y el tiempo de reacción, las características del biodiesel obtenido cumplen las normas de calidad Internacional como la ASTM D6751 específica para Biodiesel. De los gases de combustión analizados se determinó que el diésel emite más cantidad de CO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub> y menos NO<sub>x</sub> que el Biodiesel.

#### 1.6.3 ANTECEDENTES LOCALES

- 1.6.3.1 **LLERENA & ALLERI CRUZ, (2017). En su investigación “INFLUENCIA DE LA VARIACIÓN PORCENTUAL DE BIODIESEL EN LOS PRODUCTOS DE LA COMBUSTIÓN Y LA POTENCIA EN UN MODÚLO CONSTRUIDO A PARTIR DE UN MOTOR DE ENCENDIDO POR COMPRESIÓN EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2017”**

Se tiene como objetivos determinar la influencia de la variación porcentual de biodiesel en los productos de la combustión y la potencia en un módulo construido a partir de un motor



de encendido por compresión, en la ciudad del Cusco, 2017. Para ello se tiene como objetivos específicos:

1. Implementar un módulo experimental construido a partir de un motor de encendido por compresión, acoplado a un alternador generador de corriente alterna rectificadora mediante un puente de diodos. con sus medidores de voltaje, corriente, coeficiente k (opacidad) y otros instrumentos para determinar la influencia de las mezclas BD 5, BD 10, BD 20 y BD 30 de biodiesel-diésel en los productos de la combustión y la potencia.
2. Determinar la influencia en la potencia generada por el Motor de Encendido por Compresión para cada mezcla utilizada a distintas velocidades de giro a partir del módulo construido.
3. Medir el coeficiente k y porcentaje de opacidad para determinar la presencia de hidrocarburos no quemados (HC) y monóxido de carbono (CO) para cada variación porcentual de biodiesel y a distintos regímenes del motor.

El presente trabajo de investigación estará orientado al tipo "*experimental*" es decir se observará la influencia de la variación porcentual de biodiesel en los productos de la combustión y la potencia en un módulo construido a partir de un motor de encendido por compresión trabajando con mezclas BD 5, BD 10, BD 20, BD 30 a 4 velocidades de giro diferentes y realizando 06 veces cada ensayo en la ciudad del Cusco a 3360 m.s.n.m. Para correlacionar los datos se utilizarán herramientas de cálculo como Excel, matemática estadística, Matlab y medidores como el: analizador de gases portátil u opacímetro, pinza amperimétrica, anemómetro, tacómetro y termómetro infrarrojo. Teniendo como conclusiones.

1. Referente a la influencia de las mezclas diésel-biodiesel (BD 5, BD 10, BD 20, BD 30) en la medida del coeficiente de absorción de luz "k" y el porcentaje de opacidad (concentración de: HC y CO), se pudo comprobar que al utilizar la mezcla BD 10 estos parámetros

disminuyeron en 9.90% y 9.25%, entre 2800 RPM a 3000 RPM, y se incrementan ligeramente con la mezcla BD 30. También la deficiencia de ingreso de aire a altas velocidades (3300 RPM a más) para la compresión, afecta directamente en la medida de estos parámetros haciendo que estos tiendan a incrementarse por el exceso de combustible y falta de aire para el proceso de combustión.

2. Respecto a los productos de la combustión, se obtuvo los siguientes resultados con cada mezcla (BD 5, BD 10, BD 20, BD 30) el: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), vapor de agua (H<sub>2</sub>O), nitrógeno molecular (N<sub>2</sub>), cuyos valores disminuyeron en: 2.88%, 24.86%, 26.39%, 0.79%, 2.68%. Y el oxígeno molecular (O<sub>2</sub>) cuyo valor aumento en 4.90%, que evidencia el aumento de la combustión incompleta (CO y HC).

#### APORTE DE LA INVESTIGACION

En el presente trabajo de investigación, se realizó un estudio experimental sobre la influencia de la variación porcentual de biodiesel obtenido a partir de aceites vegetales reciclados mezclado con diésel convencional (BD 5, BD 10, BD 20, BD 30), en los productos de la combustión y la potencia cuando esta mezcla es quemada en un motor de encendido por compresión en la ciudad del Cusco.

Respecto a los productos de la combustión, se calculó estequiométricamente y con exceso de aire a 3360 msnm, el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), vapor de agua (H<sub>2</sub>O), oxígeno molecular (O<sub>2</sub>) y nitrógeno molecular (N<sub>2</sub>). Obteniendo resultados positivos respecto a la disminución de estos productos aumentando el porcentaje en volumen del biodiesel en cada mezcla.

## **1.7 HIPOTESIS.**

**Si influye en la potencia y opacidad, en un motor encendido por compresión de 3.0 KW, el uso del aceite vegetal residual de fritura como combustible (AVRF), mediante el análisis experimental, en comparación al DB5.**

### **1.7.1 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS**

- El módulo experimental en base a un motor encendido por compresión de 3.0 KW, nos permite realizar pruebas y analizar la potencia y opacidad utilizando los combustibles: Aceite Vegetal Residual de Frituras (AVRF) y DB5.
- El diseño del experimento nos permite analizar las mediciones de potencia y opacidad obtenidas en el módulo experimental en base a las variables dependientes e independientes.
- La potencia obtenida con el Aceite Vegetal Residual de Frituras (AVRF) es menor en comparación a las obtenidas con el DB5.
- Los niveles de opacidad obtenidos con el Aceite Vegetal Residual de Frituras (AVRF) es mayor que las obtenidas con el DB5.
- Los costos de generación de energía con el Aceite Vegetal Residual de Frituras son menores en comparación a las obtenidas con el DB5.

## **1.8 VARIABLES.**

### **1.8.1 VARIABLES INDEPENDIENTES.**

El tipo de combustible a usar.

- a) Aceite Vegetal Residual de Frituras (AVRF).
- b) DB5.

### **1.8.2 VARIABLES DEPENDIENTES.**

Variables que obtendremos a partir de la experimentación con los distintos combustibles.

- a) Potencia.
- b) Índice de opacidad.

## **1.9 METODOLOGIA.**

### **1.9.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

El presente trabajo de investigación estará orientado al **tipo experimental, utilizando el método cuantitativo**; es experimental porque utilizan la manipulación y las pruebas controladas para comprender los procesos causales, en general, se manipulan una o más variables para determinar su efecto en una variable dependiente; es cuantitativo porque se realiza para obtener y evaluar información utilizando un enfoque estadístico y matemático, se presentan en forma de gráficos, tablas y estadísticas. Estos se pueden recopilar, se utilizan para encontrar una correlación o un patrón de comportamiento.

Es decir, se observará la influencia en la potencia y opacidad, el uso del aceite vegetal residual de fritura (AVRF) como combustible, en comparación al DB5, en un motor encendido por compresión de 3.0 KW. Para correlacionar los datos se utilizarán herramientas de cálculo como Excel, matemática estadística y medidores.

#### **1.9.1.1 DISEÑO DEL EXPERIMENTO**

El diseño experimental que será empleado es un experimento Monofactorial con el modelo de distribución de Fisher conducido bajo un diseño Completo al Azar.

Este tipo de diseño se utiliza para experimentos con dos o más factores, dado que en general son los más eficientes para ello. En este diseño se investiga todas las combinaciones posibles entre los niveles de los factores.

El Experimento Monofactorial: Análisis de Varianza (ANOVA) es utilizado para verificar la existencia o no de diferencias estadísticas significativas entre la media de más de dos muestras o grupos de muestras en un mismo planteamiento. El procedimiento que utiliza este método es comparar estos valores basados en la varianza global de las muestras a comparar. Típicamente este análisis se utiliza para asociar una probabilidad a la conclusión de que las medias de dos o más grupos son distintos.

El objetivo del análisis se basa en la descomposición de variabilidad total en dos partes, uno debido a la variabilidad entre las distintas poblaciones y otro debido a la variabilidad intrínseca de las observaciones.

### 1.9.2 POBLACIÓN DE ESTUDIO

Datos obtenidos de la potencia y niveles de opacidad producto de la combustión a través de la experimentación con el Aceite Vegetal Residual de Frituras (AVRF) y DB5.

### 1.9.3 TIPO DE MUESTRA

Se tomarán muestras por cada tipo de combustible (AVRF, DB5) a una frecuencia de 60 Hz.

- La potencia de salida del generador se ha de medir en términos de voltaje y amperaje, con la utilización de frenos eléctricos a través de un tablero de luces.
- Los productos de la combustión se han de medir en Opacidad (%)
- El consumo de combustible se ha de medir en tiempo de consumo por cada 100 cm<sup>3</sup>.

### 1.9.4 TECNICAS DE RECOLECCION DE DATOS

Las pruebas se realizarán en un motor estacionario mono-cilíndrico de la marca PANTHER encendido por compresión.

- a) Recopilación de información:** Recopilación de información y revisión bibliográfica, así como la búsqueda de antecedentes de las investigaciones previas involucradas o referidas a este tema.
- b) Experimentación y análisis:** Luego de la recopilación de información se procederá con la experimentación con cada uno de los combustibles en el módulo construido y se realizará un análisis de las muestras obtenidas en la experimentación mediante análisis de curvas, tablas comparativas, de los cuales obtendremos la tendencia y comportamiento de la potencia y los índices de opacidad producto de la combustión.

- c) Reporte y evaluación de resultados:** Los resultados serán evaluados mediante un tratamiento estadístico y así comprobar las hipótesis que planteamos, estos resultados serán plasmados en tablas y gráficos para su interpretación.

## CAPITULO II

### MARCO TEORICO

#### 2.1 MOTOR TERMICO

##### 2.1.1 DEFINICION

Según Alvares Flores “Un motor térmico es una máquina térmica que transforma calor en trabajo mecánico por medio del aprovechamiento del gradiente de temperatura entre una fuente de calor (foco caliente) y un sumidero de calor (foco frío). El calor se transfiere de la fuente al sumidero y, durante este proceso, algo del calor se convierte en trabajo por medio del aprovechamiento de las propiedades de un fluido de trabajo, usualmente un gas o el vapor de un líquido”. (Alvares Flores, Jesus Andre; Navarro Odriozola, Tomas; Casanova Russell, Juan;, 2002)

Fidalgo Sánchez Agrega “El calor necesario para el funcionamiento de una máquina térmica procede de la energía química liberada en una combustión, siendo absorbido por un fluido motor que pone en movimiento una serie de piezas mecánicas.

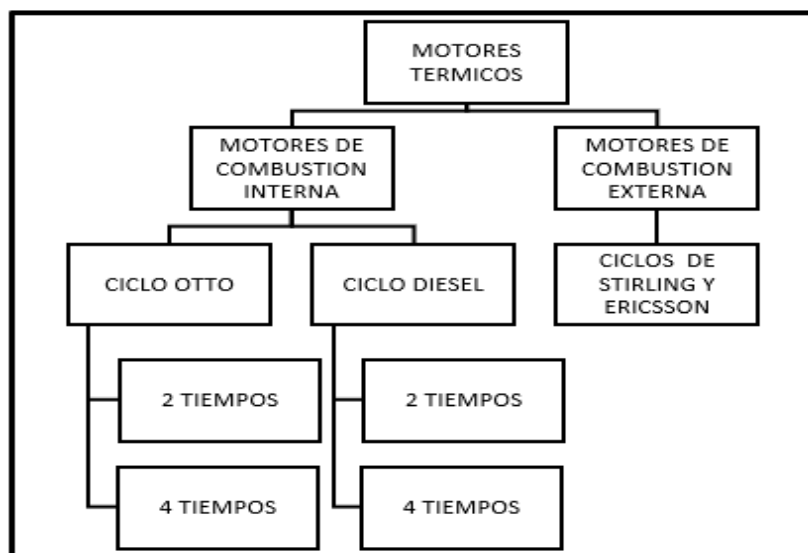
Si la combustión tiene lugar fuera del motor, las máquinas reciben el nombre de máquinas de combustión externa, y si la combustión tiene lugar dentro de la máquina, las máquinas reciben el nombre de máquinas de combustión interna. El movimiento producido puede ser alternativo o rotativo. El fluido motor suele ser el vapor de agua, el aire o la mezcla de gases resultantes de la combustión del petróleo o de gases combustibles”. (Fidalgo Sanchez , Jose Antonio; Fernandez Perez, Manuel Ramon; Fernandez Fernandez, Noemi, 2016)

Un motor térmico es una máquina térmica que transforma calor en trabajo mecánico por medio del aprovechamiento del gradiente de temperatura entre una fuente de calor (foco caliente) y un sumidero de calor (foco frío), tomado de Alvares Flores, Jesús André; Navarro Odriozola, Tomas;

Casanova Russell, Juan; (2002). Maquinas térmicas motoras (Primera ed., Vol. 1). Pág. 145, Barcelona, Barcelona, España: Ediciones Universidad Politécnica de Catalunya

## FIGURA 1

*Maquinas térmicas motoras*



*Nota:* Tomado de Maquinas térmicas motoras (Primera ed., Vol. 1). Pág. 145,

## 2.2 MOTOR DIESEL

### 2.2.1 DEFINICION

García E. Define “El motor diésel es una máquina de combustión que aspira aire y lo comprime a una presión muy elevada. Seguidamente debe introducirse el combustible dentro del cilindro en forma de chorro muy pulverizado para formar una nube de pequeñas gotas que se dispersan en el aire, con lo cual se consigue una mezcla homogénea de combustible y aire, lo que es una condición para que la combustión sea rápida y completa, generándose una enorme cantidad de calor. El calor es recibido de la mezcla de combustible en el proceso de combustión que tratará de dilatarse y empujará al pistón transmitiendo el impulso a la manivela del cigüeñal y de esta forma producirá energía mecánica. Por último, cuando el motor haya finalizado su carrera de combustión y los gases contenidos en el cilindro hayan perdido presión, los gases consumidos deben ser expulsados al exterior por medio del escape”. (García, 2015, pág. 13).



## **2.2.2 CLASIFICACIÓN DE LOS MOTORES DIÉSEL**

Según sea el tipo de inyección y de cámara se clasifican en:

- Motores de inyección directa o de cámara abierta
- Motores de inyección indirecta o de cámara dividida

## **2.2.3 ELEMENTOS ESTATICOS Y DINAMICOS DE UN MOTOR**

El motor térmico de combustión interna esta formado básicamente por una serie de elementos estáticos y dinámicos, clasificados, en función de la misión que cumplen dentro del motor, en tres grupos esenciales, que serían:

### **2.2.3.1 ELEMENTOS ESTATICOS:**

- Bloque motor
- Culata
- Colectores

### **2.2.3.2 ELEMENTOS DINAMICOS:**

- Embolo
- Biela
- Cigüeñal
- Volante de inercia

### **2.2.3.3 DISTRIBUCIÓN:**

- Válvulas
- Elementos de accionamiento
- Árbol de levas
- Mando de distribución

## **2.2.4 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO**

Según Jovaj. “Un motor diésel funciona mediante la ignición (encendido) del combustible al ser inyectado muy pulverizado y con alta presión en una cámara (o precámara, en el caso de inyección indirecta) de combustión que contiene aire a una temperatura superior a la temperatura

de autocombustión, sin necesidad de chispa como en los motores de gasolina. Este proceso es lo que se llama la autoinflamación.

La temperatura que inicia la combustión procede de la elevación de la temperatura que se produce en el segundo tiempo del motor, la compresión. El combustible se inyecta en la parte superior de la cámara de combustión a gran presión desde unos orificios muy pequeños que tiene el inyector, de forma que se atomiza y se mezcla con el aire a alta temperatura (entre 700 y 900 °C) y alta presión. Como resultado, la mezcla se inflama muy rápidamente. Esta combustión ocasiona que el gas contenido en la cámara se expanda, impulsando el pistón hacia fuera.

Esta expansión, a diferencia del motor de gasolina, es adiabática, generando un movimiento rectilíneo a través de la carrera del pistón. La biela transmite este movimiento al cigüeñal, al que hace girar, transformando el movimiento rectilíneo alternativo (de va y viene, ida y vuelta) del pistón en un movimiento de rotación”. (Jovaj, 1982)

## **2.3 COMBUSTIBLE DIESEL**

### **2.3.1 DEFINICION**

Según Rodríguez J. (2007) “El diésel no es más que un combustible, que a semejanza de la gasolina es un derivado del petróleo. Es obtenido como producto intermedio en la columna de destilación atmosférica a temperaturas entre los 190 a 400 (°C). El diésel está formado principalmente por hidrocarburos parafínicos, aromáticos y naftalénicos que en general tienen entre 10 a 22 carbonos en su cadena. Adicionalmente, en su composición se encuentra nitrógeno, azufre, metales pesados como el vanadio, oxígeno, etc.

El gasóleo, también denominado gasoil o diésel, es un líquido de color blancuzco o verdoso, tiene 850 kg/m<sup>3</sup> de densidad. Este compuesto fundamentalmente por parafinas. Es utilizado principalmente como combustible en motores diésel y en calefacción. El gasóleo tiene aproximadamente un 18 por ciento más energía por unidad de volumen que la gasolina, lo que, sumado a la mayor eficiencia de los motores diésel, contribuye a que su rendimiento sea mayor”.

**TABLA 1**

*Especificaciones para el diésel, Norma ASTM D-975*

PROPIEDAD		METODO ASTM	DIESEL GRADO 2	
			BAJO SULFURO	Común
Punto de inflamación (min)[°C]		D-93	52	52
Agua y sedimentos (máx.) [%vol.]		D2709	0.05	0.05
Temperatura de destilación T90[°C]	Min	D-86	282	282
	Máx.	D-86	338	338
Viscosidad cinemática @ 40°C [mm <sup>2</sup> /s]	Min	D-445	1.9	1.9
	Max	D-445	4.1	4.1
Cenizas (Max) [%masa]		D-482	0.01	0.01
Sulfuro (Max) [%masa]		D-2622	0.05	-
		D-129	-	0.50
Corrosión en lámina de cobre (Max) @ 50°C por 3 horas		D-130	Nº3	Nº3
Numero de cetano (min)		D-613	40	40
▪ Índice de cetano (min)		D-976	40	-
▪ Aromaticidad (Max) [%vol.]		D-1319	35	-
Punto de nebulización (Max) [°C]		D-2500	-	-
Residuos de carbón (Max) [%masa]		D-524	0.35	0.35

*Nota: Tomado de PERU21, R. (13 de octubre de 2017). PERU21. Obtenido de El parque vehicular y combustibles son los grandes responsables de la contaminación, señala experto: <https://peru21.pe/peru/parque-vehicular-combustibles-son-grandes-responsables-contaminacion-senala-experto-380009>*

### 2.3.2 REQUISITOS DEL COMBUSTIBLE DIESEL PARA LA COMBUSTION

Según Castro P. (2007) menciona que “El diésel debe cumplir con los siguientes requerimientos”:

- Inflamabilidad

El tiempo de retardo de encendido debe ser lo suficientemente corto para permitir el arranque fácil del motor. El combustible diésel debe permitir la marcha suave del motor con poco golpeteo.

- Fluidez en baja temperatura

El combustible debe permanecer líquido a bajas temperaturas, de tal modo que el motor arrancará fácilmente y marchará suavemente.

- Lubricidad

El combustible diésel sirve como lubricante para la bomba de inyección e inyectores, por lo tanto, este debe tener adecuadas propiedades de lubricación.

- Viscosidad

Debe de tener una apropiada viscosidad (espesor), de tal modo que sea asegurada una apropiada atomización por los inyectores.

- Bajo contenido de azufre

El contenido de azufre causa corrosión y desgaste en las piezas del motor, de manera que su contenido debe ser mínimo.

- Estabilidad

No pueden ocurrir cambios en la calidad y no debe de producir goma, etc. durante su almacenaje.

- Número de Cetano

El número de cetano o clasificación de un combustible diésel es un método de indicación de la habilidad de un combustible diésel para evitar el golpeteo. Cuando es mayor la clasificación de cetano, mejor es la habilidad del combustible para hacer esto.

### **2.3.3 PROPIEDADES:**

Ávila Calderón Afirma que “En 2010 la densidad del gasóleo obtenido de petróleo era aproximadamente de 0,832 kg/l (varía según la región),<sup>1</sup> un 12 % más que la gasolina que tiene una densidad de 0,745 kg/l.<sup>1</sup> Aproximadamente el 86,1 % del diésel es carbono,<sup>1</sup> y cuando se quema se obtiene un poder calorífico de 43,10 MJ/kg<sup>1</sup> contra 43,20 MJ/kg<sup>1</sup> de la gasolina. Sin embargo, debido a la mayor densidad, el gasóleo ofrece una densidad volumétrica energética de 35,86 MJ/L contra los 32,18 MJ/L de la gasolina, lo que supone un 11 % más, que podría considerarse notable cuando se compara la eficiencia del motor diésel frente al de ciclo Otto. Las emisiones de CO<sub>2</sub> del diésel son de 73,25 g/MJ,<sup>1</sup> solo ligeramente más bajas que la gasolina, con 73,38 g/MJ.<sup>1</sup>” (ÁVILA CALDERÓN, 2014, pág. 16)

## **2.4 ACEITE VEGETAL**

Según DANEC S.A. 2010. La principal materia prima utilizada por Danec es el aceite de palma y palmiste. El clima tropical del Ecuador y la situación geográfica de la planta procesadora le permite a Danec obtener materia prima fresca y de primera calidad.

Luego de seleccionar cuidadosamente el fruto de la Palma, Danec, en sus extractoras, lo somete a un proceso de clarificación mediante el cual se obtiene el aceite crudo de palma y el aceite de almendra de palma (palmiste). Los aceites crudos se envían inmediatamente desde las extractoras a la planta industrial de Danec S.A. para refinarlos y procesarlos. Otras materias primas utilizadas por Danec son el aceite refinado de soya y el aceite refinado de maíz. Estas materias primas provienen de proveedores calificados. [www.danec.com](http://www.danec.com) (2010)

Los aceites vegetales son una mezcla compleja de lípidos (grasas) que se extraen de semillas, frutos o nueces de diferentes plantas. La composición química exacta de un aceite vegetal puede variar dependiendo de la planta de la que se extraiga. Sin embargo, en general, los aceites vegetales consisten principalmente en triglicéridos, que son ésteres de glicerol y ácidos grasos.

Los ácidos grasos son los componentes principales de los aceites vegetales y determinan en gran medida sus propiedades físicas y químicas. Algunos de los ácidos grasos más comunes en los aceites vegetales incluyen:

- **Ácido oleico:** es un ácido graso monoinsaturado que se encuentra en altas concentraciones en el aceite de oliva.
- **Ácido linoleico:** es un ácido graso poliinsaturado esencial de la familia de los omega-6. Se encuentra en aceites como el de girasol, maíz y soja.
- **Ácido linolénico:** es un ácido graso poliinsaturado esencial de la familia de los omega-3. Se encuentra en aceites como el de linaza y chía.
- **Ácido palmítico:** es un ácido graso saturado que se encuentra en muchos aceites vegetales, como el de palma.
- **Ácido esteárico:** es otro ácido graso saturado que se encuentra en algunos aceites vegetales, como el de cacao y karité.

#### **2.4.1 EXTRACCION DE ACEITE COMESTIBLE**

Según GIMENEZ Jorgelina (2006). Los aceites de origen vegetal o animal son triglicéridos ya que la glicerina se esterifica en sus 3 posiciones con ácidos grasos. La glicerina es un alcohol glicerol cuyos carbonos están sustituidos por 3 oxidrilos OH (propanodiol). Los ácidos grasos son cadenas hidrocarbonadas con grupos carboxilo (COOH) en el extremo de la cadena lineal, pueden ser saturados o insaturados

- Ácidos grasos saturados butirico4s caproico6s caprilico8s caprico10s laurico12miristico 14 palmítico 16 esteárico 18.

- Ácidos grasos insaturados miristoteico, palmitoteico oleico, linoleico, linolénico, araquidónico.

La mayoría de los ácidos grasos tienen un número par de átomos de carbono esto se debe a la forma en que se van sintetizando dentro de la célula. El sistema enzimático va agregando de a 2 o demoliendo de a 2, cuando ocurre la oxidación biológica de las grasas como fuente de energía.

Si en lugar de glicerina hubiera otro alcohol de alto peso molecular tendríamos una cera, normalmente suelen aparecer como impurezas en las grasas y aceites.

En los alimentos las cadenas llegan hasta carbono 18. La diferencia que existe es dividir a las grasas (sólidas a temperatura ambiente) y las Aceites (son líquidas a temperaturas ambiente). , Punto fijo 20°C temperatura ambiente.

#### **2.4.2 COMPOSICIÓN DE LOS ACEITES.**

Cuando hacemos la extracción del aceite, aparecen otros constituyentes. Ácido grasos libres, gomas y mucilagos, fosfolípidos, pigmentos liposolubles, vitamina liposoluble (A- D- E- K) componentes odoríferos (dan olor y sabor).

#### **2.4.3 FUENTES DE ACEITE**

Las más comunes girasol, maíz, soja, algodón lino (industrialmente para pinturas porque es secante), oliva maní, uva, coco, colza tubérculo semejante a la papa usada en España.

#### **2.4.4 ÍNDICE DE ACIDEZ**

Mide la presencia de ácidos libres en el aceite, que normalmente proceden de la descomposición de los triglicéridos de éste. La mayor o menor acidez de un aceite vegetal depende no solo del origen del mismo, sino también en su proceso de obtención y de las condiciones de su conservación.

### 2.4.5 DENSIDAD

Los aceites vegetales son más densos que el gasóleo y menos densos que el agua, por lo que el gasóleo flotará sobre el aceite vegetal y éste sobre el agua. Debido a la mayor densidad del aceite vegetal respecto al gasóleo, los poderes caloríferos de ambos se aproximan cuando se expresan por volumen en vez de por peso.

### 2.4.6 PODER CALORÍFICO

El poder calorífico de un combustible es la cantidad de energía que puede producir cuando una cantidad dada del mismo se quema. El agua obtenida en un combustible se evapora cuando se produce la combustión, haciéndolo a costa de la energía desprendida en la propia combustión. El calor producido medido en dichas condiciones se denomina poder calorífico inferior, y es el que normalmente se considera para los combustibles. El poder calorífico superior se obtiene sumando al poder calorífico inferior el calor que se ha consumido en evaporar el agua, y por lo tanto no es aprovechable en los motores, pero puede serlo en las denominadas calderas de condensación. Los poderes caloríficos se expresan normalmente en kcal/kg para los combustibles sólidos y en kcal/litro en los líquidos, aunque es frecuente verlos también expresados en kJ/kg o kJ/l.

Según Torres Aldaco “Las propiedades del biodiesel dependen fuertemente de la materia prima utilizada, es decir depende de la composición de ácidos grasos contenidos en los aceites y grasas formando diferentes mezclas de metil éster. El contenido de carbonos de los biocombustibles está relacionado con el poder, en el caso del biodiesel las cadenas de carbonos se encuentran en un rango de C12-C22. Se midió el poder calorífico, del aceite residual de cocina (ARC), mezclas biodiesel-diésel, del 5% al 20%, se encontró que el poder calorífico del biodiesel a partir de ARC es de 39157 J/g, el aceite residual de cocina es de 38936 J/g y el diésel 43856 J/g. El biodiesel tiene un poder calorífico 12% menor respecto al diésel, esto significa que el biodiesel tiene menor energía que el diésel, usualmente depende de su composición y puede impactar en el desempeño



del motor, tanto en el nivel de ruido y en los gases de emisiones.” (Torres Aldaco, Alejandro; Castillo Barragán, Víctor; Lugo Leyte, Raúl; Lugo Méndez, Helen; Cervantes Ruiz, Judith; Aguilar Valdivia, Ricardo, 2017)

#### **2.4.7 MÓDULO DE COMPRESIBILIDAD**

Esta magnitud mide la fuerza que hay que hacer para que un líquido se comprima un cierto volumen. Los aceites vegetales son menos compresibles que el gasóleo a temperatura ambiente, lo que afecta a los sistemas de alimentación de combustible de los motores, aunque sus efectos, cuando los haya, se notarán a largo plazo. No obstante, al calentar el aceite vegetal su compresibilidad se va aproximando a la del gasóleo.

#### **2.4.8 CALOR ESPECÍFICO**

El calor específico de una sustancia es la energía, expresada en calorías, necesaria para elevar la temperatura de un gramo de dicha sustancia un grado centígrado ( $^{\circ}$  C), siendo uno el calor específico del agua. Los aceites vegetales tienen un calor específico aproximadamente la mitad que el agua.

#### **2.4.9 TEMPERATURA DE INFLAMABILIDAD**

La temperatura de inflamabilidad es la temperatura más baja a la cual un combustible puede formar una mezcla inflamable de vapor de combustible y aire a la presión atmosférica. Si se retira la fuente de ignición, el combustible que esté exactamente a la temperatura de inflamabilidad probablemente dejará de quemarse. Los aceites vegetales comunes tienen una temperatura de inflamabilidad entre  $160^{\circ}$  C y  $321^{\circ}$  C. El gasóleo tiene una temperatura de inflamabilidad de entre  $37, 7^{\circ}$  C y  $54, 4^{\circ}$  C.

#### **2.4.10 LUBRICABILIDAD**

El aceite vegetal es mejor lubricante que el gasóleo por lo que mejorará la lubricación de los componentes del motor que se lubrican por el propio combustible.

### **2.4.11 SOLVIBILIDAD**

Los aceites vegetales son disolventes más fuertes que el gasóleo y más débiles que el biodiésel.

Esta circunstancia hay que tenerla en cuenta en el diseño de los equipos de conversión, ya que los nuevos elementos deben soportar la mayor fuerza disolvente.

## **2.5 ACEITE DE FRITURA.**

Según Benjumea “La fritura es un proceso físico-químico complejo que puede afectar significativamente la composición química del aceite original. Las condiciones en que se desarrolle el proceso pueden promover reacciones de diverso tipo como: hidrólisis (formación de ácidos grasos libres, glicerol libre, mono y diglicéridos), oxidación (formación inicial de hidroperóxidos y posterior de aldehídos, cetonas, hidrocarburos, alcoholes entre otros) y polimerización (formación de dímeros o polímeros a partir de radicales libres provenientes de los enlaces dobles enlaces de los ácidos grasos). La mayoría de compuestos formados por las reacciones mencionadas son de naturaleza polar y se pueden retirar del aceite frito mediante la adsorción con sólidos porosos naturales o sintéticos”. (Benjumea, Santamaria, & Ríos, 2009).

Abreu agrega “Las altas temperaturas que se utiliza (180°C aproximadamente) producen una acelerada penetración de calor, llevando a una rápida elaboración de alimentos. Sin embargo, debido a las altas temperaturas, los aceites y grasas sufren complejos procesos de degradación.

El aceite de fritura sufre deterioro al aumentar su tiempo de uso, ocurren un gran número de reacciones complejas que repercuten en una disminución de la calidad nutricional del alimento y en un aumento de la formación de compuestos tóxicos en el aceite, tales como polímeros, monómeros de ácidos grasos y compuestos polares que migran al alimento y son ingeridos por el consumidor”. (Abreu et al., 2017).

Según Valencia “Los ácidos grasos encontrados en los análisis cromatográficos de mezclas de aceites de fritura corresponde a: palmítico (C16), palmitoléico (C16:1), margárico (C17), esteárico (C18), oleico (18:1), linoleico (C18:2), linolénico (C18:3), araquidónico (C20:0), behénico (C22:0). En mezclas de aceites vegetales y animales el ácido palmítico se encuentra en mayor proporción y el palmitoleico, el esteárico, el C20 y C22 se encuentran en menor proporción en las mezclas de aceites vegetales, mientras que el C18:1 está en mayor proporción”. (Valencia et al., 2002).

## 2.6 GASES PRODUCTOS DE LA COMBUSTION

Diario Perú 21 en 2017 publica “Eric Concepción Gamarra, el ex responsable del Área de Gestión de la Calidad del Aire, Emisiones Atmosféricas y Ruido del Ministerio del Ambiente, Atribuye a estos dos factores alrededor del 70% de la contaminación que hay en el aire. El aire que respiramos no es el más puro del mundo y gran parte de la contaminación ambiental se debería al parque vehicular y a la calidad de los combustibles.

Así lo indica Eric Concepción Gamarra, el ex responsable del Área de Gestión de la Calidad del Aire, Emisiones Atmosféricas y Ruido del Ministerio del Ambiente, quien atribuye a estos dos factores alrededor del 70% de la contaminación que hay en el aire.

¿Por qué el parque vehicular y el combustible? Eric Concepción Gamarra sostiene que más del 50% del parque vehicular posee 15 o más años de antigüedad. Asimismo, indicó que la baja calidad de los combustibles es un factor muy importante en la contaminación.

“El gasohol contiene azufre, benceno, aromáticos y aditivos como el manganeso que son una fuente muy potente de contaminación que no está siendo regulada adecuadamente”, precisó el experto.

Concepción Gamarra también señala que, de acuerdo a los informes elaborados por el Comité de Gestión de la Iniciativa de Aire Limpio, el otro 30% por la actividad comercial (restaurantes,

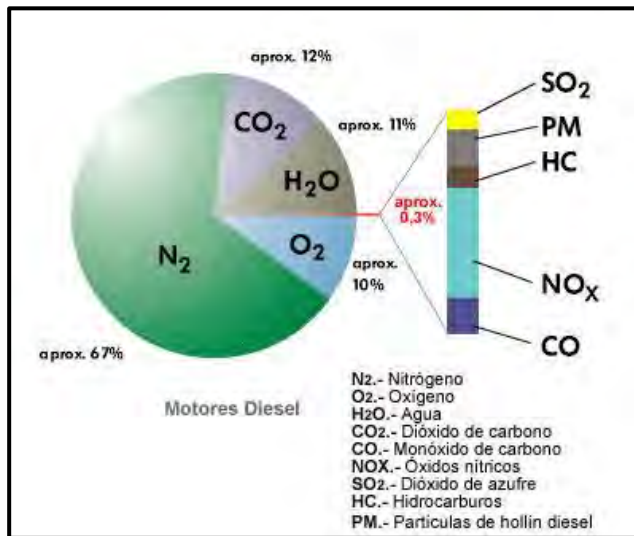
emporios comerciales), por los propios ciudadanos y algunas industrias que operan al margen de la ley.

El experto indica que la casi ausente labor de las autoridades municipales para intervenir y clausurar las actividades informales, o para generar infraestructura y áreas verdes que otorguen calidad de vida a la población no ayuda a la situación actual”. (PERU21, 2017)

### **2.6.1 COMPONENTES DE LOS GASES DE ESCAPE**

Según Dani Meganeboy (2014). “El aire está compuesto básicamente por dos gases: nitrógeno (N<sub>2</sub>) y oxígeno (O<sub>2</sub>). En un volumen determinado de aire se encuentra una proporción de nitrógeno (N<sub>2</sub>) del 79 % mientras que el contenido de oxígeno es aproximadamente de un 21 %. El nitrógeno durante la combustión, en principio, no se combina con nada y tal como entra en el cilindro es expulsado al exterior sin modificación alguna, excepto en pequeñas cantidades, para formar óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>). El oxígeno es el elemento indispensable para producir la combustión de la mezcla.

Cuando se habla de la composición de los gases de escape de un vehículo se utilizan siempre los mismos términos: monóxido de carbono, óxido nítrico, partículas de hollín o hidrocarburos. Decir que estas sustancias representan una fracción muy pequeña del total de los gases de escape. Debido a ello, antes de describir las diferentes sustancias que integran los gases de escape, le mostramos a continuación la composición aproximada de los gases que despiden los motores diésel”.

**FIGURA 2***Composición de los gases de escape*

*Nota:* Tomado de ÁVILA CALDERÓN, C. A. (abril de 2014). *RECICLAJE DE ACEITE VEGETAL DE FRITURAS PARA USO COMO BIOCOMBUSTIBLE EN MOTORES DIESEL EN DIFERENTES PROPORCIONES*. Pág. 26, Latacunga, Ecuador, Ecuador: Universidad de las fuerzas Armadas.

**2.6.2 DESCRIPCIÓN DE LAS SUSTANCIAS QUE INTEGRAN LOS GASES DE ESCAPE**

Meganeboy (2014) publica. “El motor de combustión interna, por su forma de funcionar, no es capaz de quemar de forma total el combustible en los cilindros. Pero si esta combustión incompleta no es regulada, mayor será la cantidad de sustancias nocivas expulsadas en los gases de escape hacia la atmósfera. Dentro de los gases generados en la combustión, hay unos que son nocivos para la salud y otros no.

- Nitrógeno (N<sub>2</sub>)

El nitrógeno es un gas no combustible, incoloro e inodoro, se trata de un componente esencial del aire que respiramos (78 % nitrógeno, 21 % oxígeno, 1 % otros gases) y alimenta el proceso de la combustión conjuntamente con el aire de admisión. La mayor parte del nitrógeno aspirado vuelve

a salir puro en los gases de escape; sólo una pequeña parte se combina con el oxígeno O<sub>2</sub> (óxidos nítricos NO<sub>x</sub>).

- Oxígeno (O<sub>2</sub>)

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

- Agua (H<sub>2</sub>O)

Es aspirada en parte por el motor (humedad del aire) o se produce con motivo de la combustión “fría” (fase de calentamiento del motor). Es un subproducto de la combustión y es expulsado por el sistema de escape del vehículo, se lo puede visualizar sobre todo en los días más fríos, como un humo blanco que sale por el escape, o en el caso de condensarse a lo largo del tubo, se produce un goteo. Es un componente inofensivo de los gases de escape.

- Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)

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

- Monóxido de carbono (CO)

Se produce con motivo de la combustión incompleta de combustibles que contienen carbono. Es un gas incoloro, inodoro, explosivo y altamente tóxico. Bloquea el transporte de oxígeno por parte de los glóbulos rojos. Es mortal, incluso en una baja concentración en el aire que respiramos. En

una concentración normal en el aire ambiental se oxida al corto tiempo, formando dióxido de carbono CO<sub>2</sub>.

- Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)

El dióxido de azufre o anhídrido sulfuroso propicia las enfermedades de las vías respiratorias, pero interviene sólo en una medida muy reducida en los gases de escape. Es un gas incoloro, de olor penetrante, no combustible. Si se reduce el contenido de azufre en el combustible es posible disminuir las emisiones de dióxido de azufre.

- HC – Hidrocarburos

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

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

- Las partículas de hollín MP (masa de partículas; inglés: particulate matter)

Son generadas en su mayor parte por los motores Diesel, se presentan en forma de hollín o cenizas. Los efectos que ejercen sobre el organismo humano todavía no están aclarados por completo”.  
(Meganeboy, 2014)

### **2.6.3 LÍMITES PERMISIBLES PARA LOS GASES DE ESCAPE**

En Perú no existe normativa sobre emisión de gases de equipos estacionarios, por ello tomaremos en cuenta la normativa que se aplica al parque automotor de nuestro país.

#### **2.6.3.1 LÍMITES PERMISIBLES PARA LOS NIVELES DE OPACIDAD**

Para los límites de opacidad nos basaremos en el decreto supremo N° 010-2017-MINAM el cual hace referencia en su anexo en el título II acápite II.5 a los límites máximos permisibles para

vehículos de categorías M y N con motor de encendido por compresión de cuatro tiempos a Diésel o similar.

**TABLA 2**

*Límites máximos permisibles de opacidad.*

II.5. Vehículos de categorías M y N con motor de encendido por compresión de cuatro tiempos a Diésel o similar		
Año de fabricación(*)	Altitud [msnm]	Coefficiente de Absorción [k(m <sup>-1</sup> )]
Hasta 1995	0 a 1000	3,00
	1001 a 2000	3,25
	2001 a 3000	3,50
	> 3000	3,75
1996 a 2012	0 a 1000	2,50
	1001 a 2000	2,75
	2001 a 3000	3,00
	> 3000	3,25
2013 a 2017	0 a 1000	2,10
	1001 a 2000	2,35
	2001 a 3000	2,60
	> 3000	2,85
2018 en adelante	A cualquier altitud	2,10

*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

## 2.7 PARÁMETROS DE DESEMPEÑO DEL MOTOR

### 2.7.1 POTENCIA ELÉCTRICA CEDIDA POR EL GENERADOR

La proporción por unidad de tiempo, o ritmo, con la que un circuito eléctrico transfiere energía eléctrica, es decir, la cantidad de energía eléctrica entregada o absorbida por un elemento en un momento determinado, se conoce como potencia eléctrica. El vatio o vatio (W) es la unidad utilizada en el Sistema Internacional de Unidades.

Los valores eficaces o valores cuadráticos medios, la diferencia de potencial entre los terminales y la intensidad de la corriente que pasa a través del dispositivo determinan el promedio de la potencia eléctrica producida por un dispositivo de dos terminales en corriente alterna (AC) sinusoidal.

$$P_{elec} = V_{ca} * I_{ca} \quad ; \text{ en [W]}$$

Donde:

$V_{ca}$  : Tensión de corriente alterna eficaz, en voltios [V]

$I_{ca}$  : Intensidad de corriente alterna eficaz, en amperes [A]



### 2.7.2 RENDIMIENTO DEL GENERADOR

El rendimiento ( $\eta$ ) de una máquina se expresa como el cociente entre la potencia consumida ( $W$ ) en una máquina cualquiera y su potencia máxima ( $P_{m\acute{a}x}$ ), entendemos por potencia máxima a la suma de la potencia efectiva y la pérdida de potencia en forma de calor.

$$\eta_g = \frac{P_{elec}}{P_{elec} + P}$$

Donde:

$P_{elec}$  : Potencia cedida por el generador, en [W]

$P$  : pérdidas en el alternador, en [W]

### 2.7.3 POTENCIA AL FRENO DEL MOTOR - BRAKE HORSEPOWER (BHP)

La valoración de los caballos de potencia de un motor debe basarse en la capacidad del motor para producir trabajo en las ruedas conductoras o en el eje de salida para ser efectiva. Esta capacidad para generar trabajo en el eje de salida o en las ruedas se conoce como "potencia al freno BHP". Es decir, la potencia al freno es la potencia real del motor, ya que no incluye las pérdidas de potencia por el movimiento de otros elementos móviles (embrague, caja de cambios, transmisión, etc.).

La potencia al freno del motor puede ser expresado como el cociente entre la potencia eléctrica generada y el rendimiento del generador.

$$N_e = \frac{P_{elec}}{\eta_g} \quad ; \text{ en [W]}$$

Donde:

$P_{elec}$  : Potencia eléctrica útil del generador, en [W].

$\eta_g$  : Rendimiento del generador.

### 2.7.4 MOMENTO EFECTIVO DEL MOTOR

El momento de fuerza que ejerce un motor sobre el eje de transmisión de potencia, o la tendencia de una fuerza para girar un objeto alrededor de un eje, punto de apoyo o eje de pivote, se conoce

como momento efectivo del motor o par motor. La cantidad de energía generada por el par motor es proporcional a la velocidad angular del eje de transmisión, viene dado por:

$$M_e = \frac{60}{2\pi} \cdot \frac{N_e}{n} \quad ; \text{ en [Nm]}$$

Donde:

$N_e$  : Potencia al freno del motor, en [W].

$n$  : Velocidad rotacional del cigüeñal, en [rpm].

### 2.7.5 PRESIÓN MEDIA EFECTIVA DEL MOTOR

El valor promedio de la presión que se establece en la cámara de combustión mientras se produce la combustión se conoce como presión media efectiva. Dadas las características básicas que determinan el funcionamiento de un motor de explosión, la cantidad de energía calórica liberada en el momento de la explosión es tanto mayor cuanto mayor es la temperatura absoluta alcanzada en el momento del encendido de la mezcla. La presión media efectiva viene dada por:

$$P_{me} = \frac{60 \cdot N_e \cdot x}{V_h \cdot n} \quad ; \text{ en [Mpa]}$$

Donde:

$N_e$  : Potencia al freno del motor, en [W].

$V_h$  : cilindrada del motor, en [cm<sup>3</sup>]

$x$  : Numero de revoluciones necesarias por cada carrera de potencia producida, por cilindro; 2 para un motor con ciclo de cuatro carreras y 1 para un motor con ciclo de dos carreras.  $\therefore x = 2rev$

### 2.7.6 CONSUMO HORARIO DEL COMBUSTIBLE

El consumo de combustible de un motor depende de múltiples factores, tales como el proyecto del motor, el de trabajo a realizar, las condiciones ambientales, etc; se expresa generalmente en motores estacionarios en litros por hora o en Kg por hora.

El rendimiento de todos los motores depende de la relación de compresión, el carburador, la forma de la cámara de explosión y el diagrama de distribución. El combustible gastado se transforma sólo parcialmente (aproximadamente un tercio) en energía mecánica. La energía térmica que se produjo en la cámara de combustión y que no fue utilizada en la generación de energía térmica se expulsa en forma de calor por el motor, por el radiador y los gases de escape. El consumo horario de combustible viene dado por:

$$G_c = 3.6 \frac{V_c}{t_c} \quad ; \text{ en [l/h]}$$

Donde:

$V_c$  : Volumen consumido del combustible, en [ml].

$t_c$  : Tiempo en el que es consumido el combustible, en [seg].

También:

$$G_c = 3.6 \rho_c \frac{V_c}{t_c} \quad ; \text{ en [kg/h]}$$

Donde:

$\rho_c$  : densidad del combustible a la temperatura de trabajo, en [gr/cm<sup>3</sup>]

Para:  $\rho_{DB5@15^\circ c} = 0.8323 \text{ gr/cm}^3$

$\rho_{AVRT@120^\circ c} = 0.8539 \text{ gr/cm}^3$

### 2.7.7 CONSUMO ESPECÍFICO DEL COMBUSTIBLE

El término "consumo específico de combustible" se refiere al rendimiento energético de un motor en relación con su potencia o empuje. Permite la comparación del rendimiento de varios motores o en este caso de varios combustibles.

El consumo específico de combustible es la cantidad de combustible necesaria para proporcionar una determinada potencia o rendimiento durante un período de tiempo determinado. Esto viene dado por:

$$g_c = 10^6 \frac{G_c}{N_e} \quad ; \text{ en [gr/kW-h]}$$

Donde:

$G_c$  : Consumo horario del combustible, en [kg/h].

$N_e$  : Potencia al freno del motor, en [W]

### 2.7.8 EFICIENCIA EFECTIVA DEL MOTOR

La eficiencia efectiva del motor es la relación directa entre el consumo específico de combustible y el poder calorífico del combustible. En términos generales y siendo muy técnicos. En términos simples es la eficiencia del motor en términos de energía. La eficiencia efectiva del motor viene dada por:

$$\eta_e = \frac{3600}{H_u \cdot g_c}$$

Donde:

$g_c$  : Consumo específico del combustible, en [gr/kW-h].

$H_u$  : Poder calorífico del combustible, en [MJ/kg]

Para:  $H_{u(DB5)} = 43.8$  MJ/kg

$H_{u(AVRF)} = 38.9$  MJ/kg

## **CAPITULO III**

### **DISEÑO, ADAPTACIÓN Y PRUEBAS DE MÓDULO EXPERIMENTAL**

#### **3.1 GENERALIDADES DEL MÓDULO EXPERIMENTAL:**

El módulo experimental servirá para realizar las pruebas de potencia, niveles de opacidad y productos de la combustión, de los 2 combustibles:

- Aceite vegetal residual de cocina (AVRF)
- Diésel comercial (DB5)

El Aceite Vegetal Residual de Frituras (AVRF), será el combustible de estudio, siendo el Diésel comercial (DB5), el combustible de comparación.

#### **3.2 DISEÑO**

El diseño se basa en la utilización de un motor de combustión interna encendido por compresión de 3.0 KW, montado en un generador eléctrico el cual acciona un panel de luces el cual sirve de freno eléctrico para poder generar distintas cargas.

##### **3.2.1 MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA ENCENDIDO POR COMPRESIÓN**

Se modificó el motor de combustión interna encendido por compresión para poder volverlo híbrido y pueda funcionar con 3 tipos de combustible, para lo cual se adaptaron 3 depósitos de combustibles conectados a la línea de alimentación por medio de válvulas manuales de apertura y cierre para la libre elección del combustible a experimentar.

Para la utilización del combustible Aceite Vegetal Residual de Frituras (AVRF) en el motor de combustión interna encendido por compresión, es necesario aplicar un tratamiento térmico al combustible para reducir la viscosidad del mismo a niveles de los combustibles tradicionales y pueda fluir sin problemas a través de las líneas de alimentación y no obstruya estas.

Para poder realizar este tratamiento térmico al combustible Aceite Vegetal Residual de Frituras (AVRF), se realizaron modificaciones al depósito que contiene este combustible en la cual se utiliza una resistencia eléctrica sumergible para poder elevar la temperatura del combustible y un

pirómetro conectado a una termocupla para la medición de la temperatura del combustible y poder encender y apagar la resistencia eléctrica y mantener la temperatura del combustible en un rango calculado y programado.

### **3.2.2 TABLERO DE LUCES**

El tablero de luces es utilizado como freno eléctrico, el cual mediante combinaciones de encendido de focos permite diferentes requerimientos de potencia eléctrica, el cual se ve reflejado en variación de voltaje, intensidad de corriente y frecuencia.

Los focos se encuentran montados en un panel y se encuentran conectados mediante cableado eléctrico de forma paralela, cada foco se encuentra conectado a un interruptor para su encendido y apagado, esto facilita la combinación de estos y la elección de potencial eléctrico para la correcta aplicación del experimento.

Este circuito se encuentra conectado a medidores para poder realizar lecturas de voltaje, intensidad de corriente y frecuencia de cada elección de potencial eléctrico para cada tipo de combustible.

## **3.3 CONSTRUCCIÓN**

### **3.3.1 MODIFICACIÓN DE MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA ENCENDIDO POR COMPRESIÓN DE 3.0 KW**

Se utilizan 2 depósitos plásticos con marcas de volumen para los combustibles Diésel comercial (DB5) y otro con el que se desee experimentar, además de 1 depósito metálico que contendrá el combustible Aceite Vegetal Residual de Frituras (AVRF) que será sometido a tratamiento térmico. Estos depósitos se encuentran conectados a válvulas de paso manuales que permite la libre elección de combustible a utilizar, la línea de alimentación principal es sustituida por una manguera de alta temperatura, para poder soportar la temperatura elevada del combustible Aceite Vegetal Residual de Frituras (AVRF).

El combustible Aceite Vegetal Residual de Frituras (AVRF), necesita ser sometido a tratamiento térmico para elevar su temperatura y así reducir su viscosidad y poder asemejarse a la viscosidad de

los combustibles convencionales a temperatura ambiente; la temperatura debe mantenerse en un rango de temperatura constante durante toda la realización del experimento.

Para lograr este tratamiento térmico se utiliza una resistencia eléctrica sumergible conectado a una fuente eléctrica de corriente alterna externa al módulo experimental, esta resistencia eléctrica se encuentra gobernada por un pirómetro programado en un rango de temperatura, el cual abre y cierra contacto automáticamente para la activación de la resistencia, la medición de la temperatura se realiza por una termocupla montada en el depósito de combustible en contacto directo con el combustible y conectada al pirómetro.

### 3.3.1.1 EQUIPOS, HERRAMIENTAS E INSUMOS

- **Equipos:**

- Generador con motor de combustión interna encendido por compresión.

#### FIGURA 3

*Generador con motor de combustión interna encendido por compresión*



*Nota:* Fuente fotografía tomada del generador adquirido para la fabricación del módulo experimental.

**FIGURA 4**

*Dos salidas a 220v AC*



Nota: Fuente. Fotografía tomada del generador adquirido para la fabricación del módulo experimental.

**TABLA 3**

*Especificaciones técnicas Generador encendido por compresión.*

<b>FRECUENCIA DE SALIDA DE CORRIENTE ALTERNA</b>	<b>60Hz</b>
<b>VOLTAJE DE SALIDA DE CORRIENTE ALTERNA</b>	<b>220V</b>
<b>POTENCIA ELECTRICA NOMINAL DE SALIDA</b>	<b>2800W</b>
<b>POTENCIA ELECTRICA MÁXIMA DE SALIDA</b>	<b>3000W</b>
<b>VOLTAJE DE SALIDA/CORRIENTE CONTINUA</b>	<b>12V/8.3A</b>
<b>FASE</b>	<b>1</b>
<b>FACTOR DE POTENCIA</b>	<b>1</b>
<b>MOTOR</b>	<b>PANTHER</b>
<b>MODELO</b>	<b>SPK178F</b>
<b>DIAMETRO X CARRERA</b>	<b>78 X 62 MM</b>
<b>DESPLAZAMIENTO</b>	<b>296CC</b>
<b>POTENCIA (HP) / VELOCIDAD (rpm)</b>	<b>5.4/3600</b>
<b>CILINDROS</b>	<b>1</b>
<b>CAPACIDA DEL TANQ.</b>	<b>3.5L</b>
<b>CONSUMO DE COMB.</b>	<b>1.1 L/Hr.</b>
<b>TIEMPOS</b>	<b>4</b>
<b>ENFRIAMIENTO</b>	<b>AIRE</b>
<b>COMBUSTIBLE</b>	<b>DIESEL</b>
<b>SISTEMA DE ARRANQUE</b>	<b>MANUAL</b>

Nota: Información tomada del manual del generador adquirido para la fabricación del módulo experimental.

- Pirómetro digital.



## FIGURA 5

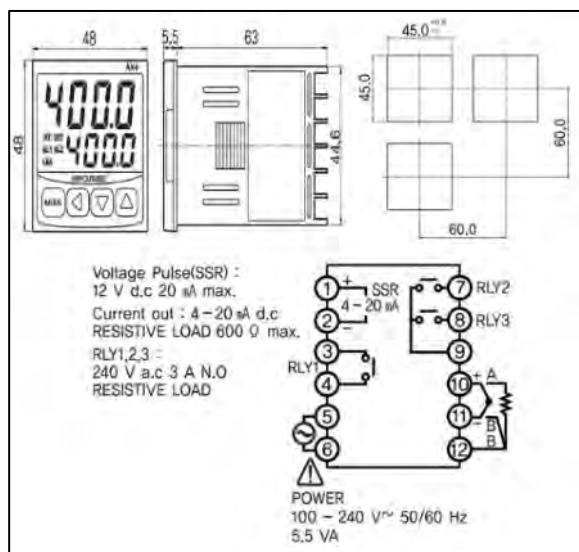
*Instrumento de control digital de temperatura CJ Intelligence (XMTG-818(J))*



*Nota:* Fuente. Fotografía tomada del componente.

## FIGURA 6

*Esquema Instrumento de control digital.*



*Nota:* Fuente. Tomado del manual de Instrumento de control digital de temperatura CJ Intelligence (XMTG-818(J))

- Contactor eléctrico *NC1-1810, 3P 18A Ac3 Bob 220Vac 1Na 7.5Kw 50/60Hz.*

## FIGURA 7

*Contactor Potencia Magnético 3P 18A Ac3 Bob 220Vac 1Na 7.5Kw 50/60Hz*



*Nota:* Fuente. Fotografía tomada del componente.

- Resistencia térmica sumergible de 1000 W Resistencia térmica de inmersión, material: acero inoxidable 304, voltaje: 220V

## FIGURA 8

*Resistencia térmica de inmersión*



*Nota:* Fuente. Fotografía tomada del componente.

- Termocupla tipo J, Sonda Flexible 0 – 600 °C grados PT100/J tipo sin conexión a tierra, controlador Sensor de temperatura de termopar revestido.

**FIGURA 9**

*Termocupla tipo J.*



*Nota:* Fuente. Fotografía tomada del componente.

- Depósitos de combustible.

**FIGURA 10**

*Tanque adaptado con resistencia térmica sumergible.*



*Nota:* Fuente. Fotografía propia.

- Depósito de combustible diésel comercial DB5 (izquierda) y deposito para otro combustible con el que se desee experimentar (derecha)

### FIGURA 11

*Depósito de combustible diésel (izquierda) y depósito para otro combustible con el que se desea experimentar (derecha).*



*Nota:* Fuente. Fotografía propia.

- Válvulas y conectores

### FIGURA 12

*Conexión triple de válvulas de paso para el cambio de combustible.*



*Nota:* Fuente. Fotografía propia.

- Manguera de alta temperatura.

### FIGURA 13

*Manguera de alta temperatura 5/16" Ø.*



*Nota:* Fuente. Fotografía propia.

○ **Herramientas:**

- Alicates.
- Desarmadores.
- Cuchilla.
- Llave inglesa.
- Llaves mixtas.

○ **Insumos:**

- Teflón.
- Silicona.
- Soldadura.
- Cable eléctrico.

#### 3.3.1.2 PROCESO

Se utilizan 2 depósitos plásticos con marcas de volumen para los combustibles Diésel comercial (DB5) y otro con el que se desee experimentar, Se adaptó boquillas de botellas de plástico para

el llenado, estos depósitos fueron conectados mediante mangueras de plástico a la línea de alimentación central, cada línea de combustible cuenta con una válvula de paso.

Se utilizó también un depósito metálico al cual se le realizó una serie de modificaciones, para el almacenamiento y tratamiento térmico del Aceite Vegetal Residual de Frituras (AVRF):

- Se realizó un agujero y soldadura de terminal roscado para montar la resistencia eléctrica sumergible que servirá para el calentado del Aceite Vegetal Residual de Frituras (AVRF).
- Se realizó un agujero y soldadura de turca roscada para montar la termocupla tipo J que servirá para la medición de temperatura del Aceite Vegetal Residual de Frituras (AVRF).
- La resistencia eléctrica sumergible y la termocupla tipo J se montan al tanque de combustible enroscando y utilizando cinta teflón de grado automotriz para asegurar su hermeticidad.
- La resistencia eléctrica sumergible y la termocupla tipo J se conectan por cables eléctricos a un pirómetro calibrado a un rango de temperatura de 120°C a 125°C. La termocupla envía la señal de temperatura al pirómetro el cual mantiene abierta la energía hacia la resistencia hasta alcanzar la temperatura de 125°C, es cuando el pirómetro cierra la energía hasta que el combustible baje su temperatura hasta los 120°C, es cuando el pirómetro abre nuevamente la energía hacia la resistencia, así mantiene el rango de temperatura deseado.
- La alimentación del pirómetro y la resistencia se da por energía eléctrica de corriente alterna a 220 Voltios desde una fuente externa.
- Este depósito de combustible se encuentra conectado a la línea de alimentación principal por una válvula de paso metálica.

Las válvulas de las 3 líneas de combustible se encuentran unidas a la línea de alimentación principal por medio de conectores tipo T y tipo Y soldados y enroscados entre sí. La línea de alimentación principal utiliza manguera de alta temperatura para poder soportar las temperaturas del combustible Aceite Vegetal Residual de Frituras (AVRF).

### 3.3.2 TABLERO DE LUCES

El tablero de luces es utilizado como freno eléctrico, el cual mediante combinaciones de encendido de focos permite diferentes requerimientos de potencia eléctrica, el cual se ve reflejado en variación de voltaje, intensidad de corriente y frecuencia.

Los focos se encuentran montados en un panel y se encuentran conectados mediante cableado eléctrico de forma paralela, cada foco se encuentra conectado a un interruptor para su encendido y apagado, esto facilita la combinación de estos y la elección de potencial eléctrico para la correcta aplicación del experimento.

Este circuito se encuentra conectado a medidores para poder realizar lecturas de voltaje, intensidad de corriente y frecuencia de cada elección de potencial eléctrico para cada tipo de combustible.

**FIGURA 14**

*Tablero de luces armado*



*Nota:* Fuente. Fotografía propia.

### 3.3.2.1 EQUIPOS, HERRAMIENTAS E INSUMOS

- **Equipos:**
  - Termomagnético de 30A.
  - Reflectores de 500W.
  - Focos de 5W, 15W, 50W y 100W.
  - Sockets circulares.
  - Interruptores.
  - Tablero pedestal de madera.
- **Herramientas:**
  - Desarmadores.
  - Alicates.
  - Llaves mixtas de distintas medidas.
- **Insumos:**
  - Cables eléctricos.
  - Cinta aislante.

### 3.3.2.2 PROCESO

- Se manda a fabricar un tablero pedestal de madera, con un panel de 1.2m x 1.2m sujetado en un par de pedestales de altura de 2m.
- Se realizan agujeros de 1 cm de diámetro para poder realizar las conexiones eléctricas a los sockets e interruptores.
- Se realiza un circuito de cables eléctricos para la dotación de energía a cada foco y socket, la disposición del circuito eléctrico será en forma paralela.



## FIGURA 15

*Cableado eléctrico paralelo.*



*Nota:* Fuente. Fotografía propia.

- Se monta los reflectores, socket e interruptores en el panel.
- Se coloca los focos.
- La disposición de los frenos eléctricos es de arriba hacia abajo y es como sigue:
  - 03 reflectores de 500W gobernados por un solo interruptor (total 1500W).
  - 01 reflector de 500 W con su propio interruptor.
  - 07 focos de 100W, cada uno con su propio interruptor.
  - 05 focos de 50W, cada uno con su propio interruptor.
  - 02 focos de 15W, cada uno con su propio interruptor.
  - 04 focos de 5W, cada uno con su propio interruptor.
- La suma total de los frenos eléctricos es de 3000 W y al tener sus propios interruptores permite realizar múltiples combinaciones de requerimiento de potencia, según sea la necesidad del experimento.

- El circuito se encuentra conectado a un termomagnético el cual se encuentra conectado al generador eléctrico.

### **3.4 COMBUSTIBLES**

Se utilizarán 2 combustibles en este experimento:

- Aceite vegetal residual de cocina (AVRF)
- Diésel comercial (DB5)

El Aceite Vegetal Residual de Frituras (AVRF), será el combustible de estudio, siendo el Diésel comercial (DB5), el combustible de comparación.

#### **3.4.1 DIÉSEL DB5**

Este combustible está constituido por un 95% de Diésel N° 2 y 5% de Biodiesel (BD100), es un combustible convencional de venta directa en estaciones de servicio a nivel nacional.

Este combustible servirá de combustible de comparación para los estudios realizados en el experimento.

##### **3.4.1.1 EQUIPOS, HERRAMIENTAS E INSUMOS**

- Depósito para su traslado y almacenamiento.

##### **3.4.1.2 PROCESO DE OBTENCIÓN**

- Compra directa en estación de servicio local.

#### **3.4.2 ACEITE VEGETAL RESIDUAL DE FRITURAS (AVRF)**

Para un mejor control de propiedades, el Aceite Vegetal Residual de Frituras (AVRF) utilizado en este experimento será aceite de soya, el cual será comprado nuevo y sometido a un proceso de fritura de alimentos en una cevichería, donde se controló que no se mezcle con otros tipos de aceite.

##### **3.4.2.1 EQUIPOS, HERRAMIENTAS E INSUMOS**

- **Equipos**
  - Cocina industrial

- **Herramientas**
  - Recipientes para recolección.
  - Colador.
- **Insumos**
  - Aceite vegetal de soya (nuevo)
  - Productos marinos para fritura.
  - Papel filtro de bajo tránsito.

### 3.4.2.2 PROCESO DE OBTENCIÓN

- Se realiza la compra de 6 litros de aceite vegetal de soya (volumen promedio utilizado en un día de atención en la cevichería). Se realizaron varias compras, según necesidad de Aceite Vegetal Residual de Frituras (AVRF) en las pruebas del experimento.

### FIGURA 16

*Aceite vegetal comercial Marca Sao.*



*Nota:* Fuente. Fotografía propia.

- Se realiza la fritura de distintos productos marinos en cocina industrial de la cevichería “Las Almejitas”.

### FIGURA 17

*Utilización del aceite vegetal.*



*Nota:* Fuente. Fotografía propia.

- Enfriado el aceite se procede a colar el aceite para retirar los sólidos más grandes del fluido.
- Se realiza el filtrado del fluido utilizando papel filtro de bajo tránsito.

### FIGURA 18

*Filtrado del fluido utilizando papel filtro de bajo tránsito.*



*Nota:* Fuente. Fotografía propia.

- Se obtiene producto final Aceite Vegetal Residual de Frituras (AVRF).

## FIGURA 19

*Impurezas (izquierda) y Aceite Vegetal Residual de Frituras (derecha).*



*Nota:* Fuente. Fotografía propia.

### 3.4.2.3 DETERMINACIÓN DE TEMPERATURA PARA LA REDUCCIÓN DE VISCOSIDAD A NIVELES DE COMBUSTIBLE CONVENCIONAL.

A temperatura ambiente el aceite vegetal tiene una viscosidad muy alta lo cual hace imposible su uso directo en un motor de combustión interna encendido por compresión, ya que el diámetro de inyección del inyector es muy pequeño y ocasionaría obturamiento en el mismo.

A temperatura ambiente (aproximadamente 25°C o 77°F), la viscosidad dinámica del aceite de soja suele estar en el rango de 10 a 15 centipoises (cP) o 10 a 15 milipascales por segundo (mPa·s).

Esto hace necesario calentar el Aceite Vegetal Residual de Frituras (AVRF) a una temperatura que permita reducir su viscosidad a niveles de un combustible convencional (DB5), para así posibilitar su paso por el inyector y evitar el obturamiento.

Las pruebas se realizaron en los laboratorios de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

#### 3.4.2.3.1 EQUIPOS, HERRAMIENTAS E INSUMOS

- Viscosímetro Anton SVM3000

**FIGURA 20***Viscosímetro Anton SVM3000*

*Nota:* Fuente. Fotografía propia.

**TABLA 4***Datos técnicos Viscosímetro Anton SVM3000*

	SVM 3000	Xsample 360	Xsample 460
Volumen de muestra requerido (ml)	2,5	5 (10)	5 (10)
Viales por		1	48/96 (24)
Volumen de viales de muestra (ml)		12 (50)	12 (50)
Consumo mínimo de disolvente (ml)	2,5	2,5	2,5
Consumo típico de disolvente (ml)	10	7,5	7,5
Volumen de botellas de disolvente (l)	2 x 0,5	2 x 1	2 x 1
Viscosidad máx. de llenado (mPa.s)	2000*	1000*	1000*
	<i>Valores en paréntesis para viales opcionales de 50 ml</i>		
Capacidad de procesamiento de muestras (máx. por hora)	<i>Valores en paréntesis para secado con aire comprimido</i>		
Prueba rápida (ultra rápida)	25 (30)	18 (22)	18 (22)
Aceite de motor, prueba rápida (ultra rápida)	15 (18)	12 (15)	12 (15)
1000 mPa.s a 20 °C, prueba estándar	8,5 (10)	4,8 (5,5)	4,8 (5,5)
Aceite de motor, determinación doble, prueba estándar	7 (8)	6,5 (7,5)	6,5 (7,5)
Peso neto/bruto (kg)	15/17	21/25	23/27
Espacio requerido: largo x ancho x alto (mm)	440 x 315 x 220	440 x 380 x 320	440 x 660/990 x 320
Condiciones ambientales	15 a 35 °C (59 a 95 °F), máx. 80 % h.r. debajo de 31 °C (88 °F), 67 % a 35 °C (95 °F)		
Memoria de datos / modos	384 juegos de datos / 10 modos programables		
Interfaces	RS-232 doble, teclado AT		
Suministro de energía (corriente sinusoidal)	100 a 240 VCA, 50 a 60 Hz, 75 VA máx.		
Reproducibilidad(fuera del rango de ajuste de fábrica puede requerirse una calibración especial.)			
Viscosidad (valores típicos para aceites limpios)	0,35% con el rango de ajuste de fábrica; 1% fuera de este rango		
Densidad (viscosidad compensada)**	0,0005 g/cm <sup>3</sup> de 0,65 a 1,5, 0,0020 g/cm <sup>3</sup> fuera de este rango		
Temperatura	0,02 °C (0,04 °F) de 15 a 105 °C (59 °F a 221 °F); 0,05 °C (0,09 °F) fuera de este rango		
Rango de medición		Repetibilidad*	
Viscosidad dinámica (mPa.s)	0,2 hasta 20,000*	Viscosidad	0,1 %
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )**	0,65 hasta 3	Densidad**	0,0002 g/cm <sup>3</sup>
Temperatura	15 °C hasta 105 °C (temperaturas menores a petición)	Temperatura	0,005 °C

*Nota:* Fuente. Tomado de los datos técnicos laboratorio Ing. Química - UNSAAC.

- Contenedores para los combustibles.
- Jeringas desechables de 10 ml.
- Aceite vegetal Residual de Frituras (AVRF)
- DB5
- Alcohol isopropílico.

## FIGURA 21

*Muestras de laboratorio*



*Nota:* Fuente. Fotografía propia.

### 3.4.2.3.2 PROCESO

- Se realiza una limpieza previa al sistema del viscosímetro con alcohol isopropílico, para drenar otros componentes e impurezas que pueda haber en el sistema, este proceso se realiza unas 4 ó 5 veces.
- Se carga el combustible deseado y se programa la temperatura a la cual se desea analizar el combustible, se espera a que se alcance la temperatura y se toma los datos.

**FIGURA 22***Lectura de Viscosímetro Anton SVM3000**Nota:* Fuente. Fotografía propia.

- Se varía la temperatura a los grados a los que se desea llegar, se espera a llegar a dichas temperaturas y se toma los datos.
- Se vuelve a realizar la limpieza del sistema con alcohol isopropílico.
- Se repite el mismo procedimiento con los demás combustibles.

**3.4.2.3.3 RESULTADOS**

Las pruebas se realizaron con dos tipos de combustibles, el DB5 y el Aceite Vegetal Residual de Frituras (AVRF) y los resultados son los siguientes.

**TABLA 5***Valores medidos para el DB5.*

DB5		5°C	8°C	10°C	12°C	15°C
Viscosidad Dinámica ( $\eta$ )	mPa.s	5.3500	4.8837	4.6089	4.3559	4.0769
Viscosidad Cinemática ( $\nu$ )	mm <sup>2</sup> /s	6.3702	5.8272	5.5094	5.2159	4.8983
Densidad ( $\rho$ )	g/cm <sup>3</sup>	0.8398	0.8381	0.8365	0.8351	0.8323

*Nota:* Fuente. Elaboración propia.



**TABLA 6***Valores medidos para el AVRF*

AVRF		60°C	70°C	80°C	90°C	100°C
<b>Viscosidad Dinámica (<math>\eta</math>)</b>	<b>mPa.s</b>	15.919	12.392	9.8565	7.9755	6.5851
<b>Viscosidad Cinemática (<math>\nu</math>)</b>	<b>mm<sup>2</sup>/s</b>	17.841	13.996	11.215	9.1411	7.6015
<b>Densidad (<math>\rho</math>)</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	0.8923	0.8854	0.8789	0.8725	0.8663

*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

El viscosímetro **Anton Para SVM3000** tiene una temperatura máxima programable de 100°C y como se aprecia en las tablas los valores para el Aceite Vegetal Residual de Frituras (AVRF) a 100°C no son aproximados a los valores del DB5 a 12°C y 15°C.

Esto hace ver la necesidad de extrapolar valores para conocer la temperatura a la que debería llegar nuestro Aceite Vegetal Residual de Frituras (AVRF) para poder alcanzar los valores del DB5 a 12°C y 15°C, para esto tomaremos los valores del AVRF a 90°C y 100°C y del DB5 a 12°C y 15°C.

**TABLA 7***Datos de extrapolación para obtener temperatura deseada*

	T°C (AVRF)	V. din. ( $\eta$ ) mPa.s	V. cin. ( $\nu$ ) mm <sup>2</sup> /s	Densidad ( $\rho$ ) g/cm <sup>3</sup>	T°C (DB5)	
<b>AVRF</b>	<b>90</b>	7.9755	9.1411	0.8725		
	<b>100</b>	6.5851	7.6015	0.8663		
	<b>T<sub>12</sub></b>	4.3559	5.2159	0.8351	<b>12</b>	<b>DB5</b>
	<b>T<sub>15</sub></b>	4.0769	4.8983	0.8323	<b>15</b>	

*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

Donde:

**T<sub>12</sub>**: Temperatura del AVRF para alcanzar los valores del DB5 a 12°C.**T<sub>15</sub>**: Temperatura del AVRF para alcanzar los valores del DB5 a 15°C.

Extrapolando términos:

$$\frac{T_{12(\eta)} - 100}{4.3559 - 6.5851} = \frac{100 - 90}{6.5851 - 7.9755}$$

$$T_{12(\eta)} = 116.03^{\circ}\text{C}$$

$$\frac{T_{12(v)} - 100}{5.2159 - 7.6015} = \frac{100 - 90}{7.6015 - 9.1411}$$

$$T_{12(v)} = 115.49^{\circ}\text{C}$$

$$\frac{T_{12(\rho)} - 100}{0.8351 - 0.8663} = \frac{100 - 90}{0.8663 - 0.8725}$$

$$T_{12(\rho)} = 150.32^{\circ}\text{C}$$

$$\frac{T_{15(\eta)} - 100}{4.0769 - 6.5851} = \frac{100 - 90}{6.5851 - 7.9755}$$

$$T_{15(\eta)} = 118.04^{\circ}\text{C}$$

$$\frac{T_{15(v)} - 100}{4.8983 - 7.6015} = \frac{100 - 90}{7.6015 - 9.1411}$$

$$T_{15(v)} = 117.56^{\circ}\text{C}$$

$$\frac{T_{15(\rho)} - 100}{0.8323 - 0.8663} = \frac{100 - 90}{0.8663 - 0.8725}$$

$$T_{15(\rho)} = 150.32^{\circ}\text{C}$$

La utilización del Aceite Vegetal Residual de Frituras (AVRF) en un motor de combustión interna encendido por compresión depende de la capacidad del combustible a fluir por el sistema de alimentación, por lo que se tomara los valores obtenidos para la viscosidad cinemática.

$$T_{12(\eta)} = 116.03^{\circ}\text{C}$$

$$T_{15(\eta)} = 118.04^{\circ}\text{C}$$

Por lo tanto y para efectos de programación se tomará un rango de temperatura aproximada para el Aceite Vegetal Residual de Frituras (AVRF) de:

$$T_{AVRF} = [121^{\circ}\text{C} ; 123^{\circ}\text{C}]$$

### 3.5 TOMA DE DATOS EXPERIMENTALES

Los datos tomados en la experimentación en el módulo de pruebas son valores de:

- Tensión.
- Intensidad de corriente.
- Frecuencia.
- Tiempo de consumo de combustible.
- Porcentaje de opacidad.
- Índice de opacidad.
- Otros valores para productos de la combustión
  - Hidrocarburos (HC)
  - Óxido Nitroso (NO)
  - Monóxido de carbono (CO)
  - Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)
  - Oxígeno (O<sub>2</sub>)

Los datos fueron tomados en 6 puntos de resistencia eléctrica:

- Resistencia 1 = 0W.
- Resistencia 2 = 320W.
- Resistencia 3 = 640W.
- Resistencia 4 = 960W.
- Resistencia 5 = 1280W.
- Resistencia 6 = 1600W.

Estos datos servirán para la implementación del diseño experimental; el diseño experimental que será empleado es un experimento Bifactorial AxB conducido bajo un diseño Completo al Azar, se pretende tener de 4 a 7 muestras por cada tratamiento. El análisis estadístico comprenderá el análisis de varianza y la prueba de Tukey al 0.05 de probabilidad.

### 3.5.1 EQUIPOS, HERRAMIENTAS E INSUMOS

- Opacímetro

#### FIGURA 23

*Opacímetro Jevol JVS-600*



*Nota:* Fuente. Fotografía centro de revisiones técnicas vehiculares.

- Multímetros

#### FIGURA 24

*Multímetros marca SANWA utilizados para la toma de datos.*



*Nota:* Fuente. Fotografía propia.

- Pinza amperimétrica

### FIGURA 25

*Pinza amperimétrica.*



*Nota:* Fuente. Fotografía propia.

- Analizador de gases

### FIGURA 26

*Analizador de gases*



*Nota:* Fuente. Fotografía centro de revisiones técnicas vehiculares.

## 3.5.2 PROCESO

### 3.5.2.1 ENCENDIDO DEL MÓDULO EXPERIMENTAL

El encendido previo a las pruebas se realiza siempre con combustible DB5, por ser el combustible estándar en motores de combustión interna encendidos por compresión, se

mantiene el motor encendido por 8 minutos (tiempo de pre-operalización del módulo), para así poder alcanzar la velocidad nominal del motor (3612 rpm) y realizar las pruebas a partir de ese punto.

### **3.5.2.2 PROCEDIMIENTO DE CAMBIO DE COMBUSTIBLE DURANTE PRUEBAS**

Para el cambio de combustible durante las pruebas se realiza la apertura de la válvula de alimentación del combustible que se desea probar y se cierra la válvula de alimentación del combustible con el que se está trabajando en ese momento.

Se espera aproximadamente 5 minutos (con el motor encendido), para que el combustible con el que se desea experimentar desplace completamente en toda la línea de alimentación al combustible con el que se experimentó antes de este.

### **3.5.2.3 APAGADO DEL MÓDULO EXPERIMENTAL**

Para el apagado del módulo experimental se apretura la válvula de alimentación del tanque que contiene el DB5, para que desplace completamente en toda la línea de alimentación al combustible con el que se experimentó antes, esto para poder realizar el encendido con DB5 en el siguiente día de experimentación.

### **3.5.2.4 PRUEBAS EN EL MÓDULO EXPERIMENTAL**

Las pruebas realizadas en e módulo experimental fueron realizadas según al diseño de experimento propuesto en el siguiente capítulo; el análisis y operacionalización de los resultados obtenidos se desarrollan capítulos más adelante.

## CAPÍTULO IV

### DISEÑO, PLANEACIÓN Y EJECUCIÓN DEL EXPERIMENTO

#### 4.1 DISEÑO Y PLANEACIÓN DEL EXPERIMENTO

##### 4.1.1 TÍTULO DEL EXPERIMENTO

**ANÁLISIS DE LA POTENCIA Y OPACIDAD EN UN MOTOR ENCENDIDO POR COMPRESIÓN DE 3.0 KW, UTILIZANDO ACEITE VEGETAL RESIDUAL DE FRITURA (AVRF) COMO COMBUSTIBLE, MEDIANTE EL ANÁLISIS EXPERIMENTAL.**

##### 4.1.2 LUGAR DE EXPERIMENTACIÓN

- **Características del Sitio Experimental**

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en casa del investigador José Antonio Contreras Caituiro, ubicado en:

- Provincia: Cusco
- Distrito: San Sebastián
- Sector: San Antonio parte alta.

- **Características Climáticas**

- Altitud: 3304 msnm.
- Temperatura: entre 9°C y 19°C

##### 4.1.3 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

Todo lo descrito en el capítulo 3, como son:

- Módulo experimental.
- Medidores.
- Combustibles.

##### 4.1.4 PLANEACIÓN DEL EXPERIMENTO

El experimento se desarrollará en 2 fases:

- **Pre experimentación:** La cual servirá para determinar la cantidad de muestras necesarias por combustible y nivel de resistencia necesarias para una fiabilidad del experimento.

- **Experimentación:** La cual servirá para obtener muestras, las cuales serán operacionalizadas y analizadas posteriormente mediante el diseño de experimento escogido.

#### 4.1.4.1 PLANEAMIENTO PRE EXPERIMENTAL

Se hará pruebas con el motor encendido para encontrar el valor o los parámetros nominales del motor y así evitar las variaciones de revoluciones, y así asegurar que el experimento sea homogéneo para todos los casos.

Para encontrar el tamaño óptimo del tamaño de muestra se harán pruebas con combustible diésel comercial a una resistencia A, para ver la variabilidad de las lecturas, si el coeficiente de variación es:

- Menor a 15% se decidirá tomar 5 muestras por tratamiento
- Menor a 30% se decidirá tomar 6 muestras por tratamiento
- Mayor o igual a 30% se decidirá tomar 7 u 8 muestras por tratamiento.

#### 4.1.4.2 PLANEAMIENTO EXPERIMENTAL

##### 4.1.4.2.1 DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El diseño experimental que será empleado es un experimento Monofactorial con el modelo de distribución de Fisher conducido bajo un diseño Completo al Azar, se pretende tener de 4 a 8 muestras por cada tratamiento, la unidad experimental estuvo considerada por un motor encendido por compresión de 3 KW. El análisis estadístico comprendió el análisis de varianza y la prueba de Fisher al 0.05 de probabilidad.

El análisis estadístico se realizará dividiendo los grupos de muestras por nivel de resistencia, pero las muestras serán tomadas al azar en la totalidad del experimento sin tomar en cuenta los niveles de resistencia.

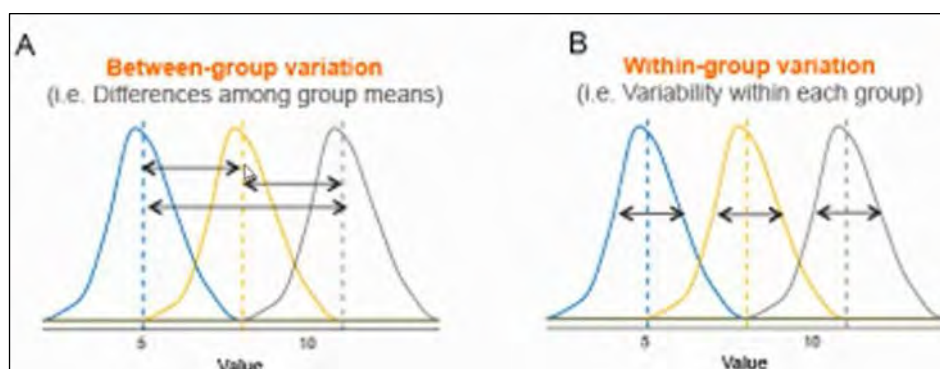
##### 4.1.4.2.1.1 OBJETIVO

Analizar la variabilidad dentro del mismo grupo y entre los grupos.



## FIGURA 27

*Variabilidad entre los grupos y dentro del mismo grupo.*



*Nota:* Adoptado de Unveiling the Power of One-Way ANOVA, Raul Valerio, 2023, RPubS by RStudio ([https://rpubs.com/raulvalerio/anova\\_medical\\_app](https://rpubs.com/raulvalerio/anova_medical_app)).

### 4.1.4.2.1.2 FACTORES DE ESTUDIO

**Factor A:** Tipo de Combustible

**Factor B:** Resistencias

### 4.1.4.2.1.3 VARIABLE RESPUESTA:

- Tensión eléctrica.
- Amperaje
- Frecuencia
- Consumo de combustible.
- Niveles de opacidad.
- Productos de la combustión.

### 4.1.4.2.1.4 NIVELES DE LOS FACTORES DE ESTUDIO

**Niveles del factor A:** (AVRF, Diésel)

**Niveles del factor B:** (R1, R2, R3, R4, R5, R6)

**TABLA 8***Factores de estudio.*

<b>Factor</b>	<b>Nivel</b>	<b>Clave</b>
<b>Combustible</b>	<b>DB5</b>	<b>C1</b>
	<b>AVRF</b>	<b>C2</b>
<b>Resistencia</b>	<b>R1 = 0 W</b>	<b>R1</b>
	<b>R2 = 320 W</b>	<b>R2</b>
	<b>R3 = 640 W</b>	<b>R3</b>
	<b>R4 = 690 W</b>	<b>R4</b>
	<b>R5 = 1280 W</b>	<b>R5</b>
	<b>R6 = 1600 W</b>	<b>R6</b>

*Nota:* Fuente. Elaboración propia.**4.1.4.2.1.5 TRATAMIENTOS:**

Los tratamientos se formaron por las combinaciones de los factores en estudio, tal como se describe

a continuación: **Son 2x6 = 12 los tratamientos**

**TABLA 9***Formación del número total de tratamientos*

<b>Nro.</b>	<b>Combinaciones</b>	<b>Clave</b>
1	DB5 x R1	C1R1
2	DB5 x R2	C1R2
3	DB5 x R3	C1R3
4	DB5 x R4	C1R4
5	DB5 x R5	C1R5
6	DB5 x R6	C1R6
7	AVRF x R1	C2R1
8	AVRF x R2	C2R2
9	AVRF x R3	C2R3
10	AVRF x R4	C2R4
11	AVRF x R5	C2R5
12	AVRF x R6	C2R6

*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

#### 4.1.4.2.1.6 ALEATORIZACIÓN DE LOS DATOS:

Los datos serán tomados en forma aleatoria y teniendo en cuenta que se tomarán 5 muestras por tratamiento, entonces el orden de muestreo es el siguiente:

**TABLA 10**

*Aleatorización de datos.*

# Muestra	Tratamiento	# Muestra	Tratamiento
1	C1R6	31	C1R5
2	C1R3	32	C2R3
3	C1R1	33	C2R2
4	C2R5	34	C1R2
5	C2R4	35	C2R6
6	C1R4	36	C2R1
7	C1R5	37	C1R6
8	C2R3	38	C1R3
9	C2R2	39	C1R1
10	C1R2	40	C2R5
11	C2R6	41	C2R4
12	C2R1	42	C1R4
13	C1R6	43	C1R5
14	C1R3	44	C2R3
15	C1R1	45	C2R2
16	C2R5	46	C1R2
17	C2R4	47	C2R6
18	C1R4	48	C2R1
19	C1R5	49	C1R6
20	C2R3	50	C1R3
21	C2R2	51	C1R1
22	C1R2	52	C2R5
23	C2R6	53	C2R4

24	C2R1	54	C1R4
25	C1R6	55	C1R5
26	C1R3	56	C2R3
27	C1R1	57	C2R2
28	C2R5	58	C1R2
29	C2R4	59	C2R6
30	C1R4	60	C2R1

Nota: Fuente. Elaboración propia.

#### 4.1.4.2.1.7 DISTRIBUCIÓN DE DATOS PARA EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO

**FIGURA 28**

*Distribución de datos.*

<b>FACTOR A</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	.	.	.	<b>K</b>	
	y <sub>11</sub>	y <sub>21</sub>	.	.	.	y <sub>k1</sub>	
	y <sub>12</sub>	y <sub>22</sub>	.	.	.	y <sub>k2</sub>	
	.	.	.	.	.	.	
	.	.	.	.	.	.	
	.	.	.	.	.	.	
	y <sub>1n</sub>	y <sub>2n</sub>	.	.	.	y <sub>kn</sub>	
<b>TOTALES</b>	y <sub>1.</sub>	y <sub>2.</sub>	.	.	.	y <sub>k.</sub>	y <sub>..</sub>
<b>PROMEDIOS</b>	$\bar{Y}_{1.}$	$\bar{Y}_{2.}$	.	.	.	$\bar{Y}_{k.}$	$\bar{Y}_{..}$

Nota: Fuente. Elaboración propia.

#### 4.1.4.2.1.8 TABLA DE ANOVA PARA EL DISEÑO COMPLETO AL AZAR

**FIGURA 29**

*Anova para el diseño completo al azar*

SC	GL	CM	F <sub>0</sub>	Valor - p
$SC = \sum_{i=1}^k \frac{Y_{i.}^2}{n_i} - \frac{Y_{..}^2}{N}$	$k - 1$	$CM_{TRAT} = \frac{SC_{TRAT}}{k - 1}$	$\frac{CM_{TRAT}}{CM_E}$	$P(F > F_0)$
$SC_E = SC_T - SC_{TRAT}$	$N - k$	$CM_E = \frac{SC_E}{N - k}$		
$SC_T = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij}^2 - \frac{Y_{..}^2}{N}$	$N - 1$			

Nota: Fuente. Elaboración propia.

Donde:  $k$  = Numero de Factor A

$n$  = Numero de muestras totales de cada factor

$N$  = Muestras totales del experimento ( $N = n_1 + n_2 + \dots + n_k$ )

$y_{1.}$  = Suma de las muestras del factor A

$\bar{Y}_{1.}$  = Media de las muestras del i-esimo tratamiento

$y_{..}$  = Suma total de las muestras

$\bar{Y}_{..}$  = Media global o promedio de todas las muestras.

## 4.2 EJECUCIÓN DEL EXPERIMENTO

### 4.2.1 EJECUCIÓN DE LAS PRUEBAS PRE EXPERIMENTALES

Las pruebas pre experimentales se realizaron a una resistencia de 1000W con combustible DB5.

Para este procedimiento se realizaron los siguientes pasos:

- Se enciende el motor de forma manual utilizando combustible DB5.
- Se espera por 8 minutos para alcanzar la velocidad nominal.
- Se encienden los focos hasta alcanzar una resistencia de 1000W.
- A los 8 minutos se toma la primera medición.
- Las siguientes mediciones se toman cada 10 minuto a la misma resistencia de 1000W, hasta alcanzar los 10 datos.

Los datos obtenidos se encuentran expresados en el siguiente cuadro.

#### 4.2.1.1 DATOS OBTENIDOS

**TABLA 11**

*Pruebas realizadas a 1000 Watts de resistencia.*

	<b>FRECUENCIA</b>	<b>VOLTAJE</b>	<b>AMPERAJE</b>	<b>RPM</b>
<b>1</b>	59.50	226.00	4.76	3570.00
<b>2</b>	60.10	226.00	4.75	3606.00
<b>3</b>	59.90	226.00	4.73	3594.00
<b>4</b>	60.00	227.00	4.74	3600.00
<b>5</b>	60.10	226.00	4.72	3606.00
<b>6</b>	59.90	225.00	4.73	3594.00
<b>7</b>	60.10	226.00	4.74	3606.00
<b>8</b>	60.10	226.00	4.74	3606.00
<b>9</b>	59.60	225.00	4.71	3576.00
<b>10</b>	59.70	227.00	4.74	3582.00

*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

**TABLA 12**

*Coefficiente de variación*

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>	<i>Desviación estándar</i>	<b><i>Coefficiente de Variación</i></b>
<b>FRECUENCIA</b>	10	599	59.9	0.051111111	0.22607767	0.37743%
<b>VOLTAJE</b>	10	2260	226	0.444444444	0.666666667	0.29499%
<b>AMPERAJE</b>	10	47.36	4.736	0.00020444	0.01429841	0.30191%
<b>RPM</b>	10	35940	3594	184	13.56466	0.37743%

*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

#### 4.2.1.2 DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO ÓPTIMO DE MUESTRAS

Siguiendo el planeamiento del experimento, para encontrar el tamaño óptimo del tamaño de muestra se harán pruebas para ver la variabilidad de las lecturas, si el coeficiente de variación es:

- menor a 15% se decidirá tomar 5 muestras por tratamiento.
- menor a 30% se decidirá tomar 6 muestras por tratamiento.
- mayor o igual a 30% se decidirá tomar 7 u 8 muestras por tratamiento.

Entonces teniendo los resultados de la Tabla 12:

Se observa que todos los coeficientes de variación son menores al 15%. Por lo tanto, se decide tomar **5 muestras por tratamiento**.

## 4.2.2 EJECUCIÓN DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES

### 4.2.2.1 TOMA DE MUESTRAS PARA PRINCIPALES PARÁMETROS DEL GENERADOR

Las muestras fueron tomadas de acuerdo la distribución de la aleatorización de datos del apartado 4.1.4.2.1.6 ALEATORIZACIÓN DE LOS DATOS.

#### FIGURA 30

*Toma de muestras.*



*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

El procedimiento se realizó de la siguiente manera:

- Se enciende el motor de forma manual utilizando combustible DB5.

- Se conecta el enchufe del pirómetro a una fuente externa de alimentación para el calentado del AVRF, para alcanzar y mantener la temperatura deseada.
- Se espera por 8 minutos para alcanzar la velocidad nominal.
- Se enciende los focos para alcanzar la resistencia indicada para el primer tratamiento.
- Se realiza la medición de los datos del primer tratamiento.
- Para la toma de los siguientes tratamientos, se enciende los focos para alcanzar la resistencia indicada en el tratamiento y dependerá del tipo de combustible indicado en el tratamiento, para proceder de la siguiente forma:
  - Si el siguiente tratamiento es con el combustible del tratamiento anterior, se espera 5 minutos y se realiza la medición de los datos del tratamiento.
  - Si el siguiente tratamiento es con un combustible distinto al tratamiento anterior, se abre la válvula del combustible del tratamiento a medir y se cierra la válvula del combustible del tratamiento anterior, se espera aproximadamente 5 minutos para que el combustible del tratamiento a medir sustituya al combustible del tratamiento anterior en la línea de alimentación. Finalmente se realiza la medición de los datos del tratamiento.
- Para el apagado del módulo siempre se realiza la apertura de la válvula del combustible DB5 y se cierra las otras válvulas, se espera 5 minutos aproximadamente hasta que el DB5 ocupe toda la línea de alimentación, realizado esto se apaga el motor.
- Desconectar la fuente de alimentación del pirómetro.

Las mediciones obtenidas se especifican en la siguiente tabla:

### **TABLA 13**

*Toma de muestras para parámetros del generador.*



# Muestra	Tratamiento	Intensidad				
		Voltaje	de corriente (I)	Potencia elec. [W]	Potencia al freno (Ne) [W]	% de opacidad [%]
		[V]	[A]	[W]	[W]	[%]
1	C1R6	222	6.85	1520.7	2187.11348	0.9
2	C1R3	226	2.92	659.92	949.11549	0.8
3	C1R1	224	0	0	0	0.3
4	C2R5	224	5.92	1326.08	1907.20552	1.8
5	C2R4	225	4.26	958.5	1378.54164	0.9
6	C1R4	225	4.24	954	1372.06961	1
7	C1R5	224	5.91	1323.84	1903.98389	0.4
8	C2R3	226	2.93	662.18	952.365885	0.7
9	C2R2	226	1.56	352.56	507.0617	1.3
10	C1R2	225	1.54	346.5	498.346038	0.4
11	C2R6	222	6.82	1514.04	2177.53488	2.6
12	C2R1	225	0	0	0	1.1
13	C1R6	223	6.8	1516.4	2180.9291	1
14	C1R3	226	2.93	662.18	952.365885	0.7
15	C1R1	225	0	0	0	0.3
16	C2R5	224	5.92	1326.08	1907.20552	2
17	C2R4	225	4.24	954	1372.06961	1.1
18	C1R4	225	4.24	954	1372.06961	0.9
19	C1R5	224	5.91	1323.84	1903.98389	0.3
20	C2R3	227	2.94	667.38	959.844671	6.1
21	C2R2	226	1.58	357.08	513.562491	2.7
22	C1R2	226	1.56	352.56	507.0617	0.3
23	C2R6	223	6.79	1514.17	2177.72185	2
24	C2R1	224	0	0	0	1.2
25	C1R6	222	6.79	1507.38	2167.95628	1.3
26	C1R3	226	2.92	659.92	949.11549	0.6
27	C1R1	224	0	0	0	0.6
28	C2R5	224	5.93	1328.32	1910.42715	2.2

## ANÁLISIS DEL ACEITE VEGETAL RESIDUAL DE FRITURA (AVRF) COMO COMBUSTIBLE

29	C2R4	225	4.25	956.25	1375.30562	1.4
30	C1R4	225	4.24	954	1372.06961	0.9
31	C1R5	224	5.93	1328.32	1910.42715	0.5
32	C2R3	227	2.93	665.11	956.579894	12.1
33	C2R2	226	1.56	352.56	507.0617	0.8
34	C1R2	226	1.54	348.04	500.560909	0.3
35	C2R6	222	6.79	1507.38	2167.95628	3.1
36	C2R1	225	0	0	0	4.2
37	C1R6	223	6.79	1514.17	2177.72185	0.7
38	C1R3	226	2.9	655.4	942.614699	0.4
39	C1R1	224	0	0	0	0.5
40	C2R5	224	5.94	1330.56	1913.64878	1.7
41	C2R4	226	4.26	962.76	1384.66849	1.2
42	C1R4	225	4.24	954	1372.06961	1.0
43	C1R5	224	5.9	1321.6	1900.76226	0.4
44	C2R3	227	2.93	665.11	956.579894	10.5
45	C2R2	226	1.56	352.56	507.0617	1.0
46	C1R2	225	1.54	346.5	498.346038	0.4
47	C2R6	222	6.81	1511.82	2174.34201	2.9
48	C2R1	225	0	0	0	3.9
49	C1R6	222	6.8	1509.6	2171.14914	1
50	C1R3	226	2.91	657.66	945.865094	0.7
51	C1R1	224	0	0	0	0.4
52	C2R5	223	5.94	1324.62	1905.10571	1.8
53	C2R4	225	4.25	956.25	1375.30562	1.1
54	C1R4	225	4.23	951.75	1368.8336	0.9
55	C1R5	224	5.91	1323.84	1903.98389	0.4
56	C2R3	226	2.92	659.92	949.11549	6
57	C2R2	226	1.57	354.82	510.312095	0.7
58	C1R2	226	1.54	348.04	500.560909	0.4
59	C2R6	223	6.8	1516.4	2180.9291	2.6
60	C2R1	225	0	0	0	2.3

*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

**4.2.2.1.1 RESULTADOS OBTENIDOS EN EL MÓDULO EXPERIMENTAL**

Para mostrar los resultados obtenidos se realizó el promedio y ordenamiento de las muestras por nivel de resistencia para su tratamiento.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en grupos por tipo de combustible y cada grupo dividido por nivel de resistencia.

**TABLA 14**

*Resultados obtenidos en el módulo experimental para el DB5*

Resistencia	Intensidad				RPM	Tiempo (min)	Tiempo (seg)	combustible consumido (ml)
	Tensión (V)	de Corriente (I)	Frecuencia (Hz)					
	[V]	[A]	[Hz]	[rpm]				
<b>DB5</b>	<b>1</b>	224.2	0	59.3	3558	12.567	754	100
	<b>2</b>	225.6	1.54	59.22	3553.2	11.900	714	100
	<b>3</b>	226	2.92	58.98	3538.8	11.267	676	100
	<b>4</b>	225	4.24	59.16	3549.6	9.867	592	100
	<b>5</b>	224	5.91	58.98	3538.8	8.367	502	100
	<b>6</b>	222.4	6.81	58.82	3529.2	8.133	488	100

*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

**TABLA 15**

*Resultados obtenidos en el módulo experimental para el AVRF*

Resistencia	Intensidad				RPM	Tiempo (min)	Tiempo (seg)	combustible consumido (ml)
	Tensión (V)	de corriente (I)	Frecuencia (Hz)					
	[V]	[A]	[Hz]	[rpm]				
<b>AVRF</b>	<b>1</b>	224.80	0.00	59.68	3580.80	11.57	694.00	100.00
	<b>2</b>	226.00	1.56	59.44	3566.40	10.93	656.00	100.00
	<b>3</b>	226.60	2.93	59.14	3548.40	10.22	613.00	100.00

<b>4</b>	225.20	4.25	59.04	3542.40	9.10	546.00	100.00
<b>5</b>	223.80	5.93	58.78	3526.80	7.32	439.00	100.00
<b>6</b>	222.40	6.80	58.62	3517.20	7.13	428.00	100.00

*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

#### **4.2.2.1.2 PROCESAMIENTO DE DATOS**

En el procesamiento de los datos se mostrará la comparativa de los resultados obtenidos en el módulo experimental.

Esta comparativa se realiza entre los combustibles con los que se experimentó y los niveles de resistencia.

##### **4.2.2.1.2.1 TENSION DE CORRIENTE**

**TABLA 16**

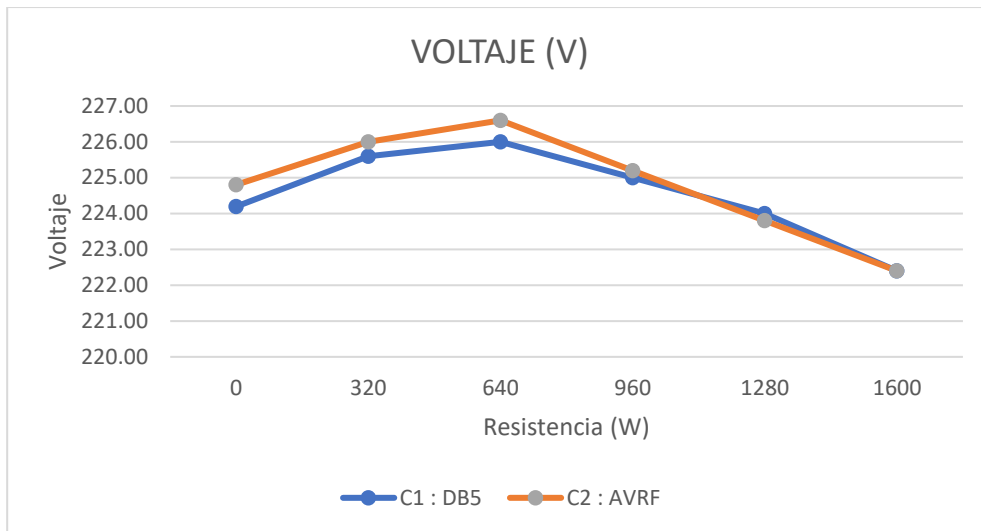
*Voltaje (V) Promedio*

	(W)	C1: DB5	C2: AVRF
R1	0	224.20	224.80
R2	320	225.60	226.00
R3	640	226.00	226.60
R4	960	225.00	225.20
R5	1280	224.00	223.80
R6	1600	222.40	222.40

*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

**FIGURA 31**

*Voltaje (V) promedio*



*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

En lo referente al voltaje, en la gráfica se puede observar que para ambos combustibles el voltaje encuentra su pico más alto a una resistencia de 640W, con 226V para el DB5 y 226.6V para el AVRF; el valor más bajo para ambos combustibles, los encontramos a 1600W de resistencia, con 222.4 para el DB5 y 222.4 para el AVRF.

Tomando en cuenta el rango de valores de ambos combustibles que van desde 222.4V (valor más bajo) hasta 226.6V (valor más alto) y que los valores tolerables corresponden a una tensión de 220V +/- 10%, es decir entre 240 y 200 V, observamos que todos los valores de ambos combustibles se encuentran dentro de los rangos tolerables.

#### 4.2.2.1.2.2 INTENSIDAD DE CORRIENTE

**TABLA 17**

*Intensidad de corriente (A) promedio*

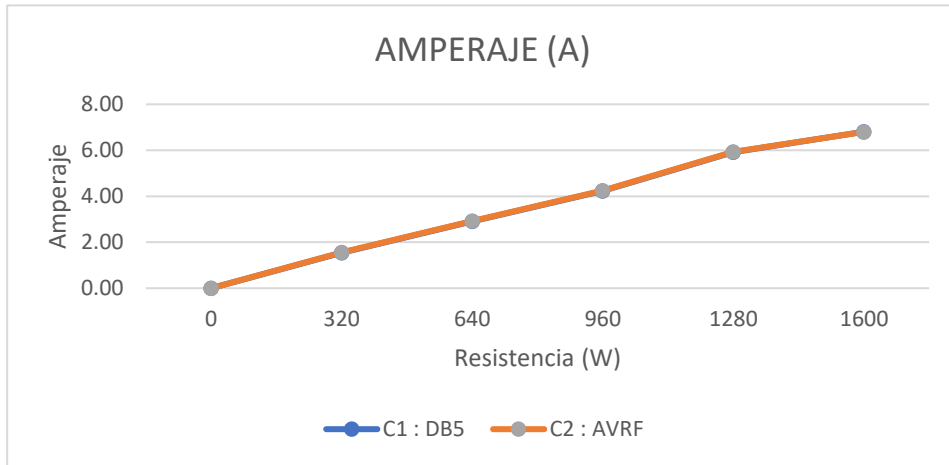
	(W)	C1: DB5	C2: AVRF
R1	0	0.00	0.00
R2	320	1.54	1.56
R3	640	2.91	2.93
R4	960	4.24	4.25

R5	1280	5.91	5.93
R6	1600	6.81	6.80

*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

**FIGURA 32**

*Amperaje (A) promedio*



*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

El amperaje para ambos combustibles es prácticamente el mismo a lo largo del gráfico con apenas 0.02A de variación máxima entre combustibles en cada punto, responde a la necesidad de intensidad de corriente para romper la resistencia en cada punto; en las pruebas experimentales el amperaje va desde 0A a una resistencia de 0W (ya que no existe resistencia que haga la necesidad de intensidad de corriente), hasta un amperaje de 6.81A para el DB5 y 6.80A para el AVRF a una resistencia de 1600W.

**4.4.2.1.2.3 FRECUENCIA**

**TABLA 18**

*Frecuencia (Hz) promedio*

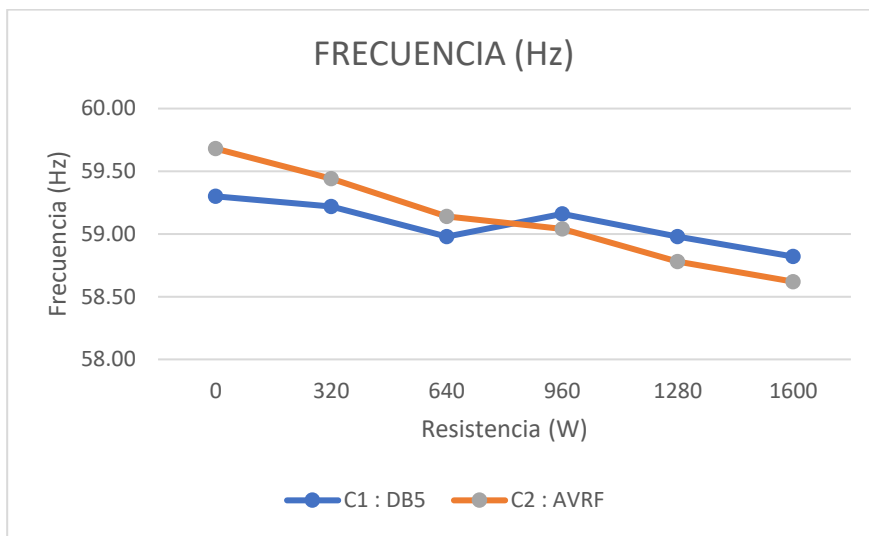
	(W)	C1: DB5	C2: AVRF
R1	0	59.30	59.68
R2	320	59.22	59.44
R3	640	58.98	59.14

R4	960	59.16	59.04
R5	1280	58.98	58.78
R6	1600	58.82	58.62

*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

**FIGURA 33**

*Frecuencia (Hz) promedio.*



*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

En lo referente a las frecuencias; en el DB5 se observa una frecuencia máxima de 59.3Hz a 0W de resistencia y un mínimo de 58.82Hz a 1600W de resistencia, con una caída en sus valores de 0W hasta 640W, una subida en 960W y de nuevo una caída hasta los 1600W; en el AVRF se observa una frecuencia máxima de 59.68Hz a 0W de resistencia y un mínimo de 58.62Hz a 1600W de resistencia, con una caída en sus valores desde 0W hasta los 1600W.

**4.4.2.1.2.4 VELOCIDAD**

**TABLA 19**

*RPM (rpm) Promedio.*

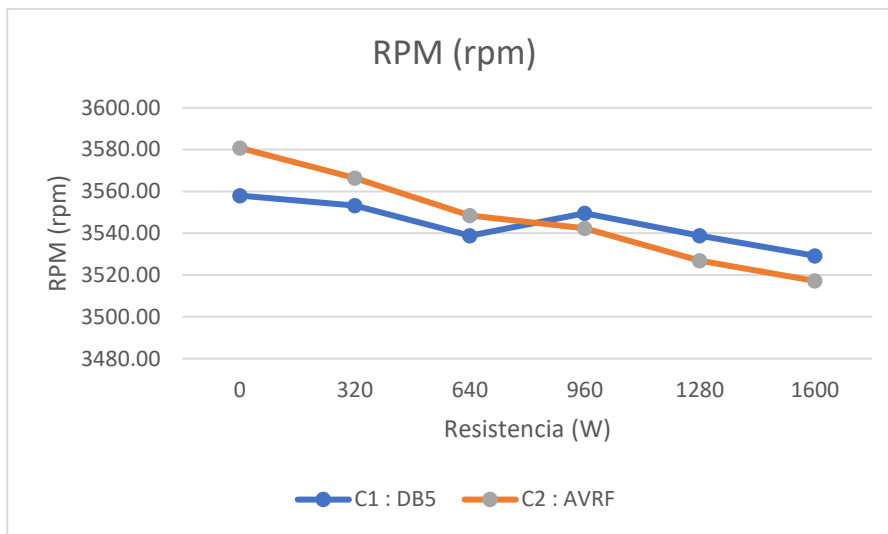
	(W)	C1: DB5	C2: AVRF
R1	0	3558.00	3580.80
R2	320	3553.20	3566.40

R3	640	3538.80	3548.40
R4	960	3549.60	3542.40
R5	1280	3538.80	3526.80
R6	1600	3529.20	3517.20

Nota: Fuente. Elaboración propia.

**FIGURA 34**

*RPM (rpm) Promedio.*



Nota: Fuente. Elaboración propia.

En lo referente a las velocidades; en el DB5 se observa una velocidad máxima de 59.3Hz a 0W de resistencia y un mínimo de 58.82Hz a 1600W de resistencia, con una caída en sus valores de 0W hasta 640W, una subida en 960W y de nuevo una caída hasta los 1600W; en el AVRF se observa una frecuencia máxima de 59.68Hz a 0W de resistencia y un mínimo de 58.62Hz a 1600W de resistencia, con una caída en sus valores desde 0W hasta los 1600W.

#### 4.4.2.1.2.5 TIEMPO DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE

**TABLA 20**

*Tiempo (Min) Promedio*

(W)	C1: DB5	C2: AVRF
R1 0	12.57	11.57

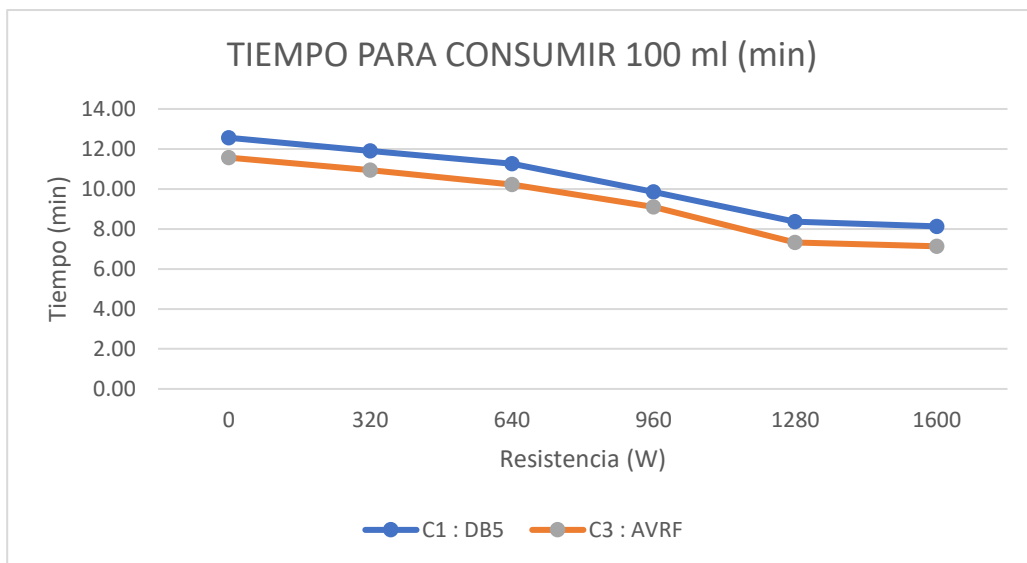


R2	320	11.90	10.93
R3	640	11.27	10.22
R4	960	9.87	9.10
R5	1280	8.37	7.32
R6	1600	8.13	7.13

*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

### FIGURA 35

*Tiempo para consumir 100 ml (Min)*



*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

Para el consumo de combustible se midió el tiempo en el que se consume 100 ml de combustible en cada nivel de resistencia; para ambos casos se visualiza que a mayor nivel de resistencia es menor el tiempo en el que se consume el combustible, también se observa que el AVRF se consume ligeramente más rápido que el DB5 en cada nivel de resistencia.

Para el DB5 se tiene un tiempo de 12.56 min (como su tiempo más alto) a un nivel de resistencia de 0W y un tiempo de 8.13 min (como su tiempo más bajo) a un nivel de resistencia de 1600W; para el AVRF se tiene un tiempo de 11.57 min (como su tiempo más alto) a un nivel de resistencia de 0W y un tiempo de 7.13 min (como su tiempo más bajo) a un nivel de resistencia de 1600W.

#### 4.4.2.1.3 PARÁMETROS DE DESEMPEÑO DEL MOTOR

##### 4.4.2.1.3.1 POTENCIA ELÉCTRICA CEDIDA POR EL GENERADOR

$$P_{elec} = V_{ca} * I_{ca} \quad ; \text{ en [W]}$$

Donde:

$V_{ca}$  : Tensión de corriente alterna eficaz, en voltios [V]

$I_{ca}$  : Intensidad de corriente alterna eficaz, en amperes [A]

##### 4.4.2.1.3.2 RENDIMIENTO DEL GENERADOR

$$\eta_g = \frac{P_{elec}}{P_{elec} + P}$$

Donde:

$P_{elec}$  : Potencia cedida por el generador, en [W]

$P$  : pérdidas en el alternador, en [W]

##### 4.4.2.1.3.3 POTENCIA AL FRENO DEL MOTOR

$$N_e = \frac{P_{elec}}{\eta_g} \quad ; \text{ en [W]}$$

Donde:

$P_{elec}$  : Potencia eléctrica útil del generador, en [W].

$\eta_g$  : Rendimiento del generador.

##### 4.4.2.1.3.4 MOMENTO EFECTIVO DEL MOTOR

$$M_e = \frac{60}{2\pi} \cdot \frac{N_e}{n} \quad ; \text{ en [Nm]}$$

Donde:

$N_e$  : Potencia al freno del motor, en [W].

$n$  : Velocidad rotacional del cigüeñal, en [rpm].

**4.4.2.1.3.5 PRESIÓN MEDIA EFECTIVA DEL MOTOR**

$$P_{me} = \frac{60 \cdot N_e \cdot x}{V_h \cdot n} ; \text{ en [Mpa]}$$

Donde:

$N_e$  : Potencia al freno del motor, en [W].

$V_h$  : cilindrada del motor, en [cm<sup>3</sup>]

$x$  : Numero de revoluciones necesarias por cada carrera de potencia producida, por cilindro; 2 para un motor con ciclo de cuatro carreras y 1 para un motor con ciclo de dos carreras.  $\therefore x = 2rev$

**4.4.2.1.3.6 CONSUMO HORARIO DEL COMBUSTIBLE**

$$G_c = 3.6 \frac{V_c}{t_c} ; \text{ en [l/h]}$$

Donde:

$V_c$  : Volumen consumido del combustible, en [ml].

$t_c$  : Tiempo en el que es consumido el combustible, en [seg].

También:

$$G_c = 3.6 \rho_c \frac{V_c}{t_c} ; \text{ en [kg/h]}$$

Donde:

$\rho_c$  : densidad del combustible a la temperatura de trabajo, en [gr/cm<sup>3</sup>]

Para:  $\rho_{DB5@15^\circ c} = 0.8323$

$\rho_{AVRT@120^\circ c} = 0.8539$

**4.4.2.1.3.7 CONSUMO ESPECÍFICO DEL COMBUSTIBLE**

$$g_c = 10^6 \frac{G_c}{N_e} ; \text{ en [gr/kW-h]}$$

Donde:

$G_c$  : Consumo horario del combustible, en [kg/h].

$N_e$  : Potencia al freno del motor, en [W]

**4.4.2.1.3.8 EFICIENCIA EFECTIVA DEL MOTOR**

$$\eta_e = \frac{3600}{H_u \cdot g_c}$$

Donde:

$g_c$  : Consumo específico del combustible, en [gr/kW-h].

$H_u$  : Poder calorífico del combustible, en [MJ/kg]

Para:  $H_{u(DB5)} = 43.8$  MJ/kg

$H_{u(AVRF)} = 38.9$  MJ/kg

**4.4.2.1.3.9 CANTIDAD TOTAL DE CALOR DISPONIBLE POR UNIDAD DE TIEMPO**

$$Q_c = \frac{10^4 G_c H_u}{36} ; \text{ en [W]}$$

Donde:

$G_c$  : Consumo horario de combustible, en [kg/h].

$H_u$  : Poder calorífico del combustible, en [MJ/kg]

**4.4.2.1.3.10 CALOR TRANSFORMADO EN CALOR ÚTIL O EFECTIVO**

$$Q_e = N_e ; \text{ en [W]}$$

Donde:

$N_e$  : Potencia efectiva del motor, en [W]

**4.4.2.1.3.11 CALOR ÚTIL O RELATIVO**

$$q_e = \frac{Q_e}{Q_c} * 100 ; \text{ en [\%]}$$

Donde:

$Q_e$  : Calor transformado en calor útil, en [W].

$Q_c$  : Cantidad total de calor disponible por unidad de tiempo, en [W]

**4.4.2.1.3.12 PARÁMETROS CALCULADOS**

Para mostrar los parámetros calculados obtenidos se toma en cuenta los datos de los cuadros indicados en el punto **4.2.2.1.2 Resultados obtenidos en el módulo experimental.**

A continuación, se presentan los parámetros calculados obtenidos en grupos por tipo de combustible y cada grupo dividido por nivel de resistencia.

**TABLA 21***Parámetros calculados para el DB5*

Resistencia	P. Elec	P. Mec. (Ne)	Momento efectivo del motor (Me)	Presión media efectiva del motor (Pme)	Consumo horario de combustible (Gc)	Consumo horario de combustible (Gc)	Consumo específico de combustible (gc)	Eficiencia efectiva del motor (ne)	Eficiencia efectiva del sistema (ns)	Cantidad de calor disponible por unidad de tiempo (Qc)	Calor transformado en calor útil o efectivo (Qe)	Calor útil relativo (qe)
	[W]	[W]	[Nm]	[MPa]	[l/h]	[Kg/h]	[gr/KW-h]			[W]	[W]	[%]
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.477	0.399	0.000	0.000	0.000	4851.111	0.000	0.000
2	347.424	499.670	1.343	0.057	0.504	0.421	842.674	0.098	0.068	5122.882	499.670	9.754
3	657.660	945.856	2.552	0.108	0.533	0.445	470.186	0.175	0.122	5410.855	945.856	17.481
4	954.000	1372.056	3.691	0.157	0.608	0.508	370.124	0.222	0.154	6178.611	1372.056	22.207
5	1323.840	1903.966	5.138	0.218	0.717	0.599	314.542	0.261	0.182	7286.331	1903.966	26.131
6	1514.544	2178.239	5.894	0.250	0.738	0.616	282.824	0.291	0.202	7495.365	2178.239	29.061

*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

**TABLA 22***Parámetros calculados para el AVRF*

Resistencia	P. elec	P. mec. (Ne)	Momento efectivo del motor (Me)	Presión media efectiva del motor (Pme)	Consumo horario de combustible (Gc)	Consumo horario de combustible (Gc)	Consumo específico de combustible (gc)	Eficiencia efectiva del motor (ne)	Eficiencia efectiva del sistema (ns)	Cantidad de calor disponible por unidad de tiempo (Qc)	Calor transformado en calor útil o efectivo (Qe)	Calor útil relativo (qe)
	[W]	[W]	[Nm]	[MPa]	[l/h]	[Kg/h]	[gr/KW-h]			[W]	[W]	[%]
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.519	0.443	0.000	0.000	0.000	4786.269	0.000	0.000
2	352.560	507.057	1.358	0.058	0.549	0.469	924.164	0.100	0.070	5063.523	507.057	10.014
3	663.938	954.885	2.570	0.109	0.587	0.501	525.168	0.176	0.123	5418.713	954.885	17.622
4	957.550	1377.163	3.712	0.158	0.659	0.563	408.820	0.226	0.157	6083.647	1377.163	22.637
5	1327.134	1908.703	5.168	0.219	0.820	0.700	366.865	0.252	0.175	7566.449	1908.703	25.226
6	1512.765	2175.680	5.907	0.251	0.841	0.718	330.119	0.280	0.195	7760.914	2175.680	28.034

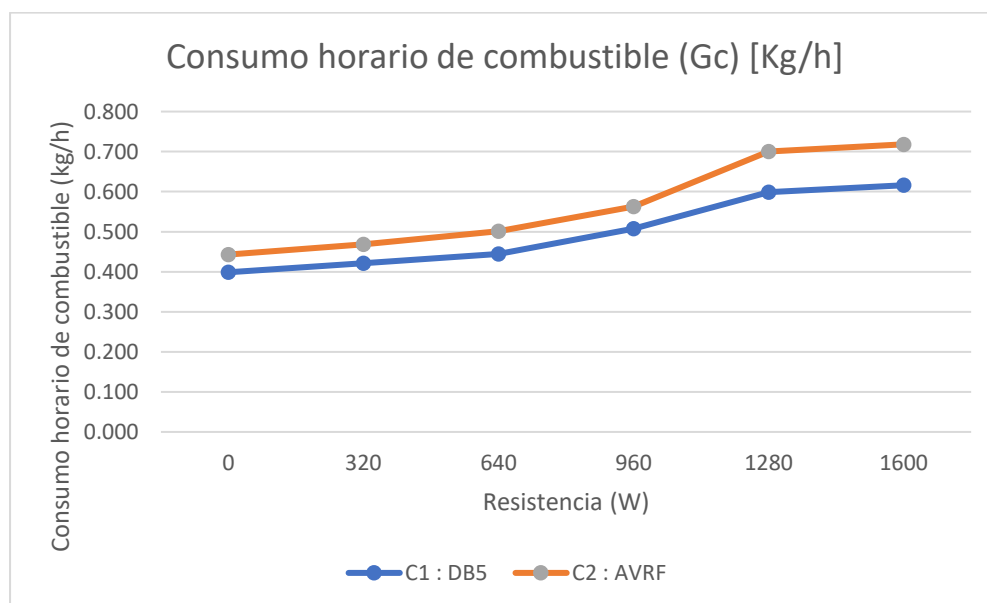
*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

- **Consumo horario de combustible**

**TABLA 23***Consumo horario de combustible (Gc) [Kg/h]*

	(W)	C1: DB5	C2: AVRF
<b>R1</b>	<b>0</b>	0.399	0.443
<b>R2</b>	<b>320</b>	0.421	0.469
<b>R3</b>	<b>640</b>	0.445	0.501
<b>R4</b>	<b>960</b>	0.508	0.563
<b>R5</b>	<b>1280</b>	0.599	0.700
<b>R6</b>	<b>1600</b>	0.616	0.718

*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

**FIGURA 36***Consumo horario de combustible (Gc) [Kg/h].*

*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

Para el consumo horario de combustible se observa en ambos combustibles un incremento de consumo de combustible a medida que se incrementa en nivel de resistencia, también se observa que el AVRF tiene un consumo ligeramente más alto que el DB5 en cada nivel de resistencia.



Para el DB5 se tiene consumo horario de combustible de 0.399 Kg/h (como su consumo más bajo) a un nivel de resistencia de 0W y un consumo horario de combustible de 0.616 Kg/h (como su consumo más alto) a un nivel de resistencia de 1600W; para el AVRF se tiene un consumo horario de combustible de 0.443 Kg/h (como su consumo más bajo) a un nivel de resistencia de 0W y un consumo horario de combustible de 0.718 Kg/h (como su consumo más alto) a un nivel de resistencia de 1600W.

- **Consumo específico de combustible**

**TABLA 24**

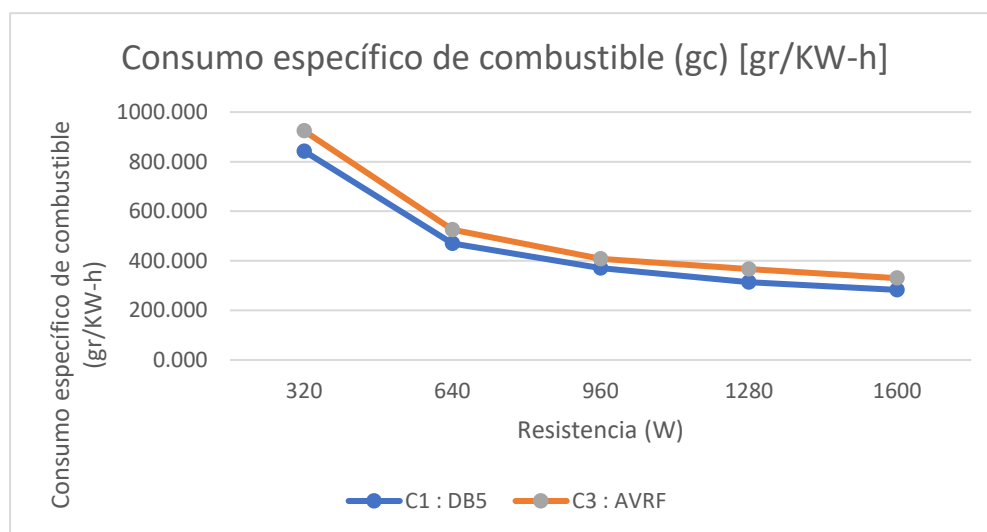
*Consumo específico de combustible (gc) [gr/KW-h]*

	(W)	C1: DB5	C2: AVRF
<b>R2</b>	<b>320</b>	842.674	924.164
<b>R3</b>	<b>640</b>	470.186	525.168
<b>R4</b>	<b>960</b>	370.124	408.820
<b>R5</b>	<b>1280</b>	314.542	366.865
<b>R6</b>	<b>1600</b>	282.824	330.119

*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

**FIGURA 37**

*Consumo específico de combustible (gc) [gr/KW-h]*



*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

- **Momento efectivo del motor.**

**TABLA 25**

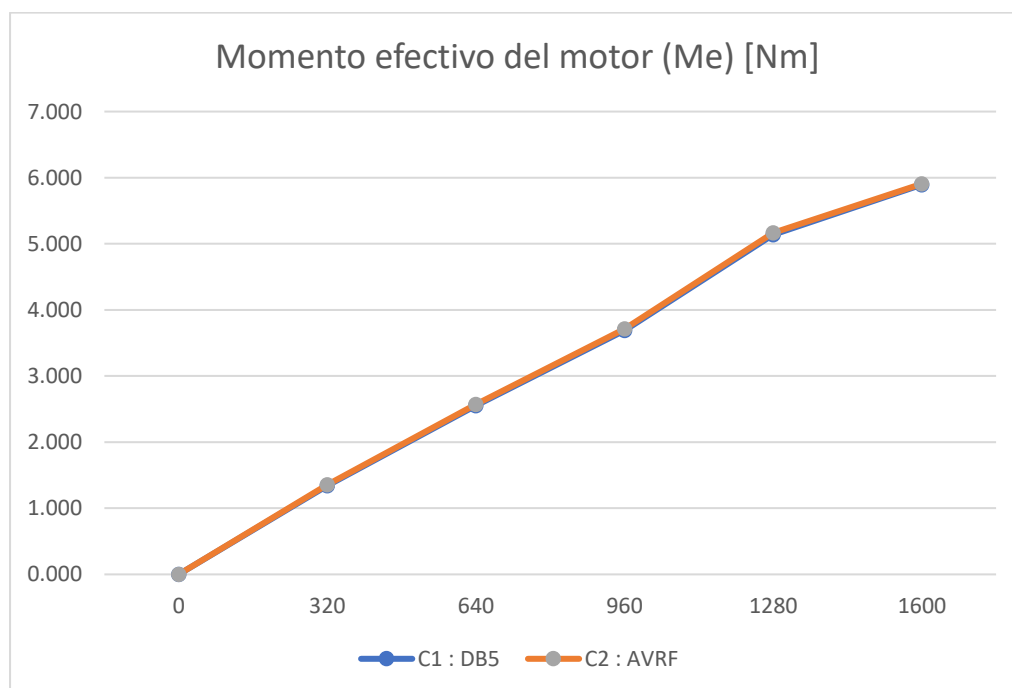
*Momento efectivo del motor (Me) [Nm]*

	(W)	C1: DB5	C2: AVRF
<b>R1</b>	<b>0</b>	0.000	0.000
<b>R2</b>	<b>320</b>	1.343	1.358
<b>R3</b>	<b>640</b>	2.552	2.570
<b>R4</b>	<b>960</b>	3.691	3.712
<b>R5</b>	<b>1280</b>	5.138	5.168
<b>R6</b>	<b>1600</b>	5.894	5.907

*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

**FIGURA 38**

*Momento efectivo del motor (Me) [Nm]*



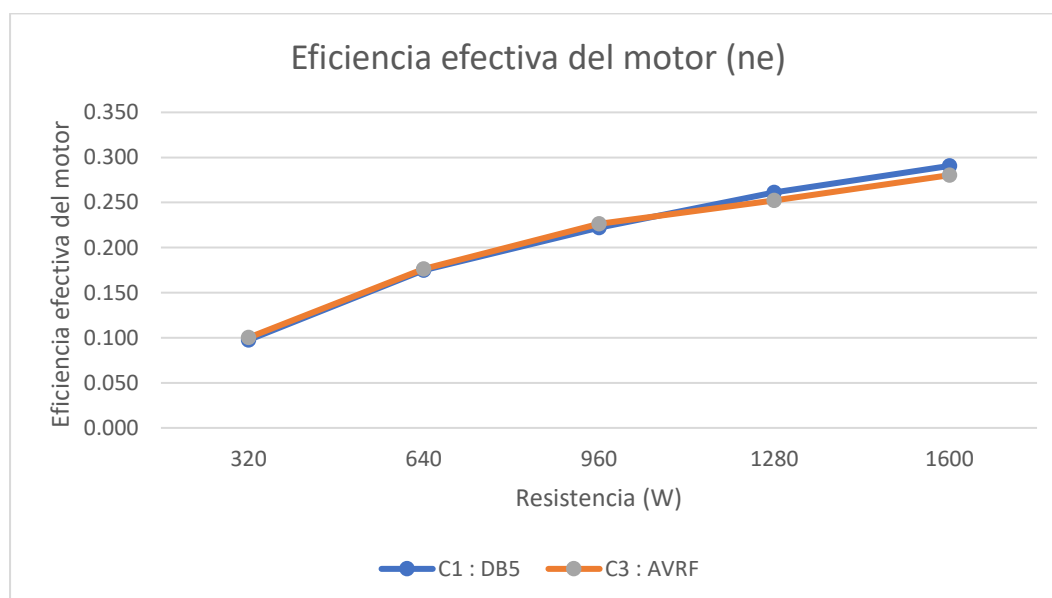
*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

- **Eficiencia efectiva del motor**

**TABLA 26***Eficiencia efectiva del motor (ne)*

	(W)	C1: DB5	C2: AVRF
<b>R2</b>	<b>320</b>	0.098	0.100
<b>R3</b>	<b>640</b>	0.175	0.176
<b>R4</b>	<b>960</b>	0.222	0.226
<b>R5</b>	<b>1280</b>	0.261	0.252
<b>R6</b>	<b>1600</b>	0.291	0.280

*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

**FIGURA 39***Eficiencia efectiva del motor (ne)*

*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

Para la eficiencia efectiva del motor se observa en ambos combustibles un incremento en su eficiencia a medida que se incrementa en nivel de resistencia, también se observa que el DB5 tiene una eficiencia ligeramente más alto que el AVRF en cada nivel de resistencia, esta diferencia entre combustibles se hace más pronunciada en la medida de que aumenta el nivel de resistencia.

Para el DB5 se tiene una eficiencia efectiva del motor de 9.8% (como eficiencia más baja) a un nivel de resistencia de 320W y una eficiencia efectiva del motor de 29.1% (como eficiencia más alta) a un nivel de resistencia de 1600W; para el AVRF se tiene una eficiencia efectiva del motor de 10.0% (como eficiencia más baja) a un nivel de resistencia de 320W y una eficiencia efectiva del motor de 28.0% (como eficiencia más alta) a un nivel de resistencia de 1600W.

- **Eficiencia efectiva del sistema**

**TABLA 27**

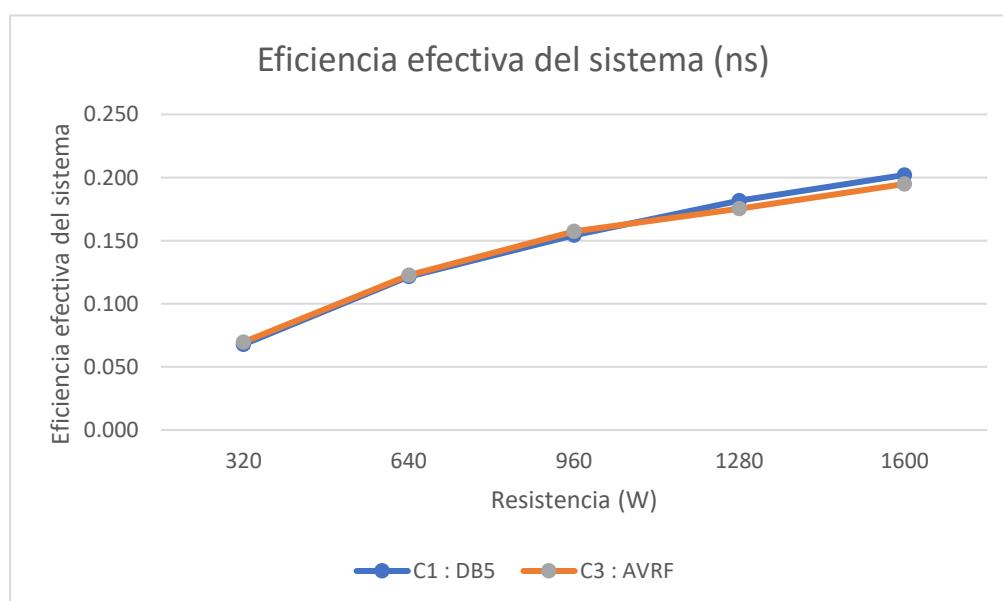
*Eficiencia efectiva del sistema (ns)*

	(W)	C1: DB5	C2: AVRF
<b>R2</b>	<b>320</b>	0.068	0.070
<b>R3</b>	<b>640</b>	0.122	0.123
<b>R4</b>	<b>960</b>	0.154	0.157
<b>R5</b>	<b>1280</b>	0.182	0.175
<b>R6</b>	<b>1600</b>	0.202	0.195

*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

**FIGURA 40**

*Eficiencia efectiva del sistema (ns)*



*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

Para la eficiencia efectiva del sistema se observa en ambos combustibles un incremento en su eficiencia a medida que se incrementa en nivel de resistencia, también se observa que el DB5 tiene una eficiencia ligeramente más alto que el AVRF en cada nivel de resistencia, esta diferencia entre combustibles se hace más pronunciada en la medida de que aumenta el nivel de resistencia.

Para el DB5 se tiene una eficiencia efectiva del sistema de 6.8% (como eficiencia más baja) a un nivel de resistencia de 320W y una eficiencia efectiva del sistema de 20.2% (como eficiencia más alta) a un nivel de resistencia de 1600W; para el AVRF se tiene una eficiencia efectiva del sistema de 7.0% (como eficiencia más baja) a un nivel de resistencia de 320W y una eficiencia efectiva del sistema de 19.5% (como eficiencia más alta) a un nivel de resistencia de 1600W.

#### **4.4.2.2 TOMA DE MUESTRAS PARA PRINCIPALES PARÁMETROS DE EMISIÓN DE GASES**

La toma de muestras de los parámetros de emisión de gases se realizó en un Centro de Revisiones Técnicas. El procedimiento es idéntico al descrito en el apartado 4.4.2.1. TOMA DE MUESTRAS PARA PRINCIPALES PARÁMETROS DEL GENERADOR.

En la siguiente tabla se muestra las mediciones ordenadas por tipo de combustible y nivel de resistencia.

**TABLA 28***Muestras parámetros emisión de gases Combustible 1: DB5*

		HC ppm						O2 %					
	(W)	1	2	3	4	5	PROM	1	2	3	4	5	PROM
<b>R1</b>	<b>0</b>	24.00	24.00	23.00	22.00	22.00	23.00	20.80	20.06	20.10	20.08	20.08	20.22
<b>R2</b>	<b>320</b>	20.00	19.00	20.00	19.00	18.00	19.20	19.89	19.89	19.90	19.91	19.91	19.90
<b>R3</b>	<b>640</b>	14.00	15.00	14.00	14.00	14.00	14.20	19.80	19.77	19.78	19.78	19.78	19.78
<b>R4</b>	<b>960</b>	13.00	12.00	13.00	13.00	12.00	12.60	19.62	19.64	19.61	19.62	19.64	19.63
<b>R5</b>	<b>1280</b>	11.00	11.00	12.00	11.00	10.00	11.00	19.41	19.41	19.41	19.42	19.38	19.41
<b>R6</b>	<b>1600</b>	10.00	11.00	10.00	11.00	10.00	10.40	19.29	19.30	19.34	19.36	19.37	19.33
		NO ppm						N%					
<b>R1</b>	<b>0</b>	24.0	23.0	27.0	24.0	24.0	24.4	0.30	0.30	0.60	0.50	0.40	0.42
<b>R2</b>	<b>320</b>	37.0	38.0	44.0	55.0	48.0	44.4	0.40	0.30	0.30	0.40	0.40	0.36
<b>R3</b>	<b>640</b>	83.0	82.0	79.0	79.0	71.0	78.8	0.80	0.70	0.60	0.40	0.70	0.64
<b>R4</b>	<b>960</b>	111.0	115.0	119.0	120.0	120.0	117.0	1.00	0.90	0.90	1.00	0.90	0.94
<b>R5</b>	<b>1280</b>	162.0	160.0	160.0	162.0	164.0	161.6	0.40	0.30	0.50	0.40	0.40	0.40
<b>R6</b>	<b>1600</b>	171.0	170.0	156.0	151.0	152.0	160.0	0.90	1.00	1.30	0.70	1.00	0.98
		CO %						K(m)					
<b>R1</b>	<b>0</b>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
<b>R2</b>	<b>320</b>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
<b>R3</b>	<b>640</b>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02
<b>R4</b>	<b>960</b>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
<b>R5</b>	<b>1280</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
<b>R6</b>	<b>1600</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02
		CO2 %						T°C					
<b>R1</b>	<b>0</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	77.0	78.0	78.0	78.0	77.0	77.6
<b>R2</b>	<b>320</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	79.0	80.0	80.0	80.0	80.0	79.8
<b>R3</b>	<b>640</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	85.0	85.0	86.0	86.0	86.0	85.6
<b>R4</b>	<b>960</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	91.0	92.0	92.0	93.0	93.0	92.2
<b>R5</b>	<b>1280</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	99.0	100.0	100.0	100.0	101.0	100.0
<b>R6</b>	<b>1600</b>	0.00	0.87	0.88	0.87	0.00	0.52	106.0	106.0	107.0	108.0	108.0	107.0

*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

**TABLA 29***Muestras parámetros emisión de gases Combustible 2: AVRF*

		HC						O <sub>2</sub>					
	(W)	1	2	3	4	5	PROM	1	2	3	4	5	PROM
<b>R1</b>	<b>0</b>	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	20.08	20.08	20.07	20.08	20.05	20.07
<b>R2</b>	<b>320</b>	22.00	21.00	20.00	21.00	21.00	21.00	19.95	19.94	19.95	19.95	19.96	19.95
<b>R3</b>	<b>640</b>	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	19.86	19.85	19.87	19.85	19.85	19.86
<b>R4</b>	<b>960</b>	13.00	14.00	13.00	13.00	12.00	13.00	19.73	19.76	19.76	19.78	19.79	19.76
<b>R5</b>	<b>1280</b>	13.00	12.00	13.00	13.00	13.00	12.80	19.53	19.54	19.57	19.57	19.58	19.56
<b>R6</b>	<b>1600</b>	13.00	13.00	12.00	13.00	12.00	12.60	19.31	19.32	19.31	19.33	19.31	19.32
		NO						N%					
<b>R1</b>	<b>0</b>	13.0	9.0	11.0	11.0	15.0	11.8	1.10	1.20	4.20	3.90	2.30	2.54
<b>R2</b>	<b>320</b>	19.0	20.0	15.0	16.0	16.0	17.2	1.30	2.70	0.80	1.00	0.70	1.30
<b>R3</b>	<b>640</b>	33.0	33.0	33.0	30.0	33.0	32.4	0.70	6.10	12.10	10.50	6.00	7.08
<b>R4</b>	<b>960</b>	71.0	74.0	71.0	75.0	74.0	73.0	0.90	1.10	1.40	1.20	1.10	1.14
<b>R5</b>	<b>1280</b>	116.0	116.0	116.0	119.0	120.0	117.4	1.80	2.00	2.20	1.70	1.90	1.92
<b>R6</b>	<b>1600</b>	160.0	160.0	160.0	162.0	162.0	160.8	2.60	2.00	3.10	2.90	2.60	2.64
		CO						K(m)					
<b>R1</b>	<b>0</b>	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.23	0.09	0.03	0.08
<b>R2</b>	<b>320</b>	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.06	0.00	0.00	0.01	0.02
<b>R3</b>	<b>640</b>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.15	0.30	0.26	0.02	0.15
<b>R4</b>	<b>960</b>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03
<b>R5</b>	<b>1280</b>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04
<b>R6</b>	<b>1600</b>	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.06	0.05	0.07	0.07	0.06	0.06
		CO <sub>2</sub>						T (°C)					
<b>R1</b>	<b>0</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	73.0	73.0	73.0	73.0	73.0	73.0
<b>R2</b>	<b>320</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	75.0	75.0	75.0	75.0	76.0	75.2
<b>R3</b>	<b>640</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	79.0	79.0	79.0	79.0	80.0	79.2
<b>R4</b>	<b>960</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	85.0	84.0	84.0	84.0	84.0	84.2
<b>R5</b>	<b>1280</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	93.0	93.0	93.0	93.0	93.0	93.0
<b>R6</b>	<b>1600</b>	0.99	0.98	0.87	0.96	0.02	0.76	105.0	106.0	106.0	106.0	106.0	105.8

*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

#### 4.4.2.2.1 PROCESAMIENTO DE DATOS

##### 4.4.2.2.1.1 PORCENTAJE DE OPACIDAD

**TABLA 30**

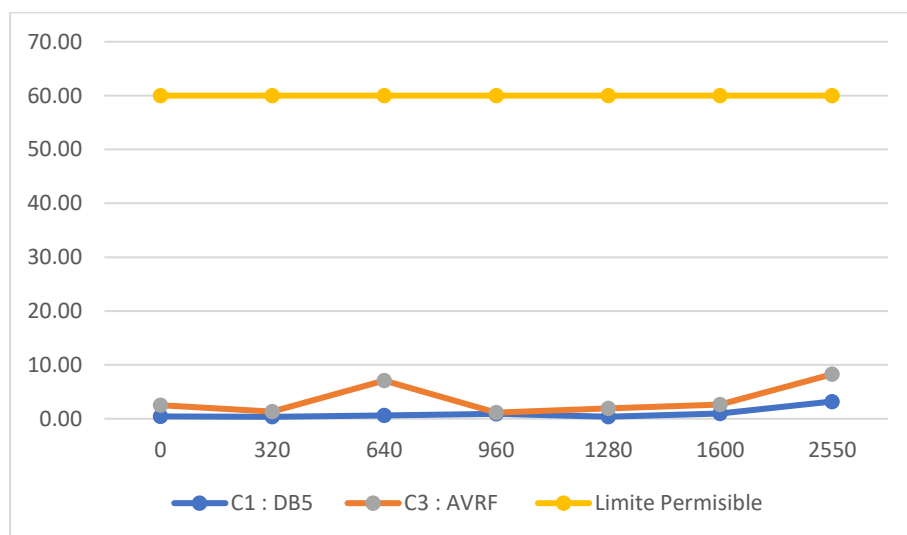
*Porcentaje de opacidad N% (Promedio).*

	(W)	C1: DB5	C2: AVRF
R1	0	0.42	2.54
R2	320	0.36	1.30
R3	640	0.64	7.08
R4	960	0.94	1.14
R5	1280	0.40	1.92
R6	1600	0.98	2.64
R7	2500	-	8.26
R8	2600	3.20	-

*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

**FIGURA 41**

*Porcentaje de opacidad N% (Promedio).*



*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

En el gráfico se observa que el AVRF es el combustible con mayor variación y mayor nivel de porcentaje de opacidad en los diferentes niveles de resistencia, llegando a su mayor nivel



promedio a los 640W de resistencia con 7.08% de opacidad, en cambio el DB5 es más estable y con menores niveles de opacidad, llegando a su mayor nivel promedio a los 1600W de resistencia con 0.98% de opacidad; esto posiblemente debido a que el motor está diseñado para operar con combustible DB5. A pesar de que el combustible AVRF tiene una mayor variación y nivel de opacidad, todos los valores hallados se encuentran dentro de los límites permisibles (60%) de la norma peruana indicada en el DS N° 010-2017-MINAM.

#### 4.4.2.2.1.2 COEFICIENTE DE ABSORCIÓN

**TABLA 31**

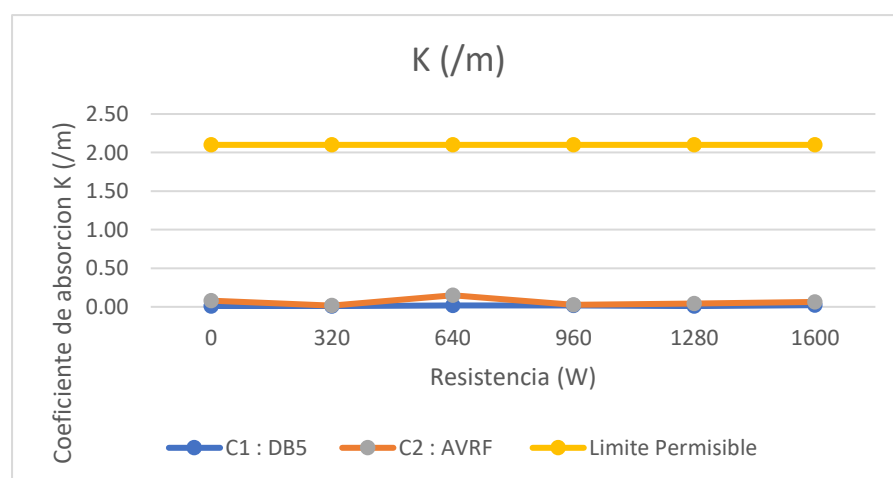
*Coefficiente de absorción  $K(/m)$ , (Promedio)*

	(W)	C1: DB5	C2: AVRF
R1	0	0.01	0.08
R2	320	0.01	0.02
R3	640	0.02	0.15
R4	960	0.02	0.03
R5	1280	0.01	0.04
R6	1600	0.02	0.06

*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

**FIGURA 42**

*Coefficiente de absorción  $K(/m)$ , (Promedio)*



*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

En el gráfico se observa que el AVRF es el combustible con mayor variación y mayor nivel de coeficiente de absorción  $k$  en los diferentes niveles de resistencia, llegando a su mayor nivel promedio a los 640W de resistencia con  $0.15 \text{ m}^{-1}$ , en cambio el DB5 es más estable y con menores niveles de opacidad, llegando a su mayor nivel promedio a los 640W, 960W y 1600W de resistencia con  $0.02 \text{ m}^{-1}$ ; esto posiblemente debido a que el motor está diseñado para operar con combustible DB5. A pesar de que el combustible AVRF tiene una mayor variación y nivel de índice de absorción, todos los valores hallados se encuentran dentro de los límites permisibles ( $2.1 \text{ m}^{-1}$ ) de la norma peruana indicada en el DS N°. 010-2017-MINAM.

#### 4.4.2.2.1.3 HIDROCARBUROS

**TABLA 32**

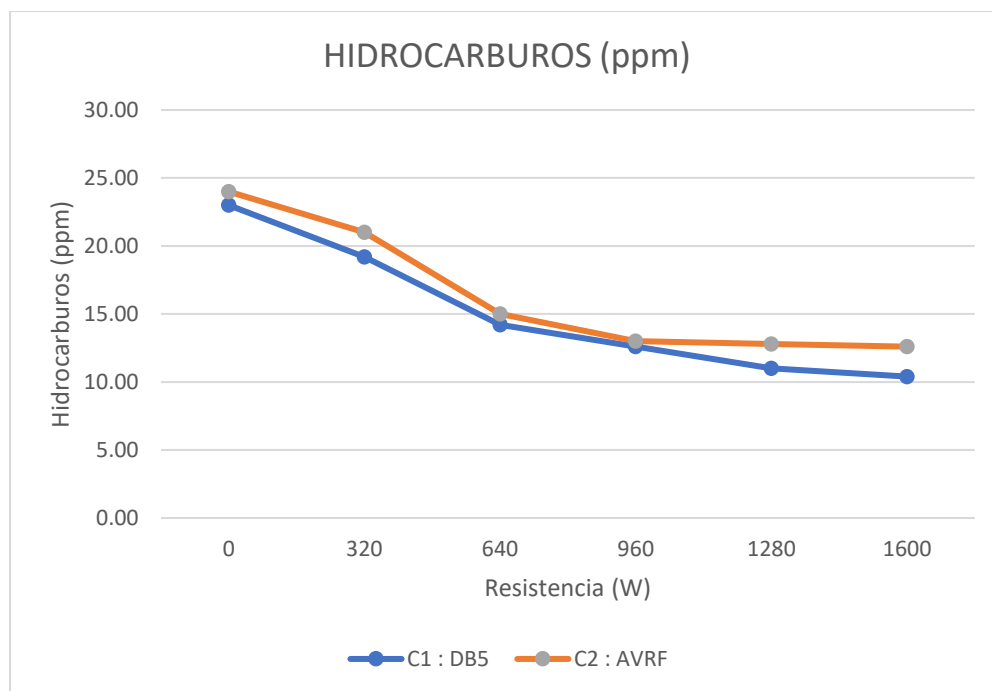
*Hidrocarburos HC (ppm), (Promedio)*

	(W)	C1: DB5	C2: AVRF
R1	0	23.00	24.00
R2	320	19.20	21.00
R3	640	14.20	15.00
R4	960	12.60	13.00
R5	1280	11.00	12.80
R6	1600	10.40	12.60

*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

**FIGURA 43**

*Hidrocarburos HC (ppm), (Promedio)*



Nota: Fuente. Elaboración propia.

#### 4.4.2.2.1.4 ÓXIDO NITROSO

**TABLA 33**

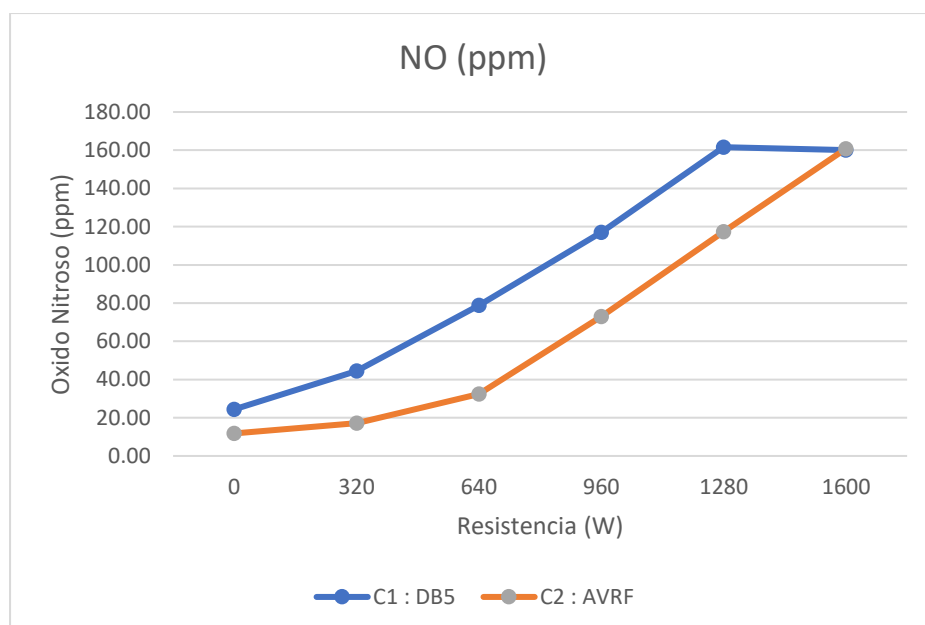
*Óxido nitroso NO (ppm), (Promedio)*

	(W)	C1: DB5	C2: AVRF
R1	0	24.40	11.80
R2	320	44.40	17.20
R3	640	78.80	32.40
R4	960	117.00	73.00
R5	1280	161.60	117.40
R6	1600	160.00	160.80

Nota: Fuente. Elaboración propia.

**FIGURA 44**

*Óxido nitroso NO (ppm), (Promedio)*



*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

#### 4.4.2.2.1.5 OXIGENO

**TABLA 34**

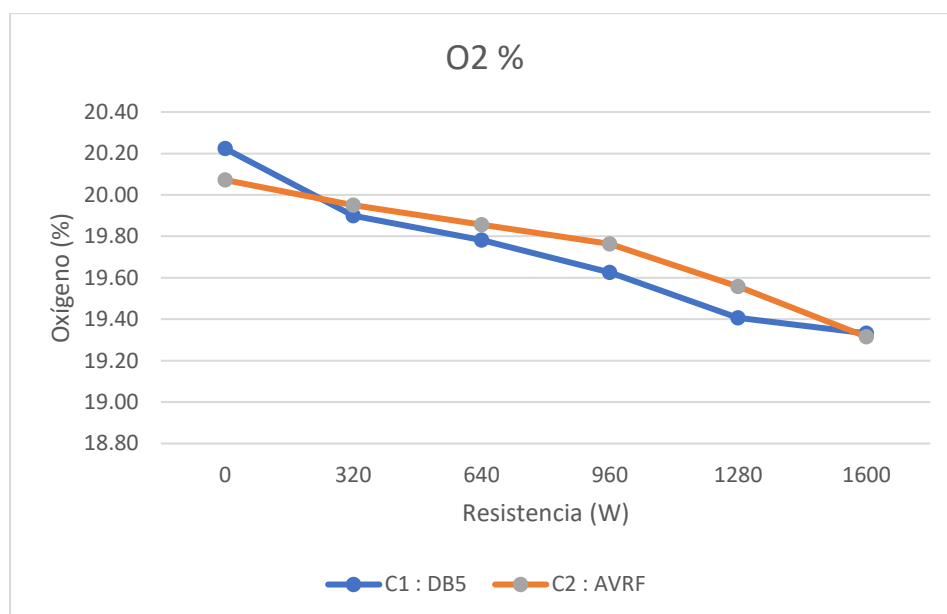
*Oxígeno O2 (%), (Promedio)*

	(W)	C1: DB5	C2: AVRF
R1	0	20.22	20.07
R2	320	19.90	19.95
R3	640	19.78	19.86
R4	960	19.63	19.76
R5	1280	19.41	19.56
R6	1600	19.33	19.32

*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

**FIGURA 45**

*Oxígeno O2 (%), (Promedio)*



Nota: Fuente. Elaboración propia.

#### 4.4.2.2.1.6 TEMPERATURA DE ESCAPE (T)

**TABLA 35**

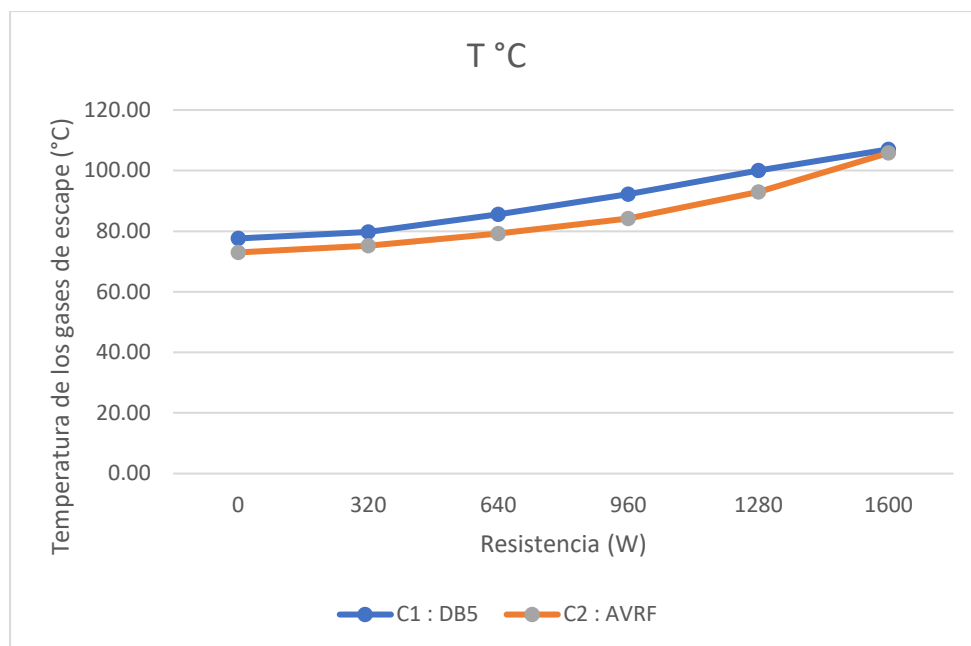
*Temperatura de escape T (°C), Promedio.*

	(W)	C1: DB5	C2: AVRF
R1	0	77.60	73.00
R2	320	79.80	75.20
R3	640	85.60	79.20
R4	960	92.20	84.20
R5	1280	100.00	93.00
R6	1600	107.00	105.80

Nota: Fuente. Elaboración propia.

**FIGURA 46**

*Temperatura de escape T (°C), Promedio.*



*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

## CAPITULO V

### ANÁLISIS DEL EXPERIMENTO EN LA VARIABLE POTENCIA

En este capítulo se muestra el análisis estadístico de potencia del experimento realizado, siguiendo los parámetros descritos en el capítulo de Diseño, Planeación y Ejecución del Experimento.

El diseño experimental que se empleó es un experimento Monofactorial con el modelo de distribución de Fisher conducido bajo un diseño Completo al Azar, se tuvo 5 muestras por cada tratamiento, la unidad experimental estuvo considerada por un generador de 3 KW con un motor encendido por compresión. El análisis estadístico comprendió el análisis de varianza y la prueba de Fisher al 0.05 de probabilidad.

El análisis estadístico se realizó dividiendo los grupos de muestras por nivel de resistencia.

La estrategia a seguir para probar una hipótesis es suponer que la  $H_0$  (Hipótesis nula) es verdadera y que en caso de ser rechazada por la evidencia que dan los datos, se estará aceptando la  $H_a$  (Hipótesis alterna).

$H_0$ = la variación del combustible NO produce variaciones en la potencia del motor al 95% de confiabilidad en el nivel de resistencia indicado.

$H_a$ = la variación del combustible SI produce variaciones en la potencia del motor al 95% de confiabilidad en el nivel de resistencia indicado.

#### 5.1 ANÁLISIS DE LA POTENCIA

##### 5.1.1 ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA POTENCIA CON UNA RESISTENCIA DE 320W

¿Cuál es el efecto que produce el cambio de combustible del Motor de Combustión Interna en la potencia del motor para encender una carga de 320 W?

**FIGURA 47**

*Resistencia de 320W*



*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

Ho= El cambio de combustible NO produce variaciones en la potencia del motor al 95% de confiabilidad para encender una carga de 320W.

$$\mu A = \mu B = \mu C$$

Ha= El cambio de combustible SI produce variaciones en la potencia del motor al 95% de confiabilidad para encender una carga de 320W, donde los tratamientos son diferentes entre si respecto a su significancia.

$$\mu_i \neq \mu_j \quad \text{donde } i, j = A, B, C$$

**TABLA 36**

*Varianza con una resistencia de 320W*

C1R2	C2R2
498.35	507.06
507.06	513.56
500.56	507.06



	498.35	507.06
	500.56	510.31
<b>Y<sub>i</sub></b>	2504.88	2545.06
<b>Ȳ<sub>i</sub></b>	500.975119	509.011937
<b>Y<sub>..</sub></b>	5049.94	<b>Ȳ<sub>..</sub></b> 504.993528

Resumen

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
C1R2	5	2504.87559	500.975119	12.8034363
C2R2	5	2545.05969	509.011937	8.45205679

Nota: Fuente. Elaboración propia.

SC	GL	CM	F <sub>0</sub>	Valor - p
$SC = \sum_{i=1}^k \frac{Y_i^2}{n_i} - \frac{Y_{..}^2}{N}$	$k - 1$	$CM_{TRAT} = \frac{SC_{TRAT}}{k - 1}$	$\frac{CM_{TRAT}}{CM_E}$	$P(F > F_0)$
$SC_E = SC_T - SC_{TRAT}$	$N - k$	$CM_E = \frac{SC_E}{N - k}$		
$SC_T = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij}^2 - \frac{Y_{..}^2}{N}$	$N - 1$			

- Suma de cuadrados totales

$$SC_T = \left( \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} y_{ij}^2 \right) - \frac{Y_{..}^2}{N}$$

$$SC_T = y_{11}^2 + y_{12}^2 + \dots + y_{24}^2 + y_{25}^2 - \frac{Y_{..}^2}{N}$$

$$SC_T = 498.35^2 + 507.06^2 + \dots + 507.06^2 + 510.31^2 - \frac{5049.94^2}{10}$$

$$SC_T = 246.498107$$

- Suma de cuadrados de los tratamientos

$$SC_{TRAT} = \sum_{i=1}^k \frac{y_{i.}^2}{n_i} - \frac{Y_{..}^2}{N}$$

$$SC_{TRAT} = \frac{2504.88^2 + 2545.06^2}{5} - \frac{2545.06^2}{10}$$

$$SC_{TRAT} = 161.476135$$

- Suma de cuadrados del error

$$SC_E = SC_T - SC_{TRAT}$$

$$SC_E = 246.498107 - 161.476135$$

$$SC_E = 85.0219723$$

Grados de libertad

- Para  $SC_{TRAT}$ :  $= K - 1$

$$= 2 - 1$$

$$= 1$$

- Para  $SC_E$ :  $= N - K$

$$= 10 - 2$$

$$= 8$$

- Para  $SC_T$ :  $= N - 1$

$$= 10 - 1$$

$$= 9$$

Cuadrados medios:

- Cuadrados medios de los tratamientos:

$$CM_{TRAT} = \frac{SC_{TR}}{K - 1}$$

$$CM_{TRAT} = \frac{125.38097}{2 - 1}$$

$$CM_{TRAT} = 125.38097$$

Cuadrados medios del error:

$$CM_E = \frac{SC_E}{N - K}$$

$$CM_E = \frac{124.91449}{10 - 2}$$

$$CM_E = 15.614311$$

- F value:

$$F = \frac{CM_{TRAT}}{CM_E}$$

$$F = \frac{125.3097}{15.614311}$$

$$F = 8.0298757$$

**TABLA 37**

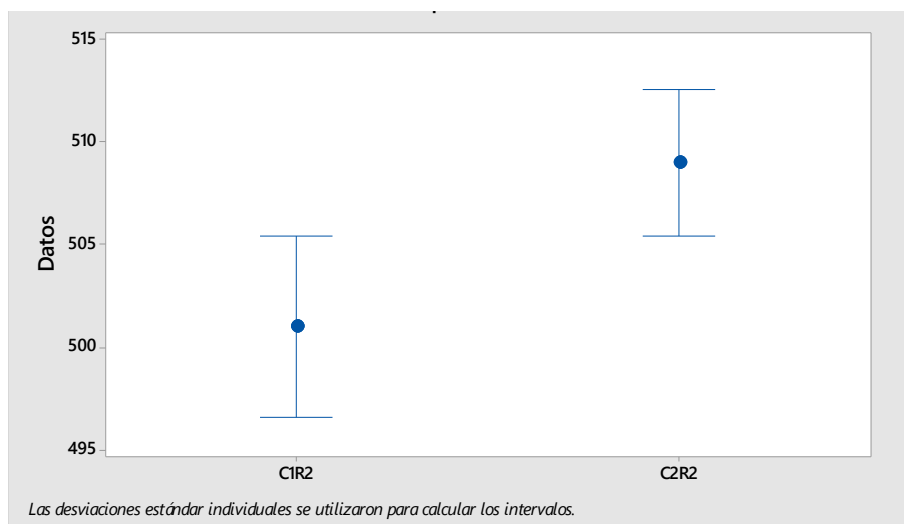
*Análisis de varianza 320W*

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	161.476135	1	161.476135	15.1938263	0.004557966	5.31765507
Dentro de los grupos	85.0219723	8	10.6277465			
Total	246.498107	9				

*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

**FIGURA 48**

*Intervalos de CIR2; C2R2; (95% IC para la media)*



*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

- Con una resistencia de 320W F ratio de 15.194 es mayor que el valor crítico 5.318  
Rechazamos la  $H_0$  y aceptamos la  $H_a$ .
- Esto nos indica que los tratamientos son diferentes entre si respecto a su significancia.
- Como se aprecia en la gráfica con una resistencia de 320W el promedio de las potencias del AVRF es ligeramente superior en comparación al promedio de las potencias del DB5.

### 5.1.2 ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA POTENCIA CON UNA RESISTENCIA DE 640W

¿Cuál es el efecto que produce el cambio de combustible del Motor de Combustión Interna en la potencia del motor para encender una carga de 640 W?

#### FIGURA 49

*Resistencia de 640W*



*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

Ho= El cambio de combustible NO produce variaciones en la potencia del motor al 95% de confiabilidad para encender una carga de 640W.

$$\mu A = \mu B = \mu C$$

Ha= El cambio de combustible SI produce variaciones en la potencia del motor al 95% de confiabilidad para encender una carga de 640W, donde los tratamientos son diferentes entre si respecto a su significancia.

$$\mu_i \neq \mu_j \quad \text{donde } i, j = A, B, C$$

**TABLA 38**

*Varianza con una resistencia de 640W*

C1R3	C2R3
949.12	952.37
952.37	959.84
949.12	956.58
942.61	956.58
945.87	949.12

$Y_i$	4739.08	4774.49
$\bar{Y}_i$	947.815332	954.897167
$Y_{..} =$	9513.562	$\bar{Y}_{..} =$ 951.356

Resumen

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
C1R3	5	4739.07666	947.815332	13.7345923
C2R3	5	4774.48583	954.897167	17.4940291

Nota: Fuente. Elaboración propia.

SC	GL	CM	F <sub>0</sub>	Valor - p
$SC = \sum_{i=1}^k \frac{Y_i^2}{n_i} - \frac{Y_{..}^2}{N}$	$k - 1$	$CM_{TRAT} = \frac{SC_{TRAT}}{k - 1}$	$\frac{CM_{TRAT}}{CM_E}$	$P(F > F_0)$
$SC_E = SC_T - SC_{TRAT}$	$N - k$	$CM_E = \frac{SC_E}{N - k}$		
$SC_T = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij}^2 - \frac{Y_{..}^2}{N}$	$N - 1$			

- Suma de cuadrados totales

$$SC_T = \left( \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} y_{ij}^2 \right) - \frac{Y_{..}^2}{N}$$

$$SC_T = y_{11}^2 + y_{12}^2 + \dots + y_{24}^2 + y_{25}^2 - \frac{Y_{..}^2}{N}$$

$$SC_T = 949.115^2 + 952.366^2 + \dots + 956.580^2 + 949.115^2 - \frac{9513.562^2}{10}$$

$$SC_T = 250.29546$$

- Suma de cuadrados de los tratamientos

$$SC_{TRAT} = \sum_{i=1}^k \frac{y_i^2}{n_i} - \frac{Y_{..}^2}{N}$$

$$SC_{TRAT} = \frac{4739.077^2 + 4774.486^2}{5} - \frac{9513.562^2}{10}$$

$$SC_{TRAT} = 125.38097$$

- Suma de cuadrados del error

$$SC_E = SC_T - SC_{TRAT}$$

$$SC_E = 250.29546 - 125.38097$$

$$SC_E = 124.91449$$

Grados de libertad

- Para  $SC_{TRAT}$ :  $= K - 1$

$$= 2 - 1$$

$$= 1$$

- Para  $SC_E$ :  $= N - K$

$$= 10 - 2$$

$$= 8$$

- Para  $SC_T$ :  $= N - 1$

$$= 10 - 1$$

$$= 9$$

Cuadrados medios:

- Cuadrados medios de los tratamientos:

$$CM_{TRAT} = \frac{SC_{TR}}{K - 1}$$

$$CM_{TRAT} = \frac{125.38097}{2 - 1}$$

$$CM_{TRAT} = 125.38097$$

Cuadrados medios del error:

$$CM_E = \frac{SC_E}{N - K}$$

$$CM_E = \frac{124.91449}{10 - 2}$$

$$CM_E = 15.614311$$

- F value:

$$F = \frac{CM_{TRAT}}{CM_E}$$

$$F = \frac{125.3097}{15.614311}$$

$$F = 8.0298757$$

**TABLA 39**

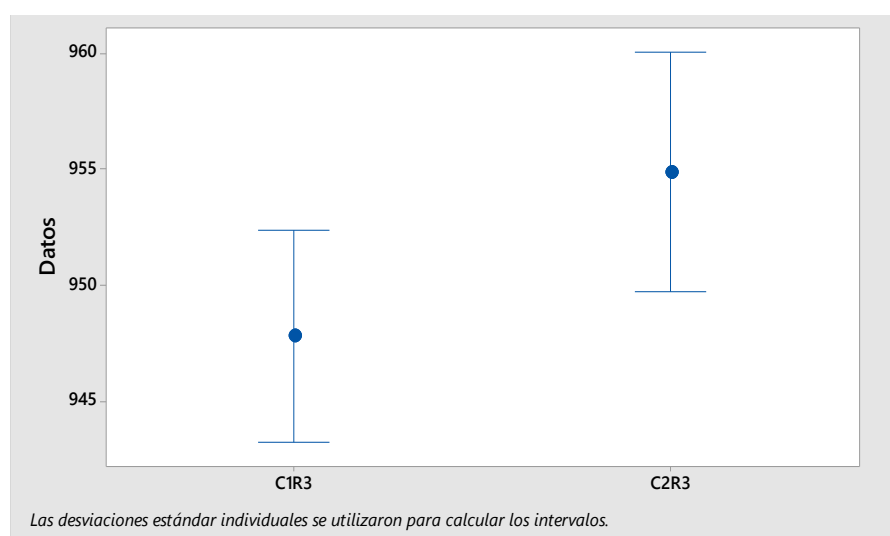
*Análisis de varianza 640W*

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	125.380974	1	125.380974	8.02987568	0.022024313	5.31765507
Dentro de los grupos	124.914486	8	15.6143107			
Total	250.295459	9				

*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

**FIGURA 50**

*Grafica de intervalos de C1R3; C2R3; (95% IC para la media)*





*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

- Con una resistencia de 640W F ratio de 8.030 es mayor que el valor crítico 5.318  
Rechazamos la  $H_0$  y aceptamos la  $H_a$ .
- Esto nos indica que los tratamientos son diferentes entre si respecto a su significancia.
- Como se aprecia en la gráfica con una resistencia de 640W el promedio de las potencias del AVRF es ligeramente superior en comparación al promedio de las potencias del DB5.

### 5.1.3 ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA POTENCIA CON UNA RESISTENCIA DE 960W

FIGURA 51

Resistencia de 960W



Nota: Fuente. Elaboración propia.

¿Cuál es el efecto que produce el cambio de combustible del Motor de Combustión Interna en la potencia del motor para encender una carga de 960 W?

$H_0$  = El cambio de combustible NO produce variaciones en la potencia del motor al 95% de confiabilidad para encender una carga de 960W.

$$\mu_A = \mu_B = \mu_C$$

$H_a$  = El cambio de combustible SI produce variaciones en la potencia del motor al 95% de confiabilidad para encender una carga de 960W, donde los tratamientos son diferentes entre si respecto a su significancia.

$$\mu_i \neq \mu_j \quad \text{donde } i, j = A, B, C$$

TABLA 40

Varianza con una resistencia de 960W

	C1R4	C2R4
	1372.07	1378.54
	1372.07	1372.07
	1372.07	1375.31
	1372.07	1384.67
	1368.83	1375.31
Y <sub>i</sub>	6857.11	6885.89
Ȳ <sub>i</sub>	1371.42241	1377.1782
Y <sub>..</sub> =	13743.003	Ȳ <sub>..</sub> = 1374.300

Resumen

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
C1R4	5	6857.11204	1371.42241	2.09435633
C2R4	5	6885.89098	1377.1782	22.7685388

Nota: Fuente. Elaboración propia.

SC	GL	CM	F <sub>0</sub>	Valor - p
$SC = \sum_{i=1}^k \frac{Y_i^2}{n_i} - \frac{Y_{..}^2}{N}$	k - 1	$CM_{TRAT} = \frac{SC_{TRAT}}{k - 1}$	$\frac{CM_{TRAT}}{CM_E}$	P(F > F <sub>0</sub> )
$SC_E = SC_T - SC_{TRAT}$	N - k	$CM_E = \frac{SC_E}{N - k}$		
$SC_T = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij}^2 - \frac{Y_{..}^2}{N}$	N - 1			

- Suma de cuadrados totales

$$SC_T = \left( \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} y_{ij}^2 \right) - \frac{Y_{..}^2}{N}$$

$$SC_T = y_{11}^2 + y_{12}^2 + \dots + y_{24}^2 + y_{25}^2 - \frac{Y_{..}^2}{N}$$

$$SC_T = 1372.07^2 + 1372.070^2 + \dots + 1384.668^2 + 1375.306^2 - \frac{13743.003^2}{10}$$

$$SC_T = 182.27434$$

- Suma de cuadrados de los tratamientos

$$SC_{TRAT} = \sum_{i=1}^k \frac{y_{i.}^2}{ni} - \frac{Y_{..}^2}{N}$$

$$SC_{TRAT} = \frac{6857.112^2 + 6885.891^2}{5} - \frac{13743.003^2}{10}$$

$$SC_{TRAT} = 82.822764$$

- Suma de cuadrados del error

$$SC_E = SC_T - SC_{TRAT}$$

$$SC_E = 182.27434 - 82.822764$$

$$SC_E = 99.451581$$

Grados de libertad

- Para  $SC_{TRAT}$ :  $= K - 1$   
 $= 2 - 1$   
 $= 1$
- Para  $SC_E$ :  $= N - K$   
 $= 10 - 2$   
 $= 8$
- Para  $SC_T$ :  $= N - 1$   
 $= 10 - 1$   
 $= 9$

Cuadrados medios:

- Cuadrados medios de los tratamientos:

$$CM_{TRAT} = \frac{SC_{TRAT}}{K - 1}$$

$$CM_{TRAT} = \frac{82.82276}{2 - 1}$$

$$CM_{TRAT} = 82.822764$$

Cuadrados medios del error:

$$CM_E = \frac{SC_E}{N - K}$$

$$CM_E = \frac{99.451581}{10 - 2}$$

$$CM_E = 12.431448$$

- F value:

$$F = \frac{CM_{TRAT}}{CM_E}$$

$$F = \frac{82.822764}{12.431448}$$

$$F = 6.6623588$$

**TABLA 41**

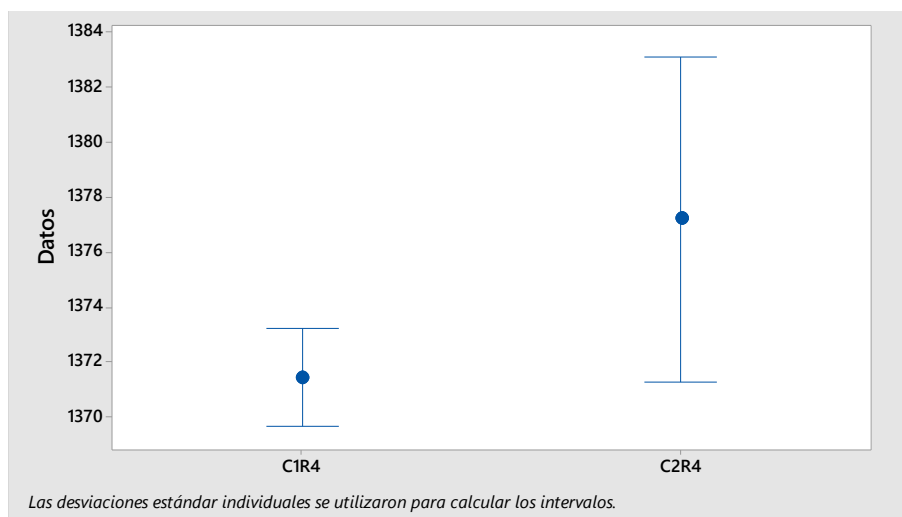
*Análisis de Varianza con una resistencia de 960W*

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	82.8227637	1	82.8227637	6.66235876	0.032557813	5.31765507
Dentro de los grupos	99.4515806	8	12.4314476			
Total	182.274344	9				

*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

**FIGURA 52**

*Grafica de intervalos de C1R4; C2R4; (95% IC para la media)*



*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

- Con una resistencia de 960W F ratio de 6.662 es mayor que el valor crítico 5.318 Rechazamos la  $H_0$  y aceptamos la  $H_a$ .
- Esto nos indica que los tratamientos son diferentes entre si respecto a su significancia.
- Como se aprecia en la gráfica con una resistencia de 960W el promedio de las potencias del AVRF es ligeramente superior en comparación al promedio de las potencias del DB5.

#### 5.1.4 ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA POTENCIA CON UNA RESISTENCIA DE 1280W

¿Cuál es el efecto que produce el cambio de combustible del Motor de Combustión Interna en la potencia del motor para encender una carga de 1280 W?

#### FIGURA 53

*Resistencia 1280W*



*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

Ho= El cambio de combustible NO produce variaciones en la potencia del motor al 95% de confiabilidad para encender una carga de 1280W.

$$\mu A = \mu B = \mu C$$

Ha= El cambio de combustible SI produce variaciones en la potencia del motor al 95% de confiabilidad para encender una carga de 1280W, donde los tratamientos son diferentes entre si respecto a su significancia.

$$\mu_i \neq \mu_j \quad \text{donde} \quad i, j = A, B, C$$

**TABLA 42**

*Varianza con una resistencia de 1280W*

C1R5	C2R5
1903.98	1907.21
1903.98	1907.21
1910.43	1910.43
1900.76	1913.65

	1903.98	1905.11
$Y_i$	9523.14	9543.59
$\bar{Y}_i$	1904.62822	1908.71854
$Y_{..} =$	19066.734	$\bar{Y}_{..} =$ 1906.673

Resumen

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
C1R5	5	9523.14109	1904.62822	12.4546872
C2R5	5	9543.59269	1908.71854	11.2144145

Nota: Fuente. Elaboración propia.

SC	GL	CM	F <sub>0</sub>	Valor - p
$SC = \sum_{i=1}^k \frac{Y_i^2}{n_i} - \frac{Y_{..}^2}{N}$	$k - 1$	$CM_{TRAT} = \frac{SC_{TRAT}}{k - 1}$	$\frac{CM_{TRAT}}{CM_E}$	$P(F > F_0)$
$SC_E = SC_T - SC_{TRAT}$	$N - k$	$CM_E = \frac{SC_E}{N - k}$		
$SC_T = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij}^2 - \frac{Y_{..}^2}{N}$	$N - 1$			

- Suma de cuadrados totales

$$SC_T = \left( \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} y_{ij}^2 \right) - \frac{Y_{..}^2}{N}$$

$$SC_T = y_{11}^2 + y_{12}^2 + \dots + y_{24}^2 + y_{25}^2 - \frac{Y_{..}^2}{N}$$

$$SC_T = 1903.984^2 + 1903.984^2 + \dots + 1913.649^2 + 1905.106^2 - \frac{19066.734^2}{10}$$

$$SC_T = 136.503216$$

- Suma de cuadrados de los tratamientos

$$SC_{TRAT} = \sum_{i=1}^k \frac{y_i^2}{n_i} - \frac{Y_{..}^2}{N}$$

$$SC_{TRAT} = \frac{9523.141^2 + 9543.593^2}{5} - \frac{19066.734^2}{10}$$

$$SC_{TRAT} = 41.826809$$



- Suma de cuadrados del error

$$SC_E = SC_T - SC_{TRAT}$$

$$SC_E = 136.503216 - 41.826809$$

$$SC_E = 99.451581$$

Grados de libertad

- Para  $SC_{TRAT}$ :  $= K - 1$

$$= 2 - 1$$

$$= 1$$

- Para  $SC_E$ :  $= N - K$

$$= 10 - 2$$

$$= 8$$

- Para  $SC_T$ :  $= N - 1$

$$= 10 - 1$$

$$= 9$$

Cuadrados medios:

- Cuadrados medios de los tratamientos:

$$CM_{TRAT} = \frac{SC_{TR}}{K - 1}$$

$$CM_{TRAT} = \frac{41.826809}{2 - 1}$$

$$CM_{TRAT} = 41.826809$$

Cuadrados medios del error:

$$CM_E = \frac{SC_E}{N - K}$$

$$CM_E = \frac{99.451581}{10 - 2}$$

$$CM_E = 11.834551$$

- F value:

$$F = \frac{CM_{TRAT}}{CM_E}$$

$$F = \frac{41.826809}{11.834551}$$

$$F = 3.534296$$

**TABLA 43**

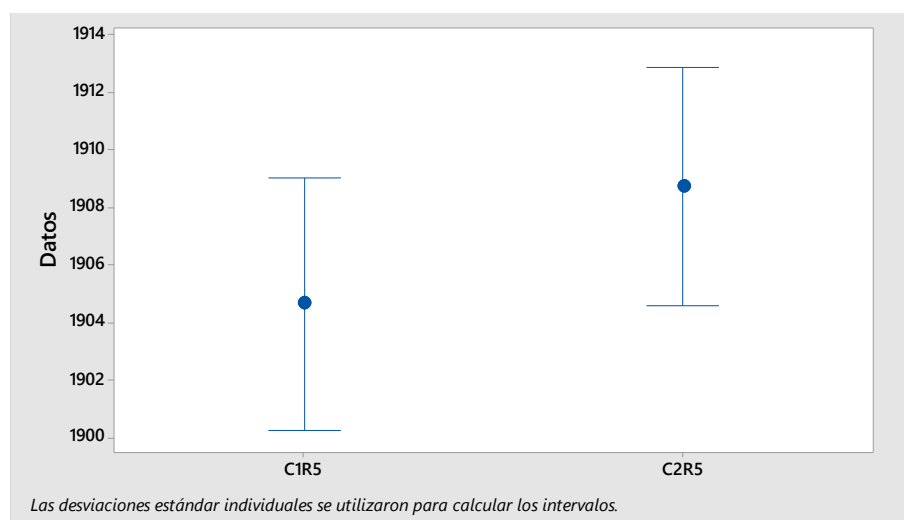
*Análisis de Varianza con una resistencia de 1280W*

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	41.8268091	1	41.8268091	3.53429628	0.096909635	5.31765507
Dentro de los grupos	94.6764068	8	11.8345509			
Total	136.503216	9				

*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

**FIGURA 54**

*Gráfica de intervalos de C2R5; C2R5; (95% IC para la media)*



*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

- Con una resistencia de 1280W F ratio de 3.534 es menor que el valor crítico 5.318 aceptamos la  $H_0$  y rechazamos la  $H_a$ .
- Esto nos indica que los tratamientos son iguales entre si respecto a su significancia.
- Aunque como se aprecia en la gráfica con una resistencia de 1280W el promedio de las potencias del AVRF es ligeramente superior en comparación al promedio de las potencias del DB5, se puede decir que ambos combustibles desarrollan la misma potencia, ya que los tratamientos son iguales entre si dentro de su significancia.

### 5.1.5 ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA POTENCIA CON UNA RESISTENCIA DE 1600W

¿Cuál es el efecto que produce el cambio de combustible del Motor de Combustión Interna en la potencia del motor para encender una carga de 1600 W?

#### FIGURA 55

*Resistencia de 1600W*



*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

$H_0$ = El cambio de combustible NO produce variaciones en la potencia del motor al 95% de confiabilidad para encender una carga de 1600W.

$$\mu_A = \mu_B = \mu_C$$

$H_a$ = El cambio de combustible SI produce variaciones en la potencia del motor al 95% de confiabilidad para encender una carga de 1600W, donde los tratamientos son diferentes entre sí respecto a su significancia.

$$\mu_i \neq \mu_j \quad \text{donde } i, j = A, B, C$$

**TABLA 44**

*Varianza con una resistencia de 1600W*

	C1R6	C2R6
	2187.11	2177.53
	2180.93	2177.72
	2167.96	2167.96
	2177.72	2174.34
	2171.15	2180.93
<b>Y<sub>i</sub></b>	10884.87	10878.48
<b>Ȳ<sub>i</sub></b>	2176.97397	2175.69682
<b>Y<sub>..</sub>=</b>	21763.354	<b>Ȳ<sub>..</sub>=</b> 2176.335

Resumen

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
C1R6	5	10884.8698	2176.97397	58.5648221
C2R6	5	10878.4841	2175.69682	24.1518483

*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

SC	GL	CM	F <sub>0</sub>	Valor - p
$SC = \sum_{i=1}^k \frac{Y_{i.}^2}{n_i} - \frac{Y_{..}^2}{N}$	$k - 1$	$CM_{TRAT} = \frac{SC_{TRAT}}{k - 1}$	$\frac{CM_{TRAT}}{CM_E}$	$P(F > F_0)$
$SC_E = SC_T - SC_{TRAT}$	$N - k$	$CM_E = \frac{SC_E}{N - k}$		
$SC_T = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij}^2 - \frac{Y_{..}^2}{N}$	$N - 1$			

- Suma de cuadrados totales

$$SC_T = \left( \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} y_{ij}^2 \right) - \frac{Y_{..}^2}{N}$$

$$SC_T = y_{11}^2 + y_{12}^2 + \dots + y_{24}^2 + y_{25}^2 - \frac{Y_{..}^2}{N}$$

$$SC_T = 2187.113^2 + 2180.929^2 + \dots + 2174.342^2 + 2180.929^2 - \frac{21763.354^2}{10}$$

$$SC_T = 334.944440$$

- Suma de cuadrados de los tratamientos

$$SC_{TRAT} = \sum_{i=1}^k \frac{y_{i.}^2}{n_i} - \frac{Y_{..}^2}{N}$$

$$SC_{TRAT} = \frac{10884.870^2 + 10878.484^2}{5} - \frac{21763.354^2}{10}$$

$$SC_{TRAT} = 4.077758$$

- Suma de cuadrados del error

$$SC_E = SC_T - SC_{TRAT}$$

$$SC_E = 334.944440 - 4.077758$$

$$SC_E = 330.866681$$

Grados de libertad

- Para  $SC_{TRAT}$ :  $= K - 1$

$$= 2 - 1$$

$$= 1$$

- Para  $SC_E$ :  $= N - K$

$$= 10 - 2$$

$$= 8$$

$$\text{- Para } SC_T: = N - 1$$

$$= 10 - 1$$

$$= 9$$

Cuadrados medios:

- Cuadrados medios de los tratamientos:

$$CM_{TRAT} = \frac{SC_{TR}}{K - 1}$$

$$CM_{TRAT} = \frac{4.077758}{2 - 1}$$

$$CM_{TRAT} = 4.077758$$

Cuadrados medios del error:

$$CM_E = \frac{SC_E}{N - K}$$

$$CM_E = \frac{330.866681}{10 - 2}$$

$$CM_E = 41.826809$$

- F value:

$$F = \frac{CM_{TRAT}}{CM_E}$$

$$F = \frac{4.077758}{41.826809}$$

$$F = 0.0985958$$

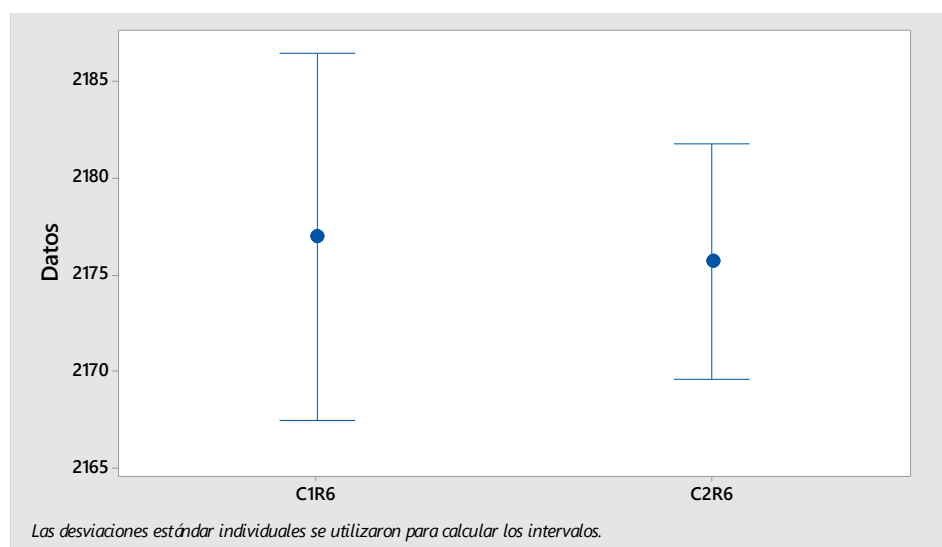
**TABLA 45***Análisis de Varianza con una resistencia de 1600W*

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	4.07775831	1	4.07775831	0.0985958	0.76155311	5.31765507
Dentro de los grupos	330.866681	8	41.3583352			
Total	334.94444	9				

*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

**FIGURA 56**

*Gráfica de intervalos de C1R6; C2R6; (95% IC para la media)*



*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

- Con una resistencia de 1600W F ratio de 0.099 es menor que el valor crítico 5.318 aceptamos la  $H_0$  y rechazamos la  $H_a$ .
- Esto nos indica que los tratamientos son iguales entre si respecto a su significancia.
- Como se aprecia en la gráfica con una resistencia de 1600W el promedio de las potencias del AVRF es prácticamente igual al promedio de las potencias del DB5.

## 5.2 DETERMINACIÓN DE LAS POTENCIAS MÁXIMAS ALCANZADAS EN EL MÓDULO EXPERIMENTAL

El análisis del experimento abarca una comparativa del rendimiento de los 2 combustibles hasta donde alcance los niveles de comparación, pero también se desea conocer el rendimiento máximo de los 2 combustibles en el módulo experimental con el que se está trabajando.

### 5.2.1 POTENCIA EFECTIVA AL FRENO MÁXIMA

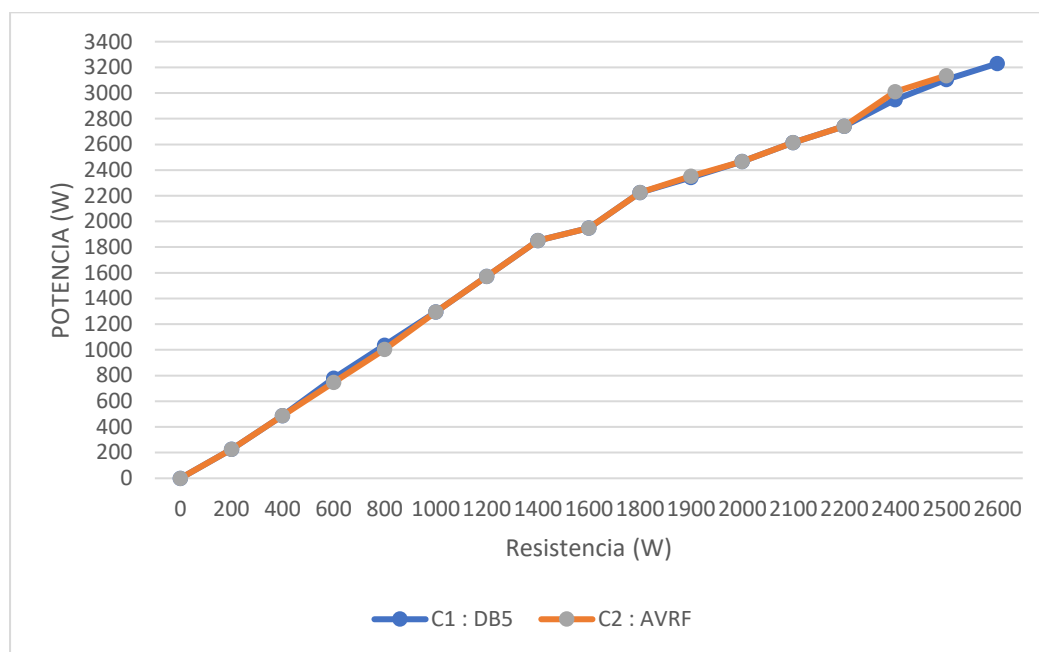
**TABLA 46**

*Potencia al freno*

Resistencia (w)	C1: DB5	C2: AVRF
0	0	0
200	226.52093	226.52093
400	487.55933	487.55933
600	780.09492	747.59097
800	1035.5242	1003.1641
1000	1294.4053	1294.4053
1200	1571.5518	1571.5518
1400	1851.8625	1851.8625
1600	1947.6485	1947.6485
1800	2224.9389	2224.9389
1900	2341.4354	2352.0782
2000	2467.9994	2467.9994
2100	2614.2672	2614.2672
2200	2740.256	2740.256
2400	2947.217	3009.9238
2500	3103.9839	<b>3135.3373</b>
2600	<b>3229.3974</b>	-
2700	-	-

*Nota:* Fuente. Elaboración propia.



**FIGURA 57***Potencia al freno*

*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

## 5.2.2 ANÁLISIS DE LA POTENCIA MÁXIMA ALCANZADA EN EL MÓDULO EXPERIMENTAL

- Para el caso del DB5 se logró trabajar hasta una resistencia de 2600W con una generación de potencia efectiva al freno de 3229.4 W.
- Para el caso del AVRF se logró trabajar hasta una resistencia de 2500W con una generación de potencia efectiva al freno de 3135.3 W.
- Haciendo una comparación de potencias se observa que el AVRF alcanza una potencia de 97% frente al DB5 en nuestro módulo experimental.

## CAPITULO VI

### ANÁLISIS DEL EXPERIMENTO EN LA VARIABLE NIVEL DE OPACIDAD

En este capítulo se muestra el análisis estadístico del porcentaje de opacidad del experimento realizado, siguiendo los parámetros descritos en el capítulo de Diseño, Planeación y Ejecución del Experimento.

El diseño experimental que se empleó es un experimento Monofactorial con el modelo de distribución de Fisher conducido bajo un diseño Completo al Azar, se tuvo 5 muestras por cada tratamiento, la unidad experimental estuvo considerada por un generador de 3 KW con un motor encendido por compresión. El análisis estadístico comprendió el análisis de varianza y la prueba de Fisher al 0.05 de probabilidad.

El análisis estadístico se realizó dividiendo los grupos de muestras por nivel de resistencia.

La estrategia a seguir para probar una hipótesis es suponer que la  $H_0$  (Hipótesis nula) es verdadera y que en caso de ser rechazada por la evidencia que dan los datos, se estará aceptando la  $H_a$  (Hipótesis alterna).

$H_0$ = la variación del combustible NO produce variaciones en los niveles de opacidad del motor al 95% de confiabilidad en el nivel de resistencia indicado.

$H_a$ = la variación del combustible SI produce variaciones en los niveles de opacidad del motor al 95% de confiabilidad en el nivel de resistencia indicado.

#### 6.1 ANÁLISIS DE LA OPACIDAD

**TABLA 47**

*N% Promedio*

	(W)	C1: DB5	C2: AVRF	Limite Permisible
R1	0	0.42	2.54	60
R2	320	0.36	1.30	60

R3	640	0.64	7.08	60
R4	960	0.94	1.14	60
R5	1280	0.4	1.92	60
R6	1600	0.98	2.64	60

Nota: Fuente. Elaboración propia.

### 6.1.1 ANÁLISIS DE VARIANZA DEL PORCENTAJE DE OPACIDAD CON UNA RESISTENCIA DE 0W

¿Cuál es el efecto que produce el cambio de combustible del Motor de Combustión Interna en los niveles de opacidad del motor para encender una carga de 0 W?

Ho= El cambio de combustible NO produce variaciones en los niveles de opacidad del motor al 95% de confiabilidad para encender una carga de 0W.

$$\mu_A = \mu_B = \mu_C$$

Ha= El cambio de combustible SI produce variaciones en la potencia del motor al 95% de confiabilidad para encender una carga de 0W, donde los tratamientos son diferentes entre si respecto a su significancia.

$$\mu_i \neq \mu_j \quad \text{donde } i, j = A, B, C$$

**TABLA 48**

*Varianza porcentaje de opacidad con una resistencia de 0W*

	C1R1	C2R1
	0.30	1.10
	0.30	1.20
	0.60	4.20
	0.50	3.90
	0.40	2.30
<b>Y<sub>i</sub></b>	2.10	12.70
<b>Ȳ<sub>i</sub></b>	0.42	2.54
<b>Y<sub>..</sub>=</b>	14.80	<b>Ȳ<sub>..</sub>=</b> 1.48

## Resumen

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
C1R1	5	2.1	0.42	0.017
C2R1	5	12.7	2.54	2.133

Nota: Fuente. Elaboración propia.

SC	GL	CM	F <sub>0</sub>	Valor - p
$SC = \sum_{i=1}^k \frac{Y_i^2}{n_i} - \frac{Y_{..}^2}{N}$	$k - 1$	$CM_{TRAT} = \frac{SC_{TRAT}}{k - 1}$	$\frac{CM_{TRAT}}{CM_E}$	$P(F > F_0)$
$SC_E = SC_T - SC_{TRAT}$	$N - k$	$CM_E = \frac{SC_E}{N - k}$		
$SC_T = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij}^2 - \frac{Y_{..}^2}{N}$	$N - 1$			

- Suma de cuadrados totales

$$SC_T = \left( \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} y_{ij}^2 \right) - \frac{Y_{..}^2}{N}$$

$$SC_T = y_{11}^2 + y_{12}^2 + \dots + y_{24}^2 + y_{25}^2 - \frac{Y_{..}^2}{N}$$

$$SC_T = 0.30^2 + 0.3^2 + \dots + 3.9^2 + 2.3^2 - \frac{14.8^2}{10}$$

$$SC_T = 19.836$$

- Suma de cuadrados de los tratamientos

$$SC_{TRAT} = \sum_{i=1}^k \frac{y_{i.}^2}{n_i} - \frac{Y_{..}^2}{N}$$

$$SC_{TRAT} = \frac{2.1^2 + 12.70^2}{5} - \frac{14.8^2}{10}$$

$$SC_{TRAT} = 11.236$$

- Suma de cuadrados del error

$$SC_E = SC_T - SC_{TRAT}$$

$$SC_E = 19.836 - 11.236$$

$$SC_E = 8.600$$

Grados de libertad

$$\text{- Para } SC_{TRAT} : = K - 1$$

$$= 2 - 1$$

$$= 1$$

$$\text{- Para } SC_E : = N - K$$

$$= 10 - 2$$

$$= 8$$

$$\text{- Para } SC_T : = N - 1$$

$$= 10 - 1$$

$$= 9$$

Cuadrados medios:

- Cuadrados medios de los tratamientos:

$$CM_{TRAT} = \frac{SC_{TR}}{K - 1}$$

$$CM_{TRAT} = \frac{11.236}{2 - 1}$$

$$CM_{TRAT} = 11.236$$

Cuadrados medios del error:

$$CM_E = \frac{SC_E}{N - K}$$

$$CM_E = \frac{8.600}{10 - 2}$$

$$CM_E = 1.075$$

- F value:

$$F = \frac{CM_{TRAT}}{CM_E}$$

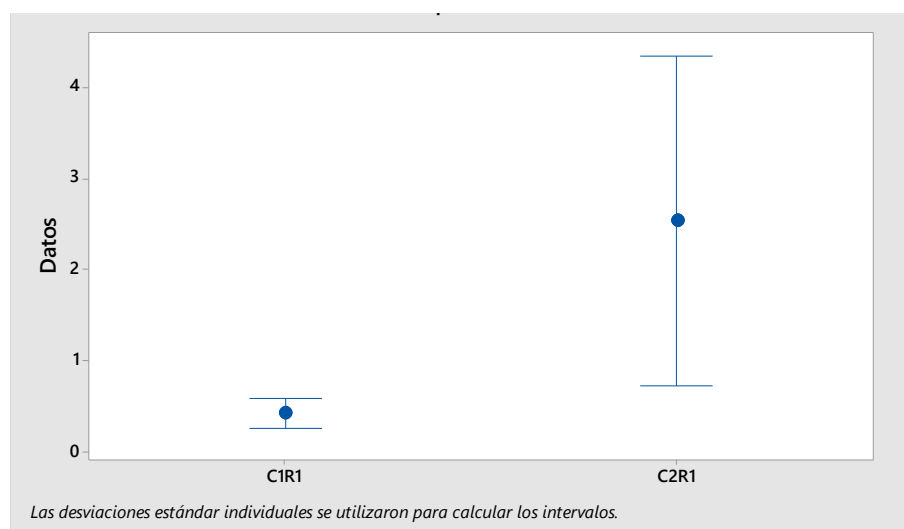
$$F = \frac{11.236}{1.075}$$

$$F = 10.4521$$

**TABLA 49***Análisis de Varianza porcentaje de opacidad con una resistencia de 0W*

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	11.236	1	11.236	10.45209	0.01200343	5.3176551
Dentro de los grupos	8.6	8	1.075			
Total	19.836	9				

*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

**FIGURA 58***Gráfica de intervalos de C1R1; C2R2; (95% IC para la media)*

*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

- Con una resistencia de 0W F ratio de 10.452 es mayor que el valor crítico 5.318  
Rechazamos la  $H_0$  y aceptamos la  $H_a$ .
- Esto nos indica que los tratamientos son diferentes entre si respecto a su significancia.

- Como se aprecia en la gráfica con una resistencia de 0W el promedio de los niveles de opacidad del AVRF es superior en comparación al promedio de los niveles de opacidad del DB5.
- En la tabla se aprecia que los valores de los niveles de opacidad en el AVRF son más variables en comparación a los valores de los niveles del DB5 que son más estables.
- Con respecto al límite máximo permisible indicado en el DS N° 010-2017-MINAM, en el cual indica que el límite permisible de opacidad es de 60%, se observa que los valores del DB5 (0.42%) y AVRF (2.54%), se encuentran dentro de los límites permisibles.

### 6.1.2 ANÁLISIS DE VARIANZA DEL PORCENTAJE DE OPACIDAD CON UNA RESISTENCIA DE 320W

¿Cuál es el efecto que produce el cambio de combustible del Motor de Combustión Interna en los niveles de opacidad del motor para encender una carga de 320 W?

$H_0$  = El cambio de combustible NO produce variaciones en los niveles de opacidad del motor al 95% de confiabilidad para encender una carga de 320W.

$$\mu_A = \mu_B = \mu_C$$

$H_a$  = El cambio de combustible SI produce variaciones en la potencia del motor al 95% de confiabilidad para encender una carga de 320W, donde los tratamientos son diferentes entre si respecto a su significancia.

$$\mu_i \neq \mu_j \quad \text{donde } i, j = A, B, C$$

**TABLA 50**

*Análisis de Varianza porcentaje de opacidad con una resistencia de 320W*

C1R2	C2R2
0.40	1.30

	0.30		2.70
	0.30		0.80
	0.40		1.00
	0.40		0.70
<b>Y<sub>i</sub></b>	1.80		6.50
<b>Ȳ<sub>i</sub></b>	0.36		1.3
<b>Y<sub>..</sub>=</b>	8.30	<b>Ȳ<sub>..</sub>=</b>	0.83

Resumen

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
C1R2	5	1.8	0.36	0.003
C2R2	5	6.5	1.3	0.665

Nota: Fuente. Elaboración propia.

SC	GL	CM	F <sub>0</sub>	Valor - p
$SC = \sum_{i=1}^k \frac{Y_{i.}^2}{n_i} - \frac{Y_{..}^2}{N}$	$k - 1$	$CM_{TRAT} = \frac{SC_{TRAT}}{k - 1}$	$\frac{CM_{TRAT}}{CM_E}$	$P(F > F_0)$
$SC_E = SC_T - SC_{TRAT}$	$N - k$	$CM_E = \frac{SC_E}{N - k}$		
$SC_T = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij}^2 - \frac{Y_{..}^2}{N}$	$N - 1$			

- Suma de cuadrados totales

$$SC_T = \left( \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} y_{ij}^2 \right) - \frac{Y_{..}^2}{N}$$

$$SC_T = y_{11}^2 + y_{12}^2 + \dots + y_{24}^2 + y_{25}^2 - \frac{Y_{..}^2}{N}$$

$$SC_T = 0.4^2 + 0.3^2 + \dots + 1.0^2 + 0.7^2 - \frac{8.30^2}{10}$$

$$SC_T = 4.881$$

- Suma de cuadrados de los tratamientos

$$SC_{TRAT} = \sum_{i=1}^k \frac{y_{i.}^2}{n_i} - \frac{Y_{..}^2}{N}$$



$$SC_{TRAT} = \frac{1.80^2 + 6.50^2}{5} - \frac{8.30^2}{10}$$

$$SC_{TRAT} = 2.209$$

- Suma de cuadrados del error

$$SC_E = SC_T - SC_{TRAT}$$

$$SC_E = 4.881 - 2.209$$

$$SC_E = 2.672$$

Grados de libertad

- Para  $SC_{TRAT}$ :  $= K - 1$

$$= 2 - 1$$

$$= 1$$

- Para  $SC_E$ :  $= N - K$

$$= 10 - 2$$

$$= 8$$

- Para  $SC_T$ :  $= N - 1$

$$= 10 - 1$$

$$= 9$$

Cuadrados medios:

- Cuadrados medios de los tratamientos:

$$CM_{TRAT} = \frac{SC_{TRAT}}{K - 1}$$

$$CM_{TRAT} = \frac{2.209}{2 - 1}$$

$$CM_{TRAT} = 2.209$$

Cuadrados medios del error:

$$CM_E = \frac{SC_E}{N - K}$$

$$CM_E = \frac{2.672}{10 - 2}$$

$$CM_E = 0.334$$

- F value:

$$F = \frac{CM_{TRAT}}{CM_E}$$

$$F = \frac{2.209}{0.334}$$

$$F = 6.61377$$

**TABLA 51**

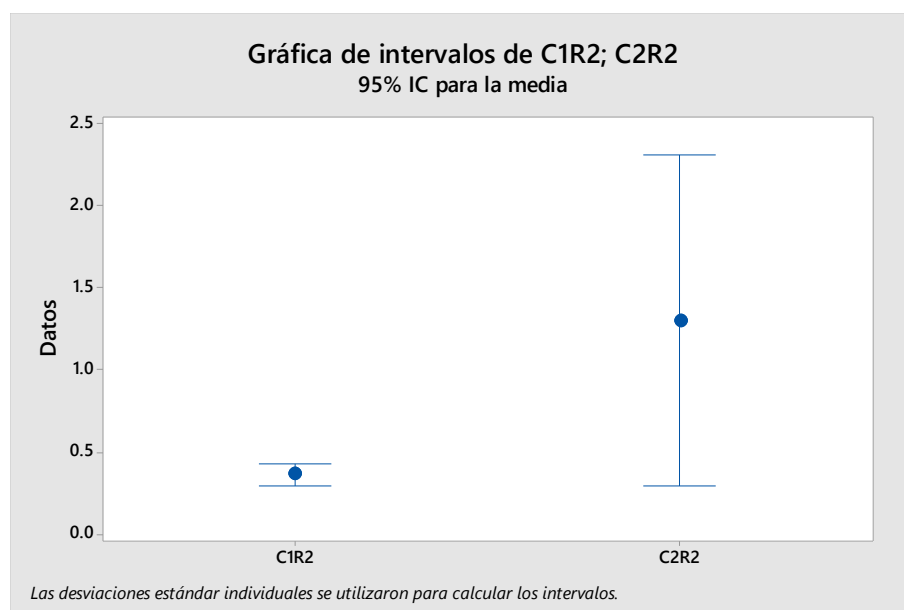
*Análisis de Varianza porcentaje de opacidad con una resistencia de 320W*

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	2.209	1	2.209	6.613772	0.03303877	5.3176551
Dentro de los grupos	2.672	8	0.334			
Total	4.881	9				

*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

**FIGURA 59**

*Grafica de intervalos de C1R2; C2R2; (95% IC para la media)*



*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

- Con una resistencia de 320W F ratio de 6.614 es mayor que el valor crítico 5.318 Rechazamos la  $H_0$  y aceptamos la  $H_a$ .
- Esto nos indica que los tratamientos son diferentes entre si respecto a su significancia.
- Como se aprecia en la gráfica con una resistencia de 320W el promedio de los niveles de opacidad del AVRF es ligeramente superior en comparación al promedio de los niveles de opacidad del DB5.
- En la tabla se aprecia que los valores de los niveles de opacidad en el AVRF son más variables en comparación a los valores de los niveles del DB5 que son más estables.
- Con respecto al límite máximo permisible indicado en el DS N° 010-2017-MINAM, en el cual indica que el límite permisible de opacidad es de 60%, se observa que los valores del DB5 (0.36%) y AVRF (0.74%), se encuentran dentro de los límites permisibles.

### 6.1.3 ANÁLISIS DE VARIANZA DEL PORCENTAJE DE OPACIDAD CON UNA RESISTENCIA DE 640W

¿Cuál es el efecto que produce el cambio de combustible del Motor de Combustión Interna en los niveles de opacidad del motor para encender una carga de 640 W?

Ho= El cambio de combustible NO produce variaciones en los niveles de opacidad del motor al 95% de confiabilidad para encender una carga de 640W.

$$\mu A = \mu B = \mu C$$

Ha= El cambio de combustible SI produce variaciones en la potencia del motor al 95% de confiabilidad para encender una carga de 640W, donde los tratamientos son diferentes entre si respecto a su significancia.

$$\mu_i \neq \mu_j \quad \text{donde } i, j = A, B, C$$

**TABLA 52**

*Análisis de Varianza porcentaje de opacidad con una resistencia de 640W*

	C1R3	C2R3
	0.80	0.70
	0.70	6.10
	0.60	12.10
	0.40	10.50
	0.70	6.00
<b>Y<sub>i</sub></b>	3.20	35.40
<b>Ȳ<sub>i</sub></b>	0.64	7.08
<b>Y<sub>..</sub>=</b>	38.60	<b>Ȳ<sub>..</sub>=</b> 3.86

Resumen

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
C1R3	5	3.2	0.64	0.023
C2R3	5	35.4	7.08	19.932

Nota: Fuente. Elaboración propia.

SC	GL	CM	F <sub>0</sub>	Valor - p
$SC = \sum_{i=1}^k \frac{Y_i^2}{n_i} - \frac{Y_{..}^2}{N}$	$k - 1$	$CM_{TRAT} = \frac{SC_{TRAT}}{k - 1}$	$\frac{CM_{TRAT}}{CM_E}$	$P(F > F_0)$
$SC_E = SC_T - SC_{TRAT}$	$N - k$	$CM_E = \frac{SC_E}{N - k}$		
$SC_T = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij}^2 - \frac{Y_{..}^2}{N}$	$N - 1$			

- Suma de cuadrados totales

$$SC_T = \left( \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} y_{ij}^2 \right) - \frac{Y_{..}^2}{N}$$

$$SC_T = y_{11}^2 + y_{12}^2 + \dots + y_{24}^2 + y_{25}^2 - \frac{Y_{..}^2}{N}$$

$$SC_T = 0.8^2 + 0.7^2 + \dots + 10.5^2 + 6.0^2 - \frac{38.60^2}{10}$$

$$SC_T = 183.504$$

- Suma de cuadrados de los tratamientos

$$SC_{TRAT} = \sum_{i=1}^k \frac{y_i^2}{n_i} - \frac{Y_{..}^2}{N}$$

$$SC_{TRAT} = \frac{3.20^2 + 35.40^2}{5} - \frac{38.60^2}{10}$$

$$SC_{TRAT} = 103.684$$

- Suma de cuadrados del error

$$SC_E = SC_T - SC_{TRAT}$$

$$SC_E = 183.504 - 103.684$$

$$SC_E = 79.82$$

Grados de libertad

- Para  $SC_{TRAT}$ :  $= K - 1$   
 $= 2 - 1$   
 $= 1$

$$\begin{aligned}
 - \text{ Para } SC_E : &= N - K \\
 &= 10 - 2 \\
 &= 8
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \text{ Para } SC_T : &= N - 1 \\
 &= 10 - 1 \\
 &= 9
 \end{aligned}$$

Cuadrados medios:

- Cuadrados medios de los tratamientos:

$$\begin{aligned}
 CM_{TRAT} &= \frac{SC_{TR}}{K - 1} \\
 CM_{TRAT} &= \frac{103.684}{2 - 1} \\
 CM_{TRAT} &= 103.684
 \end{aligned}$$

Cuadrados medios del error:

$$\begin{aligned}
 CM_E &= \frac{SC_E}{N - K} \\
 CM_E &= \frac{79.82}{10 - 2} \\
 CM_E &= 9.9775
 \end{aligned}$$

- F value:

$$\begin{aligned}
 F &= \frac{CM_{TRAT}}{CM_E} \\
 F &= \frac{103.684}{9.9775} \\
 F &= 10.3918
 \end{aligned}$$

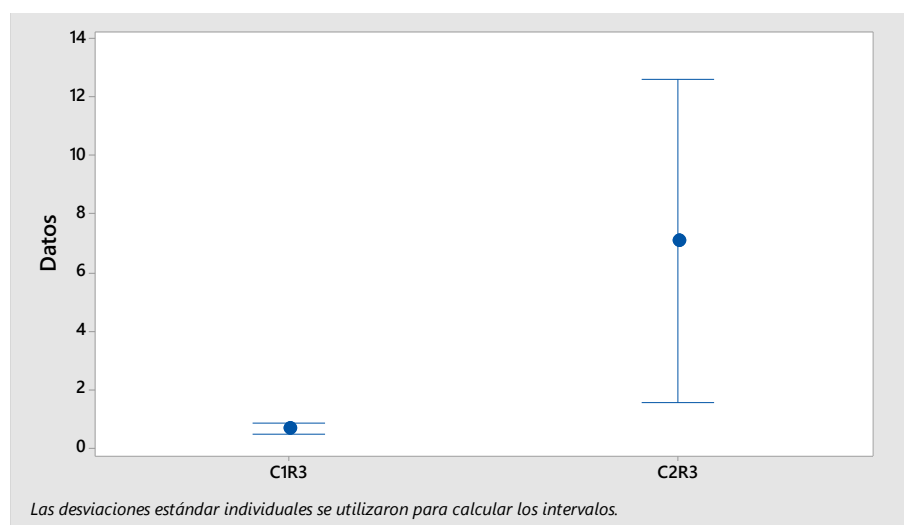
**TABLA 53***Análisis de Varianza porcentaje de opacidad con una resistencia de 640W*

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	103.684	1	103.684	10.39178	0.01217275	5.3176551
Dentro de los grupos	79.82	8	9.9775			
Total	183.504	9				

*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

**FIGURA 60**

*Gráfica de intervalos de C1R3; C2R3; (95% IC para la media)*



*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

- Con una resistencia de 640W F ratio de 10.392 es mayor que el valor crítico 5.318  
Rechazamos la  $H_0$  y aceptamos la  $H_a$ .
- Esto nos indica que los tratamientos son diferentes entre si respecto a su significancia.

- Como se aprecia en la gráfica con una resistencia de 640W el promedio de los niveles de opacidad del AVRF es superior en comparación al promedio de los niveles de opacidad del DB5.
- En la tabla se aprecia que los valores de los niveles de opacidad en el AVRF son más variables en comparación a los valores de los niveles del DB5 que son más estables.
- Con respecto al límite máximo permisible indicado en el DS N° 010-2017-MINAM, en el cual indica que el límite permisible de opacidad es de 60%, se observa que los valores del DB5 (0.64%) y AVRF (7.08%), se encuentran dentro de los límites permisibles.

#### 6.1.4 ANÁLISIS DE VARIANZA DEL PORCENTAJE DE OPACIDAD CON UNA RESISTENCIA DE 960W

¿Cuál es el efecto que produce el cambio de combustible del Motor de Combustión Interna en los niveles de opacidad del motor para encender una carga de 960 W?

$H_0$ = El cambio de combustible NO produce variaciones en los niveles de opacidad del motor al 95% de confiabilidad para encender una carga de 960W.

$$\mu_A = \mu_B = \mu_C$$

$H_a$ = El cambio de combustible SI produce variaciones en la potencia del motor al 95% de confiabilidad para encender una carga de 960W, donde los tratamientos son diferentes entre si respecto a su significancia.

$$\mu_i \neq \mu_j \quad \text{donde } i, j = A, B, C$$

**TABLA 54**

*Varianza porcentaje de opacidad con una resistencia de 960W*

C1R4	C2R4
1.00	0.90
0.90	1.10
0.90	1.40
1.00	1.20



	0.90		1.10
$Y_i$	4.70		5.70
$\bar{Y}_i$	0.94		1.14
$Y_{..}$	10.40	$\bar{Y}_{..}$	1.04

Resumen

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
C1R4	5	4.7	0.94	0.003
C2R4	5	5.7	1.14	0.033

Nota: Fuente. Elaboración propia.

SC	GL	CM	F <sub>0</sub>	Valor - p
$SC = \sum_{i=1}^k \frac{Y_i^2}{n_i} - \frac{Y_{..}^2}{N}$	$k - 1$	$CM_{TRAT} = \frac{SC_{TRAT}}{k - 1}$	$\frac{CM_{TRAT}}{CM_E}$	$P(F > F_0)$
$SC_E = SC_T - SC_{TRAT}$	$N - k$	$CM_E = \frac{SC_E}{N - k}$		
$SC_T = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij}^2 - \frac{Y_{..}^2}{N}$	$N - 1$			

- Suma de cuadrados totales

$$SC_T = \left( \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} y_{ij}^2 \right) - \frac{Y_{..}^2}{N}$$

$$SC_T = y_{11}^2 + y_{12}^2 + \dots + y_{24}^2 + y_{25}^2 - \frac{Y_{..}^2}{N}$$

$$SC_T = 1.0^2 + 0.9^2 + \dots + 1.2^2 + 1.10^2 - \frac{10.40^2}{10}$$

$$SC_T = 0.244$$

- Suma de cuadrados de los tratamientos

$$SC_{TRAT} = \sum_{i=1}^k \frac{y_i^2}{n_i} - \frac{Y_{..}^2}{N}$$

$$SC_{TRAT} = \frac{4.70^2 + 5.70^2}{5} - \frac{10.40^2}{10}$$

$$SC_{TRAT} = 0.1$$

- Suma de cuadrados del error

$$SC_E = SC_T - SC_{TRAT}$$

$$SC_E = 0.244 - 0.1$$

$$SC_E = 0.144$$

Grados de libertad

- Para  $SC_{TRAT}$ :  $= K - 1$

$$= 2 - 1$$

$$= 1$$

- Para  $SC_E$ :  $= N - K$

$$= 10 - 2$$

$$= 8$$

- Para  $SC_T$ :  $= N - 1$

$$= 10 - 1$$

$$= 9$$

Cuadrados medios:

- Cuadrados medios de los tratamientos:

$$CM_{TRAT} = \frac{SC_{TR}}{K - 1}$$

$$CM_{TRAT} = \frac{0.1}{2 - 1}$$

$$CM_{TRAT} = 0.1$$

Cuadrados medios del error:

$$CM_E = \frac{SC_E}{N - K}$$

$$CM_E = \frac{0.144}{10 - 2}$$

$$CM_E = 0.018$$

- F value:

$$F = \frac{CM_{TRAT}}{CM_E}$$

$$F = \frac{0.1}{0.018}$$

$$F = 5.55556$$

**TABLA 55**

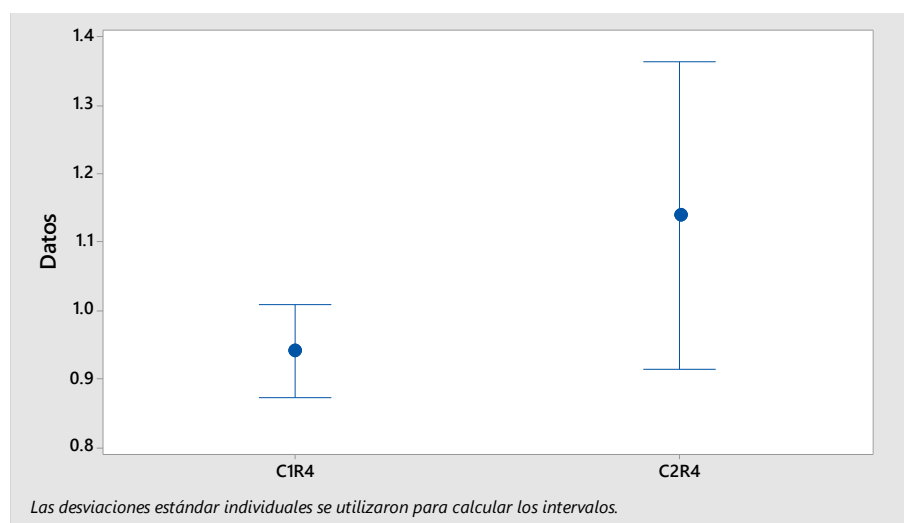
*Análisis de Varianza porcentaje de opacidad con una resistencia de 960W*

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0.1	1	0.1	5.55556	0.04617232	5.3176551
Dentro de los grupos	0.144	8	0.018			
Total	0.244	9				

*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

**FIGURA 61**

*Grafica de intervalos de C1R4; C2R4; (95% IC para la media)*



*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

- Con una resistencia de 960W F ratio de 5.556 es mayor que el valor crítico 5.318 Rechazamos la  $H_0$  y aceptamos la  $H_a$ .
- Esto nos indica que los tratamientos son diferentes entre si respecto a su significancia.
- Como se aprecia en la gráfica con una resistencia de 960W el promedio de los niveles de opacidad del AVRF es superior en comparación al promedio de los niveles de opacidad del DB5.
- En la tabla se aprecia que los valores de los niveles de opacidad en el AVRF son mas variables en comparación a los valores de los niveles del DB5 que son mas estables.
- Con respecto al límite máximo permisible indicado en el DS N° 010-2017-MINAM, en el cual indica que el límite permisible de opacidad es de 60%, se observa que los valores del DB5 (0.94%) y AVRF (1.14%), se encuentran dentro de los límites permisibles.

#### **6.1.5 ANÁLISIS DE VARIANZA DEL PORCENTAJE DE OPACIDAD CON UNA RESISTENCIA DE 1280W**

¿Cuál es el efecto que produce el cambio de combustible del Motor de Combustión Interna en los niveles de opacidad del motor para encender una carga de 1280W?

$H_0$ = El cambio de combustible NO produce variaciones en los niveles de opacidad del motor al 95% de confiabilidad para encender una carga de 1280W.

$$\mu_A = \mu_B = \mu_C$$

$H_a$ = El cambio de combustible SI produce variaciones en la potencia del motor al 95% de confiabilidad para encender una carga de 1280W, donde los tratamientos son diferentes entre si respecto a su significancia.

$$\mu_i \neq \mu_j \quad \text{donde } i, j = A, B, C$$

**TABLA 56***Análisis de Varianza porcentaje de opacidad con una resistencia de 1280W*

	C1R5	C2R5
	0.40	1.80
	0.30	2.00
	0.50	2.20
	0.40	1.70
	0.40	1.80
$Y_i$	2.00	9.50
$\bar{Y}_i$	0.4	1.9
$Y_{..} =$	11.50	$\bar{Y}_{..} =$ 1.15

Resumen

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
C1R5	5	2	0.4	0.005
C2R5	5	9.5	1.9	0.04

Nota: Fuente. Elaboración propia.

SC	GL	CM	F <sub>0</sub>	Valor - p
$SC = \sum_{i=1}^k \frac{Y_i^2}{n_i} - \frac{Y_{..}^2}{N}$	$k - 1$	$CM_{TRAT} = \frac{SC_{TRAT}}{k - 1}$	$\frac{CM_{TRAT}}{CM_E}$	$P(F > F_0)$
$SC_E = SC_T - SC_{TRAT}$	$N - k$	$CM_E = \frac{SC_E}{N - k}$		
$SC_T = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij}^2 - \frac{Y_{..}^2}{N}$	$N - 1$			

- Suma de cuadrados totales

$$SC_T = \left( \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} y_{ij}^2 \right) - \frac{Y_{..}^2}{N}$$

$$SC_T = y_{11}^2 + y_{12}^2 + \dots + y_{24}^2 + y_{25}^2 - \frac{Y_{..}^2}{N}$$

$$SC_T = 0.4^2 + 0.3^2 + \dots + 1.7^2 + 1.8^2 - \frac{11.50^2}{10}$$

$$SC_T = 5.805$$

- Suma de cuadrados de los tratamientos

$$SC_{TRAT} = \sum_{i=1}^k \frac{y_{i.}^2}{ni} - \frac{Y_{..}^2}{N}$$

$$SC_{TRAT} = \frac{2.00^2 + 9.50^2}{5} - \frac{11.50^2}{10}$$

$$SC_{TRAT} = 5.625$$

- Suma de cuadrados del error

$$SC_E = SC_T - SC_{TRAT}$$

$$SC_E = 5.805 - 5.625$$

$$SC_E = 0.180$$

Grados de libertad

- Para  $SC_{TRAT}$ :  $= K - 1$

$$= 2 - 1$$

$$= 1$$

- Para  $SC_E$ :  $= N - K$

$$= 10 - 2$$

$$= 8$$

- Para  $SC_T$ :  $= N - 1$

$$= 10 - 1$$

$$= 9$$

Cuadrados medios:

- Cuadrados medios de los tratamientos:

$$CM_{TRAT} = \frac{SC_{TRAT}}{K - 1}$$

$$CM_{TRAT} = \frac{5.625}{2 - 1}$$

$$CM_{TRAT} = 5.625$$

Cuadrados medios del error:

$$CM_E = \frac{SC_E}{N - K}$$

$$CM_E = \frac{0.18}{10 - 2}$$

$$CM_E = 0.0225$$

- F value:

$$F = \frac{CM_{TRAT}}{CM_E}$$

$$F = \frac{5.625}{0.0225}$$

$$F = 250.0$$

**TABLA 57**

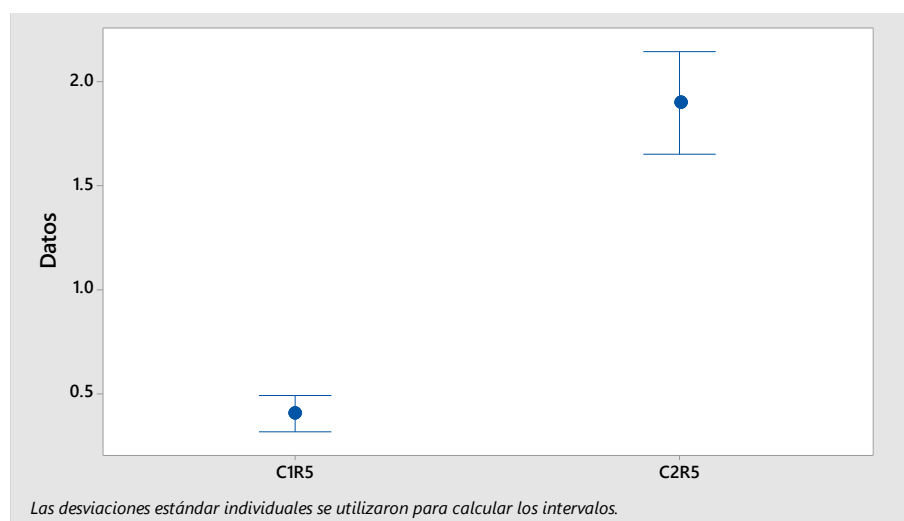
*Análisis de Varianza porcentaje de opacidad con una resistencia de 1280W*

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	5.625	1	5.625	250	2.5598E-07	5.3176551
Dentro de los grupos	0.18	8	0.0225			
Total	5.805	9				

*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

**FIGURA 62**

*Grafica de intervalos de C1R5; C2R5; (95% IC para la media)*



*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

- Con una resistencia de 1280W F ratio de 250.000 es mayor que el valor crítico 5.318 Rechazamos la  $H_0$  y aceptamos la  $H_a$ .
- Esto nos indica que los tratamientos son diferentes entre si respecto a su significancia.
- Como se aprecia en la gráfica con una resistencia de 1280W el promedio de los niveles de opacidad del AVRF es superior en comparación al promedio de los niveles de opacidad del DB5.
- En la tabla se aprecia que los valores de los niveles de opacidad en el AVRF son más variables en comparación a los valores de los niveles del DB5 que son más estables.
- Con respecto al límite máximo permisible indicado en el DS N° 010-2017-MINAM, en el cual indica que el límite permisible de opacidad es de 60%, se observa que los valores del DB5 (0.40%) y AVRF (1.90%), se encuentran dentro de los límites permisibles.

#### 6.1.6 ANÁLISIS DE VARIANZA DEL PORCENTAJE DE OPACIDAD CON UNA RESISTENCIA DE 1600W

¿Cuál es el efecto que produce el cambio de combustible del Motor de Combustión Interna en los niveles de opacidad del motor para encender una carga de 1600 W?



Ho= El cambio de combustible NO produce variaciones en los niveles de opacidad del motor al 95% de confiabilidad para encender una carga de 1600W.

$$\mu A = \mu B = \mu C$$

Ha= El cambio de combustible SI produce variaciones en la potencia del motor al 95% de confiabilidad para encender una carga de 1600W, donde los tratamientos son diferentes entre sí respecto a su significancia.

$$\mu_i \neq \mu_j \quad \text{donde } i,j = A,B,C$$

**TABLA 58**

*Varianza porcentaje de opacidad con una resistencia de 1600W*

	C1R6	C2R6
	0.90	2.60
	1.00	2.00
	1.30	3.10
	0.70	2.90
	1.00	2.60
<b>Y<sub>i</sub></b>	4.90	13.20
<b>Ȳ<sub>i</sub></b>	0.98	2.64
<b>Y<sub>..</sub>=</b>	18.10	<b>Ȳ<sub>..</sub>=</b> 1.81

Resumen

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
C1R6	5	4.9	0.98	0.047
C2R6	5	13.2	2.64	0.173

*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

SC	GL	CM	F <sub>0</sub>	Valor - p
$SC = \sum_{i=1}^k \frac{Y_{i.}^2}{n_i} - \frac{Y_{..}^2}{N}$	$k - 1$	$CM_{TRAT} = \frac{SC_{TRAT}}{k - 1}$	$\frac{CM_{TRAT}}{CM_E}$	$P(F > F_0)$
$SC_E = SC_T - SC_{TRAT}$	$N - k$	$CM_E = \frac{SC_E}{N - k}$		
$SC_T = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij}^2 - \frac{Y_{..}^2}{N}$	$N - 1$			

- Suma de cuadrados totales

$$SC_T = \left( \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} y_{ij}^2 \right) - \frac{Y_{..}^2}{N}$$

$$SC_T = y_{11}^2 + y_{12}^2 + \dots + y_{24}^2 + y_{25}^2 - \frac{Y_{..}^2}{N}$$

$$SC_T = 0.9^2 + 1.0^2 + \dots + 2.9^2 + 2.6^2 - \frac{18.10^2}{10}$$

$$SC_T = 7.769$$

- Suma de cuadrados de los tratamientos

$$SC_{TRAT} = \sum_{i=1}^k \frac{y_{i.}^2}{n_i} - \frac{Y_{..}^2}{N}$$

$$SC_{TRAT} = \frac{4.90^2 + 13.20^2}{5} - \frac{18.10^2}{10}$$

$$SC_{TRAT} = 6.889$$

- Suma de cuadrados del error

$$SC_E = SC_T - SC_{TRAT}$$

$$SC_E = 7.769 - 6.889$$

$$SC_E = 0.880$$

Grados de libertad

- Para  $SC_{TRAT}$ :  $= K - 1$

$$= 2 - 1$$

$$= 1$$

- Para  $SC_E$ :  $= N - K$

$$= 10 - 2$$

$$= 8$$

$$\text{- Para } SC_T: = N - 1$$

$$= 10 - 1$$

$$= 9$$

Cuadrados medios:

- Cuadrados medios de los tratamientos:

$$CM_{TRAT} = \frac{SC_{TR}}{K - 1}$$

$$CM_{TRAT} = \frac{6.889}{2 - 1}$$

$$CM_{TRAT} = 6.889$$

Cuadrados medios del error:

$$CM_E = \frac{SC_E}{N - K}$$

$$CM_E = \frac{0.880}{10 - 2}$$

$$CM_E = 0.11$$

- F value:

$$F = \frac{CM_{TRAT}}{CM_E}$$

$$F = \frac{6.889}{0.11}$$

$$F = 62.6273$$

## TABLA 59

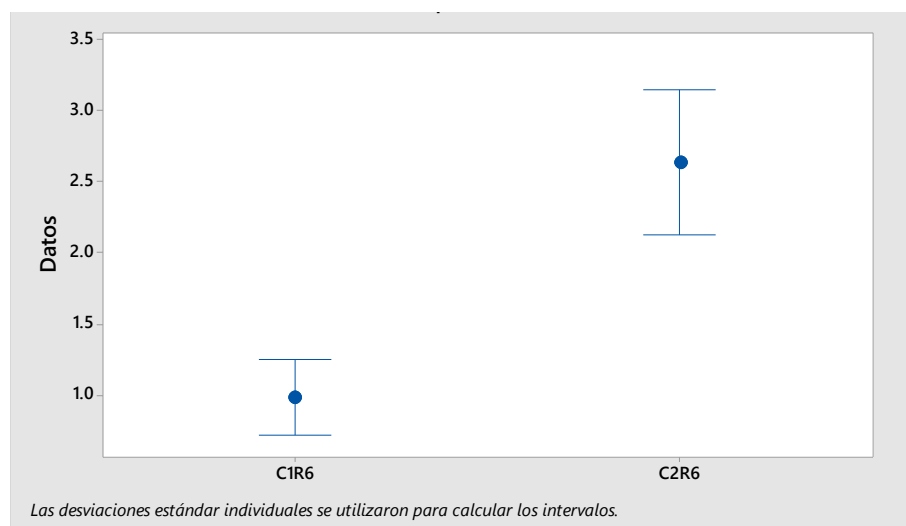
*Análisis de Varianza porcentaje de opacidad con una resistencia de 1600W*

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	6.889	1	6.889	62.62727	4.7209E-05	5.3176551
Dentro de los grupos	0.88	8	0.11			
Total	7.769	9				

Nota: Fuente. Elaboración propia.

### FIGURA 63

Grafica de intervalos de C1R6; C2R6; (95% IC para la media)



Nota: Fuente. Elaboración propia.

- Con una resistencia de 1600W F ratio de 62.627 es mayor que el valor crítico 5.318  
Rechazamos la  $H_0$  y aceptamos la  $H_a$ .
- Esto nos indica que los tratamientos son diferentes entre si respecto a su significancia.
- Como se aprecia en la gráfica con una resistencia de 1600W el promedio de los niveles de opacidad del AVRF es superior en comparación al promedio de los niveles de opacidad del DB5.

- En la tabla se aprecia que los valores de los niveles de opacidad en el AVRF son más variables en comparación a los valores de los niveles del DB5 que son más estables.
- Con respecto al límite máximo permisible indicado en el DS N° 010-2017-MINAM, en el cual indica que el límite permisible de opacidad es de 60%, se observa que los valores del DB5 (0.98%) y AVRF (2.64%), se encuentran dentro de los límites permisibles.

## CAPITULO VII

## EVALUACIÓN ECONÓMICA

## 7.1 COSTOS TOTALES DEL MÓDULO EXPERIMENTAL

En los costos totales del módulo experimental se consideran los siguientes:

- Generador diésel de 3.0 KW marca Phanter.
- Adaptaciones electromecánicas del generador.
- Tablero de luces para freno eléctrico.

TABLA 60

*Costos Totales Modulo Experimental*

MÓDULO EXPERIMENTAL						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO		COSTO TOTAL	
Generador diésel 3.0 KW	Und.	1	S/	3,200.00	S/	3,200.00
Manguera de alta temperatura 5/16"	metro	1	S/	18.00	S/	18.00
Manguera transparente 5 mm	metro	3	S/	3.50	S/	10.50
Válvula de paso 5 mm	Und.	3	S/	6.00	S/	18.00
Conector T roscado	Und.	1	S/	15.00	S/	15.00
Conector adaptado Y	Und.	1	S/	45.00	S/	45.00
Conector recto	Und.	2	S/	3.00	S/	6.00
Tanque metálico adaptado	Und.	1	S/	60.00	S/	60.00
Pirómetro digital XMTG-818(J)	Und.	1	S/	157.00	S/	157.00
Termocupla tipo (J)	Und.	1	S/	18.00	S/	18.00
Contactador 18A	Und.	1	S/	32.00	S/	32.00
Resistencia 1000W	Und.	1	S/	45.00	S/	45.00
Tablero pedestal de madera	Und.	1	S/	180.00	S/	180.00
Termomagnético 30A	Und.	1	S/	45.00	S/	45.00
Reflector 500W	Und.	4	S/	18.00	S/	72.00
Foco incandescente 100W	Und.	7	S/	2.80	S/	19.60
Foco incandescente 50W	Und.	5	S/	2.80	S/	14.00
Foco led 15W	Und.	2	S/	9.50	S/	19.00

Foco led 5W	Und.	4	S/	7.30	S/	29.20
Socket circular	Und.	18	S/	3.50	S/	63.00
Interruptor	Und.	20	S/	2.00	S/	40.00
Cable eléctrico THW 90	metro	10	S/	2.20	S/	22.00
<b>TOTAL</b>					<b>S/</b>	<b>4,128.30</b>

Nota: Fuente. Elaboración propia.

### 7.1.1 EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA GENERACIÓN DE ENERGÍA DEL MÓDULO EXPERIMENTAL.

Para la evaluación económica de generación de energía se evaluará los costos fijos y variables para los combustibles DB5 y AVRF, se tomará en cuenta solo los elementos intervinientes en la generación, es decir no se tomará en cuenta el tablero de luces.

### 7.1.2 COSTOS TOTALES DE GENERADORES

#### 7.1.2.1 COSTOS GENERADOR DB5

El generador DB5 se encuentra listo para su operación al momento de su compra, por lo que solo se considera el costo del equipo.

**TABLA 61**

*Costo generador DB5 1.6 kW*

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Generador diésel 3.0 KW	Und.	1	S/ 3,200.00	S/ 3,200.00
<b>TOTAL</b>				<b>S/ 3,200.00</b>

<b>Costo del KW instalado del generador DB5</b>	<b>S/ 2,000.00</b>
---	--------------------

Nota: Fuente. Elaboración propia.

### 7.1.2.2 COSTOS GENERADOR AVRF

El generador AVRF para su puesta en funcionamiento necesitó modificaciones especificadas en capítulos anteriores, por lo que se considera los costos del equipo y costos de modificación del equipo.

**TABLA 62**

*Generador AVRF 1.6 KW*

GENERADOR AVRF 1.6 KW							
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO		COSTO TOTAL		
Generador diésel 3.0 KW	Und.	1	S/	3,200.00	S/	3,200.00	
Manguera de alta temperatura 5/16"	metro	1	S/	18.00	S/	18.00	
Manguera transparente 5 mm	metro	3	S/	3.50	S/	10.50	
Válvula de paso 5 mm	Und.	3	S/	6.00	S/	18.00	
Conector T roscado	Und.	1	S/	15.00	S/	15.00	
Conector adaptado Y	Und.	1	S/	45.00	S/	45.00	
Conector recto	Und.	2	S/	3.00	S/	6.00	
Tanque metálico adaptado	Und.	1	S/	60.00	S/	60.00	
Pirómetro digital XMTG-818(J)	Und.	1	S/	157.00	S/	157.00	
Termocupla tipo (J)	Und.	1	S/	18.00	S/	18.00	
Contactador 18A	Und.	1	S/	32.00	S/	32.00	
Papel filtro de bajo transito	Und.	10	S/	3.50	S/	35.00	
<b>TOTAL</b>					<b>S/</b>	<b>3,614.50</b>	

**Costo del KW instalado del generador AVRF S/ 2,259.06**

*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

### 7.1.3 COSTOS FIJOS Y COSTOS VARIABLES

El gasto necesario para su producción de energía eléctrica se componen de costo fijo y un costo variable que depende de la carga suministrada.



### 7.1.3.1 COSTOS FIJOS

Son aquellos costos que están directamente relacionados con el costo de la construcción y equipamiento, se debe considerar los siguientes aspectos:

#### a) Costos de equipo

Se tendrá diferentes consideraciones para cada combustible.

- **DB5:** Se considerará solo el costo del generador (precio de tienda).
- **AVRF:** Se considerará el costo del generador más el costo de los materiales e insumos utilizados en su modificación.

#### b) Gastos de Mantenimiento y renovación

Que incluye el reemplazo periódico de las piezas desgastadas, y todas las actividades que incluyen el mantenimiento preventivo y correctivo electromecánico.

### 7.1.3.2 COSTOS VARIABLES

Dentro de los costos variables se consideran los siguientes aspectos:

#### a) Gastos por combustible utilizado

Este costo del combustible dependerá del combustible que se esté usando, para el caso del DB5 se utilizará el costo promedio de las estaciones de servicio y para el AVRF se utilizará el precio de compra de algunos recolectores, dependiendo del número de horas de utilización el costo influirá en la determinación del KWH generado.

#### b) Consumo específico de combustible

Depende de la eficiencia del grupo a utilizar y del tipo de combustible. Este dato nos ayudará a conocer el precio del combustible por KWh.

#### c) El número de horas de utilización

El cálculo se realizará a la medición de 1 año es decir 8760 horas.

### 7.1.3.3 COSTOS TOTALES

Los costos totales (gastos anuales) son la suma de los gastos fijos y variables. Los gastos fijos incluirán el costo total del generador (dependerá del tipo de combustible, si se incluye o no las modificaciones), afectado por los coeficientes de interés debiendo tomar en cuenta los gastos de reparaciones y mantenimiento programados. Los gastos de esta clase que corresponden a un año se suponen proporcionales al capital de la instalación. Los gastos fijos anuales están dados por la siguiente relación:

$$G_f = P_{max} * i * p$$

Donde:

- $G_f$ : Gastos fijos
- $P_{max}$ : Potencia máxima del generador (KW)
- $p$ : Costo de la instalación por kW de potencia instalada (US\$/kW)
- $i$ : Coeficiente de interés y amortización de capital

Para los gastos variables se calcula a través del gasto de US\$ de combustible que se usa para producir 1 kWh, y la duración del aprovechamiento de la central durante un año, que son el número de horas de utilización, estos gastos están dados por la siguiente relación:

$$G_v = P_{max} * c * h$$

Donde:

- $c$ : Costo de combustible en (S/. / Kw-hora)
- $h$ : Número de horas de utilización anual (horas)
- $P_{max}$ : Potencia máxima del generador (Kw).

Los gastos totales que demanda el funcionamiento de las centrales durante un año serán:

$$G = G_f + G_v = P_{max} * i * p + P_{max} * c * h$$

Si referimos los gastos totales a 1 kW de potencia instalada, el gasto anual unitario en

soles por potencia instalada (S/. / kW) será:

$$\frac{G}{P_{max}} = i * p + c * h$$

Si a la ecuación anterior la dividimos entre el número de horas de utilización anual, el gasto en soles por Kwh generado estará dado por:

$$g = \frac{G}{h * P_{max}} = \frac{i * p}{h} + c$$

Donde:

- $g$ : gasto en soles por Kwh generado

También podremos evaluar el comportamiento del costo del kWh generado con la ecuación anterior a lo largo de un período dependiendo del número de horas de utilización de la central.

#### 7.1.4 DETERMINACIÓN DE COSTOS DE KWH INSTALADO Y KWH PRODUCIDO

Del análisis realizado de los gastos fijos y gastos variables, podemos obtener una serie de conclusiones que nos permitan realizar una evaluación económica.

Una vez conocidos los costos totales de la instalación, así como definidos los factores referentes al reemplazo de piezas y mantenimiento del equipo, podemos efectuar la comparación de los costos de generación en función a las horas de utilización.

- **Calculo de c para análisis económico (c costo específico de combustible)**

Gasto específico de combustible  $g_c$ :

$$g_{CBD5} = 282.824 \frac{gr}{kW-h} \quad ; \quad \rho_{BD5} = 835.1 \frac{kg}{m^3}$$

$$g_{CAVRF} = 301.904 \frac{gr}{kW-h} \quad ; \quad \rho_{AVRF} = 853.9 \frac{kg}{m^3}$$

Para el DB5:

$$c_{BD5} = 17 \frac{S/.}{gln} \cdot \left( \frac{1 gln}{0.00379 m^3} \right) \cdot \left( \frac{1 m^3}{835.1 kg} \right) \cdot \left( 0.282824 \frac{kg}{kW-h} \right)$$

$$c_{BD5} = 1.519 \frac{S/}{kW - h}$$

Para el AVRF:

$$c_{AVRF} = 1.1 \frac{S/}{L} \left( \frac{1 L}{0.001 m^3} \right) \cdot \left( \frac{1 m^3}{853.9 kg} \right) \cdot \left( 0.301904 \frac{kg}{kW - h} \right)$$

$$c_{AVRF} = 0.389 \frac{S/}{kW - h}$$

**TABLA 63**

*Costo del kW/h instalado y kW/hora generado con generador DB5 1.6 KW*

<i>h (horas)</i>	<i>i</i>	<i>p</i> (S./kW i)	<i>c</i> (S./kWh)	<i>C</i> (S./kWh i)	<i>g</i> (S./kWh g)
50	0.14	2,000	1.519	2355.950	7.119
500	0.14	2,000	1.519	3039.500	2.079
1000	0.14	2,000	1.519	3799.000	1.799
1500	0.14	2,000	1.519	4558.500	1.706
2000	0.14	2,000	1.519	5318.000	1.659
2500	0.14	2,000	1.519	6077.500	1.631
3000	0.14	2,000	1.519	6837.000	1.612
3500	0.14	2,000	1.519	7596.500	1.599
4000	0.14	2,000	1.519	8356.000	1.589
4500	0.14	2,000	1.519	9115.500	1.581
5000	0.14	2,000	1.519	9875.000	1.575
5500	0.14	2,000	1.519	10634.500	1.570
6000	0.14	2,000	1.519	11394.000	1.566
6500	0.14	2,000	1.519	12153.500	1.562
7000	0.14	2,000	1.519	12913.000	1.559
7500	0.14	2,000	1.519	13672.500	1.556
8000	0.14	2,000	1.519	14432.000	1.554
8500	0.14	2,000	1.519	15191.500	1.552
8760	0.14	2,000	1.519	15586.440	1.551

*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

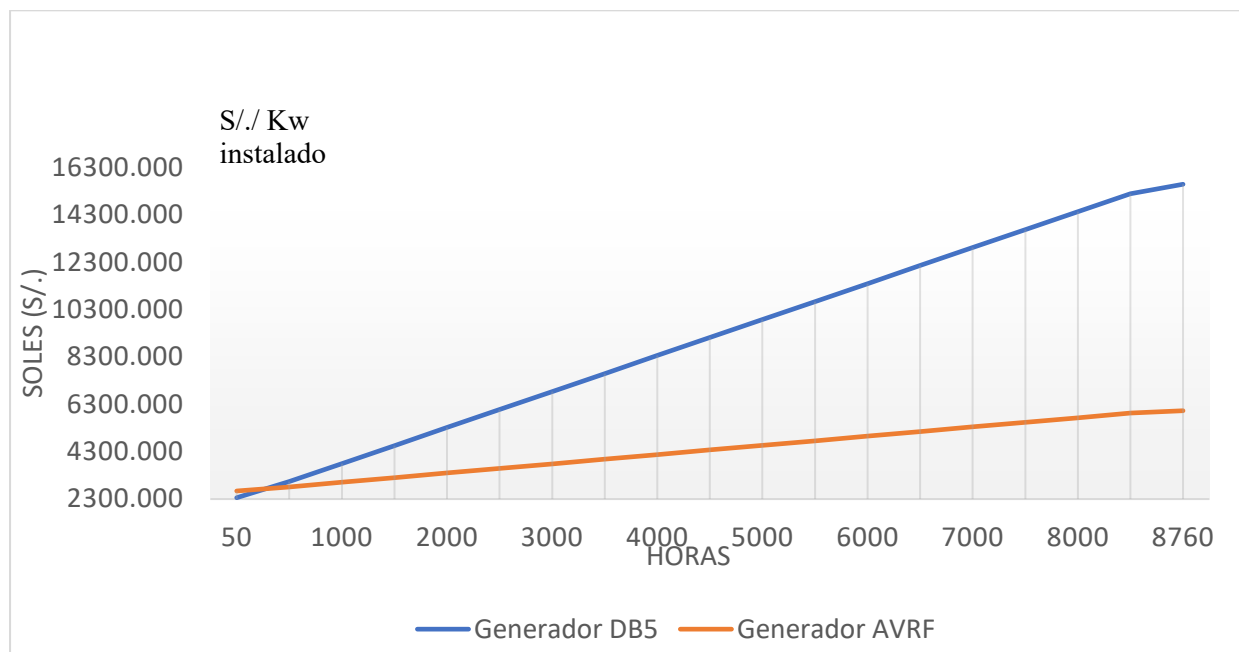
**TABLA 64***Costo del kW/h instalado y kW/hora generado con generador AVRF 1.6 KW*

<i>h (horas)</i>	<i>i</i>	<i>p</i> (S./kW i)	<i>c</i> (S./kWh)	<i>C</i> (S./kWh i)	<i>g</i> (S./kWh g)
50	0.16	2,259	0.389	2639.963	7.618
500	0.16	2,259	0.389	2815.013	1.112
1000	0.16	2,259	0.389	3009.513	0.750
1500	0.16	2,259	0.389	3204.013	0.630
2000	0.16	2,259	0.389	3398.513	0.570
2500	0.16	2,259	0.389	3593.013	0.534
3000	0.16	2,259	0.389	3787.513	0.509
3500	0.16	2,259	0.389	3982.013	0.492
4000	0.16	2,259	0.389	4176.513	0.479
4500	0.16	2,259	0.389	4371.013	0.469
5000	0.16	2,259	0.389	4565.513	0.461
5500	0.16	2,259	0.389	4760.013	0.455
6000	0.16	2,259	0.389	4954.513	0.449
6500	0.16	2,259	0.389	5149.013	0.445
7000	0.16	2,259	0.389	5343.513	0.441
7500	0.16	2,259	0.389	5538.013	0.437
8000	0.16	2,259	0.389	5732.513	0.434
8500	0.16	2,259	0.389	5927.013	0.432
8760	0.16	2,259	0.389	6028.153	0.430

*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

**FIGURA 64**

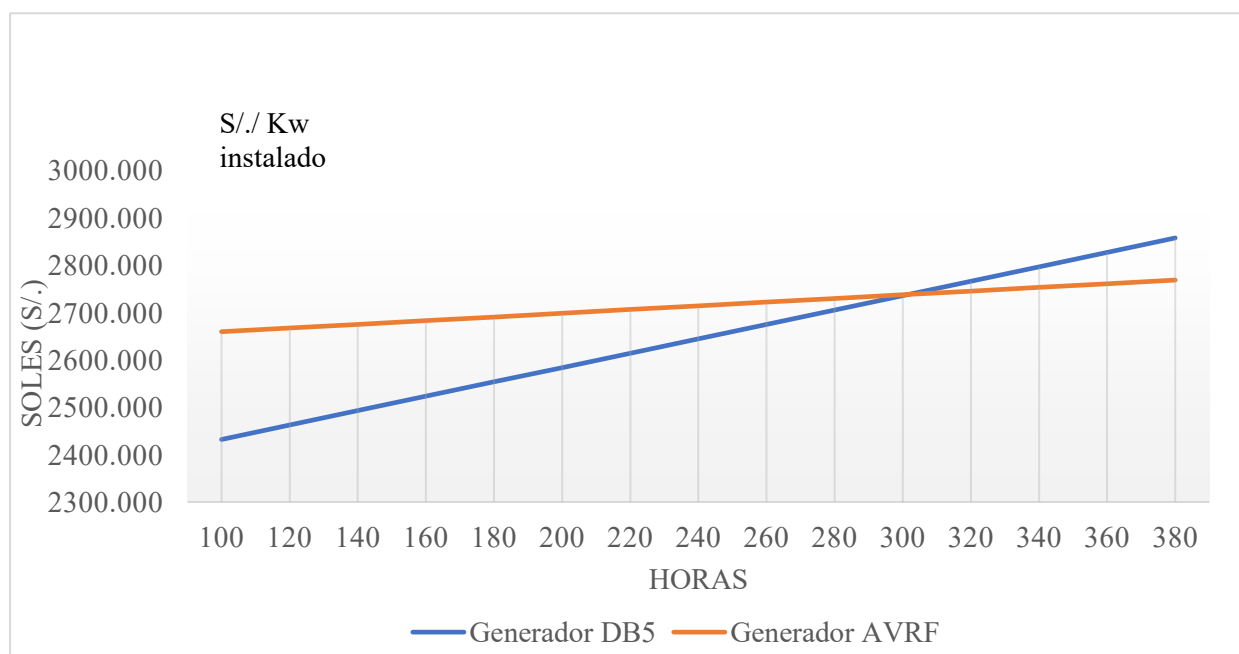
Costo de kW instalado (0 – 8760 horas)



Nota: Fuente. Elaboración propia.

**FIGURA 65**

Costo de kW instalado (0 – 380 horas)

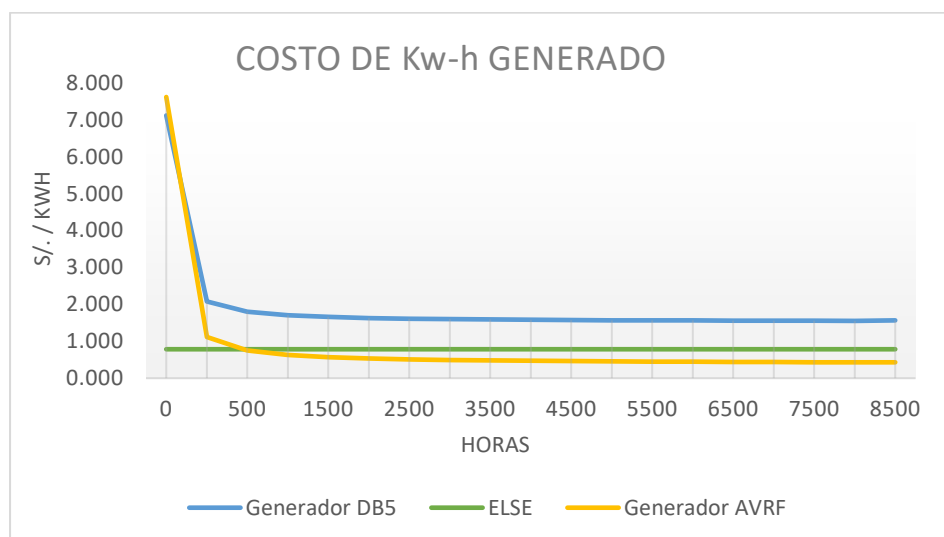


Nota: Fuente. Elaboración propia.

Las figuras 63 y 64 muestran el costo de KW instalado, en la primera se visualiza la evolución de los costos en 8760 horas de funcionamiento donde se observa que los costos de KW instalado del DB5 alcanza los 15 586.44  $S/./kWh$  supera ampliamente a los costos del AVRF que alcanza 6 028.15  $S/./kWh$ , en la segunda figura (figura 64) se visualiza que al inicio los costos de KW instalado del AVRF alcanza los 2 639.96  $S/./kWh$  superando a los costos del DB5 que alcanza 2 355.95, los costos se igualan a las 300 horas aproximadamente con y posterior a eso los costos del DB5 crecen en mayor índice superando a los costos del AVRF.

### FIGURA 66

*Costo de Kw-h generado*



*Nota:* Fuente. Elaboración propia.

En la figura 65 se visualiza el costo de KW-h generado, donde se observa que el costo del KW-h generado de DB5 alcanza  $S/. 7.119$  y el costo del KW-h del AVRF alcanza  $S/. 7.618$ . Estos costos decrecen de forma parecida hasta aproximadamente 250 horas donde empieza a diferenciarse ambos costos, llegando a una estabilidad de costos a las 2000 h, donde el costo del KW-h generado de DB5 alcanza  $S/. 1.66$  y el costo del KW-h del AVRF alcanza  $S/. 0.57$ . También se observa una comparativa con el costo de KW-h generado si lo realizaríamos mediante la utilización de la red eléctrica de Electro Sur Este (ELSE) que alcanza los  $S/. 0.784$  (valor tomado de un recibo de luz).

## CONCLUSIONES

- Del estudio experimental de la influencia en la potencia y opacidad del uso del AVRF como combustible en un motor encendido por compresión, en comparación del DB5, se concluye que las potencias de ambos combustibles son parecidos, con el DB5 se alcanza hasta una resistencia de 2600W y con el AVRF se alcanza hasta una resistencia de 2500W, lo cual representa una eficiencia para el AVRF de 96% respecto al 100% del DB5. Los porcentajes de opacidad son más estables en el uso del DB5 y más irregulares en el uso del AVRF, lo que indica que se tiene una ligera irregularidad en la combustión con el AVRF, llegando a un valor de 3.20% para el DB5 para su resistencia máxima de 2600W y un valor de 8.26% para el AVRF para su resistencia máxima de 2500W.
- Se diseño y adaptó un módulo experimental, al cual se le adapto 2 depósitos de combustible para los 2 combustibles utilizados en el experimento, se realizó las adaptaciones para poder realizar un tratamiento térmico adecuado al combustible Aceite vegetal Residual de Frituras (AVRF) para alcanzar la temperatura adecuada, para poder equiparar las propiedades del combustible DB5 en términos de densidad y viscosidad. Mediante pruebas de laboratorio se determinó que el DB5 a una temperatura ambiente de 15°C alcanza una viscosidad dinámica  $\eta=4.0769$  mPA.s y una densidad  $\rho=0.8323$  g/cm<sup>3</sup>, con esto se determina que el AVRF tiene que ser llevado a una temperatura mínima de 118.04°C para equiparar las propiedades del DB5, el pirómetro es calibrado a un rango de temperatura de 120°C – 123°C. También se realizó la adaptación del AVRF mediante filtrado para su uso en el módulo experimental.
- Se diseño y ejecutó el experimento donde para las pruebas preexperimentales se tomó 10 muestras con combustible DB5 a 1000W de resistencia, teniendo como resultado los coeficientes de variación de: Voltaje=0.295%, Amperaje=0.302%, RPM=0.377%,



estos resultados siendo menores al 15% y siguiendo el diseño del experimento se decidió tomar 5 muestras por tratamiento. En cuanto a los parámetros calculados se tiene las eficiencias efectivas del sistema para 320W, 640W, 960W, 1280W y 1600W, siendo para el DB5 6.9%, 12.3%, 15.7%, 18.4% y 20.5% respectivamente y para el AVRF 6.5%, 11.4%, 14.8%, 16.7% y 18.6% respectivamente. En cuanto a las mediciones de opacidad el coeficiente de absorción K para 0W, 320W, 640W, 960W, 1280W y 1600W, siendo para el DB5  $0.01\text{ m}^{-1}$ ,  $0.01\text{ m}^{-1}$ ,  $0.02\text{ m}^{-1}$ ,  $0.02\text{ m}^{-1}$ ,  $0.01\text{ m}^{-1}$  y  $0.02\text{ m}^{-1}$  respectivamente y para el AVRF  $0.08\text{ m}^{-1}$ ,  $0.02\text{ m}^{-1}$ ,  $0.15\text{ m}^{-1}$ ,  $0.03\text{ m}^{-1}$ ,  $0.04\text{ m}^{-1}$  y  $0.06\text{ m}^{-1}$  respectivamente, todas estas medidas se encuentran dentro de los límites permisibles de  $2.1\text{ m}^{-1}$  especificados en el DS-010-2017-MINAM.

- Analizando mediante la matemática estadística y del experimento realizado se concluye que en los niveles de resistencia de 320W con  $F=15.194$ , 640W con un  $F=8.030$  y 960W con un  $F=6.662$  los grupos son distintos entre si respecto a su significancia para un  $F_0=5.318$ ; en los niveles de resistencia de 960W con un  $F=3.744$ , 1280W con un  $F=3.534$  y 1600W con un  $F=0.099$ , los grupos son iguales entre si respecto a su significancia para un  $F_0=5.318$ . También se realizó pruebas para determinar las potencias máximas alcanzadas por los combustibles en el módulo experimental, concluyendo que, el DB5 logra trabajar hasta una resistencia de 2600W con una generación de potencia al freno de 3229.4W, el AVRF logra trabajar hasta una resistencia de 2500W con una generación de potencia al freno de 3135.3W; a mayores resistencias con cada combustible el motor se vuelve inestable hasta apagarse; con esto se observa que en cuanto a generación máxima de potencia en el módulo experimental el AVRF es eficiente en 96% respecto al DB5.
- Analizando mediante la matemática estadística en lo referente a los niveles de opacidad en la medida de porcentaje de opacidad, se concluye que en los niveles de resistencia

0W con un  $F=10.452$ , 320W con un  $F=6.614$ , 640W con un  $F=10.392$ , 960W con un  $F=5.556$ , 1280W con un  $F=250$  y 1600W con un  $F=62.627$  los grupos son distintos entre sí respecto a su significancia para un  $F_0=5.318$ . En las tablas se puede apreciar que el AVRF es el combustible con mayor variación y mayor nivel de porcentaje de opacidad en los diferentes niveles de resistencia, llegando a su mayor nivel a los 640W de resistencia con 12.1% de opacidad, en cambio el DB5 es más estable y con menores niveles de opacidad, llegando a su mayor nivel a los 1600W de resistencia con 1.3% de opacidad; esto posiblemente debido a que el motor está diseñado para operar con combustible DB5. A pesar de que el combustible AVRF tiene una mayor variación y nivel de opacidad, todos los valores hallados se encuentran dentro de los límites permisibles (60%) de la norma peruana indicada en el DS N° 010-2017-MINAM. Los niveles superiores de opacidad del AVRF frente al DB5 no necesariamente indica que el AVRF se más contaminante que el DB5, ya que su composición química es distinta y por ende los productos de la combustión también lo son.

- En un cálculo de 8760 horas de funcionamiento los costos de KW instalado del DB5 alcanza los 15 586.44  $S/./kWh$  supera a los costos del AVRF que alcanza 6 028.15  $S/./kWh$ , al inicio los costos de KW instalado del AVRF alcanza los 2 639.96  $S/./kWh$  superando a los costos del DB5 que alcanza 2 355.95, los costos se igualan a las 300 horas aproximadamente con y posterior a eso los costos del DB5 crecen en mayor índice que los costos del AVRF. Se visualiza que el costo del KW-h generado de DB5 alcanza  $S/. 7.119$  y el costo del KW-h del AVRF alcanza  $S/. 7.618$ . Estos costos decrecen de forma parecida hasta aproximadamente 250 horas donde empieza a diferenciarse ambos costos, llegando a una estabilidad de costos a las 2000 h, donde el costo del KW-h generado de DB5 alcanza  $S/. 1.66$  y el costo del KW-h del AVRF alcanza  $S/. 0.57$ .

## **RECOMENDACIONES**

- Experimentar con distintos tipos de AVRF, para determinar la eficiencia de cada uno en cuanto a su potencia y niveles de opacidad.
- Experimentar con la combustión del AVRF al realizar modificaciones en el sistema de alimentación (aire – combustible), para analizar si es posible mejorar la combustión de este combustible al realizar estos cambios.
- Realizar un análisis de productos de la combustión en un cromatógrafo de gases para conocer exactamente la composición de los gases de la combustión y realizar una comparación y valorización sobre los niveles de contaminación de cada combustible.

## REFERENCIAS

- Alvares Flores, Jesus Andre; Navarro Odriozola, Tomas; Casanova Russell, Juan;. (2002). *Maquinas termicas motoras* (Primera ed., Vol. 1). Barcelona , Barcelona, España: Ediciones Universidad Politecnica de Catalunya. Recuperado el 20 de Febrero de 2022
- ÁVILA CALDERÓN , C. A. (Abril de 2014). RECICLAJE DE ACEITE VEGETAL DE FRITURAS PARA USO COMO BIOCMBUSTIBLE EN MOTORES DIESEL EN DIFERENTES PROPORCIONES. *PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AUTOMOTRIZ*. Latacunga, Ecuador , Ecuador: Universidad de las fuerzas Armadas.
- CACERES GUERRERO, F. O. (2015). *GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA USANDO BIODIESEL DE ACEITE DE PIÑÓN (Jatropha curcas)* [Tesis de Maestria, UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA]. Repositorio institucional Facultad de Ingenieria Agricola, Lima, Lima, Perú. Recuperado el 22 de Octubre de 2022, de <https://hdl.handle.net/20.500.12996/2152>
- FERNADEZ RUIZ, D. A., & RON LANCHIMBA, E. A. (2010). *ADAPTAR EL MOTOR A DIESEL CHANG FA DE 22 HP M/S195H0* [Tesis Pre-grado, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio institucional, Ibarra, Imbabura, Ecuador. Recuperado el 15 de Octubre de 2022
- Fidalgo Sanchez , Jose Antonio; Fernandez Perez, Manuel Ramon; Fernandez Fernandez, Noemi. (2016). *Tecnologia Industrial 2*. Madrid , España: Paraninfo S.A. Recuperado el 12 de Enero de 2022
- Garcia, E. (2015). *Analisis termico y de opacidad de motores diesel comparando diesel y biodiesel como combustible*. San Juan del Rio.
- INEI, N. d. (18 de Febrero de 2014). *INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA E INFORMATICA*. Obtenido de <http://m.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/noticias/nota-de-prensa-no-024-2014-inei.pdf>
- Jovaj, M. (1982). *Motores de automovil*. Moscú: MIR.
- Levy, D. (10 de Diciembre de 2010). *college student at UNAPEC university*. Obtenido de Slide Share: <https://es.slideshare.net/scourge/el-biodiesel>
- LLERENA LAURA, A. E., & ALLERI CRUZ, R. (2017). *INFLUENCIA DE LA VARIACIÓN PORCENTUAL DE BIODIESEL EN LOS PRODUCTOS DE LA COMBUSTIÓN Y LA POTENCIA EN UN MODÚLO CONSTRUIDO A PARTIR DE UN MOTOR DE ENCENDIDO POR COMPRESIÓN EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2017*[Tesis Pregrago, UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD]. Repositorio institucional Facultad de Ingenieria Electrica, Electronica, Mecanica Y Minas, Cusco,

Cusco, Perú. Recuperado el 26 de Octubre de 2022, de <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/2683595>

Luis Aires Dupré. (6 de julio de 2016). *P Statistical Review of World Energy 2016*. Obtenido de [https://www.bp.com/es\\_es/spain/prensa/notas-de-prensa/2016/bp-statistical-review-world-energy-2016.html](https://www.bp.com/es_es/spain/prensa/notas-de-prensa/2016/bp-statistical-review-world-energy-2016.html)

Meganeboy, D. (Agosto de 2014). *Aficionados a la Mecanica*. Obtenido de Descripción de las sustancias que integran los gases de escape

Meganeboy, D. (2014). *Aficionados a la Mecanica*. Obtenido de <http://www.aficionadosalamecanica.net/motor-estructura.htm>

Perez, M. D. (2001). *DESARROLLO Y ENSAYO DE NUEVOS BIOCMBUSTIBLES PARA MOTORES DIESEL PROCEDENTES DE DIVERSAS SEMILLAS OLEAGINOSAS Y DE GRASAS VEGETALES USADAS [Tesis doctorado, Universidad de Cordoba]*. Repositorio institucional, CORDOBA, ANDALUCIA, ESPAÑA. Recuperado el 12 de Septiembre de 2022

PERU21, R. (13 de Octubre de 2017). *PERU21*. Obtenido de El parque vehicular y combustibles son los grandes responsables de la contaminación, señala experto: <https://peru21.pe/peru/parque-vehicular-combustibles-son-grandes-responsables-contaminacion-senala-experto-380009>

SANAGUANO SALGUERO, H. D. (2018). *CONVERSION DE LOS ACEITES RESIDUALES DE LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS EN BIODIESEL [Tesis de Doctorado, UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS]*. Repositorio Institucional Facultad de Ingenieria Geologica, Minera, Metalurgica y Geografica Unidad de Postgrado, Lima, Lima, Perú. Recuperado el 25 de Octubre de 2022, de <https://hdl.handle.net/20.500.12672/7315>

Torres Aldaco, Alejandro; Castillo Barragan , Victor ; Lugo Leyte, Raul; Lugo Mendez, Helen; Cervantes Ruiz, Judith; Aguilar Valdivia, Ricardo. (2017). PODER CALORÍFICO INFERIOR DE BIODIESEL DE DISTINTAS FUENTES Y SU DESEMPEÑO EN EL MOTOR. *MEMORIAS DEL XXX CONGRESO*, (pág. 10). Pachuca. Recuperado el 22 de 01 de 2020

*Wikipedia*. (12 de 02 de 2016). Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/Motor\\_di%C3%A9sel](https://es.wikipedia.org/wiki/Motor_di%C3%A9sel)

# ANEXOS

**ANEXO A**

**MATRIZ DE CONSISTENCIA**

**Título: ANÁLISIS DE LA POTENCIA Y OPACIDAD EN UN MOTOR ENCENDIDO POR COMPRESIÓN DE 3.0 KW, UTILIZANDO ACEITE VEGETAL RESIDUAL DE FRITURA (AVRF) COMO COMBUSTIBLE, MEDIANTE EL ANÁLISIS EXPERIMENTAL.**

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES
<p><b>Problema general:</b> ¿Es posible analizar cómo influye en la potencia y opacidad, en un motor encendido por compresión de 3.0 KW, con el uso del aceite vegetal residual de fritura (AVRF) como combustible, mediante el análisis experimental, en comparación al DB5?</p>	<p><b>Objetivo general:</b> Analizar cómo influye en la potencia y opacidad, en un motor encendido por compresión de 3.0 KW, con el uso del aceite vegetal residual de fritura (AVRF), como combustible, mediante el análisis experimental, en comparación al DB5.</p>	<p><b>Hipótesis general:</b> Si influye en la potencia y opacidad, en un motor encendido por compresión de 3.0 KW, con el uso del aceite vegetal residual de fritura (AVRF) como combustible, mediante el análisis experimental, en comparación al DB5.</p>	<p><b>Independiente</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aceite Vegetal Residual de Frituras (AVRF).</li> <li>• DB5.</li> </ul>
<p><b>Problemas específicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Como se puede realizar pruebas en un motor encendido por compresión de 3.0 KW, para analizar la potencia y opacidad, utilizando los combustibles: aceite vegetal residual (AVRF), DB5?</li> </ul>	<p><b>Objetivos específicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseñar y adaptar un módulo experimental en base a un motor encendido por compresión de 3.0 KW, para realizar pruebas y analizar la potencia y opacidad, utilizando los combustibles: Aceite Vegetal Residual de Frituras (AVRF), DB5.</li> </ul>	<p><b>Hipótesis específicas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El módulo experimental en base a un motor encendido por compresión de 3.0 KW, nos permite realizar pruebas y analizar la potencia y opacidad utilizando los combustibles: Aceite Vegetal Residual de Frituras (AVRF), DB5.</li> </ul>	<p><b>Dependiente</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Potencia.</li> <li>• Índice de Opacidad.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Cómo se puede analizar las mediciones de potencia y opacidad obtenidas en el módulo experimental en base a las variables dependientes e independientes?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseñar y ejecutar un experimento para analizar las mediciones de potencia y opacidad obtenidas en el módulo experimental en base a las variables dependientes e independientes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El diseño y la ejecución del experimento nos permite analizar las mediciones de potencia y opacidad obtenidas en el módulo experimental en base a las variables dependientes e independientes.</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Existe variación entre la potencia obtenida con el Aceite Vegetal Residual de Frituras (AVRF) y las potencias obtenidas con el DB5?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analizar mediante la matemática estadística la variación entre la potencia obtenida con el Aceite Vegetal Residual de Frituras (AVRF) y las potencias obtenidas con el DB5.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La potencia obtenida con el Aceite Vegetal Residual de Frituras (AVRF) es menor en comparación a las obtenidas con el DB5.</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Existe variación entre los niveles de opacidad del Aceite Vegetal Residual de Frituras (AVRF) y los niveles de opacidad del DB5?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analizar mediante la matemática estadística la variación entre los niveles de opacidad del Aceite Vegetal Residual de Frituras (AVRF) y los niveles de opacidad del DB5.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los niveles de opacidad obtenidos con el Aceite Vegetal Residual de Frituras (AVRF) es mayor que las obtenidas con el DB5.</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Existe variación en los costos de generación de energía entre el Aceite Vegetal Residual de Frituras y el DB5?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar una evaluación económica para determinar si existe variación en los costos de generación de energía entre el Aceite Vegetal Residual de Frituras y el DB5.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los costos de generación de energía con el Aceite Vegetal Residual de Frituras son menores en comparación a las obtenidas con el DB5.</li> </ul>	

## ANEXO B

- FICHA TÉCNICA GENERADOR DIESEL PANTHER TDG4500X

# GENERADOR DIESEL PANTHER TDG4500X



**SOPORTE TECNICO**



# GENERADOR DIESEL PANTHER TDG4500X



## Especificaciones Técnicas

FRECUENCIA DE SALIDA DE CORRIENTE ALTERNA	60Hz
VOLTAJE DE SALIDA DE CORRIENTE ALTERNA	220V
POTENCIA ELECTRICA NOMINAL DE SALIDA	2800W
POTENCIA ELECTRICA MÁXIMA DE SALIDA	3000W
VOLTAJE DE SALIDA/CORRIENTE CONTINUA	12V/8.3A
FASE	1
FACTOR DE POTENCIA	1
MOTOR	PANTHER
MODELO	SPK178F
DIAMETRO X CILINDRO	78 X 62 MM
DESPLAZAMIENTO	296CC
POTENCIA (HP) / VELOCIDAD (rpm)	5.4/3600
CILINDROS	1
CAPACIDAD DEL TANQ.	3.5L
CONSUMO DE COMB.	1.1 L/Hr.
TIEMPOS	4
ENFRIAMIENTO	AIRE
COMBUSTIBLE	DIESEL
SISTEMA DE ARRANQUE	MANUAL

LOS DATOS PUEDEN VARIAR SIN PREVIO AVISO

**SOPORTE TECNICO**

## ANEXO C

### ➤ FICHA TÉCNICA VISCOSÍMETRO SVM 3000 ANTON PAAR



## Viscosidad cinemática: Viscosímetro SVM 3000 Stabinger

El viscosímetro SVM 3000 mide la viscosidad dinámica y la densidad de aceites y combustibles según la norma ASTM D7042. Con esos datos, el viscosímetro calcula automáticamente la viscosidad cinemática y suministra resultados absolutamente reproducibles según las normas ISO 3104 o ASTM D445. Mediante el principio de medición Stabinger con el termostato Peltier, es posible medir con un único sistema de medición un rango incomparablemente amplio de viscosidad y de temperatura. Compacto y de bajo consumo de energía, versátil, rápido, con bajo consumo de muestras y de disolventes — el SVM 3000 es sin duda el viscosímetro cinemático más eficiente del mercado.



**NEOTEC CIENTIFICA**  
Telf. 475-55-54 / 225-15-84  
Cel. 9944-1177-1  
[ventas@neotec-cientifica.com](mailto:ventas@neotec-cientifica.com)  
[administrativo@neotec-cientifica.com](mailto:administrativo@neotec-cientifica.com)

## CARACTERÍSTICAS

### El tiempo es dinero

- Viscosidad dinámica y cinemática y densidad en una sola medición
- Hasta 30 muestras por hora
- Llenado y limpieza automáticos con los cambiadores de muestras de la familia Xsample
- Procesamiento automático de datos con el software Visio-Lab

### Precisión significa calidad

- Precisión comprobada en análisis colaborativos ASTM
- ASTM D7042 es equivalente a ISO 3104 / ASTM D445
- Termostato Peltier de alta precisión con estabilidad de 0,005 °C
- El software gestiona constantes de calibración — lo que impide errores del usuario

### Ahorrativo con los recursos

- Volumen de muestra a partir de 2,5 ml (sin medición de densidad a partir de 1 ml)
- Consumo de disolvente a partir de 2,5 ml
- Consumo máximo de corriente de solo 75 W
- Requiere solo 0,25 m<sup>2</sup> de superficie de trabajo
- No requiere baño termostático

### Flexible y universal

- Temperatura de medición modificable en pocos minutos
- El SVM 3000 puede utilizarse en otro lugar dentro de pocos minutos
- Independiente de la fuerza de gravedad y de las vibraciones
- El SVM 3000 también funciona sin PC
- Utilización bajo atmósfera inerte con la celda de medición externa

### Contacto

Por favor dirjase a nosotros para consultas de cualquier tipo. La satisfacción de nuestros clientes es muy importante para nuestra Empresa.

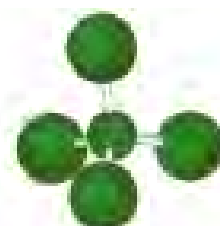
Tel. 475-55-54 / 225-15-84  
Cel. 9944-1177-1  
ventas@neotec-cientifica.com  
administrativo@neotec-cientifica.com



## ESPECIFICACIONES

Volúmen mínimo de muestra (ml)	2,5
Consumo mínimo de agente de limpieza (ml)	2,5
Consumo típico de agente de limpieza (ml)	10
Volúmen de los frascos de los agentes de limpieza (l)	2 x 0,5
Viscosidad máx. de llenado (mPa.s)	2000 Valor típico, dependiendo del tipo de muestra y de la temperatura.
Comparabilidad*	
Viscosidad	0,35 % en el rango del ajuste de fábrica 1 % fuera de este rango
Densidad (compensada por viscosidad)	0,0005 g/cm <sup>3</sup> de 0,65 a 1,5 0,0020 g/cm <sup>3</sup> fuera de este rango
Temperatura	0,02 °C de 15 a 105 °C 0,05 °C fuera de este rango
	* Fuera del rango del ajuste de fábrica puede requerirse un ajuste especial.
Repetibilidad*	
Viscosidad	0,1 %
Densidad	0,0002 g/cm <sup>3</sup>
Temperatura	0,005 °C
	*) valores típicos, dependiendo del tipo de muestra y de la temperatura
Rango de medición	
Viscosidad dinámica (mPa.s)	0,2 a 20 000*
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	0,65 a 3
Temperatura	15 a 105 °C temperaturas bajas a petición
	*) valores típicos, dependiendo del tipo de muestra y de la temperatura
Cantidad de muestras procesadas (por hora)	
Combustible diesel, medición rápida (ultra rápida)	25 (30)*
Aceite de motor, medición rápida (ultra rápida)	15 (18)*
1000 mPa.s a 20 °C, medición estándar	8,5 (10)*
Aceite de motor, determinación doble, medición estándar	7 (8)*
	* Valores entre paréntesis para lavado con aire comprimido.
Memoria de datos/modos	384 juegos de datos/10 modos programables
Interfaces	RS-232 dual, teclado AT
Peso neto/bruto	15/17 kg
Espacio necesario (L x A x P)	440 x 315 x 220 mm
Condiciones del entorno	15 a 35 °C, máx. 80 % h.r. hasta 31 °C, 67 % a 35 °C
Fuente de alimentación (consumo de corriente sinusoidal)	100 a 240 VCA, 50 a 60 Hz, 75 VA.

Visite nuestra sitio web  
[www.neotec-cientifica.com](http://www.neotec-cientifica.com)



## ANEXO D

### FICHA TÉCNICA OPACÍMETRO JEVOL JVS-600



Shanghai Jevol Electromechanical Equipment Co., Ltd  
Tel: 0086-21-6989 0793 Fax: 0086-21-6989 0790  
Web: [www.jevolauto.com](http://www.jevolauto.com) Email: [sales@jevolauto.com](mailto:sales@jevolauto.com)

## JVS-600 Opacimeter

- ★ **Measurement Items**  
Diesel vehicles emission



- ★ With Free Acceleration Test and Transient Test function, processing test data automatically
- ★ Display Opacity and Light Absorption Coefficient
- ★ "Scavenge Air Curtain" technology applied on the measuring unit, to prevent the optical system from being polluted
- ★ With Constant Temperature Control function, avoid condensation and accuracy influences caused by temperature changing
- ★ Auto zeroing, data printing and communication with host computer
- ★ Equipped with Oil Temperature Measurement Probe
- ★ Comply with requirements of ISO11614 and GB3847-2005

Items	Parameters
Measuring Range	Opacity (N): 0 ~ 99.9% Light Absorption Coefficient (k): 0~18.0m <sup>-1</sup> Revolving Speed: 300 ~ 9999 rpm Oil Temperature
Resolution	Opacity (N): 0.1%
Measurement Accuracy	Opacity (N): ±2.0% (abs.) Revolving Speed (piezoelectric): ±1.0% (rel.) Oil Temperature: ±2
Power Supply	220V±10% 50Hz±1Hz
Effective Length of Optical Path	315mm
Equivalent Length of Optical Path	430mm
Sampling Probe Length	2.5m

## ANEXO E

### ➤ FICHA TÉCNICA DEL BIO DIESEL BD100

Biodiésel Uso Vehicular: **B100**



## Biodiésel BioEnergy B100 (GREEN OIL METILÉSTER 100%)

### DESCRIPCIÓN

**BioEnergy B100** es un biocombustible especialmente diseñado para vehículos de transporte que utilizan motores diésel y, en general, para los motores diésel usados en diversos sectores industriales.

Se trata de un biocombustible ecológico, 100% biodegradable, obtenido a partir de aceites de origen animal y/o vegetal que son seleccionados y tratados siguiendo exigentes e innovadores procesos de transformación química, de refinamiento y de control de calidad.

Nuestra innovadora tecnología de transformación y refinamiento convierte a los aceites de origen animal y vegetal en un biocombustible de calidad. Este biocombustible, también conocido como **biodiésel**, es un compuesto de esteres mono-alquílicos de ácidos grasos de cadena larga (*methyl-éster*), el cual se presenta como un líquido translúcido y brillante, de color y olor característicos asociados al aceite utilizado como materia prima.

**BioEnergy B100** cumple con los estándares exigidos por la Norma Técnica Peruana (NTP 321-125-2008).

### ESPECIFICACIONES DE CALIDAD

PROPIEDADES	UNIDADES	LÍMITE	METODO DE ENSAYO
Punto de inflamación (copa cerrada)	°C	93 Mín.	ASTM D93
Control de alcohol (uno de los siguientes se cumple):			
a. Contenido de metanol	%volumen	0.2 Máx.	EN 14110
b. Punto de inflamación	°C	130 Mín.	ASTM D93
Agua y sedimento	%volumen	0.050 Máx.	ASTM D2709
Viscosidad cinemática a 40°C	mm <sup>2</sup> /s	1.9 - 6.0	ASTM D445
Ceniza sulfatada	% masa	0.020 Máx.	ASTM D874
Azufre	% masa (ppm)	0.0015 Máx. (15)	ASTM D5453
Número de cetano	—	47 Mín.	ASTM D613
Punto de nube	°C	5 Mín. <sup>(1)</sup>	ASTM D2500
Residuo de carbón	% masa	0.050 Máx.	ASTM D4530
Número de acidez	mg KOH/g	0.50 Máx.	ASTM D664
Glicerina libre	% masa	0.020 Máx.	ASTM D 6584
Glicerina total	% masa	0.240 Máx.	ASTM D 6584
Contenido de fósforo	% masa	0.001 Máx.	ASTM D 4951
Temperatura de destilación (Temperatura del 90% de recuperado equivalente a presión atmosférica)	°C	360 Máx.	ASTM D 1160
Contenido de calcio y magnesio, combinado	ppm (ug/g)	5 Máx.	EN 14538
Contenido de sodio y potasio combinado	ppm (ug/g)	5 Máx.	EN 14538
Corrosión a la lámina de cobre	—	Nº 3	ASTM D130
Estabilidad a la oxidación	horas	3 Mín.	EN 14112

(1): La temperatura podrá ser inferior o superior si el cliente así lo solicita en base a sus necesidades y objetivos de ahorro.

➤ FICHA TÉCNICA DEL DB5

Petróleos del Perú - PETROPERÚ S.A.



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PETROPERÚ

CLASE DE PRODUCTO		<b>COMBUSTIBLE</b>		Fecha efectiva:		Enero 2019	
TIPO DE PRODUCTO		<b>DESTILADO MEDIO + 5% BIODIESEL B100</b>		Reemplaza edición de:		Junio 2015	
NOMBRE DE PRODUCTO		<b>DIESEL B5</b>					
ENSAYOS	ESPECIFICACIONES (a)		MÉTODO				
	MIN.	MAX.	ASTM		OTROS		
<b>APARIENCIA</b>	Clara, brillante, libre de agua y partículas en suspensión		D-4176		Visual		
Color ASTM	3.0		D1500, D6045				
<b>VOLATILIDAD</b>	Reportar		D1298, D4052				
Gravedad API a 60 °F	Reportar		D1298, D4052				
Destilación, °C (a 760 mmHg)			D86, D2887, D7344, D7345		ISO 3405		
Punto inicial de ebullición	Reportar						
5 %V recuperado	Reportar						
10 %V recuperado	Reportar						
20 %V recuperado	Reportar						
50 %V recuperado	Reportar						
90 %V recuperado	282	360					
95 %V recuperado	Reportar						
Punto final de ebullición	Reportar						
Punto de inflamación, °C	52		D93, D3828, D7094		ISO 2719		
<b>FLUIDEZ</b>							
Viscosidad cinemática a 40°C, cSt	1.7	4.1	D445		ISO 3104		
Punto de escurrimiento, °C (b)	+4		D97, D5949, D5950		ISO 3016		
<b>COMBUSTIÓN</b>							
Número de cetano (c)	45		D613		ISO 5165		
Índice de cetano (d)	40		D4737		ISO 4264		
<b>COMPOSICIÓN</b>							
Cenizas, % masa	0.01		D482		ISO 6245		
Residuo de carbón, 10% residuo destilación, % masa	0.35		D4530, D189, D524		ISO 6615		
<b>CORROSIVIDAD</b>							
Corrosión lámina de cobre, 3h, 50°C, N°	3		D130		ISO 2160		
Azufre total, % masa	0.50		D2622, D4294		ISO 14596, ISO 4260		
<b>CONTAMINANTES</b>							
Agua y sedimentos, %V	0.05		D2709				
<b>ESTABILIDAD A LA OXIDACIÓN</b>							
Estabilidad a la oxidación, mg/100mL	Reportar		D-2274, D-7545				
<b>OBSERVACIONES:</b>							
(a) De conformidad con el D.S. 041-2005-EM, Oficio N° 337-2008 MEM/DGH, DS 021-2007 EM y R.M. N° 165-2008-MEM/DM.							
(b) Cuando el cliente lo requiera, se determinará el Punto de Nube por el método ASTM D-2500.							
(c) De no contar con el equipo del método ASTM D-613 (Número de Cetano), se calculará el Índice de Cetano con el método ASTM D-4737.							
(d) El Método de Ensayo D-976, se usará únicamente para combustibles Diesel de rango de N° Cetano entre 56.5 a 60.0.							
<b>NOTA:</b> El Diesel B5 contiene 5% en volumen de Biodiesel (B100), de conformidad con el D.S. 021-2007-EM.							

➤ FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD DE MATERIALES DB5



## Ficha de Datos de Seguridad

### 1. IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO E INFORMACIÓN DE LA EMPRESA

1.1 NOMBRE DEL PRODUCTO	: DIESEL B5
1.2 SINÓNIMOS	: Combustible Diesel.
1.3 USO RECOMENDADO	: Combustible para motores Diesel y sistemas de generación de energía.
1.4 DATOS DEL PROVEEDOR	
Empresa	: Petróleos del Perú - PETROPERÚ S.A.
Dirección	: Av. Enrique Canaval Moreyra 150, Lima 27 - Perú
Teléfonos	: (01)614-5000, (01)630-4000, (01)630-4079 0800 77 155
Portal Empresarial	: <a href="http://www.petroperu.com.pe">http://www.petroperu.com.pe</a>
Correo electrónico	: <a href="mailto:servcliente@petroperu.com.pe">servcliente@petroperu.com.pe</a>
1.5 TELÉFONO DE EMERGENCIA	: (01) 614-5000, anexo 11444, celular 944-944-667 Horario de atención: 24 horas.

### 2. IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS

#### 2.1 CLASIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA O MEZCLA

- 2.1.1 Peligros físicos  
Líquido inflamable: Categoría 3
- 2.1.2 Peligros para la salud  
Peligro por aspiración: Categoría 1  
Corrosión/irritación cutánea: Categoría 2  
Toxicidad aguda por inhalación: Categoría 4  
Carcinogenicidad: Categoría 2  
Toxicidad específica en órganos diana: Categoría 2
- 2.1.3 Peligros para el ambiente  
Peligro para el ambiente acuático: Categoría 2

#### 2.2 ELEMENTOS DE LAS ETIQUETAS

##### 2.2.1 Pictograma



Palabra de advertencia: Peligro

##### 2.2.2 Códigos de indicación de peligros

H226: Líquidos y vapores inflamables.  
H304: Puede ser mortal en caso de ingestión y penetración en las vías respiratorias.  
H315: Provoca irritación cutánea.



## Ficha de Datos de Seguridad

H332: Nocivo en caso de inhalación.  
H351: Se sospecha que provoca cáncer.  
H373: Puede provocar daño en los órganos tras explosiones prolongadas o repetidas.  
H411: Tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos.

### 2.2.3 Códigos de consejos de prudencia

#### Prevención

P210: Mantener alejado del calor, de superficies caliente, de chispas, de llamas abiertas y de cualquier otra fuente de ignición. No fumar.  
P261: Evitar respirar polvos/humos/gases/nieblas/vapores/aerosoles.  
P280: Usar guantes, ropa de protección, equipos de protección, para los ojos, la cara, los oídos.

#### Intervención

P301+P310: EN CASO DE INGESTIÓN: llamar inmediatamente a un CENTRO DE TOXICOLOGÍA o un médico  
P331: NO provocar el vómito.

#### Eliminación

P501: Eliminar el contenido/recipiente conforme a la reglamentación local.

### 2.3 OTROS PELIGROS

No indicados.

---

## 3. COMPOSICIÓN

---

El Diesel B5 está constituido por una mezcla de:

Componentes	% Vol.
Diesel N°2: Mezcla compleja de hidrocarburos, cuya composición consta de cadenas carbonadas que contienen entre 9 y 30 carbonos (C9-C30) aprox.	95
Biodiesel (B100): se compone principalmente de ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga (FAME: Mín. 96.5 %Masa).	5

---

## 4. PRIMEROS AUXILIOS

---

### 4.1 DESCRIPCIÓN DE LOS PRIMEROS AUXILIOS

Contacto con los ojos: Lavar con abundante agua por aprox. 15 minutos.  
Contacto con la piel: Lavar el área afectada con agua y jabón. Quitar la ropa contaminada lo antes posible y lavarla antes de un nuevo uso o desechar de ser necesario.  
Inhalación: Trasladar inmediatamente a la persona afectada hacia un ambiente con aire fresco. Administrar respiración artificial o resucitación cardiopulmonar de ser necesario.  
Ingestión: Actuar con rapidez. No inducir al vómito a fin de evitar que el producto ingrese a los pulmones por aspiración. Mantener en reposo a la persona afectada.

### 4.2 SÍNTOMAS Y EFECTOS MAS IMPORTANTES

Contacto con los ojos: Irritación, conjuntivitis si la exposición es prolongada.

## Ficha de Datos de Seguridad

Contacto con la piel: Causa irritación. Puede causar dermatitis si el contacto es prolongado.

Inhalación: Puede causar náuseas, somnolencia, dolor de cabeza fatiga y mareos.

Ingestión: Irritación de la boca, garganta y estómago. El ingreso a los pulmones puede causar edema pulmonar.

### 4.3 INDICACIÓN DE LA NECESIDAD DE RECIBIR ATENCIÓN MÉDICA INMEDIATA

Solicitar atención médica de inmediato.

---

## 5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIO

---

Ante un incendio o en caso exista tanques/camiones cisterna involucrados evacuar al personal fuera del área de exposición.

### 5.1 MEDIOS DE EXTINCIÓN APROPIADOS

Polvo químico seco; en caso de incendios de grandes magnitudes utilizar espuma. NO UTILIZAR NUNCA CHORRO DE AGUA DIRECTO

### 5.2 PELIGROS ESPECÍFICOS DEL PRODUCTO

Se puede producir gases tóxicos e irritantes durante el incendio; preferentemente, procurar detener la liberación del producto antes de intentar controlar el fuego. Utilizar los medios de extinción apropiados mencionados para extinguir el fuego y verter agua en forma de rocío para enfriar los recipientes o cilindros que contienen al producto.

### 5.3 MEDIDAS ESPECIALES A TOMAR

En caso el incendio sea de gran magnitud, la extinción de fuego sólo debe ser realizada por personal especializado, para lo cual debe utilizar equipos de protección personal especiales como:

- Chaqueta y pantalón para combate estructural, casco, y demás indumentaria recomendado para afrontar el incendio.
- Equipo de protección respiratoria autónoma.

En algunas circunstancias se recomienda el uso de Trajes de Material Aluminizado.

---

## 6. MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL

---

### 6.1 PRECAUCIONES PERSONALES, EQUIPO PROTECTOR Y PROCEDIMIENTO DE EMERGENCIA

Aislar el área por riesgo de incendio. Eliminar todas las fuentes de ignición. Detener la fuga si no hay riesgo. Ver lo concerniente a equipo protector en el ítem 8 de este documento.

### 6.2 PRECAUCIONES RELATIVAS AL AMBIENTE

Evitar que el producto entre al desagüe y fuentes de agua, mediante el uso de barreras de contención.

En caso de vertimientos en medios acuáticos, los productos que se requieran usar como dispersantes, absorbentes y/o aglutinantes deberán contar con la autorización vigente de la Dirección General de Capitanías y Guardacostas.

### 6.3 MÉTODOS Y MATERIALES PARA LA CONTENCIÓN Y LIMPIEZA DE VERTIDOS

Contener y absorber el líquido con arena, tierra u otro material absorbente y ventilar la zona afectada. Recoger el material usado como absorbente, colocarlo en un depósito

## Ficha de Datos de Seguridad

identificado y proceder a la disposición final de acuerdo a un procedimiento implementado.

---

### 7. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

---

#### 7.1 MANIPULACIÓN

Durante la manipulación del producto, se deben tomar precauciones para evitar la concentración y estancamiento de los vapores, es recomendable tener una corriente de aire que facilite la difusión de vapores.

No realizar actividades que estén fuera de la rutina del trabajo (comer, beber, fumar), y eliminar cualquier fuente que pueda propiciar una chispa en el área de trabajo o almacenaje.

Toda manipulación del producto debe realizarse utilizando la indumentaria de protección personal respectiva (guantes y lentes de seguridad) para evitar accidentes por salpicadura, además, antes de realizar el procedimiento de carga/descarga del producto en sus contenedores, se debe realizar la conexión a tierra respectiva.

#### 7.2 ALMACENAMIENTO

Almacenar a temperatura ambiente, en recipientes cerrados claramente etiquetados y en áreas ventiladas; alejado de materiales que no sean compatibles y en áreas protegidas del fuego abierto, calor u otra fuente de ignición. El producto no debe ser almacenado en instalaciones ocupadas permanentemente por personas.

Eventualmente, se pueden utilizar recipientes de HDPE (Polietileno de alta densidad) para tomar muestras del producto.

NOTA: Los trabajos de limpieza, inspección y mantenimiento de los tanques de almacenamiento deben ser realizados siguiendo estrictamente un procedimiento implementado y considerando las medidas de seguridad pertinentes.

---

### 8. CONTROL A LA EXPOSICIÓN Y PROTECCIÓN PERSONAL

---

#### 8.1 CONTROLES TÉCNICOS APROPIADOS

Antes de ingresar a espacios donde existan productos almacenados debe ser previamente monitoreados para verificar el oxígeno y explosividad.

Usar campanas extractoras y sistemas de ventilación en locales cerrados; identificar las salidas de emergencia y contar con duchas y lavaojos cerca del lugar de trabajo.

#### 8.2 EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL

Protección respiratoria: Como medida preventiva al ingresar al área de almacenamiento se recomienda siempre ventilar y monitorear el ambiente; para la manipulación utilizar un equipo de protección respiratorio (máscara media cara con cartuchos para vapores orgánicos).

Ojos: En el trasvase o contacto con el producto, utilizar lentes de seguridad y protección facial contra salpicaduras de productos.

Piel: Guantes de neopreno, nitrilo o polivinilo; traje de protección y calzado de seguridad.

---

### 9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

---

Apariencia	: Líquido claro y brillante
Color	: Típico 1,5, máximo 3.0 (ASTM) (* )
Olor	: Característico

## Ficha de Datos de Seguridad

Umbral olfativo	: No se dispone de datos
PH	: No se dispone de datos
Punto de fusión, °C	: No se dispone de datos
Punto inicial de ebullición, °C	: 160 aprox.
Punto final de ebullición, °C	: 375 aprox.
Punto de inflamación, °C	: 52 mínimo
Tasa de evaporación	: No se dispone de datos
Inflamabilidad	: Líquidos y vapores inflamables
Límites de inflamabilidad, % vol. en aire	: Inferior: 1.3 Superior: 6
Presión de vapor a 37.8°C, atm	: 0.004
Densidad de vapor	: No se dispone de datos
Gravedad específica a 15.6/15.6°C	: 0.84 – 0.86 aprox.
Solubilidad en agua	: Insignificante
Coefficiente de reparto: n-octanol/agua	: No se dispone de datos
Temperatura de autoinflamación, °C	: 257 aprox.
Temperatura de descomposición	: No se dispone de datos
Viscosidad cinemática a 40°C, cSt	: 1.7 a 4.1

(\*) El producto puede tener un color comercial diferente a la tonalidad natural (ámbar), por adición de colorantes.

---

### 10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

---

#### 10.1 REACTIVIDAD

No se dispone de datos.

#### 10.2 ESTABILIDAD QUÍMICA

El producto es estable en condiciones normales de presión y temperatura.

#### 10.3 POSIBILIDAD DE REACCIONES PELIGROSAS

No existen en condiciones previstas para su almacenamiento y uso.

#### 10.4 CONDICIONES QUE DEBEN EVITARSE

Evitar las fuentes de ignición, así como el calentamiento de los recipientes que contienen el producto.

#### 10.5 MATERIALES INCOMPATIBLES

Es incompatible con sustancias oxidantes

#### 10.6 PRODUCTOS DE DESCOMPOSICIÓN PELIGROSOS

Los producidos por la combustión completa e incompleta: CO<sub>2</sub> y CO.

---

### 11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

---

#### 11.1 TOXICIDAD AGUDA

No se dispone de datos.

#### 11.2 CORROSIÓN O IRRITACIÓN CUTÁNEA

Provoca irritación cutánea.

#### 11.3 LESIONES O IRRITACIÓN OCULAR GRAVE

No se dispone de datos.

## Ficha de Datos de Seguridad

### 11.4 SENSIBILIDAD RESPIRATORIA O CUTÁNEA

No se dispone de datos.

### 11.5 MUTAGENICIDAD EN CÉLULAS GERMINALES

No se dispone de datos.

### 11.6 CARCINOGENICIDAD

Se sospecha que provoca cáncer (Contiene sustancias con posibles efectos cancerígenos, pero no se dispone información suficiente para realizar una evaluación satisfactoria).

### 11.7 TOXICIDAD PARA LA REPRODUCCIÓN

No existen evidencias de toxicidad para la reproducción en mamíferos.

### 11.8 TOXICIDAD ESPECÍFICA EN DETERMINADOS ÓRGANOS (STOT) - EXPOSICIÓN ÚNICA

No se dispone de datos.

### 11.9 TOXICIDAD ESPECÍFICA EN DETERMINADOS ÓRGANOS (STOT) - EXPOSICIÓN REPETIDA

Puede provocar daños en los órganos tras exposiciones prolongadas o repetidas.

### 11.10 PELIGRO DE ASPIRACIÓN

Puede ser mortal en caso de ingestión y penetración en las vías respiratorias.

---

## 12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA

---

### 12.1 TOXICIDAD

Tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos. Evitar que el vertido alcance el alcantarillado o cursos de agua.

### 12.2 PERSISTENCIA Y DEGRADABILIDAD

Liberado en el ambiente los componentes más ligeros tenderán a evaporarse y foto oxidarse por reacción con los radicales hidroxilos, el resto de los componentes más pesados también pueden estar sujetos a fotooxidación, pero lo normal es que sean absorbidos por el suelo o sedimentos. Liberado en el agua flota y se separa y aunque es muy poco soluble en agua, los componentes más solubles podrán disolverse y dispersarse. En suelos y sedimentos, bajo condiciones aeróbicas, la mayoría de los componentes del gasóleo están sujetos a procesos de biodegradación, siendo en condiciones anaerobias más persistente. Posee un DBO de 8% en cinco días.

### 12.3 POTENCIA DE BIOACUMULACIÓN

El log Kow de los componentes del gasóleo sugiere su bioacumulación, pero los datos de literatura demuestran que esos organismos testados son capaces de metabolizar los hidrocarburos del gasóleo.

### 12.4 MOVILIDAD EN EL SUELO

No se dispone de datos.

### 12.5 OTROS EFECTOS ADVERSOS

No se dispone de datos.

---

## 13. CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA DISPOSICIÓN FINAL

---

## Ficha de Datos de Seguridad

La disposición final del producto se realiza de acuerdo a la reglamentación vigente.

---

### 14. INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE

---

El transporte se realiza de acuerdo a la normatividad vigente aplicable.

14.1 NÚMERO ONU: UN 1202

14.2 DESIGNACIÓN OFICIAL DE TRANSPORTE DE LAS NACIONES UNIDAS: Gasóleo o combustible para motores Diesel o aceite mineral para caldeo, ligero.

14.3 CLASE RELATIVA AL TRANSPORTE: 3

14.4 GRUPO DE EMBALAJE: III

14.5 RIESGOS AMBIENTALES: Si

14.6 PRECAUCIONES ESPECIALES PARA EL USUARIO: Señalización pictórica, NTP 399.015.2014



14.7 TRANSPORTE A GRANEL CON ARREGLO A LOS INSTRUMENTOS DE LA OMI: No precisado.

---

### 15. INFORMACIÓN REGLAMENTARIA

---

Normatividad vigente aplicable de referencia en el Perú:

- Reglamento de Seguridad para el Almacenamiento de Hidrocarburos aprobado por Decreto Supremo N° 052-1993-EM (18/11/1993), y modificaciones.
- Reglamento de Seguridad para el Transporte de Hidrocarburos aprobado por Decreto Supremo N° 026-94-EM (10/05/94), y modificaciones.
- Reglamentos para la Comercialización de Combustibles Líquidos y Otros Productos Derivados de los Hidrocarburos aprobados por los Decretos Supremos N° 030-1998-EM (03/08/1998) y N° 045-2001-EM (26/07/2001), y modificaciones.
- Reglamento para la Comercialización de Biocombustibles, aprobado por el Decreto Supremo N° 021-2007-EM y modificaciones.
- Reglamento de Seguridad para las Actividades de Hidrocarburos aprobado por Decreto Supremo N° 043-2007-EM (22/08/2007), y modificaciones.
- R. N° 206-2009-OS-CD (Aprueban el "Procedimiento de Control de Calidad de los Biocombustibles y sus Mezclas" y modifican Tipificación y Escala de Multas y Sanciones de Hidrocarburos).

## Ficha de Datos de Seguridad

- R. N° 063-2011-OS-CD (Procedimiento para la Inspección, Mantenimiento y Limpieza de Tanques de Combustibles Líquidos, Biocombustibles y Otros Productos Derivados de los Hidrocarburos).
- Reglamento para la protección ambiental en las actividades de hidrocarburos aprobado por Decreto Supremo N° 039-2014-EM (05/11/2014).

---

### 16. INFORMACIÓN ADICIONAL

---

Rombo NFPA 704:



Salud: 0  
Inflamabilidad: 2  
Reactividad: 0

EMERGENCIAS a nivel nacional: 116  
Dirección General de Capitanías y Guardacostas: (511) 209-9300

#### GLOSARIO

ACGIH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists (Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales)  
ASTM: American Society for Testing and Materials (Sociedad Estadounidense para Ensayos y Materiales)  
FAME: Fatty Acid Methyl Esters (Ésteres metílicos de ácidos grasos)  
NTP: Norma Técnica Peruana  
NFPA: National Fire Protection Association (Asociación Nacional de Protección contra el fuego)  
OMI: Organización Marítima Internacional  
STOT: Specific target organ toxicity (Toxicidad específica en determinados órganos)

---

Nota: El presente documento constituye información básica relacionada a los peligros físicos, a la salud y ambiente, en la manipulación del producto para el Cliente y/o Usuario, quienes deberán evaluar las condiciones de uso, y los cuidados necesarios para un manejo seguro del producto conforme a sus propios procedimientos. PETROPERÚ no se responsabiliza por actividades fuera de su control.

---

# ANEXO F

## ➤ TABLA DE VALORES F DE LA DISTRIBUCION F DE FISHER

**Tabla 5. VALORES F DE LA DISTRIBUCIÓN F DE FISHER**

1 -  $\alpha = 0.9$        $n_1$  = grados de libertad del numerador  
 1 -  $\alpha = P ( F \leq f_{\alpha, n_1, n_2} )$        $n_2$  = grados de libertad del denominador

$n_2 \backslash n_1$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	39.864	49.500	53.593	55.833	57.240	58.204	58.906	59.439	59.857	60.195	60.473	60.705	60.902	61.073	61.220	61.350	61.465	61.566	61.658	61.740
2	8.526	9.000	9.162	9.243	9.293	9.326	9.349	9.367	9.381	9.392	9.401	9.408	9.415	9.420	9.425	9.429	9.433	9.436	9.439	9.441
3	5.538	5.462	5.391	5.343	5.309	5.285	5.266	5.252	5.240	5.230	5.222	5.216	5.210	5.205	5.200	5.196	5.193	5.190	5.187	5.184
4	4.545	4.325	4.191	4.107	4.051	4.010	3.979	3.955	3.936	3.920	3.907	3.896	3.886	3.878	3.870	3.864	3.858	3.853	3.848	3.844
5	4.060	3.780	3.619	3.520	3.453	3.405	3.368	3.339	3.316	3.297	3.282	3.268	3.257	3.247	3.238	3.230	3.223	3.217	3.212	3.207
6	3.776	3.463	3.289	3.181	3.108	3.055	3.014	2.983	2.958	2.937	2.920	2.905	2.892	2.881	2.871	2.863	2.855	2.848	2.842	2.836
7	3.589	3.257	3.074	2.961	2.883	2.827	2.785	2.752	2.725	2.703	2.684	2.668	2.654	2.643	2.632	2.623	2.615	2.607	2.601	2.595
8	3.458	3.113	2.924	2.806	2.726	2.668	2.624	2.589	2.561	2.538	2.519	2.502	2.488	2.475	2.464	2.454	2.446	2.438	2.431	2.425
9	3.360	3.006	2.813	2.693	2.611	2.551	2.505	2.469	2.440	2.416	2.396	2.379	2.364	2.351	2.340	2.330	2.320	2.312	2.305	2.298
10	3.285	2.924	2.728	2.605	2.522	2.461	2.414	2.377	2.347	2.323	2.302	2.284	2.269	2.255	2.244	2.233	2.224	2.215	2.208	2.201
11	3.225	2.860	2.660	2.536	2.451	2.389	2.342	2.304	2.274	2.248	2.227	2.209	2.193	2.179	2.167	2.156	2.147	2.138	2.130	2.123
12	3.177	2.807	2.606	2.480	2.394	2.331	2.283	2.245	2.214	2.188	2.166	2.147	2.131	2.117	2.105	2.094	2.084	2.075	2.067	2.060
13	3.136	2.763	2.560	2.434	2.347	2.283	2.234	2.195	2.164	2.138	2.116	2.097	2.080	2.066	2.053	2.042	2.032	2.023	2.014	2.007
14	3.102	2.726	2.522	2.395	2.307	2.243	2.193	2.154	2.122	2.095	2.073	2.054	2.037	2.022	2.010	1.998	1.988	1.978	1.970	1.962
15	3.073	2.695	2.490	2.361	2.273	2.208	2.158	2.119	2.086	2.059	2.037	2.017	2.000	1.985	1.972	1.961	1.950	1.941	1.932	1.924
16	3.048	2.668	2.462	2.333	2.244	2.178	2.128	2.088	2.055	2.028	2.005	1.985	1.968	1.953	1.940	1.928	1.917	1.908	1.899	1.891
17	3.026	2.645	2.437	2.308	2.218	2.152	2.102	2.061	2.028	2.001	1.978	1.958	1.940	1.925	1.912	1.900	1.889	1.879	1.870	1.862
18	3.007	2.624	2.416	2.286	2.196	2.130	2.079	2.038	2.005	1.977	1.954	1.933	1.916	1.900	1.887	1.875	1.864	1.854	1.845	1.837
19	2.990	2.606	2.397	2.266	2.176	2.109	2.058	2.017	1.984	1.956	1.932	1.912	1.894	1.878	1.865	1.852	1.841	1.831	1.822	1.814
20	2.975	2.589	2.380	2.249	2.158	2.091	2.040	1.999	1.965	1.937	1.913	1.892	1.875	1.859	1.845	1.833	1.821	1.811	1.802	1.794
21	2.961	2.575	2.365	2.233	2.142	2.075	2.023	1.982	1.948	1.920	1.896	1.875	1.857	1.841	1.827	1.815	1.803	1.793	1.784	1.776
22	2.949	2.561	2.351	2.219	2.128	2.060	2.008	1.967	1.933	1.904	1.880	1.859	1.841	1.825	1.811	1.798	1.787	1.777	1.768	1.759
23	2.937	2.549	2.339	2.207	2.115	2.047	1.995	1.953	1.919	1.890	1.866	1.845	1.827	1.811	1.796	1.784	1.772	1.762	1.753	1.744
24	2.927	2.538	2.327	2.195	2.103	2.035	1.983	1.941	1.906	1.877	1.853	1.832	1.814	1.797	1.783	1.770	1.759	1.748	1.739	1.730
25	2.918	2.528	2.317	2.184	2.092	2.024	1.971	1.929	1.895	1.866	1.841	1.820	1.802	1.785	1.771	1.758	1.746	1.736	1.726	1.718
26	2.909	2.519	2.307	2.174	2.082	2.014	1.961	1.919	1.884	1.855	1.830	1.809	1.790	1.774	1.760	1.747	1.735	1.724	1.715	1.706
27	2.901	2.511	2.299	2.165	2.073	2.005	1.952	1.909	1.874	1.845	1.820	1.799	1.780	1.764	1.749	1.736	1.724	1.714	1.704	1.695
28	2.894	2.503	2.291	2.157	2.064	1.996	1.943	1.900	1.865	1.836	1.811	1.790	1.771	1.754	1.740	1.726	1.715	1.704	1.694	1.685
29	2.887	2.495	2.283	2.149	2.057	1.988	1.935	1.892	1.857	1.827	1.802	1.781	1.762	1.745	1.731	1.717	1.705	1.695	1.685	1.676
30	2.881	2.489	2.276	2.142	2.049	1.980	1.927	1.884	1.849	1.819	1.794	1.773	1.754	1.737	1.722	1.709	1.697	1.686	1.676	1.667
40	2.835	2.440	2.226	2.091	1.997	1.927	1.873	1.829	1.793	1.763	1.737	1.715	1.695	1.678	1.662	1.649	1.636	1.625	1.615	1.605
50	2.809	2.412	2.197	2.061	1.966	1.895	1.840	1.796	1.760	1.729	1.703	1.680	1.660	1.643	1.627	1.613	1.600	1.588	1.578	1.568
60	2.791	2.393	2.177	2.041	1.946	1.875	1.819	1.775	1.738	1.707	1.680	1.657	1.637	1.619	1.603	1.589	1.576	1.564	1.553	1.543
70	2.779	2.380	2.164	2.027	1.931	1.860	1.804	1.760	1.723	1.691	1.665	1.641	1.621	1.603	1.587	1.572	1.559	1.547	1.536	1.526
80	2.769	2.370	2.154	2.016	1.921	1.849	1.793	1.748	1.711	1.680	1.653	1.629	1.609	1.590	1.574	1.559	1.546	1.534	1.523	1.513
90	2.762	2.363	2.146	2.008	1.912	1.841	1.785	1.739	1.702	1.670	1.643	1.620	1.599	1.581	1.564	1.550	1.536	1.524	1.513	1.503
100	2.756	2.356	2.139	2.002	1.906	1.834	1.778	1.732	1.695	1.663	1.636	1.612	1.592	1.573	1.557	1.542	1.528	1.516	1.505	1.494
200	2.731	2.329	2.111	1.973	1.876	1.804	1.747	1.701	1.663	1.631	1.603	1.579	1.558	1.539	1.522	1.507	1.493	1.480	1.468	1.458
500	2.716	2.313	2.095	1.956	1.859	1.786	1.729	1.683	1.644	1.612	1.583	1.559	1.537	1.518	1.501	1.485	1.471	1.458	1.446	1.435
1000	2.711	2.308	2.089	1.950	1.853	1.780	1.723	1.676	1.638	1.605	1.577	1.552	1.531	1.511	1.494	1.478	1.464	1.451	1.439	1.428

Elaborada por Irene Patricia Valdez y Alfaro.



**Tabla 5. VALORES F DE LA DISTRIBUCIÓN F DE FISHER**

**1 -  $\alpha$  = 0.9**

**1 -  $\alpha$  = P ( F  $\leq$  f <sub>$\alpha$ ,v<sub>1</sub>,v<sub>2</sub> )</sub>**

$\frac{v_1}{v_2}$	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	40	50	60	70	80	90	100	200	500	1000
1	61.815	61.883	61.945	62.002	62.055	62.103	62.148	62.189	62.229	62.265	62.529	62.688	62.794	62.871	62.927	62.972	63.007	63.167	63.264	63.296
2	9.444	9.446	9.448	9.450	9.451	9.453	9.454	9.456	9.457	9.458	9.466	9.471	9.475	9.477	9.479	9.480	9.481	9.486	9.489	9.490
3	5.182	5.180	5.178	5.176	5.175	5.173	5.172	5.170	5.169	5.168	5.160	5.155	5.151	5.149	5.147	5.145	5.144	5.139	5.136	5.135
4	3.841	3.837	3.834	3.831	3.828	3.826	3.823	3.821	3.819	3.817	3.804	3.795	3.790	3.786	3.782	3.780	3.778	3.769	3.764	3.762
5	3.202	3.198	3.194	3.191	3.187	3.184	3.181	3.179	3.176	3.174	3.157	3.147	3.140	3.135	3.132	3.129	3.126	3.116	3.109	3.107
6	2.831	2.827	2.822	2.818	2.815	2.811	2.808	2.805	2.803	2.800	2.781	2.770	2.762	2.756	2.752	2.749	2.746	2.734	2.727	2.725
7	2.589	2.584	2.580	2.575	2.571	2.568	2.564	2.561	2.558	2.555	2.535	2.523	2.514	2.508	2.504	2.500	2.497	2.484	2.476	2.473
8	2.419	2.414	2.409	2.404	2.400	2.396	2.392	2.389	2.386	2.383	2.361	2.348	2.339	2.333	2.328	2.324	2.321	2.307	2.298	2.295
9	2.292	2.287	2.282	2.277	2.272	2.268	2.265	2.261	2.258	2.255	2.232	2.218	2.208	2.202	2.196	2.192	2.189	2.174	2.165	2.162
10	2.194	2.189	2.183	2.178	2.174	2.170	2.166	2.162	2.159	2.155	2.132	2.117	2.107	2.100	2.095	2.090	2.087	2.071	2.062	2.059
11	2.117	2.111	2.105	2.100	2.095	2.091	2.087	2.083	2.080	2.076	2.052	2.036	2.026	2.019	2.013	2.009	2.005	1.989	1.979	1.975
12	2.053	2.047	2.041	2.036	2.031	2.027	2.022	2.019	2.015	2.011	1.986	1.970	1.960	1.952	1.946	1.942	1.938	1.921	1.911	1.907
13	2.000	1.994	1.988	1.983	1.978	1.973	1.969	1.965	1.961	1.958	1.931	1.915	1.904	1.896	1.890	1.886	1.882	1.864	1.853	1.850
14	1.955	1.949	1.943	1.938	1.933	1.928	1.923	1.919	1.916	1.912	1.885	1.869	1.857	1.849	1.843	1.838	1.834	1.816	1.805	1.801
15	1.917	1.911	1.905	1.899	1.894	1.889	1.885	1.880	1.876	1.873	1.845	1.828	1.817	1.808	1.802	1.797	1.793	1.774	1.763	1.759
16	1.884	1.877	1.871	1.866	1.860	1.855	1.851	1.847	1.843	1.839	1.811	1.793	1.782	1.773	1.766	1.761	1.757	1.738	1.726	1.722
17	1.855	1.848	1.842	1.836	1.831	1.826	1.821	1.817	1.813	1.809	1.781	1.763	1.751	1.742	1.735	1.730	1.726	1.706	1.694	1.690
18	1.829	1.823	1.816	1.810	1.805	1.800	1.795	1.791	1.787	1.783	1.754	1.736	1.723	1.714	1.707	1.702	1.698	1.678	1.665	1.661
19	1.807	1.800	1.793	1.787	1.782	1.777	1.772	1.767	1.763	1.759	1.730	1.711	1.699	1.690	1.683	1.677	1.673	1.652	1.639	1.635
20	1.786	1.779	1.773	1.767	1.761	1.756	1.751	1.746	1.742	1.738	1.708	1.690	1.677	1.667	1.660	1.655	1.650	1.629	1.616	1.612
21	1.768	1.761	1.754	1.748	1.742	1.737	1.732	1.728	1.723	1.719	1.689	1.670	1.657	1.647	1.640	1.634	1.630	1.608	1.595	1.591
22	1.751	1.744	1.737	1.731	1.726	1.720	1.715	1.711	1.706	1.702	1.671	1.652	1.639	1.629	1.622	1.616	1.611	1.590	1.576	1.571
23	1.736	1.729	1.722	1.716	1.710	1.705	1.700	1.695	1.691	1.686	1.655	1.636	1.622	1.613	1.605	1.599	1.594	1.572	1.558	1.554
24	1.722	1.715	1.708	1.702	1.696	1.691	1.686	1.681	1.676	1.672	1.641	1.621	1.607	1.597	1.590	1.584	1.579	1.556	1.542	1.538
25	1.710	1.702	1.695	1.689	1.683	1.678	1.672	1.668	1.663	1.659	1.627	1.607	1.593	1.583	1.576	1.569	1.565	1.542	1.527	1.523
26	1.698	1.690	1.683	1.677	1.671	1.666	1.660	1.656	1.651	1.647	1.615	1.594	1.581	1.570	1.562	1.556	1.551	1.528	1.514	1.509
27	1.687	1.680	1.673	1.666	1.660	1.655	1.649	1.645	1.640	1.636	1.603	1.583	1.569	1.558	1.550	1.544	1.539	1.515	1.501	1.496
28	1.677	1.669	1.662	1.656	1.650	1.644	1.639	1.634	1.630	1.625	1.592	1.572	1.558	1.547	1.539	1.533	1.528	1.504	1.489	1.484
29	1.668	1.660	1.653	1.647	1.640	1.635	1.630	1.625	1.620	1.616	1.583	1.562	1.547	1.537	1.529	1.522	1.517	1.493	1.478	1.472
30	1.659	1.651	1.644	1.638	1.632	1.626	1.621	1.616	1.611	1.606	1.573	1.552	1.538	1.527	1.519	1.512	1.507	1.482	1.467	1.462
40	1.596	1.588	1.581	1.574	1.568	1.562	1.556	1.551	1.546	1.541	1.506	1.483	1.467	1.455	1.447	1.439	1.434	1.406	1.389	1.383
50	1.559	1.551	1.543	1.536	1.529	1.523	1.517	1.512	1.507	1.502	1.465	1.441	1.424	1.412	1.402	1.395	1.388	1.359	1.340	1.333
60	1.534	1.526	1.518	1.511	1.504	1.498	1.492	1.486	1.481	1.476	1.437	1.413	1.395	1.382	1.372	1.364	1.358	1.326	1.306	1.299
70	1.517	1.508	1.500	1.493	1.486	1.479	1.473	1.467	1.462	1.457	1.418	1.392	1.374	1.361	1.350	1.342	1.335	1.302	1.281	1.273
80	1.503	1.495	1.487	1.479	1.472	1.465	1.459	1.453	1.448	1.443	1.403	1.377	1.358	1.344	1.334	1.325	1.318	1.284	1.261	1.253
90	1.493	1.484	1.476	1.468	1.461	1.455	1.448	1.442	1.437	1.432	1.391	1.365	1.346	1.332	1.321	1.312	1.304	1.269	1.245	1.237
100	1.485	1.476	1.468	1.460	1.453	1.446	1.440	1.434	1.428	1.423	1.382	1.355	1.336	1.321	1.310	1.301	1.293	1.257	1.232	1.223
200	1.448	1.438	1.430	1.422	1.414	1.407	1.400	1.394	1.388	1.383	1.339	1.310	1.289	1.273	1.261	1.250	1.242	1.199	1.168	1.157
500	1.425	1.416	1.407	1.399	1.391	1.384	1.377	1.370	1.364	1.358	1.313	1.282	1.260	1.243	1.229	1.218	1.209	1.160	1.122	1.106
1000	1.418	1.408	1.399	1.391	1.383	1.376	1.369	1.362	1.356	1.350	1.304	1.273	1.250	1.232	1.218	1.207	1.197	1.145	1.103	1.084

Elaborada por Irene Patricia Valdez y Alfaro.

**Tabla 5. VALORES F DE LA DISTRIBUCIÓN F DE FISHER**

1 -  $\alpha = 0.95$

$\square_1$  = grados de libertad del numerador

1 -  $\alpha = P ( F \leq f_{\square_1, \square_2} )$

$\square_2$  = grados de libertad del denominador

$\square_2 \backslash \square_1$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	161.446	199.499	215.707	224.583	230.160	233.988	236.767	238.884	240.543	241.882	242.981	243.905	244.690	245.363	245.949	246.466	246.917	247.324	247.688	248.016
2	18.513	19.000	19.164	19.247	19.296	19.329	19.353	19.371	19.385	19.396	19.405	19.412	19.419	19.424	19.429	19.433	19.437	19.440	19.443	19.446
3	10.128	9.552	9.277	9.117	9.013	8.941	8.887	8.845	8.812	8.785	8.763	8.745	8.729	8.715	8.703	8.692	8.683	8.675	8.667	8.660
4	7.709	6.944	6.591	6.388	6.256	6.163	6.094	6.041	5.999	5.964	5.936	5.912	5.891	5.873	5.858	5.844	5.832	5.821	5.811	5.803
5	6.608	5.786	5.409	5.192	5.050	4.950	4.876	4.818	4.772	4.735	4.704	4.678	4.655	4.636	4.619	4.604	4.590	4.579	4.568	4.558
6	5.987	5.143	4.757	4.534	4.387	4.284	4.207	4.147	4.099	4.060	4.027	4.000	3.976	3.956	3.938	3.922	3.908	3.896	3.884	3.874
7	5.591	4.737	4.347	4.120	3.972	3.866	3.787	3.726	3.677	3.637	3.603	3.575	3.550	3.529	3.511	3.494	3.480	3.467	3.455	3.445
8	5.318	4.459	4.066	3.838	3.688	3.581	3.500	3.438	3.388	3.347	3.313	3.284	3.259	3.237	3.218	3.202	3.187	3.173	3.161	3.150
9	5.117	4.256	3.863	3.633	3.482	3.374	3.293	3.230	3.179	3.137	3.102	3.073	3.048	3.025	3.006	2.989	2.974	2.960	2.948	2.936
10	4.965	4.103	3.708	3.478	3.326	3.217	3.135	3.072	3.020	2.978	2.943	2.913	2.887	2.865	2.845	2.828	2.812	2.798	2.785	2.774
11	4.844	3.982	3.587	3.357	3.204	3.095	3.012	2.948	2.896	2.854	2.818	2.788	2.761	2.739	2.719	2.701	2.685	2.671	2.658	2.646
12	4.747	3.885	3.490	3.259	3.106	2.996	2.913	2.849	2.796	2.753	2.717	2.687	2.660	2.637	2.617	2.599	2.583	2.568	2.555	2.544
13	4.667	3.806	3.411	3.179	3.025	2.915	2.832	2.767	2.714	2.671	2.635	2.604	2.577	2.554	2.533	2.515	2.499	2.484	2.471	2.459
14	4.600	3.739	3.344	3.112	2.958	2.848	2.764	2.699	2.646	2.602	2.565	2.534	2.507	2.484	2.463	2.445	2.428	2.413	2.400	2.388
15	4.543	3.682	3.287	3.056	2.901	2.790	2.707	2.641	2.588	2.544	2.507	2.475	2.448	2.424	2.403	2.385	2.368	2.353	2.340	2.328
16	4.494	3.634	3.239	3.007	2.852	2.741	2.657	2.591	2.538	2.494	2.456	2.425	2.397	2.373	2.352	2.333	2.317	2.302	2.288	2.276
17	4.451	3.592	3.197	2.965	2.810	2.699	2.614	2.548	2.494	2.450	2.413	2.381	2.353	2.329	2.308	2.289	2.272	2.257	2.243	2.230
18	4.414	3.555	3.160	2.928	2.773	2.661	2.577	2.510	2.456	2.412	2.374	2.342	2.314	2.290	2.269	2.250	2.233	2.217	2.203	2.191
19	4.381	3.522	3.127	2.895	2.740	2.628	2.544	2.477	2.423	2.378	2.340	2.308	2.280	2.256	2.234	2.215	2.198	2.182	2.168	2.155
20	4.351	3.493	3.098	2.866	2.711	2.599	2.514	2.447	2.393	2.348	2.310	2.278	2.250	2.225	2.203	2.184	2.167	2.151	2.137	2.124
21	4.325	3.467	3.072	2.840	2.685	2.573	2.488	2.420	2.366	2.321	2.283	2.250	2.222	2.197	2.176	2.156	2.139	2.123	2.109	2.096
22	4.301	3.443	3.049	2.817	2.661	2.549	2.464	2.397	2.342	2.297	2.259	2.226	2.198	2.173	2.151	2.131	2.114	2.098	2.084	2.071
23	4.279	3.422	3.028	2.796	2.640	2.528	2.442	2.375	2.320	2.275	2.236	2.204	2.175	2.150	2.128	2.109	2.091	2.075	2.061	2.048
24	4.260	3.403	3.009	2.776	2.621	2.508	2.423	2.355	2.300	2.255	2.216	2.183	2.155	2.130	2.108	2.088	2.070	2.054	2.040	2.027
25	4.242	3.385	2.991	2.759	2.603	2.490	2.405	2.337	2.282	2.236	2.198	2.165	2.136	2.111	2.089	2.069	2.051	2.035	2.021	2.007
26	4.225	3.369	2.975	2.743	2.587	2.474	2.388	2.321	2.265	2.220	2.181	2.148	2.119	2.094	2.072	2.052	2.034	2.018	2.003	1.990
27	4.210	3.354	2.960	2.728	2.572	2.459	2.373	2.305	2.250	2.204	2.166	2.132	2.103	2.078	2.056	2.036	2.018	2.002	1.987	1.974
28	4.196	3.340	2.947	2.714	2.558	2.445	2.359	2.291	2.236	2.190	2.151	2.118	2.089	2.064	2.041	2.021	2.003	1.987	1.972	1.959
29	4.183	3.328	2.934	2.701	2.545	2.432	2.346	2.278	2.223	2.177	2.138	2.104	2.075	2.050	2.027	2.007	1.989	1.973	1.958	1.945
30	4.171	3.316	2.922	2.690	2.534	2.421	2.334	2.266	2.211	2.165	2.126	2.092	2.063	2.037	2.015	1.995	1.976	1.960	1.945	1.932
40	4.085	3.232	2.839	2.606	2.449	2.336	2.249	2.180	2.124	2.077	2.038	2.003	1.974	1.948	1.924	1.904	1.885	1.868	1.853	1.839
50	4.034	3.183	2.790	2.557	2.400	2.286	2.199	2.130	2.073	2.026	1.986	1.952	1.921	1.895	1.871	1.850	1.831	1.814	1.798	1.784
60	4.001	3.150	2.758	2.525	2.368	2.254	2.167	2.097	2.040	1.993	1.952	1.917	1.887	1.860	1.836	1.815	1.796	1.778	1.763	1.748
70	3.978	3.128	2.736	2.503	2.346	2.231	2.143	2.074	2.017	1.969	1.928	1.893	1.863	1.836	1.812	1.790	1.771	1.753	1.737	1.722
80	3.960	3.111	2.719	2.486	2.329	2.214	2.126	2.056	1.999	1.951	1.910	1.875	1.845	1.817	1.793	1.772	1.752	1.734	1.718	1.703
90	3.947	3.098	2.706	2.473	2.316	2.201	2.113	2.043	1.986	1.938	1.897	1.861	1.830	1.803	1.779	1.757	1.737	1.720	1.703	1.688
100	3.936	3.087	2.696	2.463	2.305	2.191	2.103	2.032	1.975	1.927	1.886	1.850	1.819	1.792	1.768	1.746	1.726	1.708	1.691	1.676
200	3.888	3.041	2.650	2.417	2.259	2.144	2.056	1.985	1.927	1.878	1.837	1.801	1.769	1.742	1.717	1.694	1.674	1.656	1.639	1.623
500	3.860	3.014	2.623	2.390	2.232	2.117	2.028	1.957	1.899	1.850	1.808	1.772	1.740	1.712	1.686	1.664	1.643	1.625	1.607	1.592
1000	3.851	3.005	2.614	2.381	2.223	2.108	2.019	1.948	1.889	1.840	1.798	1.762	1.730	1.702	1.676	1.654	1.633	1.614	1.597	1.581

Elaborada por Irene Patricia Valdez y Alfaro.

**Tabla 5. VALORES F DE LA DISTRIBUCIÓN F DE FISHER**

**1 -  $\alpha$  = 0.95**

**1 -  $\alpha$  = P ( F  $\leq$  f<sub>( $\alpha$ , v1, v2))</sub>**

$\frac{v_1}{v_2}$	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	40	50	60	70	80	90	100	200	500	1000
1	248.307	248.579	248.823	249.052	249.260	249.453	249.631	249.798	249.951	250.096	251.144	251.774	252.196	252.498	252.723	252.898	253.043	253.676	254.062	254.186
2	19.448	19.450	19.452	19.454	19.456	19.457	19.459	19.460	19.461	19.463	19.471	19.476	19.479	19.481	19.483	19.485	19.486	19.491	19.494	19.495
3	8.654	8.648	8.643	8.638	8.634	8.630	8.626	8.623	8.620	8.617	8.594	8.581	8.572	8.566	8.561	8.557	8.554	8.540	8.532	8.529
4	5.795	5.787	5.781	5.774	5.769	5.763	5.759	5.754	5.750	5.746	5.717	5.699	5.688	5.679	5.673	5.668	5.664	5.646	5.635	5.632
5	4.549	4.541	4.534	4.527	4.521	4.515	4.510	4.505	4.500	4.496	4.464	4.444	4.431	4.422	4.415	4.409	4.405	4.385	4.373	4.369
6	3.865	3.856	3.849	3.841	3.835	3.829	3.823	3.818	3.813	3.808	3.774	3.754	3.740	3.730	3.722	3.716	3.712	3.690	3.678	3.673
7	3.435	3.426	3.418	3.410	3.404	3.397	3.391	3.386	3.381	3.376	3.340	3.319	3.304	3.294	3.286	3.280	3.275	3.252	3.239	3.234
8	3.140	3.131	3.123	3.115	3.108	3.102	3.095	3.090	3.084	3.079	3.043	3.020	3.005	2.994	2.986	2.980	2.975	2.951	2.937	2.932
9	2.926	2.917	2.908	2.900	2.893	2.886	2.880	2.874	2.869	2.864	2.826	2.803	2.787	2.776	2.768	2.761	2.756	2.731	2.717	2.712
10	2.764	2.754	2.745	2.737	2.730	2.723	2.716	2.710	2.705	2.700	2.661	2.637	2.621	2.609	2.601	2.594	2.588	2.563	2.548	2.543
11	2.636	2.626	2.617	2.609	2.601	2.594	2.588	2.582	2.576	2.570	2.531	2.507	2.490	2.478	2.469	2.462	2.457	2.431	2.415	2.410
12	2.533	2.523	2.514	2.505	2.498	2.491	2.484	2.478	2.472	2.466	2.426	2.401	2.384	2.372	2.363	2.356	2.350	2.323	2.307	2.302
13	2.448	2.438	2.429	2.420	2.412	2.405	2.398	2.392	2.386	2.380	2.339	2.314	2.297	2.284	2.275	2.267	2.261	2.234	2.218	2.212
14	2.377	2.367	2.357	2.349	2.341	2.333	2.326	2.320	2.314	2.308	2.266	2.241	2.223	2.210	2.201	2.193	2.187	2.159	2.142	2.136
15	2.316	2.306	2.297	2.288	2.280	2.272	2.265	2.259	2.253	2.247	2.204	2.178	2.160	2.147	2.137	2.130	2.123	2.095	2.078	2.072
16	2.264	2.254	2.244	2.235	2.227	2.220	2.212	2.206	2.200	2.194	2.151	2.124	2.106	2.093	2.083	2.075	2.068	2.039	2.022	2.016
17	2.219	2.208	2.199	2.190	2.181	2.174	2.167	2.160	2.154	2.148	2.104	2.077	2.058	2.045	2.035	2.027	2.020	1.991	1.973	1.967
18	2.179	2.168	2.159	2.150	2.141	2.134	2.126	2.119	2.113	2.107	2.063	2.035	2.017	2.003	1.993	1.985	1.978	1.948	1.929	1.923
19	2.144	2.133	2.123	2.114	2.106	2.098	2.090	2.084	2.077	2.071	2.026	1.999	1.980	1.966	1.955	1.947	1.940	1.910	1.891	1.884
20	2.112	2.102	2.092	2.082	2.074	2.066	2.059	2.052	2.045	2.039	1.994	1.966	1.946	1.932	1.922	1.913	1.907	1.875	1.856	1.850
21	2.084	2.073	2.063	2.054	2.045	2.037	2.030	2.023	2.016	2.010	1.965	1.936	1.916	1.902	1.891	1.883	1.876	1.845	1.825	1.818
22	2.059	2.048	2.038	2.028	2.020	2.012	2.004	1.997	1.990	1.984	1.938	1.909	1.889	1.875	1.864	1.856	1.849	1.817	1.797	1.790
23	2.036	2.025	2.014	2.005	1.996	1.988	1.981	1.973	1.967	1.961	1.914	1.885	1.865	1.850	1.839	1.830	1.823	1.791	1.771	1.764
24	2.015	2.003	1.993	1.984	1.975	1.967	1.959	1.952	1.945	1.939	1.892	1.863	1.842	1.828	1.816	1.808	1.800	1.768	1.747	1.740
25	1.995	1.984	1.974	1.964	1.955	1.947	1.939	1.932	1.926	1.919	1.872	1.842	1.822	1.807	1.796	1.787	1.779	1.746	1.725	1.718
26	1.978	1.966	1.956	1.946	1.938	1.929	1.921	1.914	1.907	1.901	1.853	1.823	1.803	1.788	1.776	1.767	1.760	1.726	1.705	1.698
27	1.961	1.950	1.940	1.930	1.921	1.913	1.905	1.898	1.891	1.884	1.836	1.806	1.785	1.770	1.758	1.749	1.742	1.708	1.686	1.679
28	1.946	1.935	1.924	1.915	1.906	1.897	1.889	1.882	1.875	1.869	1.820	1.790	1.769	1.754	1.742	1.733	1.725	1.691	1.669	1.662
29	1.932	1.921	1.910	1.901	1.891	1.883	1.875	1.868	1.861	1.854	1.806	1.775	1.754	1.738	1.726	1.717	1.710	1.675	1.653	1.645
30	1.919	1.908	1.897	1.887	1.878	1.870	1.862	1.854	1.847	1.841	1.792	1.761	1.740	1.724	1.712	1.703	1.695	1.660	1.637	1.630
40	1.826	1.814	1.803	1.793	1.783	1.775	1.766	1.759	1.751	1.744	1.693	1.660	1.637	1.621	1.608	1.597	1.589	1.551	1.526	1.517
50	1.771	1.759	1.748	1.737	1.727	1.718	1.710	1.702	1.694	1.687	1.634	1.599	1.576	1.558	1.544	1.534	1.525	1.484	1.457	1.448
60	1.735	1.722	1.711	1.700	1.690	1.681	1.672	1.664	1.656	1.649	1.594	1.559	1.534	1.516	1.502	1.491	1.481	1.438	1.409	1.399
70	1.709	1.696	1.685	1.674	1.664	1.654	1.646	1.637	1.629	1.622	1.566	1.530	1.505	1.486	1.471	1.459	1.450	1.404	1.374	1.364
80	1.689	1.677	1.665	1.654	1.644	1.634	1.626	1.617	1.609	1.602	1.545	1.508	1.482	1.463	1.448	1.436	1.426	1.379	1.347	1.336
90	1.675	1.662	1.650	1.639	1.629	1.619	1.610	1.601	1.593	1.586	1.528	1.491	1.465	1.445	1.429	1.417	1.407	1.358	1.326	1.314
100	1.663	1.650	1.638	1.627	1.616	1.607	1.598	1.589	1.581	1.573	1.515	1.477	1.450	1.430	1.415	1.402	1.392	1.342	1.308	1.296
200	1.609	1.596	1.583	1.572	1.561	1.551	1.542	1.533	1.524	1.516	1.455	1.415	1.386	1.364	1.346	1.332	1.321	1.263	1.221	1.205
500	1.577	1.563	1.551	1.539	1.528	1.518	1.508	1.499	1.490	1.482	1.419	1.376	1.345	1.322	1.303	1.288	1.275	1.210	1.159	1.138
1000	1.566	1.553	1.540	1.528	1.517	1.507	1.497	1.488	1.479	1.471	1.406	1.363	1.332	1.308	1.289	1.273	1.260	1.190	1.134	1.110

Elaborada por Irene Patricia Valdez y Alfaro.

**Tabla 5. VALORES F DE LA DISTRIBUCIÓN F DE FISHER**

1 -  $\alpha = 0.975$        $\square_1$  = grados de libertad del numerador  
 1 -  $\alpha = P ( F \leq f_{\square_1, \square_2} )$        $\square_2$  = grados de libertad del denominador

$\square_1 \backslash \square_2$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	647.793	799.482	864.151	899.599	921.835	937.114	948.203	956.643	963.279	968.634	973.028	976.725	979.839	982.545	984.874	986.911	988.715	990.345	991.800	993.081
2	38.506	39.000	39.166	39.248	39.298	39.331	39.356	39.373	39.387	39.398	39.407	39.415	39.421	39.427	39.431	39.436	39.439	39.442	39.446	39.448
3	17.443	16.044	15.439	15.101	14.885	14.735	14.624	14.540	14.473	14.419	14.374	14.337	14.305	14.277	14.253	14.232	14.213	14.196	14.181	14.167
4	12.218	10.649	9.979	9.604	9.364	9.197	9.074	8.980	8.905	8.844	8.794	8.751	8.715	8.684	8.657	8.633	8.611	8.592	8.575	8.560
5	10.007	8.434	7.764	7.388	7.146	6.978	6.853	6.757	6.681	6.619	6.568	6.525	6.488	6.456	6.428	6.403	6.381	6.362	6.344	6.329
6	8.813	7.260	6.599	6.227	5.988	5.820	5.695	5.600	5.523	5.461	5.410	5.366	5.329	5.297	5.269	5.244	5.222	5.202	5.184	5.168
7	8.073	6.542	5.890	5.523	5.285	5.119	4.995	4.899	4.823	4.761	4.709	4.666	4.628	4.596	4.568	4.543	4.521	4.501	4.483	4.467
8	7.571	6.059	5.416	5.053	4.817	4.652	4.529	4.433	4.357	4.295	4.243	4.200	4.162	4.130	4.101	4.076	4.054	4.034	4.016	3.999
9	7.209	5.715	5.078	4.718	4.484	4.320	4.197	4.102	4.026	3.964	3.912	3.868	3.831	3.798	3.769	3.744	3.722	3.701	3.683	3.667
10	6.937	5.456	4.826	4.468	4.236	4.072	3.950	3.855	3.779	3.717	3.665	3.621	3.583	3.550	3.522	3.496	3.474	3.453	3.435	3.419
11	6.724	5.256	4.630	4.275	4.044	3.881	3.759	3.664	3.588	3.526	3.474	3.430	3.392	3.359	3.330	3.304	3.282	3.261	3.243	3.226
12	6.554	5.096	4.474	4.121	3.891	3.728	3.607	3.512	3.436	3.374	3.321	3.277	3.239	3.206	3.177	3.152	3.129	3.108	3.090	3.073
13	6.414	4.965	4.347	3.996	3.767	3.604	3.483	3.388	3.312	3.250	3.197	3.153	3.115	3.082	3.053	3.027	3.004	2.983	2.965	2.948
14	6.298	4.857	4.242	3.892	3.663	3.501	3.380	3.285	3.209	3.147	3.095	3.050	3.012	2.979	2.949	2.923	2.900	2.879	2.861	2.844
15	6.200	4.765	4.153	3.804	3.576	3.415	3.293	3.199	3.123	3.060	3.008	2.963	2.925	2.891	2.862	2.836	2.813	2.792	2.773	2.756
16	6.115	4.687	4.077	3.729	3.502	3.341	3.219	3.125	3.049	2.986	2.934	2.889	2.851	2.817	2.788	2.761	2.738	2.717	2.698	2.681
17	6.042	4.619	4.011	3.665	3.438	3.277	3.156	3.062	2.985	2.922	2.870	2.825	2.786	2.753	2.723	2.697	2.673	2.652	2.633	2.616
18	5.978	4.560	3.954	3.608	3.382	3.221	3.100	3.005	2.929	2.866	2.814	2.769	2.730	2.696	2.667	2.640	2.617	2.596	2.576	2.559
19	5.922	4.508	3.903	3.559	3.333	3.172	3.051	2.956	2.880	2.817	2.765	2.720	2.681	2.647	2.617	2.591	2.567	2.546	2.526	2.509
20	5.871	4.461	3.859	3.515	3.289	3.128	3.007	2.913	2.837	2.774	2.721	2.676	2.637	2.603	2.573	2.547	2.523	2.501	2.482	2.464
21	5.827	4.420	3.819	3.475	3.250	3.090	2.969	2.874	2.798	2.735	2.682	2.637	2.598	2.564	2.534	2.507	2.483	2.462	2.442	2.425
22	5.786	4.383	3.783	3.440	3.215	3.055	2.934	2.839	2.763	2.700	2.647	2.602	2.563	2.528	2.498	2.472	2.448	2.426	2.407	2.389
23	5.750	4.349	3.750	3.408	3.183	3.023	2.902	2.808	2.731	2.668	2.615	2.570	2.531	2.497	2.466	2.440	2.416	2.394	2.374	2.357
24	5.717	4.319	3.721	3.379	3.155	2.995	2.874	2.779	2.703	2.640	2.586	2.541	2.502	2.468	2.437	2.411	2.386	2.365	2.345	2.327
25	5.686	4.291	3.694	3.353	3.129	2.969	2.848	2.753	2.677	2.613	2.560	2.515	2.476	2.441	2.411	2.384	2.360	2.338	2.318	2.300
26	5.659	4.265	3.670	3.329	3.105	2.945	2.824	2.729	2.653	2.590	2.536	2.491	2.452	2.417	2.387	2.360	2.335	2.314	2.294	2.276
27	5.633	4.242	3.647	3.307	3.083	2.923	2.802	2.707	2.631	2.568	2.514	2.469	2.429	2.395	2.364	2.337	2.313	2.291	2.271	2.253
28	5.610	4.221	3.626	3.286	3.063	2.903	2.782	2.687	2.611	2.547	2.494	2.448	2.409	2.374	2.344	2.317	2.292	2.270	2.251	2.232
29	5.588	4.201	3.607	3.267	3.044	2.884	2.763	2.668	2.592	2.529	2.475	2.430	2.390	2.355	2.325	2.298	2.273	2.251	2.231	2.213
30	5.568	4.182	3.589	3.250	3.026	2.867	2.746	2.651	2.575	2.511	2.458	2.412	2.372	2.338	2.307	2.280	2.255	2.233	2.213	2.195
40	5.424	4.051	3.463	3.126	2.904	2.744	2.624	2.529	2.452	2.388	2.334	2.288	2.248	2.213	2.182	2.154	2.129	2.107	2.086	2.068
50	5.340	3.975	3.390	3.054	2.833	2.674	2.553	2.458	2.381	2.317	2.263	2.216	2.176	2.140	2.109	2.081	2.056	2.033	2.012	1.993
60	5.286	3.925	3.343	3.008	2.786	2.627	2.507	2.412	2.334	2.270	2.216	2.169	2.129	2.093	2.061	2.033	2.008	1.985	1.964	1.944
70	5.247	3.890	3.309	2.975	2.754	2.595	2.474	2.379	2.302	2.237	2.183	2.136	2.095	2.059	2.028	1.999	1.974	1.950	1.929	1.910
80	5.218	3.864	3.284	2.950	2.730	2.571	2.450	2.355	2.277	2.213	2.158	2.111	2.071	2.035	2.003	1.974	1.948	1.925	1.904	1.884
90	5.196	3.844	3.265	2.932	2.711	2.552	2.432	2.336	2.259	2.194	2.140	2.092	2.051	2.015	1.983	1.955	1.929	1.905	1.884	1.864
100	5.179	3.828	3.250	2.917	2.696	2.537	2.417	2.321	2.244	2.179	2.124	2.077	2.036	2.000	1.968	1.939	1.913	1.890	1.868	1.849
200	5.100	3.758	3.182	2.850	2.630	2.472	2.351	2.256	2.178	2.113	2.058	2.010	1.969	1.932	1.900	1.870	1.844	1.820	1.798	1.778
500	5.054	3.716	3.142	2.811	2.592	2.434	2.313	2.217	2.139	2.074	2.019	1.971	1.929	1.892	1.859	1.830	1.803	1.779	1.757	1.736
1000	5.039	3.703	3.129	2.799	2.579	2.421	2.300	2.204	2.126	2.061	2.006	1.958	1.916	1.879	1.846	1.816	1.789	1.765	1.743	1.722

Elaborada por Irene Patricia Valdez y Alfaro.

**Tabla 5. VALORES F DE LA DISTRIBUCIÓN F DE FISHER**

$1 - \alpha = 0.975$

$1 - \alpha = P ( F \leq f_{\alpha, D_1, D_2} )$

$\frac{D_1}{D_2}$	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	40	50	60	70	80	90	100	200	500	1000
1	994.303	995.351	996.341	997.272	998.087	998.843	999.542	1000.240	1000.823	1001.405	1005.596	1008.098	1009.787	1011.009	1011.911	1012.610	1013.163	1015.724	1017.237	1017.761
2	39.450	39.452	39.455	39.457	39.458	39.459	39.461	39.462	39.463	39.465	39.473	39.478	39.481	39.484	39.486	39.487	39.488	39.493	39.496	39.497
3	14.155	14.144	14.134	14.124	14.115	14.107	14.100	14.093	14.086	14.081	14.036	14.010	13.992	13.979	13.970	13.962	13.956	13.929	13.913	13.908
4	8.546	8.533	8.522	8.511	8.501	8.492	8.483	8.475	8.468	8.461	8.411	8.381	8.360	8.346	8.335	8.326	8.319	8.288	8.270	8.264
5	6.314	6.301	6.289	6.278	6.268	6.258	6.250	6.242	6.234	6.227	6.175	6.144	6.123	6.107	6.096	6.087	6.080	6.048	6.028	6.022
6	5.154	5.141	5.128	5.117	5.107	5.097	5.088	5.080	5.072	5.065	5.012	4.980	4.959	4.943	4.932	4.923	4.915	4.882	4.862	4.856
7	4.452	4.439	4.426	4.415	4.405	4.395	4.386	4.378	4.370	4.362	4.309	4.276	4.254	4.239	4.227	4.218	4.210	4.176	4.156	4.149
8	3.985	3.971	3.959	3.947	3.937	3.927	3.918	3.909	3.901	3.894	3.840	3.807	3.784	3.768	3.756	3.747	3.739	3.705	3.684	3.677
9	3.652	3.638	3.626	3.614	3.604	3.594	3.584	3.576	3.568	3.560	3.505	3.472	3.449	3.433	3.421	3.411	3.403	3.368	3.347	3.340
10	3.403	3.390	3.377	3.365	3.355	3.345	3.335	3.327	3.319	3.311	3.255	3.221	3.198	3.182	3.169	3.160	3.152	3.116	3.094	3.087
11	3.211	3.197	3.184	3.173	3.162	3.152	3.142	3.133	3.125	3.118	3.061	3.027	3.004	2.987	2.974	2.964	2.956	2.920	2.898	2.890
12	3.057	3.043	3.031	3.019	3.008	2.998	2.988	2.979	2.971	2.963	2.906	2.871	2.848	2.831	2.818	2.808	2.800	2.763	2.740	2.733
13	2.932	2.918	2.905	2.893	2.882	2.872	2.862	2.853	2.845	2.837	2.780	2.744	2.720	2.703	2.690	2.680	2.671	2.634	2.611	2.603
14	2.828	2.814	2.801	2.789	2.778	2.767	2.758	2.749	2.740	2.732	2.674	2.638	2.614	2.597	2.583	2.573	2.565	2.526	2.503	2.495
15	2.740	2.726	2.713	2.701	2.689	2.679	2.669	2.660	2.652	2.644	2.585	2.549	2.524	2.506	2.493	2.482	2.474	2.435	2.411	2.403
16	2.665	2.651	2.637	2.625	2.614	2.603	2.594	2.584	2.576	2.568	2.509	2.472	2.447	2.429	2.415	2.405	2.396	2.357	2.333	2.324
17	2.600	2.585	2.572	2.560	2.548	2.538	2.528	2.519	2.510	2.502	2.442	2.405	2.380	2.362	2.348	2.337	2.329	2.289	2.264	2.256
18	2.543	2.529	2.515	2.503	2.491	2.481	2.471	2.461	2.453	2.445	2.384	2.347	2.321	2.303	2.289	2.278	2.269	2.229	2.204	2.195
19	2.493	2.478	2.465	2.452	2.441	2.430	2.420	2.411	2.402	2.394	2.333	2.295	2.270	2.251	2.237	2.226	2.217	2.176	2.150	2.142
20	2.448	2.434	2.420	2.408	2.396	2.385	2.375	2.366	2.357	2.349	2.287	2.249	2.223	2.205	2.190	2.179	2.170	2.128	2.103	2.094
21	2.409	2.394	2.380	2.368	2.356	2.345	2.335	2.325	2.317	2.308	2.246	2.208	2.182	2.163	2.148	2.137	2.128	2.086	2.060	2.051
22	2.373	2.358	2.344	2.332	2.320	2.309	2.299	2.289	2.280	2.272	2.210	2.171	2.145	2.125	2.111	2.099	2.090	2.047	2.021	2.012
23	2.340	2.325	2.312	2.299	2.287	2.276	2.266	2.256	2.247	2.239	2.176	2.137	2.111	2.091	2.077	2.065	2.056	2.013	1.986	1.977
24	2.311	2.296	2.282	2.269	2.257	2.246	2.236	2.226	2.217	2.209	2.146	2.107	2.080	2.060	2.045	2.034	2.024	1.981	1.954	1.945
25	2.284	2.269	2.255	2.242	2.230	2.219	2.209	2.199	2.190	2.182	2.118	2.079	2.052	2.032	2.017	2.005	1.996	1.952	1.924	1.915
26	2.259	2.244	2.230	2.217	2.205	2.194	2.184	2.174	2.165	2.157	2.093	2.053	2.026	2.006	1.991	1.979	1.969	1.925	1.897	1.888
27	2.237	2.222	2.208	2.195	2.183	2.171	2.161	2.151	2.142	2.133	2.069	2.029	2.002	1.982	1.966	1.954	1.945	1.900	1.872	1.862
28	2.216	2.201	2.187	2.174	2.161	2.150	2.140	2.130	2.121	2.112	2.048	2.007	1.980	1.959	1.944	1.932	1.922	1.877	1.848	1.839
29	2.196	2.181	2.167	2.154	2.142	2.131	2.120	2.110	2.101	2.092	2.028	1.987	1.959	1.939	1.923	1.911	1.901	1.855	1.827	1.817
30	2.178	2.163	2.149	2.136	2.124	2.112	2.102	2.092	2.083	2.074	2.009	1.968	1.940	1.920	1.904	1.892	1.882	1.835	1.806	1.797
40	2.051	2.035	2.020	2.007	1.994	1.983	1.972	1.962	1.952	1.943	1.875	1.832	1.803	1.781	1.764	1.751	1.741	1.691	1.659	1.648
50	1.976	1.960	1.945	1.931	1.919	1.907	1.895	1.885	1.875	1.866	1.796	1.752	1.721	1.698	1.681	1.667	1.656	1.603	1.569	1.557
60	1.927	1.911	1.896	1.882	1.869	1.857	1.845	1.835	1.825	1.815	1.744	1.699	1.667	1.643	1.625	1.611	1.599	1.543	1.507	1.495
70	1.892	1.876	1.861	1.847	1.833	1.821	1.810	1.799	1.789	1.779	1.707	1.660	1.628	1.604	1.585	1.570	1.558	1.500	1.463	1.449
80	1.866	1.850	1.835	1.820	1.807	1.795	1.783	1.772	1.762	1.752	1.679	1.632	1.599	1.574	1.555	1.540	1.527	1.467	1.428	1.414
90	1.846	1.830	1.814	1.800	1.787	1.774	1.763	1.752	1.741	1.731	1.657	1.610	1.576	1.551	1.531	1.516	1.503	1.441	1.401	1.386
100	1.830	1.814	1.798	1.784	1.770	1.758	1.746	1.735	1.725	1.715	1.640	1.592	1.558	1.532	1.512	1.496	1.483	1.420	1.378	1.363
200	1.759	1.742	1.726	1.712	1.698	1.685	1.673	1.661	1.650	1.640	1.562	1.511	1.474	1.447	1.425	1.407	1.393	1.320	1.269	1.250
500	1.717	1.700	1.684	1.669	1.655	1.641	1.629	1.617	1.606	1.596	1.515	1.462	1.423	1.394	1.370	1.351	1.336	1.254	1.192	1.166
1000	1.703	1.686	1.670	1.654	1.640	1.627	1.614	1.603	1.591	1.581	1.499	1.445	1.406	1.376	1.352	1.332	1.316	1.230	1.162	1.132

Elaborada por Irene Patricia Valdez y Alfaro.

## ANEXO G

- LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES PARA VEHÍCULOS SEGÚN DECRETO SUPREMO N° 047-2001-MTC

Los vehículos menores de las Categorías L1 y L2 (motores de menos de 50cc) no requieren control de emisiones, siendo esto válido para las normas de importación o de fabricación nacional y las pruebas de emisiones para vehículos en circulación y para inspecciones técnicas."(\*)

(\*) Artículo incorporado por el [Artículo 2 del Decreto Supremo N° 009-2012-MINAM](#), publicado el 18 diciembre 2012.

"Artículo 14.- Toda referencia a Revisiones Técnicas contenida en el Decreto Supremo N° 047-2001-MTC, mediante el cual se establecieron los límites máximos permisibles de emisiones contaminantes para vehículos automotores que circulen en la red vial, se entenderá como Inspecciones Técnicas Vehiculares, de acuerdo a su nueva denominación regulada en la Ley N° 29237, Ley que crea el Sistema Nacional de Inspecciones Técnicas Vehiculares."(\*)

(\*) Artículo incorporado por el [Artículo 2 del Decreto Supremo N° 009-2012-MINAM](#), publicado el 18 diciembre 2012.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los treinta días del mes de octubre del año dos mil uno.

ALEJANDRO TOLEDO

Presidente Constitucional de la República

ROBERTO DAÑINO ZAPATA

Presidente del Consejo de Ministros

LUIS CHANG REYES

Ministro de Transportes, Comunicaciones,

Vivienda y Construcción

### ANEXO N° 1

#### VALORES DE LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES

(\*) De conformidad con el [Artículo 4 del Decreto Supremo N° 002-2003-MTC](#), publicado el 16-01-2003, se precisa que son aceptables las normas EURO o Tier más avanzadas que las consideradas en el presente Anexo, siempre y cuando se adecuen a la directiva o regulación que le corresponda.

#### I. LIMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA VEHICULOS EN CIRCULACION A NIVEL NACIONAL

a) PARA SU APLICACIÓN INMEDIATA			
VEHÍCULOS MAYORES A GASOLINA, GAS LICUADO DE PETRÓLEO Y GAS NATURAL (livianos, medianos y pesados)			
AÑO DE FABRICACION	CO % de Volumen	HC (ppm) (1)	CO + CO <sub>2</sub> % (mínimo) (1)
Hasta 1995	4,5	600	10
1996 en adelante	3,5	400	10

(1) Para vehículos a Gasolina : Únicamente para controles en carretera o vía pública, que se realicen a más de 1800 m.s.n.m., se aceptarán los siguientes valores, para Hidrocarburos (HC): modelos hasta 1995; HC 650 ppm y 8% CO + CO<sub>2</sub>, modelos 1996 en adelante; HC 450 ppm y 8% CO + CO<sub>2</sub>

VEHÍCULOS MAYORES A DIESEL		
<i>(Livianos, medianos y pesados)</i>		
AÑO DE FABRICACION	Opacidad : k(m <sup>-1</sup> ) (2)	Opacidad en %
Antes de 1995	3,4	77
1996 en adelante	2,8	70

(2) Para Vehículos a Diesel: Únicamente para controles en carretera o vía pública, que se realicen a más de 1000 m.s.n.m., se aceptará una corrección por altura de 0.25 k(m<sup>-1</sup>) por cada 1000 m.s.n.m. adicionales, hasta un máximo de 0.75 k(m<sup>-1</sup>)

VEHICULOS MENORES CON MOTORES DE DOS TIEMPOS QUE USAN MEZCLA DE GASOLINA - ACEITE COMO COMBUSTIBLE		
Volumen desplazamiento nominal cc	CO % de volumen	HC ppm
Mayores de 50 cc (3)	2,5	8000
VEHICULOS MENORES CON MOTORES DE CUATRO TIEMPOS QUE USAN GASOLINA COMO COMBUSTIBLE		
Volumen desplazamiento nominal cc	CO % de volumen	HC ppm
Mayores de 50 cc (3)	4,5	600
VEHICULOS MENORES CON MOTORES DE CUATRO TIEMPOS QUE USAN DIESEL COMO COMBUSTIBLE		
Volumen desplazamiento nominal cc	Opacidad : k(m <sup>-1</sup> )	Opacidad en %
Mayores de 50 cc (3)	2,1	60

(3) Vehículos menores de 50 cc no requieren prueba de emisiones.

b) PRIMER REAJUSTE: A LOS DIECIOCHO MESES DE LA PUBLICACION DEL PRESENTE DECRETO SUPREMO			
VEHÍCULOS MAYORES A GASOLINA, GAS LICUADO DE PETRÓLEO Y GAS NATURAL			
<i>(livianos, medianos y pesados)</i>			
AÑO DE FABRICACION	CO % de Volumen	HC (ppm) (4)	CO + CO <sub>2</sub> % (mínimo)
Hasta 1995	3,0	400	10
1996 en adelante	2,5	300	10
2003 en adelante	0,5	100	12

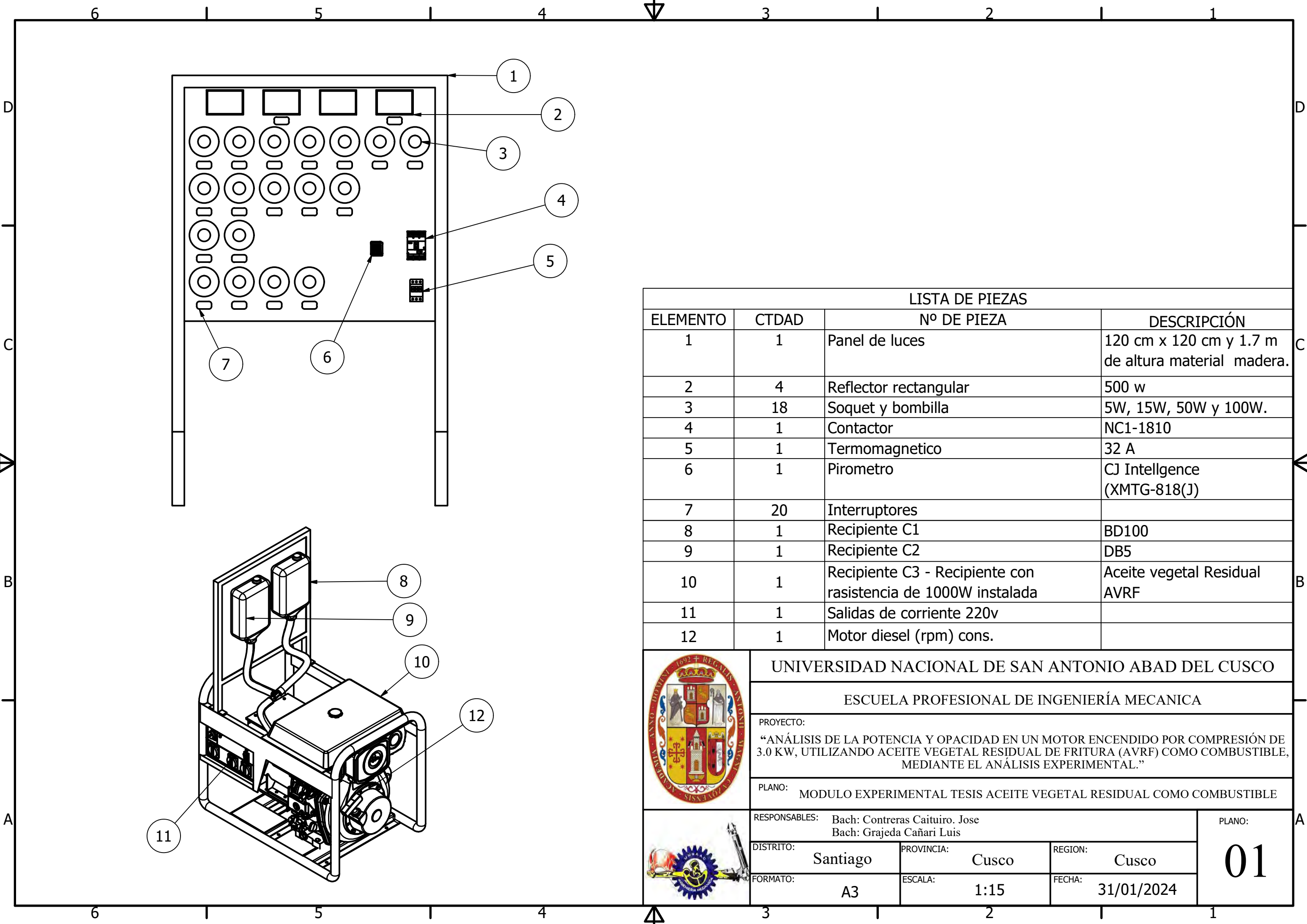
(4) Para Vehículos a Gasolina: Únicamente para controles en carretera o vía pública, que se realicen a más de 1800 m.s.n.m., se aceptarán los siguientes valores sólo para HC: modelos hasta 1995, HC 450 ppm y 8% CO + CO<sub>2</sub>, modelos 1996 en adelante, HC 350 ppm y 8% CO + CO<sub>2</sub>

VEHICULOS MAYORES A DIESEL		
<i>(livianos, medianos y pesados)</i>		
AÑO DE FABRICACION	Opacidad : k(m <sup>-1</sup> ) (5)	Opacidad en %

# **ANEXO H**

- **ESQUEMA GENERAL DEL MODULO  
EXPERIMENTAL TESIS ACEITE VEGETAL  
RESIDUAL COMO COMBUSTIBLE.**
- **CONEXIONADO ELECTRICO FRENO ELECTRICO.**
- **CONEXIONADO ELECTRICO GENERAL.**





LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	Panel de luces	120 cm x 120 cm y 1.7 m de altura material madera.
2	4	Reflector rectangular	500 w
3	18	Soquet y bombilla	5W, 15W, 50W y 100W.
4	1	Contactora	NC1-1810
5	1	Termomagnético	32 A
6	1	Pirometro	CJ Intellgence (XMTG-818(J))
7	20	Interruptores	
8	1	Recipiente C1	BD100
9	1	Recipiente C2	DB5
10	1	Recipiente C3 - Recipiente con rasistencia de 1000W instalada	Aceite vegetal Residual AVRF
11	1	Salidas de corriente 220v	
12	1	Motor diesel (rpm) cons.	



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECANICA

PROYECTO:

“ANÁLISIS DE LA POTENCIA Y OPACIDAD EN UN MOTOR ENCENDIDO POR COMPRESIÓN DE 3.0 KW, UTILIZANDO ACEITE VEGETAL RESIDUAL DE FRITURA (AVRF) COMO COMBUSTIBLE, MEDIANTE EL ANÁLISIS EXPERIMENTAL.”

PLANO:

MODULO EXPERIMENTAL TESIS ACEITE VEGETAL RESIDUAL COMO COMBUSTIBLE

RESPONSABLES: Bach: Contreras Caituiro. Jose  
Bach: Grajeda Cañari Luis

PLANO:

01



DISTRITO: Santiago

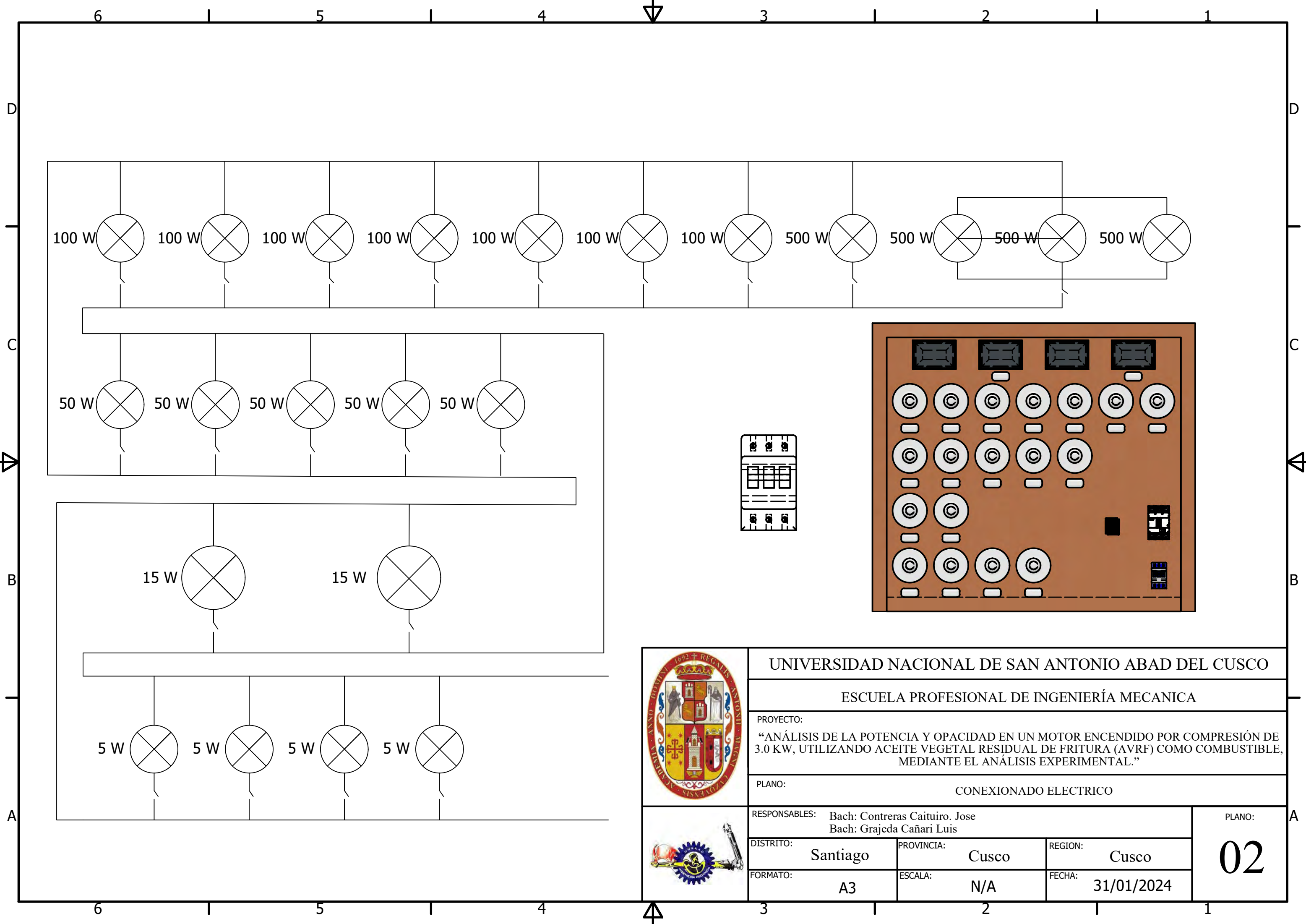
PROVINCIA: Cusco

REGION: Cusco

FORMATO: A3

ESCALA: 1:15

FECHA: 31/01/2024



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA

PROYECTO:  
 “ANÁLISIS DE LA POTENCIA Y OPACIDAD EN UN MOTOR ENCENDIDO POR COMPRESIÓN DE 3.0 KW, UTILIZANDO ACEITE VEGETAL RESIDUAL DE FRITURA (AVRF) COMO COMBUSTIBLE, MEDIANTE EL ANÁLISIS EXPERIMENTAL.”

PLANO: CONEXIONADO ELECTRICO

RESPONSABLES: Bach: Contreras Caituiro. Jose  
 Bach: Grajeda Cañari Luis

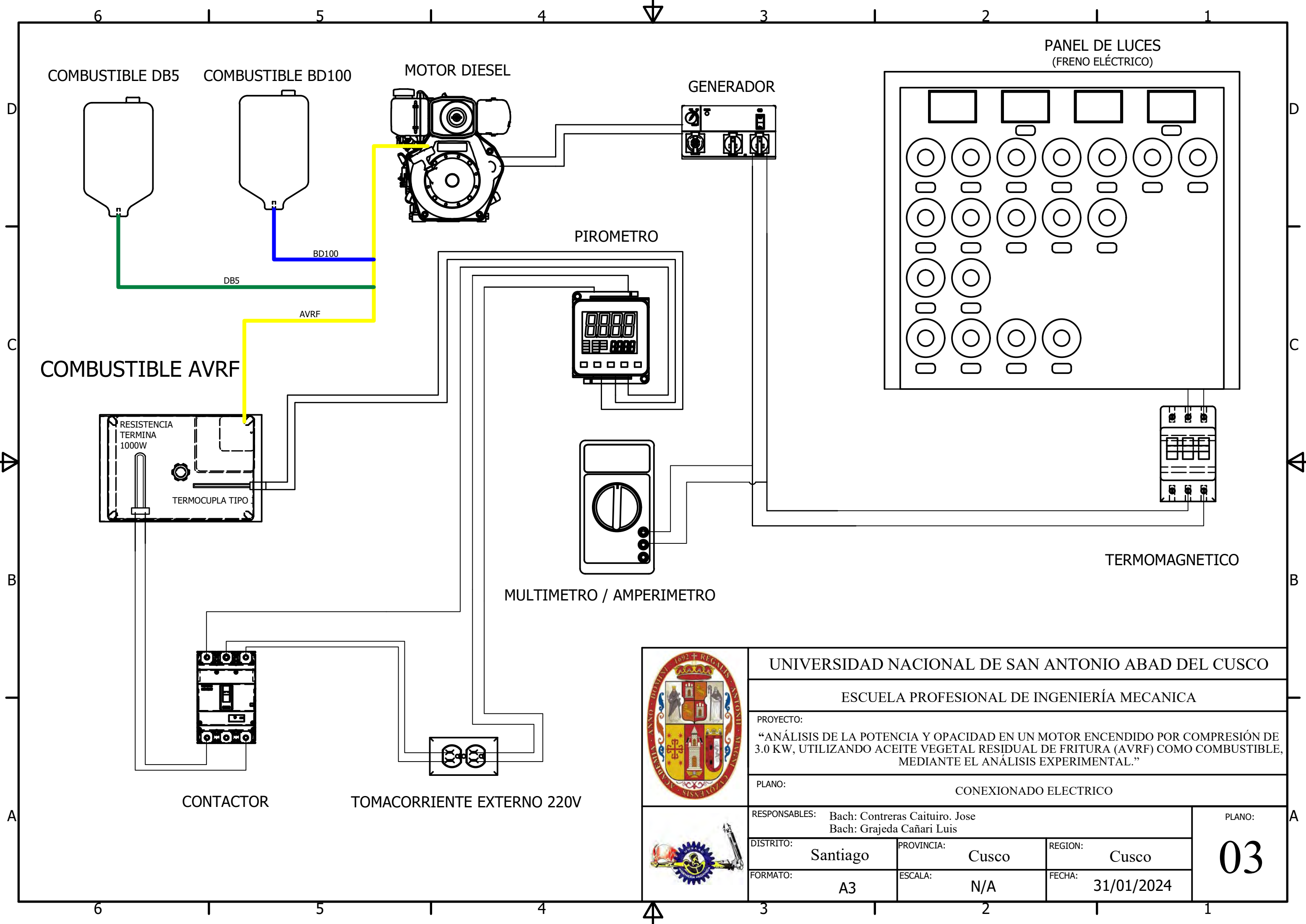
PLANO:


DISTRITO: Santiago PROVINCIA: Cusco REGION: Cusco

02

FORMATO: A3 ESCALA: N/A FECHA: 31/01/2024





	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO</b>			
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA			
PROYECTO:	“ANÁLISIS DE LA POTENCIA Y OPACIDAD EN UN MOTOR ENCENDIDO POR COMPRESIÓN DE 3.0 KW, UTILIZANDO ACEITE VEGETAL RESIDUAL DE FRITURA (AVRF) COMO COMBUSTIBLE, MEDIANTE EL ANÁLISIS EXPERIMENTAL.”			
PLANO:	CONEXIONADO ELECTRICO			
RESPONSABLES:	Bach: Contreras Caitiuro. Jose Bach: Grajeda Cañari Luis		PLANO:  <b>03</b>	
DISTRITO:	Santiago	PROVINCIA:		Cusco
REGION:	Cusco			
FECHA:	31/01/2024			
FORMATO:	A3	ESCALA:	N/A	