

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA



**EVALUACIÓN DE LA MEZCLA ACEITE RESIDUAL DE
PESCADO Y PETRÓLEO INDUSTRIAL N° 500, PARA
DETERMINAR LA INFLUENCIA EN EL PODER CALORÍFICO-
EMPRESA AUSTRAL GROUP S.A**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero en Energía

AUTORES

Bach. GUZMÁN LUNA MIGUEL ANDRÉS
Bach. MEDINA CHAUCA JHONATAN JOSÉ

ASESOR

MSc. ROBERTO CHUCUYA HUALLPACHOQUE

NUEVO CHIMBOTE

2018



"Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional"

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

A los veintinueve días del mes de agosto del año dos mil dieciocho, siendo las once horas del día, se instaló en el Auditorio de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería en Energía, el Jurado Evaluador designado mediante **Resolución N° 291-2018-UNS-CFI**, integrado por los siguientes docentes:

- **M.Sc. HUGO ROLANDO CALDERON TORRES** : **PRESIDENTE**
- **Mg. ROBERT FABIAN GUEVARA CHINCHAYAN** : **INTEGRANTE**
- **M.Sc. ROBERTO CARLOS CHUCUYA HUALLPACHOQUE** : **INTEGRANTE**
- **M.Sc. CHRISTIAN PUICAN FARROÑAY** : **ACCESITARIO**

Para dar inicio a la sustentación y evaluación de la Tesis titulada: **EVALUACIÓN DE LA MEZCLA ACEITE RESIDUAL DE PESCADO Y PETRÓLEO INDUSTRIAL N°500, PARA DETERMINAR LA INFLUENCIA EN EL PODER CALORÍFICO-EMPRESA AUSTRAL GROUP S.A.A.**, elaborado por el Bachiller de Ingeniería en Energía **JHONATAN JOSE MEDINA CHAUCA**, teniendo como asesor al docente **M.Sc. ROBERTO CARLOS CHUCUYA HUALLPACHOQUE**. Terminada la sustentación el estudiante, respondió las preguntas formuladas por los miembros del jurado y el público presente.

El Jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo y con las sugerencias pertinentes, en concordancia con los artículos 39° y 40° del Reglamento General para Obtener el Grado Académico de Bachiller y Título Profesional de la Universidad Nacional del Santa, declara:

BACHILLER	PROMEDIO	PONDERACIÓN
JHONATAN JOSE MEDINA CHAUCA	Dieciséis (16)	Regular

Siendo las doce horas del mismo día, se da por terminado el acto de sustentación, firmando los integrantes del jurado en señal de conformidad.


M.Sc. Hugo R. Calderón Torres
PRESIDENTE


Mg. Robert F. Guevara Chinchayán
SECRETARIO


M.Sc. Roberto C. Chucuya Huallpachoque
INTEGRANTE



"Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional"

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

A los veintinueve días del mes de agosto del año dos mil dieciocho, siendo las once horas del día, se instaló en el Auditorio de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería en Energía, el Jurado Evaluador designado mediante **Resolución N° 291-2018-UNS-CFI**, integrado por los siguientes docentes:

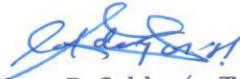
- **M.Sc. HUGO ROLANDO CALDERON TORRES** : **PRESIDENTE**
- **Mg. ROBERT FABIAN GUEVARA CHINCHAYAN** : **INTEGRANTE**
- **M.Sc. ROBERTO CARLOS CHUCUYA HUALLPACHOQUE** : **INTEGRANTE**
- **M.Sc. CHRISTIAN PUICAN FARROÑAY** : **ACCESITARIO**

Para dar inicio a la sustentación y evaluación de la Tesis titulada: **EVALUACIÓN DE LA MEZCLA ACEITE RESIDUAL DE PESCADO Y PETRÓLEO INDUSTRIAL N°500, PARA DETERMINAR LA INFLUENCIA EN EL PODER CALORÍFICO-EMPRESA AUSTRAL GROUP S.A.A.**, elaborado por el Bachiller de Ingeniería en Energía **MIGUEL ANDRES GUZMAN LUNA**, teniendo como asesor al docente **M.Sc. ROBERTO CARLOS CHUCUYA HUALLPACHOQUE**. Terminada la sustentación el estudiante, respondió las preguntas formuladas por los miembros del jurado y el público presente.

El Jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo y con las sugerencias pertinentes, en concordancia con los artículos 39° y 40° del Reglamento General para Obtener el Grado Académico de Bachiller y Título Profesional de la Universidad Nacional del Santa, declara:

BACHILLER	PROMEDIO	PONDERACIÓN
MIGUEL ANDRES GUZMAN LUNA	Dieciséis (16)	Regular

Siendo las doce horas del mismo día, se da por terminado el acto de sustentación, firmando los integrantes del jurado en señal de conformidad.


M.Sc. Hugo R. Calderón Torres
PRESIDENTE


Mg. Robert F. Guevara Chinchayán
SECRETARIO


M.Sc. Roberto C. Chucuya Huallpachoque
INTEGRANTE

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA



HOJA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR

La presente tesis ha sido revisada y desarrollada en cumplimiento del objetivo propuesto y reúne las condiciones formales y metodológicas, estando encuadrado dentro de las áreas y líneas de investigación conforme al reglamento general para obtener el título profesional en la Universidad Nacional del Santa (R.D N°492-2017-CU-R-UNS) de acuerdo a la denominación siguiente:

**EVALUACIÓN DE LA MEZCLA ACEITE RESIDUAL DE PESCADO Y
PETRÓLEO INDUSTRIAL N° 500, PARA DETERMINAR LA INFLUENCIA EN
EL PODER CALORÍFICO- EMPRESA AUSTRAL GROUP S.A**

Autores: Bach. Guzmán Luna Miguel Andrés
 Bach. Medina Chauca Jhonatan José

M.Sc. Roberto Chucuya Huallpachoque
ASESOR

Nuevo Chimbote, octubre de 2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA EN ENERGIA



HOJA DE CONFORMIDAD DEL JURADO EVALUADOR DE TESIS

El presente jurado evaluador da la conformidad del presente informe, desarrollado en el cumplimiento del objetivo propuesto y presentado conforme al reglamento General para obtener el grado Académico de Bachiller y Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa (R.D N°492-2017-CU-R-UNS); titulado:

**EVALUACIÓN DE LA MEZCLA ACEITE RESIDUAL DE PESCADO Y
PETRÓLEO INDUSTRIAL N° 500, PARA DETERMINAR LA INFLUENCIA EN
EL PODER CALORÍFICO- EMPRESA AUSTRAL GROUP S.A**

AUTORES: Bach. Guzmán Luna Miguel Andrés
 Bach. Medina Chauca Jhonatan José

Revisado y Evaluado por el siguiente Jurado Evaluador

M.Sc. Hugo Calderón Torres
PRESIDENTE

M.Sc. Roberto Chucuya Huallpachoque
INTEGRANTE

Mg. Robert Guevara Chinchayan
SECRETARIO

DEDICATORIA

A Dios por haberme dado la vida y permitirme llegar a este momento tan importante de mi formación profesional.

A mi madre, por ser el pilar más importante, por todo el esfuerzo y sacrificio para brindarme todo el amor, la comprensión, el apoyo incondicional y la confianza en cada momento de mi vida y sobre todo en mis estudios universitarios.

A mi tío José Francisco, por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan, por los buenos consejos que siempre me ha brindado y por el valor mostrado para salir adelante.

A mi hermano Jonathan por su confianza, comprensión y apoyo incondicional, por permanecer siempre unidos.

Miguel Guzmán Luna

DEDICATORIA

A nuestro Padre Celestial por la vida, la fuerza que me da día tras día para lograr mis metas.

A mis padres por el apoyo incondicional en mis estudios y ser el motivo de mi vida, brindarme toda la ayuda necesaria.

Jhonatan Medina Chauca

AGRADECIMIENTOS

A Dios por guiarnos en cada paso dado durante nuestras vidas.

Agradecemos a nuestras familias por el apoyo y amor incondicional que nos han brindado a lo largo de nuestras vidas universitarias en la carrera.

Agradecemos a nuestro asesor M.Sc. Roberto Chucuya Huallpachoque por sus consejos y lineamientos en el desarrollo del presente informe de tesis, con su esfuerzo y conocimiento fue posible la culminación de nuestro objetivo.

Agradecemos a los docentes M.Sc. Hugo R. Calderón Torres, Mg. Robert Guevara Chinchayan, Ing. Carlos Montañez Montenegro e Ing. Daniel Sánchez por sus enseñanzas y amistad.

Un especial agradecimiento a la Universidad Nacional del Santa, a la Escuela de Ingeniería en Energía y a los grandes maestros que la conforman por la oportunidad de desarrollarnos profesionalmente y por el valioso conocimiento que han compartido con nosotros.

Agradecemos a nuestros amigos por el apoyo y fuerza que nos brindaron día a día.

Los Autores

RESUMEN

La presente investigación se orienta a determinar el poder calorífico de la mezcla de pescado y petróleo residual 500, en porcentajes de 10% de aceite y 90% de petróleo, 30% de aceite y 70% de petróleo y 50% de ambos combustibles a fin de determinar qué relación de mezcla es la que produce mayor poder calorífico en las condiciones que se someten a combustión en un calorímetro.

La metodología consta de un trabajo experimental básico y comparativo debido a que se han seleccionado tres relaciones de mezclas que se combustionaran en el calorímetro, previo estudio de caracterización física para determinar las condiciones en la que se mezclan.

El tiempo de transición inicial para el aceite de pescado puro se da a los 6 min de darse la combustión, registrando una temperatura de 23°C en el agua que rodea al vaso reactor del calorímetro, así mismo para la mezcla de 10% de aceite y 90% de petróleo residual 500 se observa que el tiempo de transición se inicia a los 7 minutos de iniciada la combustión y alcanza una temperatura en el agua de 24.35°C, y para la relación de mezcla de 30% de aceite de pescado y 70% de petróleo residual 500 y 50% de aceite de pescado y 50% de petróleo residual 500, el tiempo de transición inicia en 4 min y 26.98°C y 6 minutos registrando 23.75°C respectivamente. A partir de las pruebas se obtuvo que el poder calorífico superior del aceite de pescado puro equivale a 9189.5 kcal/kg y su poder calorífico inferior corresponde a 8323.85 kcal/kg, para la mezcla al 10% de aceite de pescado con petróleo residual 500 se obtiene un poder calorífico superior de 11872 kcal/kg y un poder calorífico inferior de 11006.75 kcal/kg, para la relación de mezcla del 30% de aceite residual y 70% de petróleo residual 500 se obtiene 17600 kcal/kg y 16739.723 kcal/kg y para la mezcla de 50% de sus proporciones se obtiene 11003 kcal/kg y 10077.65 kcal/kg respectivamente, deduciéndose que la relación de mezcla más favorable resulta la proporción de 30% de aceite de pescado y 70% de petróleo industrial 500.

ABSTRACT

The present investigation is oriented to determine the calorific value of the mixture of fish and residual oil 500, in percentages of 10% of oil and 90% of oil, 30% of oil and 70% of oil and 50% of both fuels in order to determine which mixing ratio is the one that produces the highest calorific value in the conditions that are subjected to combustion in a calorimeter.

The methodology consists of a basic experimental work and a comparative one due to the fact that three mixing ratios have been selected that will be combusted in the calorimeter, after a physical characterization study to determine the conditions in which they are mixed.

The initial transition time for the pure fish oil is given 6 minutes after the combustion, registering a temperature of 23°C in the water surrounding the reactor vessel of the calorimeter, likewise for the mixture of 10% oil and 90 % residual oil 500 is observed that the transition time starts at 7 minutes after the start of combustion and reaches a water temperature of 24.35°C, and for the mixing ratio of 30% fish oil and 70% oil residual 500 and 50% of fish oil and 50% of residual oil 500, the transition time starts in 4 min and 26.98°C and 6 minutes registering 23.75°C respectively. From the tests it was obtained that the superior calorific value of the pure fish oil equals 9189.5 kcal/kg and its lower calorific value corresponds to 8323.85 kcal/kg, for the 10% mixture of fish oil with residual oil 500 obtains a higher calorific value of 11872 kcal/kg and a lower calorific value of 11006.75 kcal/kg for the mixing ratio of 30% residual oil and 70% residual oil 500, it is obtained 17600 kcal/kg and 16739.723 kcal/kg and for the mixture of 50% of its proportions, 11003 kcal/kg and 10077.65 kcal/kg are obtained, deducting that the ratio of 30% of fish oil and 70% of oil industry 500 is the most favorable mixing ratio.

ÍNDICE

	Página
Hoja de conformidad del asesor	i
Hoja de conformidad del jurado Evaluador de Tesis	ii
Dedicatoria	iii, iv
Agradecimientos	v
Resumen	vi
Abstract	vii
CAPÍTULO I: INTRODUCCION	10
1.1 Antecedentes	11
1.2 Justificación e Importancia	13
1.3 Formulación del Problema	13
1.4 Formulación de la Hipótesis	13
1.5 Objetivos	14
1.5.1 Objetivo General	14
1.5.2 Objetivos Específicos	14
1.6 Limitaciones del trabajo	14
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	15
2.1 Estructura de los ácidos grasos	16
2.2 Propiedades de los ácidos grasos	16
2.3 El aceite de pescado	20
2.4 Las grasas y aceites	20
2.5 Diferencias entre grasas y aceites	22
2.6 Ácidos grasos e insaturados	23
2.7 Composición del aceite de pescado	30
2.8 Aceite acido residual	31
2.9 Puntos de fusión	31
2.10 Calor de combustión	32
2.11 El petróleo industrial N°500	35
2.12 Composición química	41
2.13 Calorimetría	48
2.14 Balance de energía en el calorímetro	48
2.15 Calores absorbidos en el calorímetro	48

CAPÍTULO III: MATERIALES Y METODOS	50
3.1 Materiales	51
3.2 Método de investigación	51
3.2.1 Etapa de análisis fisicoquímico en el laboratorio	53
3.2.2 Actividades del proceso investigativo	53
3.2.3 Ensayos para determinar el poder calorífico de las mezclas	57
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIONES	58
4.1 Método de cálculo del poder calorífico	59
4.1.1 Especificaciones técnicas de la bomba calorimétrica	59
4.1.2 Características de la muestra de aceite residual de pescado	59
4.1.3 Balance de energía en el calorímetro	59
4.1.4 Calores absorbidos por el agua y la bomba calorimétrica	60
4.1.5 Cálculo del poder calorífico superior en función a las temperaturas	62
4.2 Ensayos	65
4.2.1 Ensayo para muestra al 10% de aceite y 90% de petróleo residual 500	65
4.2.2 Ensayo para muestra al 30% de aceite y 70% de petróleo residual 500	69
4.2.3 Ensayo para muestra al 50% de aceite y 50% de petróleo residual 500	73
4.2.4 Cuadro resumen de cálculos de poderes caloríficos	76
4.2.5 Gráficas de temperatura según mezclas	78
5.0 Discusiones	79
6.0 Conclusiones	80
7.0 Recomendaciones	81
8.0 Referencias bibliográficas	82
9.0 Anexos	83

CAPÍTULO I
INTRODUCCION

1.1 ANTECEDENTES

Gobernado A. (2012). En su tesis titulada “*Combustión de mezclas de gasóleo y aceites vegetales para su uso como combustible en calderas de baja potencia*”. Demostró que el poder calorífico inferior en todos los casos analizados presenta un contenido de carbono inferior a la del gasóleo, pero esta disminución queda compensada con el aumento de oxígeno en el combustible que permite la utilización de menor aire de exceso y por lo tanto un aumento en el rendimiento de la combustión al haber menores pérdidas por los humos. Y referido a las condiciones de la combustión con 216 ensayos los factores que interviene en el análisis son como ya se ha indicado el tipo de aceite ,el porcentaje de la mezcla ,la presión de inyección y el caudal de aire y respecto a las emisiones tienden a crecer a medida que se aumenta el porcentaje de aceite n el nivel de nitrógeno y sobretodo el contenido de oxígeno de combustible incrementa la temperatura de combustión, la cual da como resultado la formación de NO_x , en esta condiciones se alcanzan un 4.5 % de incremento de eficiencia si se utiliza la proporción del 34% de aceite presente en gasóleo. respecto a la eficiencia de combustión; Los resultados obtenidos son similares a los obtenidos con la combustión de gasóleo, hay que destacar que los aceites tienen un PCI menor que el gasóleo y por lo tanto la energía liberada por unidad de masa es menor en el proceso de combustión, sin embargo los aceites poseen en su composición un porcentaje mayor de oxígeno y por lo tanto requiere menor caudal de aire, lo que reduce las pérdidas por humos, estos dos fenómenos juntos justifican que los valores de rendimiento de las mezclas y el gasóleo sean similares.

Bulla P., Guerrero F., y Sierra V. (2015). En su tesis titulada “*Producción de biodiésel por etanolisis utilizando aceites de fritura de hoteles y su uso en calderas pirotubulares. Iteckne, 12(1), 44-53*”. Demostró en su estudio que las propiedades del biodiesel son altamente influenciadas por la composición del índice de acidez (7.65mg KOH/g aceite), viscosidad (25.65mm²/s) y densidad 921.5kg/m³) del aceite usado de fritura empleado como materia combustible mostrando mayores ventajas que las propiedades del biodiesel (viscosidad 4.45mm², densidad 899 kg/m³, índice de acidez 0.39mg/KOH/g aceite). El producto obtenido posee características adecuadas para su uso como combustible en caldera, porque el comportamiento del biocombustible logra y mantiene las condiciones de operación de la caldera para el uso en procesos industriales permite una disminución del 2.3% de CO₂.

Durante las pruebas realizadas a las 5 muestras de la combustión del biodiésel se encontró que el promedio del consumo estuvo alrededor de 24,71 L/min, asimismo, el biocombustible tiene una fácil ignición y mantiene una llama constante de color amarillo, condiciones que logran mantener una combustión uniforme en el quemador. Al obtener el set point de la caldera (40 psi) se obtienen temperaturas de 4°C (agua) - 37°C (vapor) a la entrada y 63°C (agua) - 77°C (vapor) en las salidas. En el caso de las emisiones generadas se empleó un analizador de gases marca Bacharach, modelo 300 con rangos de oxígeno 0 – 25 %v/v y precisión de +/- 6%, para el caso del monóxido de carbono tiene unos rangos de medición de 0 – 3000 ppm con una precisión de lectura del +/- 5%, con los datos obtenidos en el equipo se pudo establecer una reducción en el CO₂ del 2,3% y 84 ppm de CO entre las muestras analizadas de diésel y el biodiesel producido en la planta piloto. Estos aspectos permiten que el biodiésel elaborado en la planta piloto de 150L/Lote a partir de AUFS sea un combustible alternativo que pueda implementarse para su uso en calderas u otros equipos a nivel industrial, permitiendo una disminución en las emisiones de gases efecto invernadero, como en la dependencia con respecto a los combustibles fósiles.

Medina V. (2011). En su tesis titulada “*Evaluación de un proceso para obtener biodiesel usando tecnologías combinadas a partir de aceites residuales*”. Su objetivo fue evaluar el proceso de obtención de biodiesel usando tecnologías combinadas (ácida y básica) a partir de aceites residuales provenientes de restaurantes, la metodología utilizada fue experimental de laboratorio en las cuales se usó técnicas la estadística para caracterizar las muestras. Los resultados concluyeron que los aceites residuales caracterizados son aptos para obtener biodiesel. De las propiedades evaluadas, se encontraron uniformidad en los resultados en el índice de refracción y densidad, con promedios de 1,464 y 0,913 g/ml, respectivamente. La acidez promedio fue de 1,643, cifra adecuada para la materia prima principal en la obtención de biodiesel como se nota en el producto final. Se observa que el índice de peróxido presenta un promedio de 4,3246, logrando en el biodiesel una combustión más completa reduciendo principalmente emisiones de monóxido de carbono e hidrocarburos no quemados.

Se encontraron rendimientos de reacción superiores al 90%. Se concluye que el metanol es la variable que tiene principal efecto en la reacción y que, al trabajar con la concentración mínima en volumen, propuesta en el proyecto (6:1) que es de 83.33 ml, el rendimiento de la reacción es mucho más elevado con una eficiencia mayor al 94%

con respecto a cuándo se trabaja con 100 ml, en donde los rendimientos son menores al 90%.

1.2 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

La principal importancia para realización de esta investigación radica en la caracterización adecuada de la proporción de mezcla óptima con la finalidad de hallar el poder calorífico inferior que presenta el combustible.

El estudio se justifica desde dos ejes importantes relacionados a su operación.

IMPORTANCIA COMO ALTERNATIVA COMBUSTIBLE: La identificación de las propiedades combustibles de las mezclas puede dar información sobre el potencial térmico para su empleo en la industria.

IMPORTANCIA MEDIO AMBIENTAL: El estudio de los efectos producido por el ácido graso de aceite de pescado mezclado con petróleo residual N°500, permitirá conocer la proporción adecuada a la que se deberá combustionar a fin de no producir efectos nocivos medioambientales.

1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Nos planteamos el siguiente problema:

¿En cuanto influyen las proporciones de mezcla entre el aceite residual de pescado (10, 20 y 30%) y petróleo industrial N° 500 (90, 80 y 70%) en su poder calorífico inferior, caso de la Empresa Austral Group S.A.A.?

1.4 FORMULACION DE LA HIPOTESIS

Nos planteamos la siguiente te hipótesis:

Mediante una evaluación de las proporciones de mezcla entre el aceite residual de pescado (10, 20 y 30%) y petróleo industrial N° 500 (90, 80 y 70%) se cuantifica la influencia en su poder calorífico inferior, caso de la Empresa Austral Group S.A.A.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la influencia de la mezcla de aceite residual de pescado con petróleo industrial N° 500 en el poder calorífico inferior, caso de la Empresa Austral Group S.A.A

1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Caracterizar las propiedades físicas de las mezclas de aceite de pescado (10, 20 y 30%) y petróleo industrial N°500 (90, 80 y 70%), respectivamente.

Determinar el tiempo de transición y las temperaturas máximas alcanzadas mediante un termómetro de laboratorio.

Determinar el poder calorífico superior e inferior de las mezclas de aceite de pescado y petróleo industrial N°500.

1.6 LIMITACIONES DEL TRABAJO

El estudio de investigación está dirigido a determinar solo el poder calorífico inferior y superior del aceite de pescado como mezcla con petróleo industrial N° 500, en cuyo proceso, no se utilizarán reactivos o productos que modifiquen la composición del aceite ni del petróleo.

El tipo de aceite de pescado procede de la especie conocida como *Engraulis ringens* (anchoveta), un pescado con alto contenido de grasa.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1 ESTRUCTURA DE LOS ACIDOS GRASOS

Los ácidos grasos constan de una cadena alquílica con un grupo carboxílico terminal siendo la configuración más sencilla la de una cadena lineal completamente saturada. La fórmula básica es $\text{CH}_3\text{-(CH}_2)_n\text{-COOH}$. Los ácidos grasos de importancia para los humanos tienen configuraciones relativamente sencillas, aparecen comúnmente insaturaciones con hasta seis dobles enlaces por cadena, siendo casi siempre los enlaces, los ácidos grasos más comunes de los sistemas biológicos que tienen un número par de átomos de carbono. La mayor parte de los ácidos grasos del cuerpo humano tienen 16, 18 ó 20 átomos de carbono, si bien hay varios con cadenas más largas que se encuentran principalmente en los lípidos del sistema nervioso.

Los ácidos grasos se encuentran principalmente en forma de ésteres del glicerol, como se muestra:

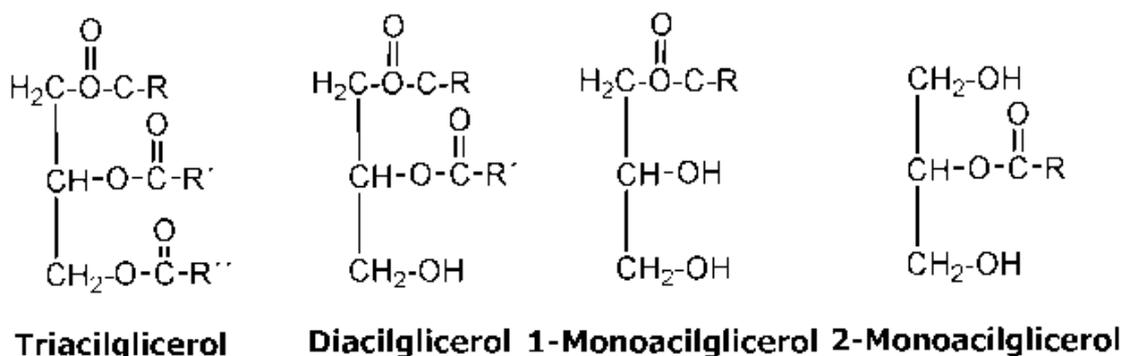


Figura 2.1: Acilgliceroles.

Fuente: Devlin T. M. "Bioquímica".

2.2 PROPIEDADES DE LOS ÁCIDOS GRASOS

- **Polaridad**

La cadena hidrocarbonada es apolar y cuanto más larga sea y menos dobles enlaces tenga, menor es su solubilidad en agua. Por su parte, el grupo carboxilo es polar y está ionizado a pH neutro (su valor de pK_a está entre 4 y 5). Estas dos características hacen que los ácidos grasos sean moléculas anfipáticas que pueden formar micelas en el medio acuoso.

Tabla 2.1:

Ácidos grasos son menos densos que el agua.

Ácido Graso	Densidad (g/cm ³)	Temp. (°C)
SATURADOS		
Butírico (4:0)	0,959	20°C
Valérico (5:0)	0,939	20°C
Caproico (6:0)	0,928	20°C
Enántico (7:0)	0,918	20°C
Caprílico (8:0)	0,910	20°C
Pelargónico (9:0)	0,907	20°C
Cáprico (10:0)	0,886	40°C
Láurico (12:0)	0,869	50°C
Mirístico (14:0)	0,859	60°C
Palmítico (16:0)	0,849	70°C
Margárico (17:0)	0,840	80°C
Esteárico (18:0)	0,839	80°C
Araquídico (20:0)	0,824	100°C
Behénico (22:0)	0,822	100°C
INSATURADOS (cis)		
Monoinsaturados		
Oleico (18:1 Δ^9)	0,895	20°C
	0,863	60°C
Erúcico (22:1 Δ^{13})	0,861	60°C
Poliinsaturados		
Linoleico (18:2 $\Delta^{9,12}$)	0,901	20°C
α -Linolénico (18:3 $\Delta^{9,12,15}$)	0,905	20°C

Fuente. Devlin T. M. "Bioquímica".

- **Punto de fusión**

La longitud y el grado de insaturación de la cadena hidrocarbonada de los ácidos grasos también condicionan su punto de fusión. El aumento del número de carbonos de la cadena hidrocarbonada hace aumentar el punto de fusión.

Tabla 2.2:

Relación de ácidos grasos.

Ácido Graso	Temp. (°C)
SATURADOS	
Butírico (4:0)	-6°C
Caproico (6:0)	-3°C
Caprílico (8:0)	17°C
Cáprico (10:0)	32°C
Láurico (12:0)	44°C
Mirístico (14:0)	54°C
Palmítico (16:0)	63°C

Esteárico (18:0)	69°C
Araquídico (20:0)	77°C
Behénico (22:0)	80°C
Lignocérico (24:0)	84°C
Cerótico (26:0)	88°C
INSATURADOS (<i>cis</i>)	
Monoinsaturados	
Miristoleico (14:1 Δ^9)	-4°C
Palmitoleico (16:1 Δ^9)	1°C
Oleico (18:1 Δ^9)	13°C
Gadoleico (20:1 Δ^9)	23°C
Poliinsaturados	
Linoleico (18:2 $\Delta^{9,12}$)	-5°C
α -Linolénico (18:3 $\Delta^{9,12,15}$)	-11°C
Araquidónico (20:4 $\Delta^{5,8,11,14}$)	-50°C
INSATURADOS (<i>trans</i>)	
Elaídico (18:1 $\Delta^{9[t]}$)	46°C
Vaccénico (18:1 $\Delta^{11[t]}$)	40°C
Linoelaídico (18:2 $\Delta^{9,12[t]}$)	28°C

Fuente. Devlin T. M. "Bioquímica".

Por su parte, la presencia de dobles enlaces hace bajar la temperatura de fusión (datos) y aumentar la fluidez. Los enlaces sencillos de los ácidos grasos saturados hacen que éstos adopten una disposición totalmente extendida y relativamente lineal, por lo que este tipo de ácidos grasos se puede empaquetar muy estrechamente con una estructura casi cristalina.

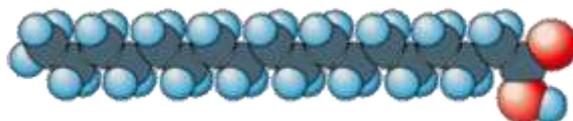


Figura 2.2: Ácidos grasos insaturados.

Fuente: <http://biomodel.uah.es/model2/lip/acgr-prop.html>

En los ácidos grasos insaturados *cis* (la configuración más frecuente), cada doble enlace provoca un quiebro en la linealidad de la cadena hidrocarbonada, lo que hace que estos ácidos grasos no se puedan empaquetar tan estrechamente como los saturados; por ello, los ácidos grasos insaturados *cis* son generalmente líquidos a temperatura ambiente ya que tienen puntos de fusión más bajos que los saturados de su misma longitud.

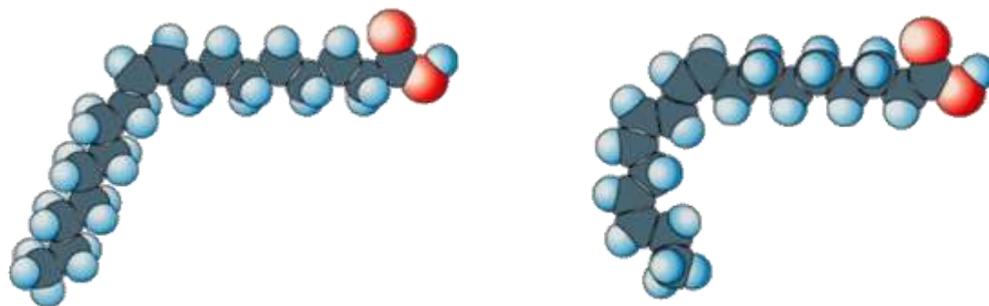


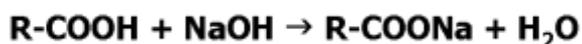
Figura 2.3: Ácidos grasos insaturados *trans*

Fuente: Fuente. <http://biomodel.uah.es/model2/lip/acgr-prop.html>

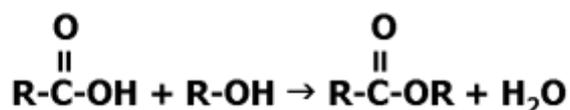
Los ácidos grasos insaturados *trans* tienen puntos de fusión más altos que sus equivalentes *cis* debido a que esta configuración de dobles enlaces da estructuras lineales similares a las de los ácidos grasos saturados.

- **Reactividad**

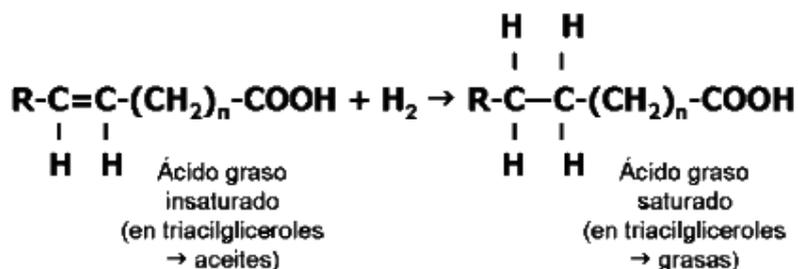
Como ácidos carboxílicos que son, los ácidos grasos reaccionan con bases para formar sales iónicas.



y con los alcoholes dando ésteres:



Los dobles enlaces C=C de los ácidos grasos insaturados se pueden **hidrogenar** para dar ácidos grasos saturados:



Los ácidos grasos insaturados son muy susceptibles a la oxidación no enzimática; el riesgo de la oxidación aumenta con el número de dobles enlaces. A partir de tres insaturaciones, son francamente inestables, y las grasas en las que abundan solamente pueden utilizarse en buenas condiciones en la industria alimentaria tras su hidrogenación industrial.

2.3 EL ACEITE DE PESCADO

El aceite de pescado es un compuesto conformado básicamente por ácidos grasos más o menos saturados de hidrógeno y caracterizados por la presencia de ácidos grasos no saturados o poliinsaturados relacionados con la capacidad de captar oxígeno a temperatura ordinaria sobre esas moléculas insaturadas propias de este tipo de aceite, a medida que se satura parece incrementarse el olor típico a pescado dada esa alta inestabilidad para oxidarse. En la naturaleza no existen otros aceites de animales o vegetales con esta característica por ejemplo el aceite de lino tiene un índice de yodo de 180, cuando en el aceite de pescado alcanza a veces más de 200, en un aceite comestible el índice varía entre los 100 a 120; el índice de yodo mide el grado de insaturación de los aceites, *Pastor Rodríguez, E. (2010)*.

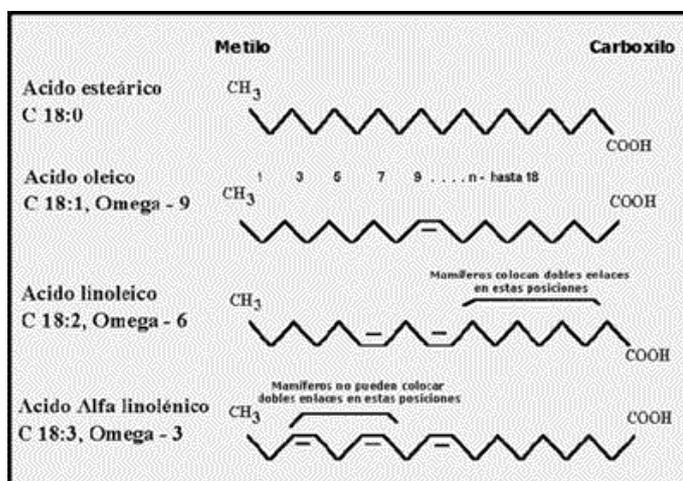


Figura 2.4: Cadena de ácidos grasos.

Fuente: <https://www.boloncol.com>

2.4 LAS GRASAS Y ACEITES

- **Estructura y composición**

Las grasas y los aceites están constituidos esencialmente por mezclas de triglicéridos. Los triglicéridos están formados por la unión de tres ácidos grasos con una molécula de glicerol. Su principal función es la reserva energética. Existen una gran variedad de ácidos grasos y, en consecuencia, de triglicéridos.

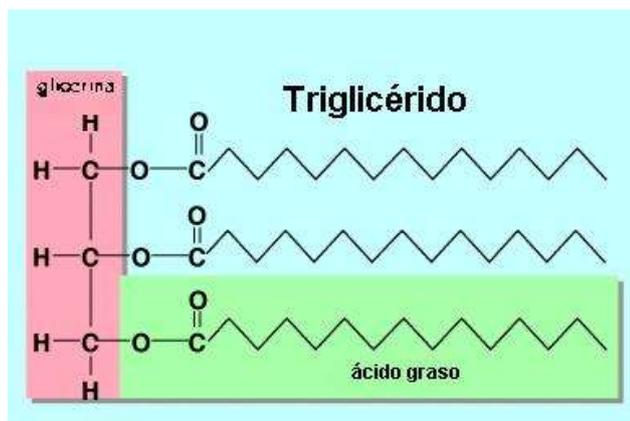


Figura 2.5: Cadena de triglicéridos.

Fuente: <https://bachilleratoenlinea.com/educar/mod/lesson/view.php?id=4779>

Los ácidos grasos de los triglicéridos comunes constan de 12 a 20 carbonos, siendo la mayoría de números par. Algunos son saturados, mientras que otros presentan uno, dos y hasta tres enlaces dobles denominándose ácidos grasos insaturados.

Ácido Graso Saturado: Los ácidos grasos saturados poseen un enlace simple entre cada par de átomos de carbonos (C-C-C-C), y todos los átomos de carbono (menos el terminal) están unidos a dos átomos de hidrógeno, es decir, que están “saturados” de hidrógeno. Son ejemplos el esteárico, butírico, palmítico, entre otros. Están presentes en las grasas animales, y en aceites vegetales de cacao, palma y coco.



Figura 2.6: Cadena de ácidos grasos saturados.

Fuente: <https://bachilleratoenlinea.com/educar/mod/lesson/view.php?id=4779>

Ácido Graso Insaturado: Los ácidos grasos insaturados poseen doble enlaces en uno o más pares de carbonos (C=C) y no todos los átomos de carbono están unidos a dos átomos de hidrógeno. Al ser “insaturados” son capaces de fijar más hidrógeno.

Pueden ser monoinsaturados o polinsaturados, según si tienen un único enlace doble, o más de uno.



Figura 2.7: Cadena de ácidos grasos insaturados.

Fuente: <https://bachilleratoenlinea.com/educar/mod/lesson/view.php?id=4779>

La siguiente tabla contiene otros ejemplos de ácidos grasos insaturados:

Tabla 2.3:

Relación de ácidos grasos de aceite de pescado

Linolénico	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
Linoleico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
Araquidónico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_3\text{COOH}$
Oleico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
Erúxico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_{11}\text{COOH}$
Palmitoléico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{HC}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$

Fuente: <https://bachilleratoenlinea.com/educar/mod/lesson/view.php?id=4779>

2.5 DIFERENCIAS ENTRE GRASAS Y ACEITE

Comúnmente, la diferencia entre las grasas y los aceites se establece por su estado físico: a temperatura ambiente las grasas son sólidas, mientras que los aceites son líquidos. La precedencia o fuente natural varía también, ya que las grasas ocurren más que todo en los organismos animales, en tanto que los aceites son generalmente de origen vegetal.

En su constitución química, tanto las grasas como los aceites son mezclas de triglicéridos, casi exclusivamente de tipo mixto. No obstante, los aceites presentan una mayor proporción de ácidos grasos insaturados que las grasas.

2.6 ÁCIDOS GRASOS SATURADOS E INSATURADOS

Como se muestra en el ejemplo anterior, las tres colas de ácidos grasos de un triglicérido no necesariamente tienen que ser idénticas. Además de la diferencia en longitud, las cadenas de ácidos grasos también difieren en su grado de insaturación.

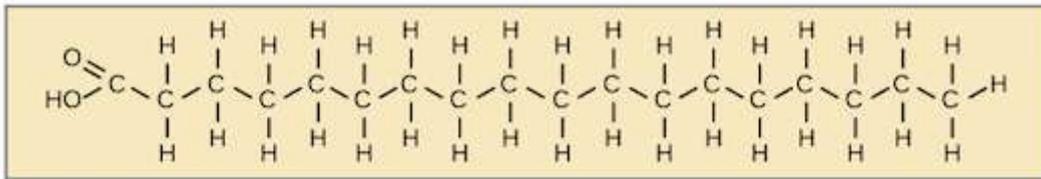
Si solamente hay enlaces sencillos entre carbonos vecinos en la cadena de carbohidrato, se dice que un ácido graso está saturado (los ácidos grasos se saturan con hidrógeno; en una grasa saturada, hay tantos átomos de hidrógeno unidos al esqueleto de carbono como sea posible).

Cuando la cadena de carbohidrato contiene un enlace doble, se dice que el ácido graso está insaturado, ya que ahora tiene menos hidrógenos. Si solo hay un enlace doble en un ácido graso, está monoinsaturado, mientras que si hay varios enlaces dobles, está poliinsaturado.

Los enlaces dobles en los ácidos grasos insaturados, como otros tipos de enlaces dobles, pueden existir en una configuración *trans* o *cis*. En la configuración *cis*, los dos hidrógenos asociados al enlace se encuentran del mismo lado, mientras que en la configuración *trans* se encuentran en lados opuestos (como se muestra abajo). Un enlace doble en *cis* genera un estrechamiento o una curva en el ácido graso, una característica que tiene consecuencias importantes para el comportamiento de las grasas.

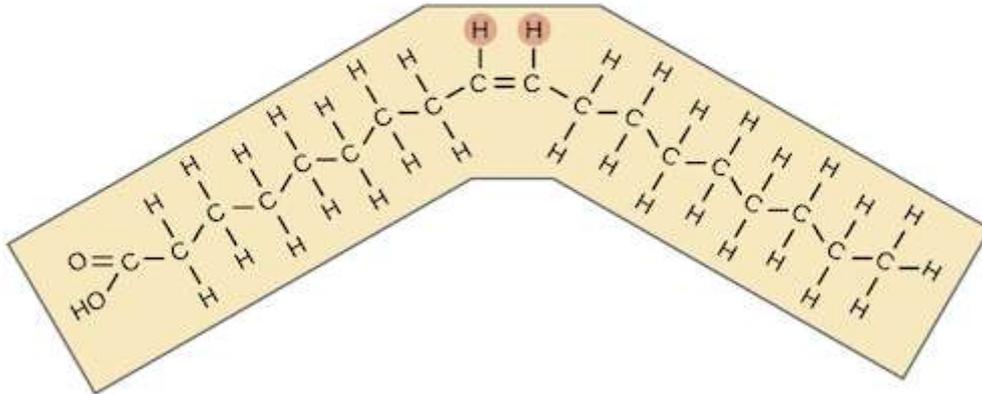
Ácido graso saturado

Ácido esteárico



Ácidos grasos insaturados

Ácido oleico cis



Ácido oleico trans

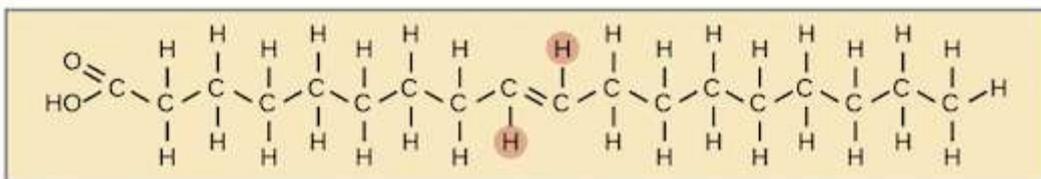


Figura 2.8: Esquema de cadenas de ácidos grasos

Fuente: Open Stax Biología

Ejemplo de ácido graso saturado: ácido esteárico (forma recta). Ejemplos de ácidos grasos insaturados: ácido cis oleico (enlace doble en *cis*, cadena doblada), ácido trans oléico (enlace doble en *trans*, cadena recta).

Debido a que las colas de ácidos grasos saturados son rectas, las moléculas de grasa saturada se pueden empaquetar de manera compacta, lo que produce grasas sólidas a temperatura ambiente (tienen un punto de fusión relativamente alto). Por ejemplo, la mayor parte de la grasa en la mantequilla es saturada. En cambio, en los ácidos grasos *cis*-insaturados, las colas están dobladas debido a la presencia de un enlace doble *cis*. Esto dificulta la compactación de moléculas de grasa con una o más colas de ácido graso *cis*-insaturado, por lo que tienden a estar en estado líquido a temperatura

ambiente (tienen un punto de fusión relativamente bajo). Estas moléculas se conocen comúnmente como aceites. Por ejemplo, el aceite de oliva está compuesto principalmente de grasas insaturadas ²² start superscript, 2, end superscript.

- **Grasas trans**

En este punto, quizá hayas notado que olvidamos algo: no hemos dicho nada acerca de las grasas insaturadas con enlaces dobles *trans* en sus colas de ácidos grasos o grasas *trans*. Las grasas *trans* rara vez se encuentran en la naturaleza, pero se producen fácilmente mediante un procedimiento industrial llamado hidrogenación parcial.

En este proceso, se pasa hidrógeno gaseoso través de aceites (constituidos en su mayoría por grasas *cis*-insaturadas), lo que convierte algunos de los enlaces dobles en enlaces sencillos. El objetivo de la hidrogenación parcial es darles a los aceites algunas de las propiedades deseables de las grasas saturadas, como solidez a temperatura ambiente, pero una consecuencia no intencionada es que algunos de los enlaces dobles *cis* cambian su configuración y se convierten en enlaces dobles *trans*³³ start superscript, 3. Los ácidos grasos *trans* insaturados pueden empaquetarse de manera más compacta y es más probable que sean sólidos a temperatura ambiente. Por ejemplo, algunas mantecas vegetales contienen un porcentaje significativo de grasas *trans*, 3.

La hidrogenación parcial y las grasas *trans* pueden parecer una forma conveniente de obtener sustancias parecidas a la mantequilla a precio de aceite. Por desgracia, las grasas *trans* han resultado tener efectos muy nocivos en la salud humana. Debido a la estrecha relación entre las grasas *trans* y la cardiopatía coronaria, la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA) recientemente prohibió las grasas *trans* en alimentos, y dio un plazo de tres años a las empresas para eliminar las grasas *trans* de sus productos.

- **Ácidos grasos omega**

Otra clase de ácido graso que merece mención incluye los ácidos grasos omega-3 y omega-6. Hay diferentes tipos de ácidos grasos omega-3 y omega-6, pero todos ellos provienen de dos formas precursoras básicas: el ácido alfa-linolénico (ALA) para omega-3 y el ácido linoleico (LA) para omega-6.

El cuerpo humano necesita estas moléculas (y sus derivados), pero no puede sintetizarlas. Por consiguiente, el ALA y el LA se clasifican como ácidos grasos esenciales y una persona los debe obtener de su dieta. Algunos pescados, como el salmón, y algunas semillas, como la chía y la linaza, son una buena fuente de ácidos grasos omega-3.

Los ácidos grasos omega-3 y omega-6 tienen al menos dos enlaces *cis*-insaturados, lo que les da una forma curva. El ALA, que se muestra a continuación, es bastante curvo, pero no es el ejemplo más extremo: el DHA, un ácido graso omega-3 derivado del ALA mediante la formación de enlaces dobles adicionales, tiene seis enlaces *cis*-insaturados y ¡está tan doblado que casi forma un círculo.

Es un subproducto del procesamiento y obtención de la harina de pescado y como tal presenta características y propiedades combustibles en la proporción de mezcla adecuada, el aceite de pescado residual es aquel que se obtiene del agua de procesamiento de la planta de harina de pescado denominado también agua de bombeo, el cual se recupera a través de un proceso fisicoquímico mediante celdas y flotación, el aceite que se recupera procede de la separadora tricanter.

- **Ácidos grasos omega 3: Características y generalidades**

La palabra lípido proviene del griego *lipos* que significa grasa. Los lípidos son un amplio grupo de compuestos, insolubles en agua, pero solubles en disolventes orgánicos (Badui, 1994). Las principales funciones que desempeñan los lípidos incluyen: 1) ser componentes estructurales de las membranas; 2) constituir depósitos de reserva de combustible metabólico (Jaime, 1993). Los lípidos se dividen en dos grandes clases, los lípidos saponificables que pueden ser hidrolizados bajo condiciones alcalinas produciendo ácidos grasos, estos comprenden las grasas, los aceites, las ceras, los fosfolípidos y los fosfátidos; y los lípidos insaponificables que no pueden ser sometidos a reacciones de hidrólisis en medios alcalinos; son básicamente los esteroides, los hidrocarburos, los pigmentos y las prostaglandinas (Stoker and Walker, 1991).

Los ácidos grasos son los principales constituyentes de los lípidos. La fórmula condensada de los ácidos grasos corresponde a $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_n-(\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2)_m-\text{CH}_2\text{x}-\text{COOH}$, en donde n, m y x son números cualquiera. Los extremos de la molécula se conocen como metílico, el CH_3- , y ácido, el $-\text{COOH}$; la estructura $-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2$ se llama grupo omega (ω). Cuando la fórmula no tiene grupos ω , o dobles enlaces se

trata de un ácido graso saturado (AGS), mientras que, si los tiene, de un ácido graso insaturado (AGI), pudiendo ser monoinsaturado (1ω), diinsaturado (2ω) o poliinsaturado (3ω o más). El grupo ω al iniciarse en el carbono 3, 6, 7 o 9 del extremo metílico da origen a las familias respectivas de ácidos $\omega 3$, $\omega 6$, $\omega 7$ y $\omega 9$ como se presenta en el Anexo A (*Montaño, 1998*).

Los ácidos grasos omega 3 fueron descubiertos en 1982 por el investigador Ralph Holman, como consecuencia de un estudio sobre la dieta de los esquimales. Estudios efectuados en Groenlandia establecieron que la baja incidencia de infartos y enfermedades cardiovasculares entre los esquimales estaba estrechamente relacionada con su dieta, muy rica en grasa animal marina que contiene una elevada cantidad de ácidos grasos omega 3 (*Stoker and Walker, 1991*). Los ácidos grasos omega 3 son un tipo de grasa poliinsaturada esencial. Al igual que los ácidos grasos omega 6 son insaturados ya que carecen de dos átomos de hidrógeno, poseen en su lugar dos átomos de carbono adicionales. Se consideran esenciales para la salud humana en vista de que no pueden ser biosintetizados por el cuerpo, de manera que deben ser incorporados a la dieta (*Montaño, 1998*).

Hay tres moléculas poliinsaturadas calificadas como omega 3: el EPA (ácido eicosapentaenoico) conocido también como ácido timnodónico y el DHA (ácido docosahexaenoico) llamado también ácido cervónico o clupanodónico, que se encuentran en animales (pescados), mientras que el ALA (ácido alfa linolénico) sólo se encuentra en ciertos vegetales (aceite de linaza, tofu, nueces). Estas tres sustancias tienen el mismo arreglo molecular, pero no son iguales. El ácido alfa linolénico es esencial para la dieta humana. El cuerpo humano no puede fabricar este ácido, pero sí capaz de convertir el ALA en EPA y DHA, aunque está demostrado que el proceso es lento e ineficiente.

La característica bioquímica que distingue a los AGE es que presentan un doble enlace dentro de los últimos 7 carbonos de la cadena carbonada a partir del grupo metilo terminal, ocupando la posición 3 (serie n-3 u omega 3) o la posición 6 (serie n-6 u omega 6). El doble enlace confiere un valor especial a estos ácidos grasos, dado que los organismos ubicados en la escala evolutiva superior (mamíferos) son incapaces de sintetizarlos, por lo que necesitan disponer de al menos, los precursores de ambas series, los ácidos Linoléico de la serie omega 6 y ácido Linolénico de la

serie omega 3. A partir de estos precursores se sintetizan el resto de los elementos constituyentes de estas familias o series (Covarrubias y Ortega, 2002).

Existen dos ácidos grasos que se caracterizan por ser esenciales: el ácido Linoléico (C18:2, n-6) y el ácido Linolénico (ALN, ácido α -linolénico, C18:3, n-3), estos se encuentran en la dieta como parte de los fosfolípidos y triglicéridos; ambos son usados en el cuerpo para propósitos estructurales donde son incorporados a los fosfolípidos de las membranas celulares, en procesos de oxidación para producir energía y para la síntesis de hormonas. Los ácidos grasos esenciales (AGE) se consideran así porque; 1) no pueden ser sintetizados por el cuerpo y, por lo tanto deben ser proporcionados por la dieta; (2) son necesarios para importantes funciones corporales (Lawson, 1999).

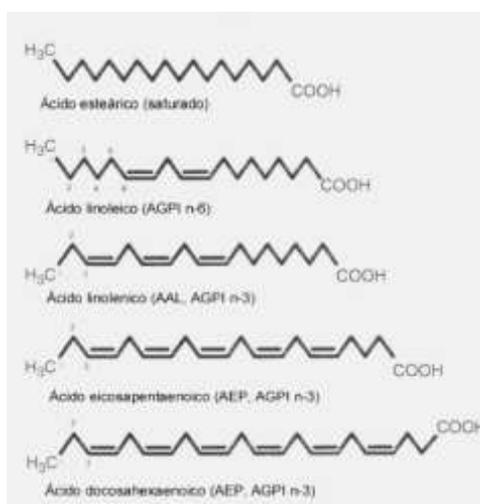


Figura 2.9: Estructuras químicas de los ácidos: omega 3 y omega 6.
Fuente: Vega, 2005.

Lo que constituye la fuente primaria de AGPI omega 3 es la gran diversidad de microorganismos e invertebrados que forman el fito y zooplancton marino, estos pueden elongar y desaturar el ALN transformándolo a través de una serie de pasos intermediarios en EPA y posteriormente en DHA, que se transfieren vía cadena alimenticia a peces, crustáceos y mamíferos. Mientras mayor es el contenido de grasa de estos animales, mayor es el contenido de EPA y DHA de su carne y del aceite que se obtiene de muchos de ellos. El EPA se acumula principalmente en el tejido adiposo, mientras que el 90 % o más del DHA constituye el tejido nervioso y cerebro de estos animales, principalmente en la forma de fosfatidil serina y fosfatidil

etanolamina. De esta manera, los peces constituyen importantes fuentes de EPA y DHA, consumidos como tal o a través de los productos de su industrialización (harina y aceite, principalmente).

Los aceites de pescado y de hígado de pescado están constituidos principalmente por triglicéridos que, como el propio nombre indica, están formados por tres ácidos grasos unidos a la molécula de glicerina. En esta forma, la acidez del ácido graso esta contrarrestada por las características alcalinas de la glicerina dando lugar así a un aceite neutro. La ruptura de la unión entre la glicerina y los ácidos grasos da lugar a la liberación de ácidos grasos libres, cuya presencia en la comercialización del aceite es indispensable (*Windsor y Barlow, 1984*).

Es necesario destacar que hay cuatro enlaces o uniones por cada uno de los tres átomos de carbono. Cuando se combinan tres ácidos grasos con una molécula de glicerol, obtenemos un triglicérido presentación que está esquematizada en la Figura 2.10. Básicamente los aceites y las grasas son mezclas de triglicéridos.

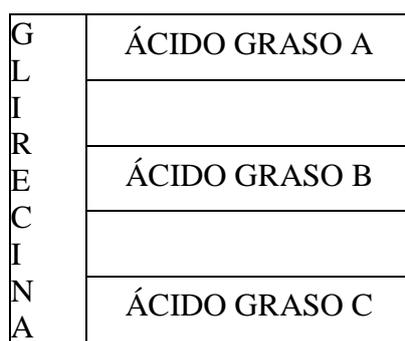


Figura 2.10: Esquema de la estructura de un triglicérido.

Fuente: Lawson, 1999.

A continuación, se muestra la estructura molecular del Glicerol más conocido como Glicerina:

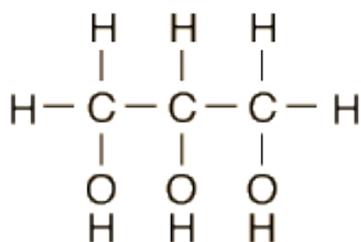


Figura 2.11: Molécula de glicerol.

Fuente: Lawson, 1999.

2.7 COMPOSICION DEL ACEITE DE PESCADO

El aceite se obtiene de todas las partes del cuerpo de los peces y es una rica fuente en ácidos grasos. En las Tablas 2.4 y 2.5. Se presenta la composición porcentual de ácidos grasos en muestras de aceite de pescado crudo y semirrefinado de producción.

Tabla 2.4:

Determinación cromatografía de ácidos grasos en muestra de Aceite de pescado crudo

Nombre	Ácidos Grasos	Área (%)
Mirístico	14:0	4,06
Pentadecílico	15:0	0,92
Palmítico	16:0	16,93
Palmitoleico	16:1 ω 7	7,44
Margárico	17:0	2,78
Hexadienoico	16:2 ω 4	1,98
Estearico	18:0	3,46
Oleico	18:1 ω 9	15,96
γ -Linolénico	18:3 ω 6	5,03
Octatetraenoico	18:4 ω 3	3,40
Eicosenoico	20:1	1,42
Eicosadienoico	20:2	1,22
Araquidónico	20:4 ω 6	3,43
Eicosapentenoico	20:4 ω 3	1,04
Eicosapentenoico	20:5 ω 3	6,29
Behénico	22:0	1,22
Erúcico	22:1	1,42
Docosapentenoico	22:5 ω 6	0,76
Docosapentenoico	22:5 ω 3	1,37
Docosaheptaenoico	22:6 ω 3	19,85

Fuente: Espol – ICQA Laboratorio de Cromatografía.

Tabla 2.5:

Determinación cromatográfica de ácidos grasos en muestra de aceite de pescado semirrefinado.

Nombre	Ácidos Grasos	Área (%)
Eicosapentaenoico - EPA	C20: 5 ω 3	7.10
Docosaheptaenoico - DHA	C22: 6 ω 3	26.40
Demás ácidos grasos	C14:0 al C22:5	66.50

Fuente: Espol-ICQA Laboratorio de Cromatografía

El aceite de pescado es un líquido marrón/amarillento obtenido al exprimir pescado cocido y generalmente es refinado. El aceite de pescado se usa como alimentos de criadero, pero también se utiliza para elaborar cápsulas que contienen los ácidos grasos omega 3, como suplemento para la salud humana y para enriquecer alimentos. Los refinados y/o semirrefinados son aquellos que se someten a un proceso que permite obtener un aceite que responde a ciertos criterios: organolépticamente es de un sabor neutro, visualmente está limpio y con un color adecuado, y además es seguro alimentariamente y permite una mejor conservación.

2.8 ACEITE ÁCIDO RESIDUAL

Los aceites y grasa de origen vegetal o animal, que consisten predominantemente en mezclas de ésteres de la glicerina con los ácidos grasos, es decir triglicéridos. En general, el término “grasa” se usa para referirse a los materiales sólidos o más bien sólidos, a la temperatura ordinaria; mientras que el término “aceite”, se refiere a los líquidos en las mismas condiciones. Sin embargo, no se puede hacer una distinción rígida entre ambos conceptos.

Si los ácidos grasos son idénticos, se obtiene un triglicérido simple y si son diferentes uno mixto. Cuando un triglicérido mixto contiene tres ácidos diferentes, presenta tres formas isométricas posibles, según sea el radical ácido que ocupe la posición central (β) de la molécula y los que ocupen las dos posiciones extremas.

2.9 PUNTOS DE FUSIÓN

Los puntos de fusión de los ácidos grasos aumentan con la longitud de la cadena y disminuye con un aumento de la insaturación. Los puntos de fusión de los ácidos grasos componentes de un triglicérido, se refleja en los puntos de fusión del mono, di y triglicéridos. Los ácidos grasos puros y sus triglicéridos (también algunas grasas, que son lo suficientemente estables como para mostrar diferentes puntos de fusión, densidad, calores de fusión, etc.

Tabla 2.6:*Propiedades físicas de los ácidos grasos.*

Ácido	Calor latente (cal/g)	Calor específico (cal/g)	
		Sólido	Líquido
Caprónico	31.2	0.4495(-33 a -10°C)	0.5105(0 a 23°C)
Caprílico	35.4	0.4650(0 a 12°C)	0.5050(18 a 46°)
Caprínico	38.9	0.5009(0 a 24°C)	0.4989(35 a 65°)
Láurico	43.7	0.5116(19 a 39°)	0.5157(a 84°)
Mirístico	47.1	0.5209(24 a 43°)	0.5416(a 68°)
Palmítico	50.6	0.4920(22 a 53°)	0.5663(a 100°)
Aráquico	54.2	0.4597(20 a 56°)	0.5556(a 109°)
Behénico	55.1	0.4854(18 a 71°)	0.5556(a 109°)
Lignocerínico	57.3	0.4656(18 a 78°)	0.5855(a 109°)

Fuente: Garner, Madden y Rushbrooks, J.Chem.Soc., 1926,2491-2502; W.E. Garner y F.C. Ranall, Ibid.,1924,881-896; y W.E. Gardner y A.M. Kding, ibid.,1929,1849-1861.

2.10 CALOR DE COMBUSTIÓN

Los calores de combustión de los ácidos grasos saturados aumentan con la longitud de la cadena carbonada y varían desde 5900 cal/g para el ácido butírico, a unas 8900 cal/g para el ácido láurico, 9600 cal/g para el esteárico y 9800 cal/g para el behénico. Los valores para los ácidos grasos no saturados son ligeramente más bajos que los de los ácidos saturados de igual longitud de cadena, siendo unas 9450 cal/g para el ácido oleico y 9350 cal/g para el ácido linólico. Los triglicéridos tienen, substancialmente, el mismo calor de combustión de algunas grasas, como la manteca de cerdo y el sebo, sea unas 9500 cal/g.

CALORES ESPECÍFICOS, DE FUSIÓN O CRISTALIZACIÓN

Garner y su colega, han suministrado datos completos sobre los calores de cristalización y calores específicos de los ácidos grasos saturados sobre los calores de cristalización y calores específicos de los ácidos grasos saturados más corrientes, excepto el esteárico. Sus trabajos incluyen la determinación de los calores específicos de las fases sólida y líquida en la proximidad del punto de fusión de los ácidos; para ello, se supuso, que todos los ácidos grasos están completamente solidos a temperaturas ligeramente inferiores al punto de fusión. se sabe hoy que, aun los ácidos grasos más cuidadosamente preparados, sufren una significativa prefusión y, por esta razón,

algunos de los valores encontrados por *GARNER* y su colega. Para el calor específico de los productos sólidos, son demasiado elevados.

Los datos térmicos disponibles sobre grasas y ácidos grasos, además de ciertas características conocidas, comunes a todas las sustancias, conducen a las siguientes generalizaciones:

En estado sólido varía poco el calor específico de los ácidos grasos saturados y sus triglicéridos sencillos, cuando varía la longitud de su cadena carbonada; sin embargo, hay un progresivo aumento en el calor específico al aumentar el grado de insaturación. Las formas polimórficas menos estables de los glicéridos. En algunos casos, el calor específico de los sólidos es menor que el de los líquidos a la misma temperatura.

El calor específico de los ácidos grasos líquidos o de los glicéridos, aumenta con la longitud de la cadena, pero disminuye cuando la grasa se hace más insaturada. En los estados sólido y líquido, hay un progresivo aumento en el calor específico, cuando aumenta la temperatura.

El calor de fusión, tanto en las grasas como en los ácidos grasos, se hace más alto cuando crece la longitud de la cadena y disminuye la insaturación. En general, los glicéridos mixtos tienen calores de fusión más bajos que los simples que le son comparables.

Con respecto a la conductividad térmica, las grasas son, relativamente, poco conductoras del calor. Para el aceite de oliva, encontró *DAVIS*, valores de 0.00040 cal/s/cm² a 19°C y de 0.000385 a 71°C. de ricino a 20°C; y de 0.00041 para el mismo aceite a 100°C. Para el aceite de oliva estos investigadores dan 20°C, 0,00040 y 0,00039 a 100°C.

PUNTO DE HUMO, DE INFLAMACIÓN Y DE COMBUSTIÓN

Los puntos de humo, inflamación y combustión de una sustancia grasa son la medida de su estabilidad térmica, cuando se calienta en contacto con el aire. El punto de humo es la temperatura a la que el producto de la descomposición del aceite se desprende en cantidad suficiente para hacerse visibles; el humo de inflamación es la temperatura a la que estos productos se desprenden a un ritmo tal, que son capaces de inflamarse, sin mantener la combustión; y el punto de combustión es la temperatura a la que sostienen la combustión.

Cuando se calienta en contacto con el aire los ácidos grasos, son mucho menos estables que los glicéridos, dependiendo los puntos de humo, inflamación y combustión de los aceites, principalmente de su contenido en ácidos grasos libres. El punto de humo en ácidos grasos libres de 0.01%, a aproximadamente 93.3°C, para un contenido en ácidos grasos libres del 100%. El punto de inflamación de estos aceites presenta una variación de 330° a 193°, para las mismas proporciones de ácido libre; y los valores correspondientes para el punto de combustión son 363° y 221°C, respectivamente.

REACCIÓN DE LOS ÁCIDOS GRASOS

Algunas de las reacciones químicas de las grasas y de los ácidos grasos tienen especial importancia, porque se emplean para la manufactura de productos grasos.

A diferencia de otros muchos productos comestibles, los aceites no se deterioran notablemente, por la acción de las bacterias. La mayor parte de los daños sufridos por las grasas en el almacenamiento son debidos a la oxidación por el oxígeno atmosférico; por esta razón, presentaremos particular atención a las reacciones que se producen entre el oxígeno y las grasas.

a) Punto de fluidez

La temperatura a la cual el aceite escasamente fluye bajo condiciones de prueba controlada, se llama punto de fluidez. Esta prueba combinada con la viscosidad determina si un aceite es aceptable para un funcionamiento en clima frío. El punto de fluidez de un aceite puede bajarse agregando materiales que se llaman depresores del punto de fluidez.

b) Residuos de carbono

La prueba del residuo de carbono determina la cantidad de carbono que permanece después de la evaporación de la parte volátil de un aceite, cuando éste es sometido a calentamiento sin estar en contacto con el aire, desplazando a éste del recipiente que contiene el aceite, por medio de vapor de escape. Esta prueba es una indicación de la volatilidad de un aceite y es la medida de la cantidad de componentes pesados que en lugar de evaporarse cuando se calientan, permanecen en el fondo como catalizadores. El valor de tales pruebas es problemático, puesto que, bajo ciertas condiciones, el comportamiento del aceite es diferente del comportamiento bajo otras condiciones. En servicio real, el aceite está sujeto a una gran variedad de condiciones oxidantes y por lo

tanto, ninguna prueba bajo las condiciones prescriptas puede relacionarse muy bien con el servicio real.

c) Resistencia a la oxidación

Cuando un aceite está sujeto a altas temperaturas en presencia de aire, se forman productos de oxidación que son perjudiciales. La habilidad de un aceite para resistir la oxidación bajo ciertas condiciones se determina calentando el aceite, usualmente entre 300-500°F, algunas veces pasando aire a través del aceite y estando presentes cobre o hierro.

d) Homogeneidad

Para determinar si el aditivo es estable, los aceites para servicio pesado se calientan desde abajo de su punto de fluidez hasta que alcancen una temperatura de 250°F. No debe existir separación del aditivo, usualmente indicada por un enturbiamiento del aceite.

e) Compatibilidad

Existen varias pruebas de laboratorio para medir la compatibilidad de los aceites. En una prueba simple en que intervienen dos aceites con aditivos, se mezclan éstos en volúmenes iguales y se agitan. Cualquier enturbiamiento de la mezcla es evidencia de separación del aditivo o incompatibilidad. Los resultados de las pruebas de compatibilidad de laboratorio, no pueden usarse para predecir el comportamiento de mezclas de aceites como lubricantes de motores. Una pequeña variación de la concentración del aditivo en cualquier aceite puede provocar una diferencia notable en el funcionamiento del motor. Si deben mezclarse los aceites, resultaría complicado predecir o controlar los efectos de los diferentes aditivos o aceites base.

2.11 EL PETRÓLEO INDUSTRIAL N° 500

También conocido como petróleo residual m es un combustible que consiste en una mezcla de hidrocarburos pesados, libre de agua, de ácidos inorgánicos compuestos alcalinos y de cantidades excesivas de contaminantes bajo la forma de partículas en suspensión que se utilizan en quemadores comerciales e industriales mediante precalentadores.

PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Tabla 2.7:

Propiedades fisicoquímicas del petróleo Industrial N° 500

PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS	PROPIEDADES
Apariencia, color	Líquido viscoso, color marrón oscuro a negro
Gravedad específica a 15.6/15.6°C	0.96-0.99 aproximadamente
Viscosidad cinemática a 50°C , cSt.	641-1060
Límites de inflamabilidad, % vol. en aire	1 a 5 aproximadamente
Punto de auto ignición, °C	407 aproximadamente
Solubilidad en agua	Insignificante

Fuente: Portal web de Petroperú S.A.

EQUILIBRIO TRIFÁSICO DE PRE COMBUSTIÓN DE PETRÓLEOS RESIDUALES

Resulta importante conocer la composición fisicoquímica y el estado de equilibrio de los componentes de hidrocarburos para el petróleo industrial N° 500, atendiendo a la capacidad del combustible para mantener su equilibrio durante la alimentación desde el tanque diario hasta el quemador, garantizando su estabilidad.

Como lo sostiene el *Ing. Percy Castillo Neyra (Revista ILITEC)*, los petróleos industriales resultan ser el producto denso, viscoso e impuro y no procede de la destilación del petróleo, siendo esta su característica principal se conoce que sus propiedades le permiten utilizarse directamente para combustión con el fin de producir calor.

Al mencionarse que debe coexistir o mantenerse el equilibrio trifásico en la mezcla de hidrocarburos residuales , se tiene un punto de análisis muy determinante para la estabilidad del petróleo industrial N° 500, debido a que la fracción más pesada está formada por cadenas hidrocarbonadas muy elevadas de cadena abierta (parafinas) y cerradas (asfaltenos), unidos por enlaces y uniones de oxígenos y azufre , característicos en los combustibles residuales que influenciarán en el potencial térmico al momento de combustionarse.

Hasta esta parte consideraremos un particular cuidado , se deberá de garantizar el equilibrio trifásico del petróleo industrial N° 500 , sosteniendo que esta deberá de mezclarse con aceite ácido residual de pescado siendo aún impredecible su

comportamiento de mezcla a medida que las proporciones se calienten, se pretenderá explicar las reacciones y el comportamiento analizándose de forma separada, es por ello que en esta etapa de descripción se ampliará el análisis con el fin de detallar cada combustible, con sus posibles fases de equilibrio para ser estudiados luego como una mezcla. En la composición se sostienen tres componentes naturales, la composición química, las propiedades físicas y las características fisicoquímicas.

La fracción más pesada está conformada por hidrocarburos de relación C/H muy elevada, de cadenas parafínicas y asfaltenos, unidos por puentes y uniones de oxígeno y azufre. Otra fracción intermedia que representa la mayor proporción está conformada por una relación C/H típica con valor de 8. Y la otra fracción liviana que actúa como fluidificante y que no fue destilada o fue adicionada como material de corte para reducción de su viscosidad. Estas tres condiciones fluido dinámicas en sí no se comportan como fases separadas, sino que presentan un equilibrio trifásico que le da las características conocidas al petróleo industrial N° 500.

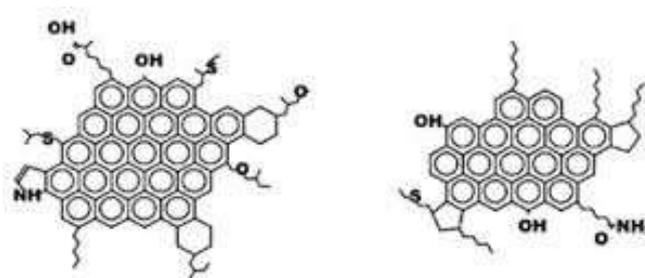


Figura 2.12: Estructura molecular de asfaltenos.

Fuente: <http://www.portaldelpetroleo.com/2013/04/los-asfaltenos-y-sus-efectos-en-la.html>

Para garantizar ese equilibrio trifásico se deberá conservar la estabilidad de estas fases a fin de no generar cambio fisicoquímico por agentes como el calor en rangos no establecidos para su conservación de equilibrio. Una razón analítica para sostener la teoría del equilibrio trifásico es que las moléculas de hidrocarburos cíclicos de alto peso molecular al combinarse con oxígeno y azufre constituyen principalmente asfaltenos y aromáticos que forman la fase más pesada de los residuales y que al disociarse antes de llegar al quemador forman un coque muy compacto y difícil de combustionar.

Estas moléculas absorben en su superficie otras moléculas de menor peso molecular y la relación Carbono-Hidrogeno que constituye la fase intermedia mayoritaria formando glóbulos con las partículas suspendidas en su interior. Estos glóbulos o flóculo

residuales se encuentran dispersos en una tercera fase aún más liviana, conformado por hidrocarburos de relación $C/H < 8$. Es por ello que la capacidad de adsorción de las moléculas intermedias por parte de los asfaltenos permite la formación de una suspensión molecular que le proporciona a los residuales las características y contextura conocidas.

Si analizamos estas composiciones de fases podemos observar que la última fase acuosa presenta hidrocarburos livianos este le permite comportarse dentro de la mezcla como un fluido deslizante o de corte regulando así la viscosidad de la mezcla trifásica en equilibrio. Esto se puede demostrar a medida que se somete a temperatura al petróleo industrial, disminuyendo así su viscosidad y aumentando la proporción de la fase liviana. Es por eso que estas condiciones de equilibrio deben de mantenerse en el proceso de pre combustión , sabiendo que para ellos se someterá a ciertos cambios de velocidad y temperatura siendo imprescindible garantizar que esta no se disocie ni forme compuestos asfáltico , sabiendo además que el oxígeno que aportara el aceite residual actuara como catalizador dentro de la mezcla aumentando la formación de asfaltenos y aromáticos dando paso a la formación de borra o flóculo sólidos que puede generar cambios drásticos en el régimen del flujo de mezcla.

Para complementar el análisis de naturaleza química que sostiene el autor *Percy Castillo Neyra* en la publicación de la revista ILITEC, se recurrirá al análisis de los métodos utilizados para el tratamiento de borras en tanques de almacenamiento en la industria del petróleo, para definir parámetros muy importantes en el recuento de carbonos e hidrógenos así como el porcentajes de azufre y como influencia el nivel de oxigenación en la formación de viscosidad que da paso a la formación de borra o endurecimiento de capas de petróleo residual.

Gómez O. y Gómez D. (2015), sostiene que la borra generada en los tanques y tuberías de la industria del petróleo son residuos que se forman después de largos periodos de tiempo, por sedimentación y aglomeración de compuestos hidrocarbonados, especialmente de cadenas más largas, presentes en el crudo; sólidos, sedimentos y materia orgánica y agua. Como consecuencia de las aglomeraciones de los hidrocarburos, la emulsión de agua en el crudo y la retención de sedimentos en aquella; los grados API disminuye, alcanzando valores incluso inferiores a 10 °API, formándose masas densas y viscosas, difíciles de bombear que se depositan en el fondo de los tanques, reduciendo su capacidad, o generar obstrucciones.

Los tipos de borras dependerán directamente del tipo de crudo almacenado en el tanque, a su vez el tipo de crudo dependerá de su composición. En general según la sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía, establece la composición de un crudo es: 83% de carbono, 11%-14% de hidrogeno, 0-5% de oxígeno, 0-6% de azufre ,0-0.5% de Nitrógeno y 0-01% de compuestos inorgánicos.

ENERGÍA Y TIPO DE ATOMIZACIÓN

La atomización es un trabajo y para realizarlo se requiere de una determinada forma de energía que define el tipo de atomizador empleado: El tipo más simple de atomizador consiste en utilizar la presión del propio combustible, forzándolo a pasar a través de un orificio, lo que constituye una tobera de Atomización mecánica.

Usando la energía contenida en vapor o aire comprimido para romper el combustible en gotitas o droplets, se dispone de un Atomizador por Fluido Auxiliar. La combinación de estos dos tipos de atomizadores, determinan el tipo denominado de atomización mecánica asistida por fluido auxiliar, cuando prevalece la presión del combustible.

La atomización mecánica con pequeños diámetros de toberas se utiliza principalmente para combustibles limpios; para petróleos residuales o combustibles líquidos sucios, solamente con quemadores grandes con mayores flujos y diámetros mayores.

Para este tipo de combustibles, para evitar el ensuciamiento de la boquilla, se inventó el Atomizador Rotativo, en el cual la energía centrífuga producida por un cono o taza girando a grandes velocidades estira el combustible en las paredes hasta pulverizarlo en finas gotas en el extremo, con el auxilio de aire primario de un ventilador.

OBTENCION DEL PETROLEO

Etimológicamente, petróleo significa —**aceite de piedral** (pétreo = piedra y óleo = aceite), lo cual define de donde se extrae o donde se encuentra, el también llamado oro negro, debido a su multiplicidad de aplicaciones útiles y valiosas en el mundo moderno.

El Crudo que se extrae de los pozos es una mezcla de todos los hidrocarburos formados durante su evolución geológica, se transporta por oleoductos hasta grandes refinerías donde se separan sus diferentes fracciones y productos. El primer paso de la refinación del petróleo crudo se cumple en las torres de "destilación primaria" o "destilación atmosférica". En su interior, estas torres operan a una presión cercana a la atmosférica y están divididas en numerosos compartimientos a los que se denominan "bandejas" o "platos". Cada bandeja tiene una temperatura diferente y cumple la función de

fraccionar los componentes del petróleo. El crudo llega a estas torres después de pasar por un horno, donde se calienta a temperaturas de hasta 400 grados centígrados que lo convierten en vapor. Esos vapores entran por la parte inferior de la torre de destilación y ascienden por entre las bandejas; a medida que suben pierden calor y se enfrían.

Cuando cada componente vaporizado encuentra su propia temperatura, se condensa y se deposita en su respectiva bandeja, a la cual están conectados ductos por los que se recogen las distintas corrientes que se separaron en esta etapa. Al fondo de la torre cae el "crudo reducido", es decir, aquel que no alcanzó a evaporarse en esta primera etapa. Se cumple así el primer paso de la refinación. De abajo hacia arriba se han obtenido, en su orden: gasóleos, acpm (aceite combustible para motores), queroseno, turbosina, nafta y gases ricos en butano y propano. Algunos de estos, como la turbosina, queroseno y acpm, son productos ya finales. Las demás corrientes se envían a otras torres y unidades para someterlas a nuevos procesos, al final de los cuales se obtendrán los demás derivados del petróleo.

Los productos de refinación del petróleo que se utilizan como combustibles industriales, son los destilados más pesados y los residuales que salen por el fondo de las columnas de destilación. La combustión de destilados (diésel o gasóleos), tratándose de combustibles limpios y livianos, resultará fácilmente predecible y relativamente simple su eficiente utilización. En el caso de los residuales, sucios y viscosos, su combustión industrial resulta notablemente más compleja, y en tal sentido, de gran importancia para conseguir eficiencias equivalentes, conocerlos, esto es, caracterizarlos en función de su composición, propiedades fisicoquímicas y contenido de impurezas. (Castillo Neira. 2012).



Figura 2.13: Petróleo residual

Fuente. Manual de combustión, Castillo Neyra, P (2013)

○ **Estado físico**

Los petróleos residuales podrían considerarse un nivel intermedio entre los combustibles líquidos y los sólidos, debido a que posee en su composición, además de hidrocarburos líquidos, fracciones muy pesadas e impurezas en estado sólido (metales y cenizas).

El análisis comparativo de los combustibles industriales sólidos, líquidos y gaseosos más conocidos (Cuadro 03). Incluyendo el contenido de C, H, S y cenizas, nos permite establecer algunas características diferenciales de los residuales respecto a los demás combustibles:

Su facilidad para combustionar, expresada por la relación C/H, resulta intermedia entre los gases, destilados y carbones. La presencia de azufre resulta elevada respecto al mínimo contenido en los destilados y los carbones, aunque los valores considerados resultan variables. La presencia de cenizas marca la diferencia más importante de los residuales respecto a los destilados y marca un punto de aproximación hacia los carbones.

Tabla 2.8:

Composición de combustibles

Combustible	Análisis % en peso				Poder Calorífico Inferior (*)
	C	H	S	Cen	
Gas Natural	75	25	-	-	21 492
GLP	82.5	17.5	-	-	19 737
Diesel 2	86	13.4	0.1	-	19 378
Residual 4	87	12.5	0.7	0.02	19 224
Residual 5	87	12.0	1.0	0.03	19 098
Residual 6	86	11.5	2.5	0.08	18 640
Carbón Mineral	80	5.5	1.5	13	13 590

Fuente. Manual de combustión, Castillo Neira, P (2013)

2.12 COMPOSICIÓN QUÍMICA

Para caracterizar los residuales en función de sus componentes, resulta importante considerar los siguientes:

a) Compuestos carbonos/ hidrógenos

Estos son compuestos que poseen características muy diferentes del hidrógeno (gas ligero, incoloro e inodoro) y las del carbono (sólido negro), que combinados en

variadas formas y proporciones forman los hidrocarburos. En los residuales se presentarán tales compuestos, aunque en diferentes proporciones, además de los que se produzcan durante los procesos de refinación

Para efectos prácticos, resultará conveniente considerar como factor determinante de la —combustibilidad‖ de petróleos residuales su relación C/H, lo cual permitirá caracterizarlos en función de su comportamiento como combustibles industriales en forma rápida y simple, conociendo su composición elemental.

Tabla 2.9:

Relación de carbonos e hidrógenos de combustibles

COMPONENTE	C/H	Estado
Metano	3	Gas
Etano	4	Gas
Propano	4.5	Gas/líquido
Butano	4.8	Líquido/Gas
Pentano (Gasolinas)	5	Líquido
Diesel	5.8	Líquido
Petróleo Residual	8	Semisólido
Carbón	>10	Semisólido

Fuente: Teoría de la combustión, Sánchez Naranjo, C (2012)

La relación C/H resulta inversamente proporcional a la facilidad con la que se queman los combustibles en la práctica industrial. Así, el Metano tendrá una relación C/H de 3, siendo el hidrocarburo más fácil de quemar, el petróleo crudo normalmente tiene una relación C/H de aprox. 7 y en los residuales, este valor es de aprox. 8, dependiendo de la proporción de compuestos cíclicos presentes en su composición final.

b) Compuestos nitrogenados:

Se presentan en compuestos de elevado peso molecular, máximo cuando lo hacen en complejos porfirínicos de metales, por lo cual más del 90% del nitrógeno de los crudos permanece en el residual. El nitrógeno en los residuales se encuentra mayormente en forma d compuestos básicos:

Piridina 44,0% Carbazol 30,0% Indol 9,5% Pirrol 9,0% Quinoleína 3,3%
Compuestos asfálticos 4,2%. Cuando se encuentran como parafinas tienen la propiedad de formar complejos estables con muchos metales, siendo particularmente importantes. Los complejos de vanadio y níquel, normalmente presentes en las

cenizas del residual. La presencia del nitrógeno en los combustibles residuales reviste dos aspectos de particular importancia:

- Sometidos a cambios reiterados de temperaturas se envejecen rápidamente, dando lugar a la formación de gomas que se encuentran en finas capas parecidas al barniz sobre bombas, engranajes, filtros, etc.
- En condiciones de combustión a elevadas temperaturas ($>1100^{\circ}\text{C}$), se combina con el oxígeno formando compuestos que resultan contaminantes atmosféricos (NO_x).

c) **Compuestos sulfurados:**

La presencia de azufre en los residuales, en forma elemental o combinada, aunque aporta poder calorífico resulta indeseable, debido a que los productos de su combustión resultan agresivos y contaminantes. El petróleo bruto, dependiendo de su origen, puede contener hasta 5% de azufre en casos extremos o valores muy bajos; normalmente varía entre 1 y 3%; durante la refinación, una mayor proporción del azufre se queda en el residual, concentrándose en aproximadamente un 40% respecto al crudo. El azufre en los hidrocarburos naturales se encuentra bajo formas de tioles (mercaptanos), disulfuros, tiofenos y azufre elemental. Debido al olor penetrante y desagradable de sus compuestos, es fácilmente detectable en los productos de combustión. El SO_2 producido, en presencia de exceso de aire y pentóxido de vanadio como catalizador, se oxida a SO_3 , el cual con el agua de la combustión forma ácido sulfúrico. Si la temperatura dentro del sistema disminuye por debajo del punto de rocío (condensación), el ácido se depositará sobre los refractarios y partes metálicas en el interior de los ductos de circulación de gases, produciendo **corrosión ácida**, también llamada corrosión a baja temperatura.

d) **Contenidos asfaltenos**

Los asfaltenos son compuestos orgánicos de alto peso molecular, entre 1.000 y 100.000, constituidos por los elementos del combustible de origen (carbono, hidrógeno, azufre, nitrógeno, oxígeno, vanadio, etc), cuya presencia en los residuales resulta de gran importancia durante su combustión por constituir la fracción del residual más difícil de quemar. Estos compuestos tienen tendencia a formar estructuras cíclicas complejas, como resultados de los cual poseen altas relaciones C/H, típicamente alrededor de 10/1, frente a un 8/1 característico del combustible. Durante la combustión, el hidrógeno del asfalteno es fácilmente oxidado,

conduciendo a la formación de un coque denso, a menudo de una estructura grafitica, muy poco reactivo y difícil de quemar en los cortos tiempos de residencia disponibles durante el transporte a través de las regiones de altas temperaturas en el interior de las llamas en Hornos y Cámaras de combustión.

e) **Contenidos de vanadio**

El contenido de cenizas de los combustibles residuales, aunque resulta mínimo comparado con el que se presenta en los carbones, tipifica el empleo de residuales respecto a combustibles limpios, tales como los gases y destilados. Como se puede observar en el Cuadro 03, en el que se presentan los principales constituyentes de las cenizas, en cuanto a sus rangos de concentración en el combustible y su proporción en las propias cenizas, el vanadio representa el componente de mayor importancia cuantitativa.

Tabla 2.10:

Relación de carbonos e hidrógenos de combustibles

Constituyente	Combustible (ppm)	Cenizas (%)
SiO ₂	6.0 - 86.0	0.6 - 8.6
Al ₂ O ₃	3.0 - 76.0	0.3 - 7.6
Fe ₂ O ₃	0.9 - 57.0	0.1 - 5.7
CaO	1.0 - 1.4	0.1 - 1.0
MgO	1.0 - 1.7	0.1 - 0.2
Na ₂ O	5.0 - 35.0	0.5 - 3.5
K ₂ O	0.2 - 1.2	0 - 0.1
V ₂ O ₅	14.0 - 740.0	0.1 - 74.0
NiO	1.3 - 25.0	0.1 - 2.5

Fuente: Castillo Neyra, P (2012), Teoría de la combustión

Cualitativamente, el Vanadio también constituye el componente que ocasiona mayores riesgos y problemas en la práctica industrial, por lo cual conocer la proporción en que se encuentra en los residuales permitirá prevenir y controlar sus efectos y consecuencias. Se conoce que el vanadio está frecuentemente asociado con los asfaltenos en forma de complejos estables solubles en el combustible; durante la combustión es muy probable que el vanadio se asocie con el coque de origen asfáltico formado, dando lugar a cenizas con bajo punto de fusión. Aunque el vanadio constituye un efectivo catalizador de las reacciones de oxidación, ello resultará conveniente cuando se encuentre asociado a coques de origen asfáltico, al acelerar su combustión, pero influye negativamente al favorecer la reacción de

formación de SO₃. Asociado con el sodio y el azufre, forma compuestos de bajo punto de fusión, dando lugar a la corrosión por cenizas fundidas, al adherirse a superficies metálicas y refractarias, actuando como transportador de oxígeno.

f) Punto de fluidez:

La temperatura a la cual el combustible fluye libremente por gravedad se denomina Punto de Fluidez. Resulta una variable importante para juzgar la facilidad con la cual los combustibles industriales pueden ser transportados y manipulados. Siendo la Fluidez la inversa de la viscosidad, los combustibles residuales, teniendo valores elevados de viscosidad, resultarán poco fluidos. Los valores promedio de los residuales más empleados en la práctica industrial se ubican en valores cercanos a los rangos de temperatura ambiental (15C), por lo cual su manipulación por gravedad sin aporte de calor resultará factible en aquellos lugares donde la temperatura ambiental se mantenga en niveles mayores al punto de fluidez determinado. En la práctica industrial, la disponibilidad de calentamiento para acelerar el tiempo de descarga puede resultar conveniente desde el punto de vista del transportista (disponibilidad de cisternas), pero influye negativamente en la estabilidad del residual.

g) Residuo carbón conradson

El residuo carbonoso conradson proporciona una indicación u orientación valiosa sobre la tendencia del combustible a formar inquemados, esto es, a coquizar. Los índices de conradson elevados dan una indicación significativa sobre la tendencia a la formación de coque de un combustible en los precalentamientos y la posibilidad de que se produzca el ensuciamiento de la boquilla del quemador durante su operación. También proporcionan una orientación significativa sobre la tendencia a "craquizar" de un residual en los precalentamientos previos a su combustión. Imponen severas restricciones a su aplicación y, finalmente, delimitan el dominio de las potencias térmicas en las que puede emplearse racionalmente un determinado combustible líquido. Un residuo carbonoso superior al 6%, dificultará sensiblemente el funcionamiento de las instalaciones térmicas de reducida y mediana potencia, agravándose tal situación a medida que se presenten valores mayores.

h) Contenido de agua y sedimentos

El agua, en forma de minúsculas gotas y con otros tipos de impurezas, se encuentra en suspensión en todos los combustibles líquidos, y en forma particular, en los residuales. Sus efectos dependen fundamentalmente de la forma en que las gotas de

agua se encuentren presentes: Si las gotas de agua dispersas en el fluido son de un diámetro tal que su decantación se pueda producir rápidamente, a las temperaturas que alcanza el residual en el precalentador del quemador, su presencia, a partir de porcentajes del orden del 1%, puede ya provocar irregularidades apreciables en el funcionamiento del quemador y en la estabilidad de la llama. Por el contrario, si las gotitas de agua emulsionada en el combustible no son susceptibles de decantar, porque sus diámetros son muy reducidos y las necesidades de calentamientos moderadas, porcentajes relativamente importantes (10 ó 15%), no ejercen una influencia perjudicial apreciable sobre el funcionamiento del quemador, desde el punto de vista mecánico. Respecto a la presencia de sedimentos, si las partículas extraídas están constituidas esencialmente por granitos de sílice o de óxidos de hierro, la circulación del combustible por equipos tales como las bombas de desplazamiento positivo o las boquillas de los quemadores, podría provocar problemas de abrasión.

Tabla 2.11:

Composición de sedimentos de petróleo residual

SEDIMENTOS	%
Materiales Solubles en Aceite Mineral	20.7
Asfaltenos y Productos Polimerizados y Oxidados	3.5
Impurezas Sólidas, Coque, Jabones Metálicos, etc	12.5
Carbono Libre referido al Producto Original e Incluido en las Impurezas	5.6
Productor Volátiles Solubles	57.7

Fuente. Petroperú, 2009

i) Tensión superficial

Se puede definir, para el caso de un combustible líquido en contacto con un gas o el aire, como la tendencia del fluido a presentar la mínima área expuesta al contacto con el gas, y por tanto, a la acción de las fuerzas que actúan sobre el en la interfase líquido-gas. Es la verdadera responsable del tamaño de gotas que se produce durante la atomización del combustible líquido, por lo cual reviste particular importancia en el caso de atomización de los residuales. La tensión superficial, al igual que la viscosidad, disminuye cuando aumenta la temperatura; la única razón por la cual se utiliza como referencia para una adecuada atomización del combustible líquido, por lo cual reviste particular importancia en el caso de atomización de los residuales. La tensión superficial, al igual que la viscosidad, disminuye cuando aumenta la

temperatura; la única razón pro al cual se utiliza como referencia para una adecuada atomización y bombeo la viscosidad y no la tensión superficial, es que aquella es más fácil de determinar a las temperaturas de operación. Los hidrocarburos o fracciones parafínicas, como es el caso de los residuales, tienen una tensión que varía poco (10 a 14 dinas/cm) que corresponden al contacto hidrocarburo-aire.

j) Inflamabilidad

El punto de inflamación o inflamabilidad de un combustible líquido proporciona una indicación sobre el valor de la temperatura a la cual el producto, ensayado según una cierta norma, emite suficientes vapores para que pueda inflamarse la mezcla aire-gases provocada por el calentamiento del fluido. Se admite generalmente que los distintos combustibles líquidos pueden manipularse sin grave riesgo de explosión o incendio, siempre y cuando permanezcan a temperaturas inferiores a las correspondientes a sus puntos de inflamación. El punto de inflamación de los combustibles industriales (diésel y residuales) está alrededor de 65 - 70C, lo cual permite considerar que en el almacenamiento estos productos no son peligrosos.

k) Poder calorífico

Representa la cantidad de calor que posee y es capaz de liberar un combustible residual por cada unidad de volumen o masa considerado. Así, se puede expresar el poder calorífico de los combustibles líquidos en relación a su volumen o su masa. En un equipo industrial se debe liberar como mínimo un 99% del poder calorífico del combustible, en condiciones que permitan su máxima conversión en calor útil. Se determina en el laboratorio en la bomba calorimétrica, donde los productos de la combustión quedan a temperatura ambiente, condensándose y cediendo su calor latente de condensación el vapor de agua (597,2 kcal/kg de agua formada). Este valor se denomina Poder Calorífico Superior o Bruto. En la práctica industrial, el vapor de agua producido no llega a condensarse y su contenido térmico se escapa por la chimenea, dando lugar al Poder Calorífico Inferior o Neto.

La relación entre ambos es la siguiente:

.85 (9 x % H x % humedad). Existen fórmulas empíricas que permiten calcular en forma suficientemente aproximada el PCS a partir del análisis elemental del combustible referido a base seca, siendo la más conocida la de Dulong: $PCS = 80.8(C) + 344 \left(H_2 - \frac{O_2}{8} \right) + 22.2(S) kcal/kg$ (Castillo, N. 2010).

2.13 CALORIMETRIA

Al mezclar dos cantidades de líquidos a distinta temperatura se genera una transferencia de energía en forma de calor desde el más caliente al más frío. Dicho tránsito de energía se mantiene hasta que se igualan las temperaturas, cuando se dice que ha alcanzado el equilibrio térmico. La cantidad de calor Q que se transfiere desde el líquido caliente, o la que absorbe el frío, responde a la expresión.

Las transferencias de calor se miden en un calorímetro a través de variaciones de temperatura. Previo a toda experiencia es necesario *calibrarlo*, esto es, determinar su capacidad calorífica. Para realizar el calibrado, se mezclan cierta cantidad de agua fría con agua caliente y se mide la temperatura de equilibrio. Durante este proceso una parte de la energía cedida por el agua caliente es absorbida por el vaso Dewar del calorímetro que eleva su temperatura desde T_2 a T_e . En consecuencia, como en el calorímetro no se producen pérdidas de energía hacia el exterior, la variación del conjunto formado por el calorímetro y las cantidades de agua será nula, por lo que se puede escribir.

2.14 BALANCE DE ENERGIA EN EL CALORÍMETRO

Se considera el calor total que está formado por el calor que entrega la muestra de aceite combustionada más la combustión del alambre de ignición, produciéndose que el calor es absorbido por las partes del cuerpo interior de la bomba calorimétrica conformada por paredes, varilla de agitación, la tapa y el agua que rodea al vaso, de esta forma se puede establecer que la temperatura que gana el agua es una medida proporcional del grado de combustión que da al interior del reactor.

$$Q_{\text{TOTAL}} = Q_{\text{DESARROLLADO}} + Q_{\text{ABSORBIDO}} = 0 \quad (1)$$

$$m_{\text{aceite}} * \Delta U_{\text{aceite}} + m_{\text{alambre}} * \Delta U_{\text{alambre}} = -(Q_{\text{DESARROLLADO}} + Q_{\text{ABSORBIDO}}) \quad (2)$$

2.15 CALORES ABSORBIDOS EN EL CALORIMETRO

$$Q_{\text{ABS.AGUA}} = m_{\text{agua}} * C_{\text{agua}} * \Delta T \quad (3)$$

$$Q_{\text{ABS.BOMBA}} = m_{\text{BOMBA}} * C_{\text{BOMBA}} * \Delta T \quad (4)$$

Donde:

ΔU_{aceite} : Calor de combustión 1 gramo de la muestra de aceite residual de pescado.

: Calor de formación del alambre de ignición, que es dato de fabricante: 1400
Cal/g

masa de la muestra de aceite residual de pescado

: masa de agua que rodea al calorímetro en su interior.

: masa de la bomba calorimétrica, dato de fabricante.

Calor específico del agua

: Calor específico de la bomba

T : Cambio de temperatura que se produce

Se considera que la masa del alambre que se oxida se determina a partir de la diferencia de longitud antes y después de la combustión. Los valores de la masa y calor específico de la bomba son constantes, para ello se opera con una cantidad de agua constante, fijándose el tamaño del alambre de ignición, generándose la siguiente ecuación.

$$(m \quad)\Delta$$

Donde se observa que la suma de calores del agua y la bomba se presenta como una constante.

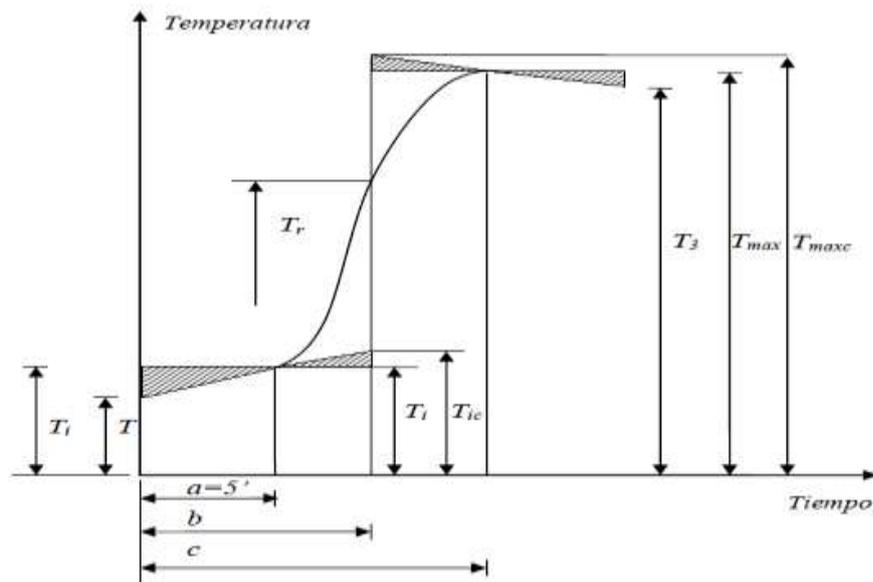


Figura 2.14: Esquema de perfil de temperatura en el calorímetro. Fuente. Castillo , N (2010).

CAPÍTULO III
MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 MATERIALES

Materiales combustibles

- Aceite Ácido residual de pescado (anchoveta)
- Petróleo industrial N° 500

Materiales de laboratorio

- Vaso de precipitados
- Agitador de vidrio
- Probeta graduada
- Mechero tipo Bunzen
- Cinta Ph Métrica

Equipos

- Bomba calorimétrica PARR1341 EE BOMB CALLORI PLAIN
- Balanza analítica
- Fuente de tensión y corriente de alimentación.

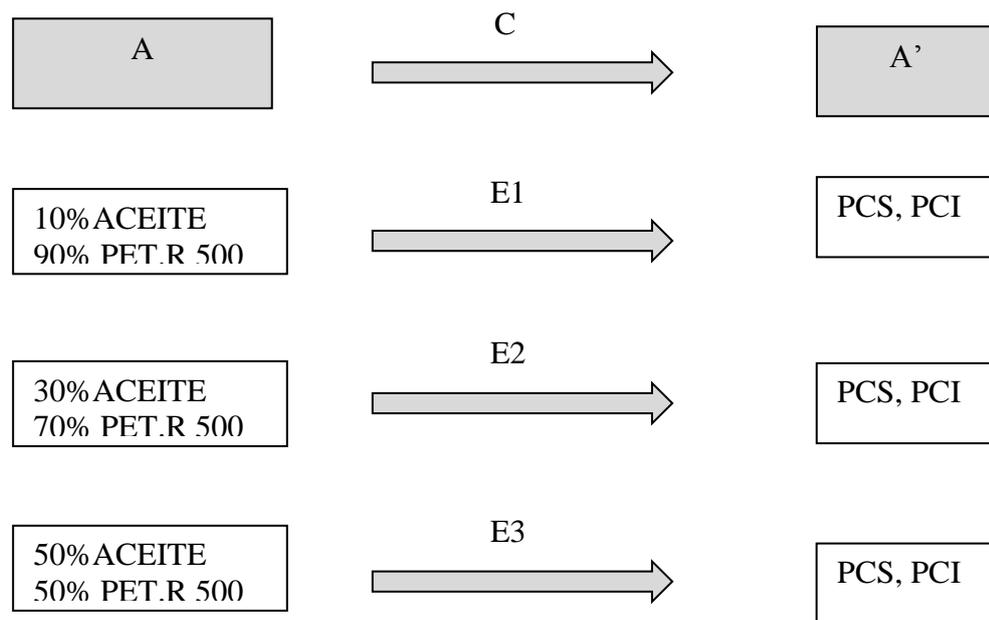
3.2 METODO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación es experimental en la categoría pre experimental, debido a que la manipulación de las variables fue parcial y controlada. Además transversal debido a que la evaluación se realizó durante un periodo determinado de tiempo. También es cuantitativa debido a los resultados obtenidos y calculados aportara conocimientos nuevos en el área.

La selección de las muestras es intencional y se define por las proporciones en que el aceite de pescado y el petróleo industrial 500 se mezcla, los resultados o estímulos se medirán en la variable dependiente buscándose encontrar el poder calorífico más elevado, se hará uso del método experimental de laboratorio, específicamente en el

laboratorio de fisicoquímica de la Universidad Nacional del Santa en colaboración con la empresa Austral Group S.A.A.

El tipo de investigación tiene el modelo de diseño experimental con estímulo creciente, ya que se tomará como base dos variables de control que será el aceite de pescado puro y el petróleo residual 500 puro cuyos parámetros están definidos, para luego generar los estímulos crecientes que están referidas al aumento del porcentaje de aceite en el petróleo.



Fuente. Elaboración propia

Donde:

A: Es el grupo control o testigo

B, C y D: Son grupos experimentales

E: Son los estímulos

El grupo control o testigo sirve para ser comparado con los resultados obtenidos de los grupos experimentales, en este caso, se ira comparando que relación de mezcla de aceite y petróleo tiene mayor poder calorífico respecto del aceite puro y a su vez también servirá para compararse entre los propios grupos experimentales o grupos de mezclas.

3.2.1 ETAPA DE ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO EN LABORATORIO

Población y muestra

En el litoral Peruano específicamente en los puertos, se realiza el procesamiento de anchoveta como especie predominante para la obtención de harina de pescado, de donde también se obtiene el aceite como subproducto. Con respecto a su composición, el aceite de anchoveta tiene propiedades físicas y composición muy similares a otras plantas de industria pesquera del Perú, por lo que el trabajo de investigación centrará como población a las muestras de aceite de la empresa Austral Group.S.A.A

La muestra que se ha tomado corresponde al aceite de pescado procesado en la temporada del mes de julio de enero del 2018, en la cantidad de 1 galón para su estudio.

3.2.2 ACTIVIDADES DEL PROCESO INVESTIGATIVO

El procedimiento consiste en trabajos previos de laboratorio, donde se acondicionará las relaciones de mezclas entre el aceite y el petróleo industrial 500, además que se aplicaran pruebas físicas para determinar el grado de miscibilidad, compatibilidad y estabilidad.



Figura 3.1: Preparación de muestra de petróleo residual 500



Figura 3.2: Separación de muestra en vaso de precipitados.



Figura 3.3: Registro de muestras según porcentajes de mezclas.



Figura 3.4: Calentamiento de muestra de aceite de pescado.



Figura 3.5: Adición de muestra en pipeta de mezcla.



Figura 3.6: Medición de petróleo residual 500 en probeta.



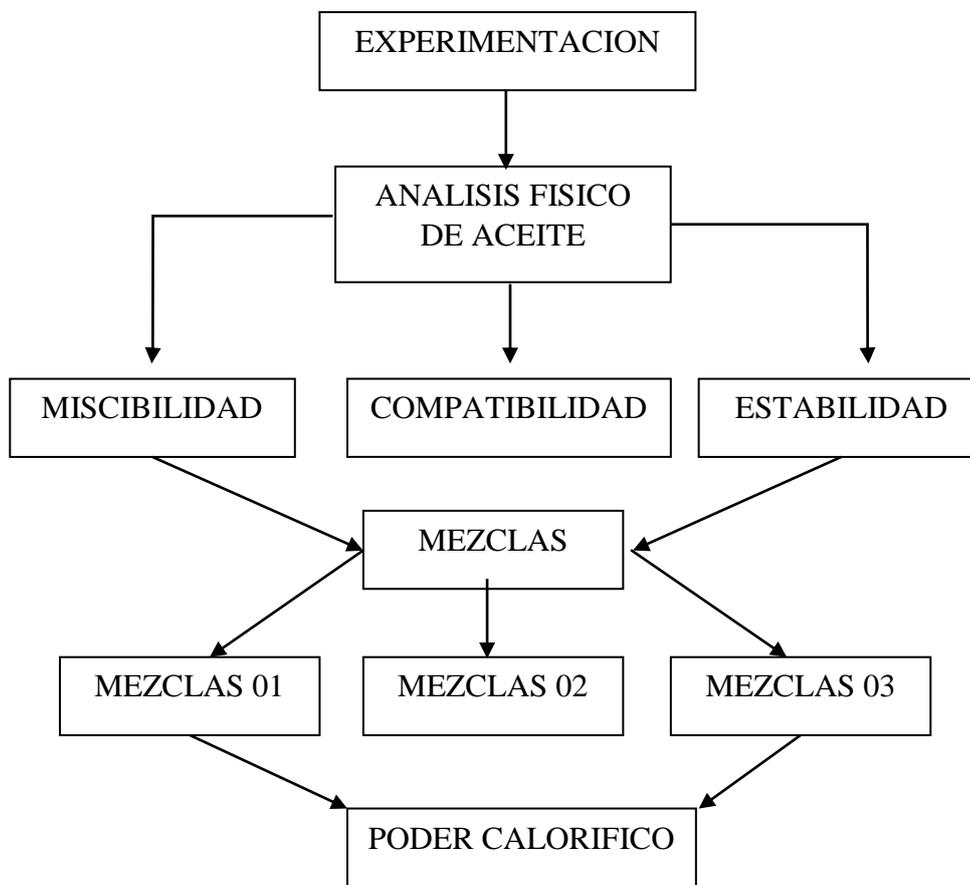
Figura 3.7: Medición de Ph de muestras de aceite.



Figura 3.8: Pre calentamiento para determinación de pH

Fuente. Elaboración propia

3.2.3 ENSAYOS PARA DETERMINAR EL PODER CALORÍFICO DE LAS MEZCLAS



Fuente. Elaboración propia

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 MÉTODO DE CÁLCULO DE PODER CALORÍFICO

4.1.1 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA BOMBA CALORIMÉTRICA

En la tabla 4.1 se describe las especificaciones técnicas del calorímetro utilizado en los ensayos realizados, se describe a continuación:

Tabla 4.1:

Especificaciones técnicas de fabricación de la bomba calorimétrica

N°	Marca	Modelo	Tensión de operación	Frecuencia de operación	Corriente eléctrica máxima	Presión máxima
01	PARR	1341 EE BOMB CALLORI PLAIN	230/50V	50/60 HZ	15 A	230 PSIG

Fuente. Elaboración propia

4.1.2 CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA DE ACEITE RESIDUAL DE PESCADO

Se consideró una muestra de 1 gramo, para ello se realiza el pesado mediante balanza analítica y se deposita en el crisol de la bomba calorimétrica. El aceite de pescado presenta las siguientes características físicas.

Tabla 4.2:

Características del aceite residual de pescado

N°	MASA DE ACEITE DE PESCADO (g)	CANTIDAD DE AGUA (L)	CANTIDAD DE ALAMBRE DE IGNICION (g)	PRESION DE OXIGENO (PSI)	CONSTANTE DE CAPACIDAD CALORIMETRICA (K) (Cal/°C)
01	1	1.470	1.00	15	1890

El valor de la constante K, también llamada capacidad calorífica de la bomba calorimétrica, se tomó de los resultados de haber combustionado ácido benzoico, una muestra muy común que se emplea para determinar.

4.1.3 BALANCE DE ENERGÍA EN EL CALORÍMETRO

Se considera el calor total que está formado por el calor que entrega la muestra de aceite combustionada más la combustión del alambre de ignición, produciéndose que el calor es absorbido por las partes del cuerpo interior de la

bomba calorimétrica conformada por paredes, varilla de agitación, la tapa y el agua que rodea al vaso, de esta forma se puede establecer que la temperatura que gana el agua es una medida proporcional del grado de combustión que da al interior del reactor.

$$Q_{TOTAL} = Q_{DESARROLLADO} + Q_{ABSORBIDO} = 0 \quad (1)$$

$$m_{aceite} * \Delta U_{aceite} + m_{alambre} * \Delta U_{alambre} = -(Q_{DESARROLLADO} + Q_{ABSORBIDO}) \quad (2)$$

4.1.4 CALORES ABSORBIDOS POR EL AGUA Y LA BOMBA CALORIMÉTRICA

$$Q_{ABS.AGUA} = m_{agua} * C_{agua} * \Delta T \quad (3)$$

$$Q_{ABS.BOMBA} = m_{BOMBA} * C_{BOMBA} * \Delta T \quad (4)$$

Donde:

ΔU_{aceite} : Calor de combustión 1 gramo de la muestra de aceite residual de pescado.

$\Delta U_{alambre}$: Calor de formación del alambre de ignición, que es dato de fabricante: 1400 Cal/g

m_{aceite} : Masa de la muestra de aceite residual de pescado

m_{agua} : Masa de agua que rodea al calorímetro en su interior.

m_{BOMBA} : Masa de la bomba calorimétrica, dato de fabricante.

C_{agua} : Calor específico del agua

C_{BOMBA} : Calor específico de la bomba

ΔT : Cambio de temperatura que se produce

Se considera que la masa del alambre que se oxida se determina a partir de la diferencia de longitud antes y después de la combustión. Los valores de la masa y calor específico de la bomba son constantes, para ello se opera con una cantidad de agua constante, fijándose el tamaño del alambre de ignición, generándose la siguiente ecuación.

$$Q_{\text{ABS.AGUA}} + Q_{\text{ABS.BOMBA}} = (m_{\text{agua}} * C_{\text{agua}} + m_{\text{BOMBA}} * C_{\text{BOMBA}}) \Delta T$$

Donde se observa que la suma de calores del agua y la bomba se presenta como una constante que denominaremos con K, entonces:

$$K = m_{\text{agua}} * C_{\text{agua}} + m_{\text{BOMBA}} * C_{\text{BOMBA}}$$

Reemplazando los valores indicados:

$$K = 1.710 \text{ Kg} * 4.18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}} + 1500 \text{ g} * 0.12 \frac{\text{Cal}}{\text{g}^{\circ}\text{C}}$$

$$K = 1.710 \text{ Kg} * 4.18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}} + 1500 \text{ g} * 0.12 \frac{\text{Cal}}{\text{g}^{\circ}\text{C}} * \frac{1 \text{ kcal}}{1000 \text{ Cal}} * \frac{4.18 \text{ kJ}}{1 \text{ kCal}}$$

$$K = 7.90002 \frac{\text{kJ}}{^{\circ}\text{C}} * \frac{\text{kCal}}{4.18 \text{ kJ}}$$

$$K = 1.89 \frac{\text{kCal}}{^{\circ}\text{C}}$$

$$K = 1890 \frac{\text{Cal}}{^{\circ}\text{C}}$$

Este valor que se obtiene se encuentra entre los valores promedios de constante de calorímetros.

Se establece el balance siguiente.

$$m_{\text{aceite}} * \Delta U_{\text{aceite}} + m_{\text{alambre}} * \Delta U_{\text{alambre}} = -K * \Delta T$$

$$1 \text{ g} * \Delta U_{\text{aceite}} + 1.05 \text{ g} * 1400 \frac{\text{Cal}}{\text{g}} = -1890 \frac{\text{Cal}}{^{\circ}\text{C}} * (4.85^{\circ}\text{C})$$

Finalmente se halla el poder calorífico

$$\Delta U_{\text{aceite}} = \frac{-K * \Delta T - (m_{\text{alambre}} * \Delta U_{\text{alambre}})}{m_{\text{aceite}}}$$

$$\Delta U_{\text{aceite}} = \frac{-1890 \frac{\text{Cal}}{^{\circ}\text{C}} * (4.85^{\circ}\text{C}) - (1.0 \text{ g} * 1400 \frac{\text{Cal}}{\text{g}})}{1 \text{ g}}$$

$$\Delta U_{\text{aceite}} = -10566.5 \frac{\text{Cal}}{\text{g}}$$

$$\Delta U_{\text{aceite}} = -10566.5 \frac{\text{kCal}}{\text{Kg}}$$

El valor del poder calorífico superior obtenido se consigue a través de un balance de energía en el cuerpo reactor, obteniéndose primero la constante del

calorímetro estando en un valor de 1890 cal/g, es un valor muy cercano a los que indican los fabricantes. A partir de este cálculo, se aplicará otra metodología basado en el perfil de temperatura desarrollado en el interior del calorímetro, considerando la lectura registrada de temperatura y el tiempo, para determinar el gradiente térmico real que absorberá el agua.

4.1.5 CÁLCULO DEL PODER CALORÍFICO SUPERIOR EN FUNCIÓN A LAS TEMPERATURAS

Se registraron las temperaturas de calentamiento del agua en el interior del calorímetro, para ello el tiempo de intervalo fue de 1 minuto y se considera además la evolución de la temperatura, en dos zonas de denominadas de transición, las cuales se muestran en la tabla 4.3.

Tabla 4.3:

Registro de temperaturas en función al tiempo de calentamiento de agua para aceite residual de pescado puro

EVOLUCION DE TEMPERATURA	Nº	TIEMPO (min)	TEMPERATURA REGISTRADA (°C)
	01	0	18.24
	02	1	18.24
	03	2	18.30
	04	3	18.42
	05	4	18.53
	06	5	18.66
Transición(a)	07	6	18.78
	08	6.25	19.20
	09	6.40	19.50
	10	6.55	19.65
Transición(b)	11	6.76	19.87
	12	7	21.50
	13	8	22.70
Transición (c)	14	9	22.9
	15	10	23
	16	11	23
	17	12	23

	18	13	23
	19	14	23
	20	15	23

Fuente. Elaboración propia

A partir de la tercera medición de eleva la temperatura

Cálculo de la temperatura en proceso de transición

$$T_{\text{Trans}} = T_i + (T_{\text{máx}} - T_i) * 0,6$$

$$T_{\text{Trans}} = 18.24^{\circ}\text{C} + (23^{\circ}\text{C} - 18.24^{\circ}\text{C}) * 0,6$$

$$T_{\text{Trans}} = 21.09^{\circ}\text{C}$$

Interpolando los valores se tiene:

TIEMPOS (min)	Temperatura (°C)
6.76	20.45
t	21.09
7	21.50

$$\frac{t - 6.76}{7 - 6.76} = \frac{21.09 - 20.45}{21.50 - 20.45}$$

$$t = 6.906 \text{ min}$$

Se calcula la temperatura real inicial corregida, aplicando proporcionalidad

$$\frac{T_i - T}{6'} = \frac{T_{\text{ic}} - T_i}{b - a}$$

$$T_{\text{ic}} = 18,24 + \frac{(18.24 - 18.78)(6.906 - 6')}{6'}$$

$$T_{\text{ic}} = 18,158^{\circ}\text{C}$$

Se calcula la temperatura máxima corregida (T_{max}) que se obtendrá de similar forma, empleando proporciones para el cual T_3 es la temperatura en el tiempo de 20 min y c es el instante a la T_{max} , entonces.

$$\frac{T_{\text{máx}} - T_3}{6'} = \frac{T_{\text{máxc}} - T_{\text{máx}}}{c - b}$$

Para el tiempo c , emplearemos el tiempo intermedio, en el cual la temperatura máxima leída vario. Entonces $c=9$ min, luego reemplazando se tiene.

$$T_{máxc} = 23^{\circ}\text{C} + \frac{(23^{\circ}\text{C} - 23)(9' - 6.76')}{6'}$$

$$T_{máxc} = 23^{\circ}\text{C}$$

Luego

$$\Delta T = T_{máxc} - T_{ic}$$

$$\Delta T = 23^{\circ}\text{C} - 18.158^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T = 23^{\circ}\text{C} - 18.15^{\circ}\text{C} = 4.85^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T = 4.85^{\circ}\text{C}$$

Al finalizar el proceso de combustión, la muestra de aceite se combustiono adecuadamente, el recipiente crisol está vacío, por lo tanto, se estimará el poder calorífico desprendido.

$$PCS = \frac{E * \Delta T - A}{m_c}$$

$$PCS = \frac{1890 \frac{\text{Cal}}{\text{g}} * 4.85^{\circ}\text{C} - 2,3 \frac{\text{Cal}}{\text{cm}} * 10\text{cm}}{1.0 \text{ g}}$$

$$PCS = 9189.5 \frac{\text{kcal}}{\text{Kg}}$$

Calculando el poder calorífico inferior

$$PCI = PCS - 597(9H + H_2O)$$

Dónde:

567: Calor de condensación del agua a 0°C (kCal/Kg agua)

H : Porcentaje de hidrogeno contenido en el combustible

H_2O : Porcentaje de humedad del combustible

$$PCI = 9189.5 - 597(9 * 0.16 + 0.01)$$

$$PCI = 8323.85 \text{ kCal/Kg}$$

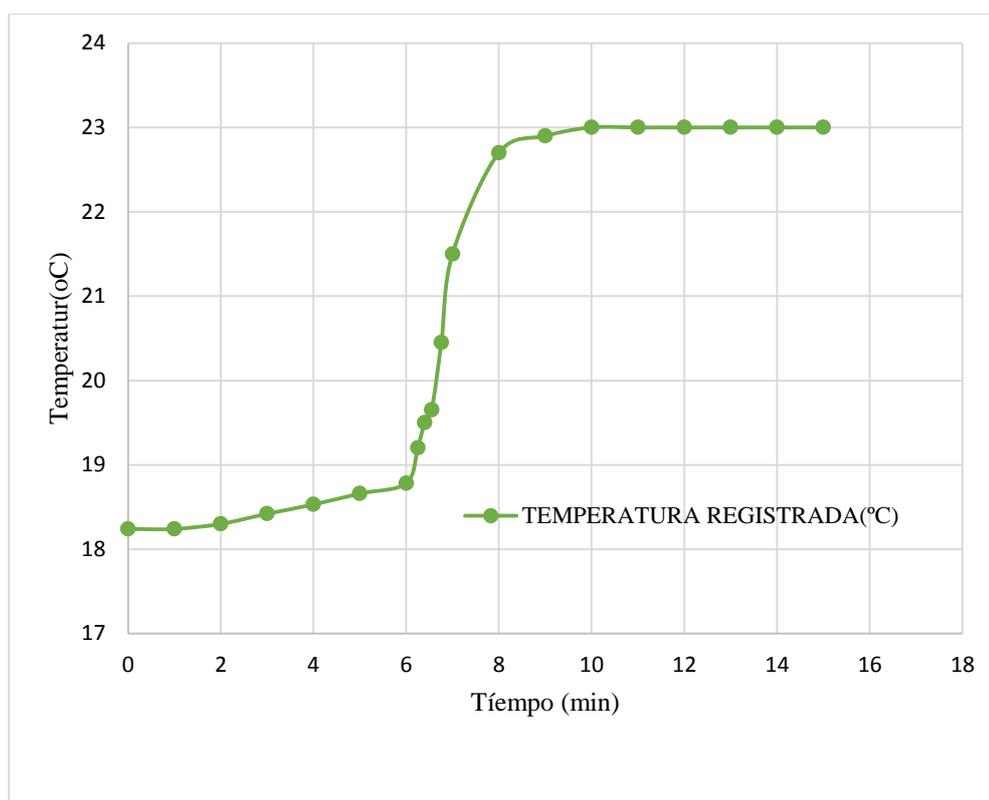


Figura 4.1: Temperatura de agua en el calorímetro para muestra de aceite residual de pescado-puro

Fuente. Elaboración propia

4.2 ENSAYOS

4.2.1 ENSAYO PARA LA MUESTRA AL 10% DE ACEITE Y 90% PETRÓLEO RESIDUAL 500

A continuación se presenta las características para la muestra para el 10% aceite de pescado más 90% de petróleo residual 500

Tabla 4.4:

Registro de datos de temperatura y tiempo para muestra de mezcla con 10%aceite y 90% petróleo residual 500

Nº	MASA DE ACEITE DE PESCADO (g)	CANTIDAD DE AGUA (L)	CANTIDAD DE ALAMBRE DE IGNICION (g)	PRESION DE OXIGENO (PSI)	CONSTANTE DE CAPACIDAD CALORIMETRICA (K) Cal/°C
01	1	1.470	1.00	15	1890

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.5:

Registro de datos de temperatura y tiempo para muestra de mezcla con 10 %aceite y 90% petróleo residual 500.

EVOLUCION DE TEMPERATURA	Nº	TIEMPO (min)	TEMPERATURA REGISTRADA (°C)
	01	0	18.49
	02	1	18.55
	03	2	18.80
	04	3	18.90
	05	4	19.10
	06	5	19.35
	07	6	19.60
Transición (a)	08	7	19.84
	09	7.21	20.15
	10	7.42	20.52
Transición (b)	11	7.85	21.26
	12	8	22.20
	13	9	22.60
	14	10	23.25
Transición (c)	15	11	23.60
	16	12	24.35
	17	13	24.35
	18	14	24.35
	19	15	24.35
	20	16	24.20

Fuente. Elaboración propia

Cálculo de la temperatura en proceso de transición

$$T_{\text{Trans}} = T_i + (T_{\text{máx}} - T_i) * 0,6$$

$$T_{\text{Trans}} = 18.49^{\circ}\text{C} + (24.35^{\circ}\text{C} - 18.49^{\circ}\text{C}) * 0,6$$

$$T_{\text{Trans}} = 22.006^{\circ}\text{C}$$

Interpolando los valores se tiene:

TIEMPOS (min)	Temperatura (°C)
7.85	21.26
t	22.006
8	22.20

$$\frac{t - 7.85}{8 - 7.85} = \frac{22.006 - 21.26}{21.20 - 21.26}$$

$$t = 5.985 \text{ min}$$

Se calcula la temperatura real inicial corregida, aplicando proporcionalidad:

$$\frac{T_i - T}{7'} = \frac{T_{ic} - T_i}{b - a}$$

$$T_{ic} = 18.49 + \frac{(18.49 - 19.84)(7 - 5.985')}{7'}$$

$$T_{ic} = 18,29^\circ\text{C}$$

Se calcula la temperatura máxima corregida (T_{max}) que se obtendrá de similar forma, empleando proporciones para el cual T_3 es la temperatura en el tiempo de 20 min y c es el instante a la T_{max} , entonces.

$$\frac{T_{máx} - T_3}{7'} = \frac{T_{máxc} - T_{máx}}{c - b}$$

Para el tiempo c, emplearemos el tiempo intermedio, en el cual la temperatura máxima leída vario. Entonces c=11 min, luego reemplazando se tiene.

$$T_{máxc} = 24.35^\circ\text{C} + \frac{(24.35^\circ\text{C} - 24.20)(11 - 5.985)}{7'}$$

$$T_{máxc} = 24.45^\circ\text{C}$$

Luego

$$\Delta T = T_{máxc} - T_{ic}$$

$$\Delta T = 24.45^\circ\text{C} - 18.29^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = 24.45^\circ\text{C} - 18.29^\circ\text{C} = 6.16^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = 6.16^\circ\text{C}$$

Al finalizar el proceso de combustión, la muestra de aceite se combustiona adecuadamente, el recipiente crisol está vacío, por lo tanto, se estimará el poder calorífico desprendido.

$$PCS = \frac{-E * \Delta T - A}{m_c}$$

$$PCS = \frac{-1890 \frac{\text{Cal}}{\text{g}} * 6.16^\circ\text{C} - 2,3 \frac{\text{Cal}}{\text{cm}} * 10\text{cm}}{1.0 \text{ g}}$$

$$PCS = -11872.4 \frac{\text{cal}}{\text{g}}$$

Calculando el poder calorífico superior empleando la ecuación del balance de energía

$$\Delta U_{aceite} = \frac{-K * \Delta T - (m_{alambre} * \Delta U_{alambre})}{m_{aceite}}$$

$$\Delta U_{aceite} = \frac{-1890 \frac{\text{Cal}}{\text{g}} * (6.16^\circ\text{C}) - (1.0 \text{ g} * 1400 \frac{\text{Cal}}{\text{g}})}{1 \text{ g}}$$

$$\Delta U_{aceite} = -13042.4 \frac{\text{Cal}}{\text{g}}$$

$$\Delta U_{aceite} = -13042.4 \frac{\text{kCal}}{\text{Kg}}$$

Calculando el poder calorífico inferior

$$PCI = PCS - 597(9H + H_2O)$$

Donde:

567: Calor de condensación del agua a 0°C (kCal/Kg agua)

H: Porcentaje de hidrogeno contenido en el combustible

H₂O: Porcentaje de humedad del combustible

$$PCI = 11872.4 - 597(9 * 0.16 + 0.01)$$

$$PCI = 11006.75 \text{ kCal/Kg}$$

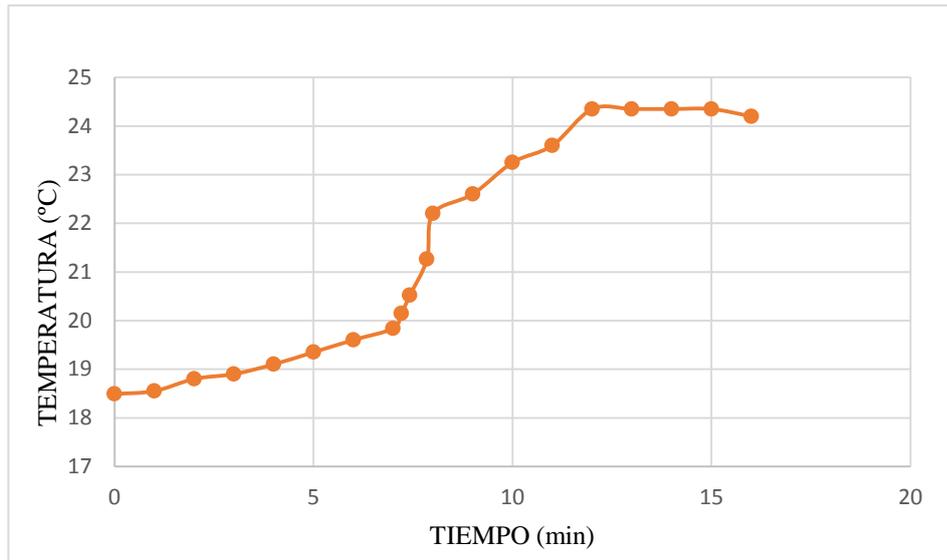


Figura 4.2: Temperatura del agua en el calorímetro para mezcla de 10%aceite de pescado y 90% petróleo residual 500

Fuente. Elaboración propia

4.2.2 ENSAYO PARA LA MUESTRA AL 30% ACEITE Y 70% PETRÓLEO RESIDUAL 500

Tabla 4.6:

Registro de datos de temperatura y tiempo para muestra de mezcla con 30%aceite y 70% petróleo residual 500

EVOLUCION DE TEMPERATURA	Nº	TIEMPO (min)	TEMPERATURA REGISTRADA(°C)
	01	0	18.20
	02	1	18.32
Transición(a)	03	2	18.46
	04	3	19.0
Transición(b)	05	4	20.8
	06	5.25	23.45
	07	5.63	23.95
	08	5.9	24.85
	09	6	25.9
Transición (c)	10	7	26.65
	11	8	26.79
	12	9	26.84
	13	10	26.96

	14	11	26.98
	15	12	26.98
	16	13	26.98
	17	14	26.98
	18	15	26.98
	19	16	26.98
	20	17	26.98

Fuente. Elaboración propia

Cálculo de la temperatura en proceso de transición

$$T_{\text{Trans}} = T_i + (T_{\text{máx}} - T_i) * 0,6$$

$$T_{\text{Trans}} = 18.20^{\circ}\text{C} + (26.98^{\circ}\text{C} - 18.20^{\circ}\text{C}) * 0,6$$

$$T_{\text{Trans}} = 23.468^{\circ}\text{C}$$

Interpolando los valores se tiene:

TIEMPOS (min)	TEMPERATURA (°C)
5.25	23.45
t	23.468
5.63	23.95

$$\frac{t - 5.25}{5.63 - 5.25} = \frac{23.468 - 23.45}{23.95 - 23.45}$$

$$t = 5.263 \text{ min}$$

Se calcula la temperatura real inicial corregida, aplicando proporcionalidad:

$$\frac{T_i - T}{5'} = \frac{T_{\text{ic}} - T_i}{b - a}$$

$$T_{\text{ic}} = 18.20^{\circ}\text{C} + \frac{(18.20^{\circ}\text{C} - 20.8^{\circ}\text{C})(4' - 2')}{5'}$$

$$T_{\text{ic}} = 17.16^{\circ}\text{C}$$

Se calcula la temperatura máxima corregida (T_{max}) que se obtendrá de similar forma, empleando proporciones para el cual T_3 es la temperatura en el tiempo de 11 min y c es el instante a la T_{max} , entonces.

$$\frac{T_{\text{máx}} - T_3}{5'} = \frac{T_{\text{máxc}} - T_{\text{máx}}}{c - b}$$

Para el tiempo c, emplearemos el tiempo intermedio, en el cual la temperatura máxima leída vario. Entonces c=13', luego reemplazando se tiene.

$$T_{\text{máxc}} = 26.98^{\circ}\text{C} + \frac{(26.65\text{C} - 26.98)(13' - 5.263')}{5'}$$

$$T_{\text{máxc}} = 26.46^{\circ}\text{C}$$

Luego

$$\Delta T = T_{\text{máxc}} - T_{\text{ic}}$$

$$\Delta T = 26.46^{\circ}\text{C} - 17.16^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T = 24.45^{\circ}\text{C} - 17.16^{\circ}\text{C} = 9.3^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T = 9.3^{\circ}\text{C}$$

Al finalizar el proceso de combustión, la muestra de aceite se combustiono adecuadamente, el recipiente crisol está vacío, por lo tanto, se estimará el poder calorífico desprendido.

$$\text{PCS} = \frac{-E * \Delta T - A}{m_c}$$

$$\text{PCS} = \frac{-1890 \frac{\text{Cal}}{\text{g}} * 9.3^{\circ}\text{C} - 2,3 \frac{\text{Cal}}{\text{cm}} * 10\text{cm}}{1.0 \text{ g}}$$

$$\text{PCS} = -17,600 \frac{\text{kcal}}{\text{Kg}}$$

Calculando el poder calorífico superior empleando la ecuación del balance de energía

$$\Delta U_{\text{aceite}} = \frac{-K \cdot \Delta T - (m_{\text{alambre}} * \Delta U_{\text{alambre}})}{m_{\text{aceite}}}$$

$$\Delta U_{\text{aceite}} = \frac{-1890 \frac{\text{Cal}}{\text{g}} \cdot (9.3^{\circ}\text{C}) - (1.0 \text{ g} * 1400 \frac{\text{Cal}}{\text{g}})}{1 \text{ g}}$$

$$\Delta U_{\text{aceite}} = -18977 \frac{\text{Cal}}{\text{g}}$$

$$\Delta U_{\text{aceite}} = -18,977 \frac{\text{kCal}}{\text{Kg}}$$

Calculando el poder calorífico inferior:

$$PCI = PCS - 597(9H + H_2O)$$

Donde:

567: Calor de condensación del agua a 0°C (kCal/Kg agua)

H: Porcentaje de hidrogeno contenido en el combustible

H₂O: Porcentaje de humedad del combustible

$$PCI = 17600 - 597(9 * 0.16 + 0.01)$$

$$PCI = 16739.723 \text{ kCal/Kg}$$

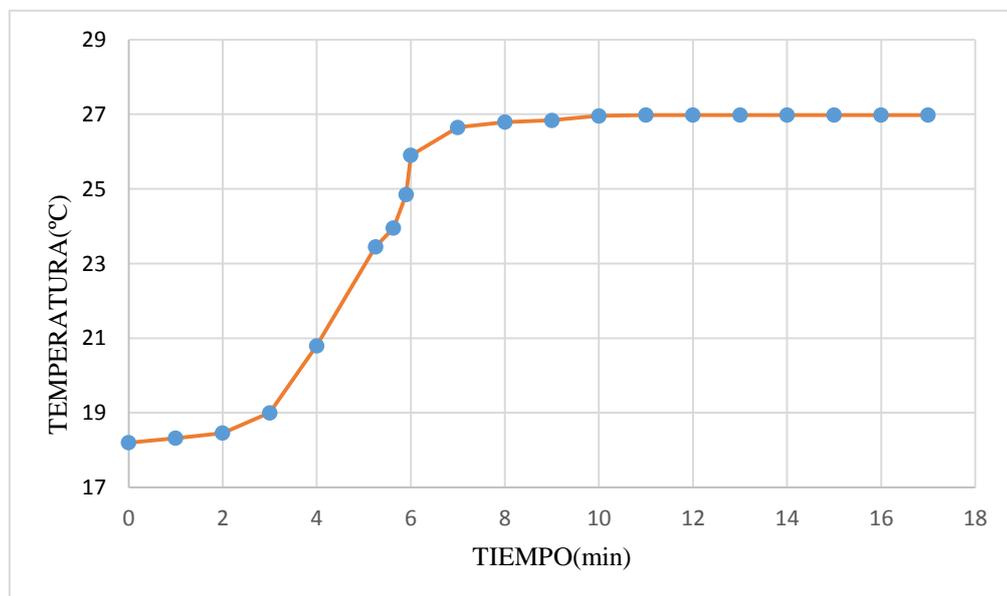


Figura 4.3: Temperatura del agua en el calorímetro para mezcla de 30% aceite de pescado y 70% petróleo residual 500

Fuente. Elaboración propia

4.2.3 ENSAYO PARA LA MUESTRA AL 50% ACEITE Y 50% PETRÓLEO RESIDUAL 500

Tabla 4.7:

Registro de datos de temperatura y tiempo para muestra de mezcla con 50%aceite y 50% petróleo residual 500

EVOLUCION DE TEMPERATURA	Nº	TIEMPO (min)	TEMPERATURA REGISTRADA(°C)
	01	0	18.22
	02	1	18.23
	03	2	18.31
	04	3	18.45
	05	4	19.23
	06	5	19.45
Transición (a)	07	6	20.16
	08	6.25	20.54
Transición (b)	09	6.50	21.70
	10	7	21.85
	11	8	21.95
	12	9	22.25
	13	10	22.56
	14	11	22.85
Transición (c)	15	12	23.40
	16	13	23.65
	17	14	23.75
	18	15	23.75
	19	16	23.75
	20	17	23.75

Fuente. Elaboración propia

Cálculo de la temperatura en proceso de transición:

$$T_{\text{Trans}} = T_i + (T_{\text{máx}} - T_i) * 0,6$$

$$T_{\text{Trans}} = 18.22^{\circ}\text{C} + (23.75^{\circ}\text{C} - 18.22^{\circ}\text{C}) * 0,6$$

$$T_{\text{Trans}} = 21.538^{\circ}\text{C}$$

Interpolando los valores se tiene:

TIEMPOS (min)	TEMPERATURA (°C)
6.25	20.16
t	21.538
6.50	21.70

$$\frac{t - 6.25}{6.50 - 6.25} = \frac{21.538 - 20.16}{21.70 - 20.16}$$

$$t = 6.47 \text{ min}$$

Se calcula la temperatura real inicial corregida, aplicando proporcionalidad:

$$\frac{T_i - T}{6'} = \frac{T_{ic} - T_i}{b - a}$$

$$T_{ic} = 18.22^\circ\text{C} + \frac{(18.22^\circ\text{C} - 21.70^\circ\text{C})(6.47' - 6')}{6'}$$

$$T_{ic} = 17.94^\circ\text{C}$$

Se calcula la temperatura máxima corregida (T_{maxc}) que se obtendrá de similar forma, empleando proporciones para el cual T_3 es la temperatura en el tiempo de 12 min y c es el instante a la T_{max} , entonces.

$$\frac{T_{m\acute{a}x} - T_3}{6'} = \frac{T_{m\acute{a}xc} - T_{m\acute{a}x}}{c - b}$$

Para el tiempo c, emplearemos el tiempo intermedio, en el cual la temperatura máxima leída vario. Entonces $c=12'$, luego reemplazando se tiene.

$$T_{m\acute{a}xc} = 23.75^\circ\text{C} + \frac{(26.65^\circ\text{C} - 26.65)(12' - 6.47'')}{6'}$$

$$T_{m\acute{a}xc} = 23.75^\circ\text{C}$$

Luego

$$\Delta T = T_{m\acute{a}xc} - T_{ic}$$

$$\Delta T = 23.75^\circ\text{C} - 17.94^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = 24.45^\circ\text{C} - 17.16^\circ\text{C} = 5.81^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = 5.81^\circ\text{C}$$

Al finalizar el proceso de combustión, la muestra de aceite se combustiona adecuadamente, el recipiente crisol está vacío, por lo tanto, se estimará el poder calorífico desprendido.

$$PCS = \frac{-E * \Delta T - A}{m_c}$$

$$PCS = \frac{-1890 \frac{\text{Cal}}{\text{g}} * 5.81 \text{ } ^\circ\text{C} - 2,3 \frac{\text{Cal}}{\text{cm}} * 10\text{cm}}{1.0 \text{ g}}$$

$$PCS = -11,003 \frac{\text{kcal}}{\text{Kg}}$$

Calculando el poder calorífico superior empleando la ecuación del balance de energía:

$$\Delta U_{\text{aceite}} = \frac{-K. \Delta T - (m_{\text{alambre}} * \Delta U_{\text{alambre}})}{m_{\text{aceite}}}$$

$$\Delta U_{\text{aceite}} = \frac{-1890 \frac{\text{Cal}}{\text{g}} * (5.81^\circ\text{C}) - (1.0 \text{ g} * 1400 \frac{\text{Cal}}{\text{g}})}{1 \text{ g}}$$

$$\Delta U_{\text{aceite}} = -12380.9 \frac{\text{Cal}}{\text{g}}$$

$$\Delta U_{\text{aceite}} = -12,380 \frac{\text{kCal}}{\text{Kg}}$$

Calculando el poder calorífico inferior:

$$PCI = PCS - 597(9H + H_2O)$$

Donde:

567: Calor de condensación del agua a 0°C (kCal/Kg agua)

H: Porcentaje de hidrogeno contenido en el combustible

H₂O: Porcentaje de humedad del combustible

$$PCI = 11003 - 597(9 * 0.16 + 0.01)$$

$$PCI = 10077.65\text{kCal/Kg}$$

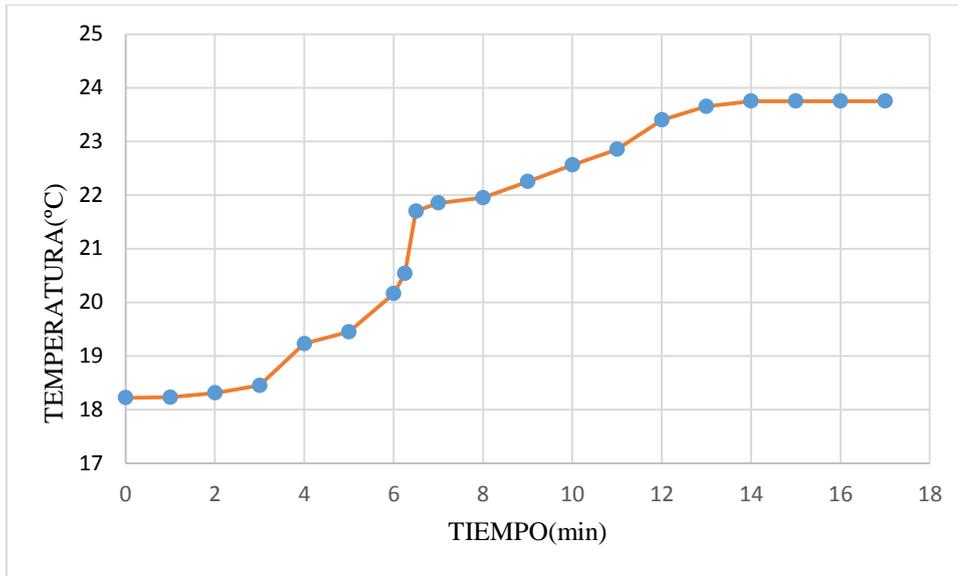


Figura 4.4: Temperatura del agua en el calorímetro para mezcla de 50% aceite de pescado y 50% petróleo residual 500

Fuente. Elaboración propia

4.2.4 CUADRO RESUMEN DE CÁLCULOS DE PODER CALORÍFICOS

Tabla 4.8:

Cuadro resumen de Poder calorífico de mezclas

Poder Calorífico	Aceite residual puro (kcal/kg)	Petróleo residual 500 puro (kcal/kg)	10% Aceite residual y 90% petróleo industrial 500 (kcal/kg)	30% Aceite residual y 70% petróleo industrial 500 (kcal/kg)	50% Aceite residual y 50% petróleo industrial 500 (kcal/kg)
PCS	9189.5	10352	11872	17600	11003
PCI	8323.85	9789.2	11006.75	16739.723	10077.65

Fuente: Elaboración propia

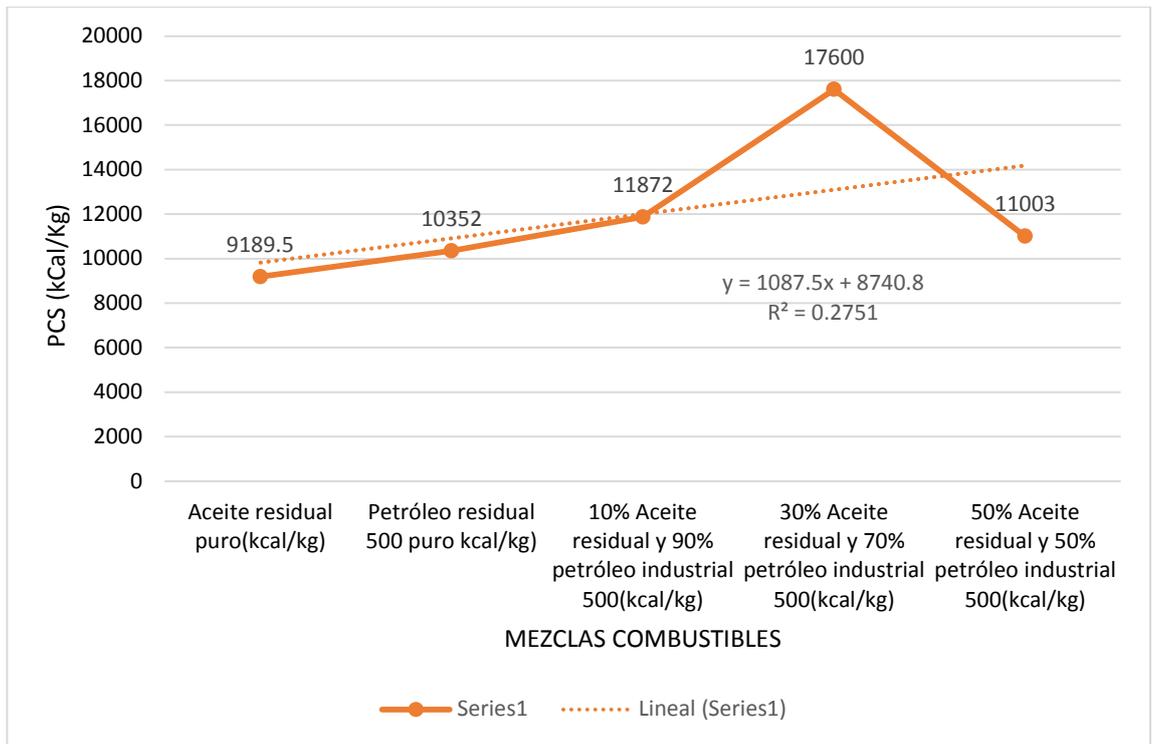


Figura 4.5: Poder calorífico superior vs muestras de combustible aceite y petróleo residual 500.

Fuente. Elaboración propia

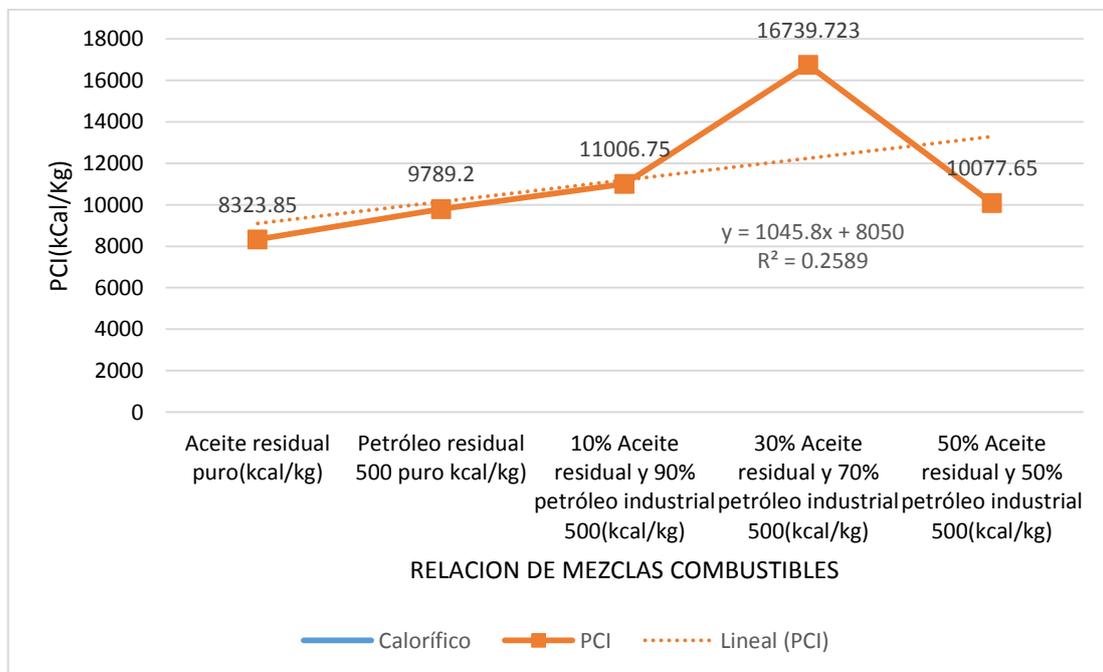


Figura 4.6: Poder calorífico inferior en función al porcentaje de mezcla combustible

Fuente. Elaboración propia

4.2.5 GRÁFICAS DE TEMPERATURAS SEGÚN MEZCLAS

Tabla 4.9:

Resumen entre el tiempo de transición y la temperatura alcanzada por el agua al interior del calorímetro, en función a las mezclas.

Poder Calorífico	Aceite residual puro (kcal/kg)	Petróleo residual 500 puro (kcal/kg)	10% Aceite residual y 90% petróleo industrial 500 (kcal/kg)	30% Aceite residual y 70% petróleo industrial 500 (kcal/kg)	50% Aceite residual y 50% petróleo industrial 500 (kcal/kg)
TIEMPO DE TRANSICION(min)	6	4	7	4	6
TEMPERATURADEL AGUA(°C)	23	27.02	24.35	26.98	23.75

Fuente. Elaboración propia

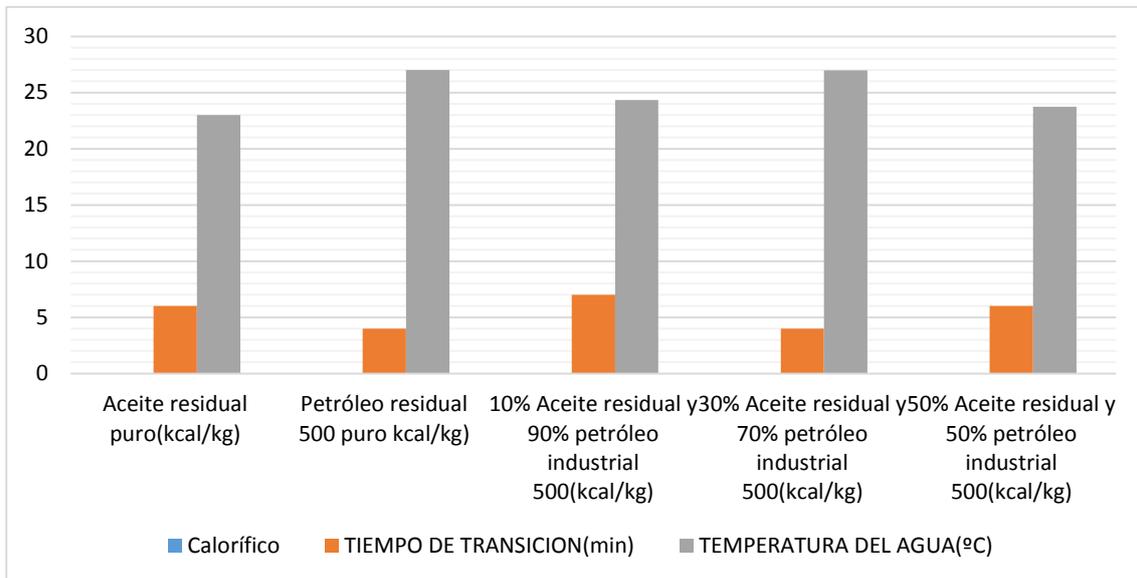


Figura 4.7: Tiempo de transición y temperatura del agua al interior del calorímetro en función a las mezclas.

Fuente. Elaboración propia

5.0 DISCUSIONES

- Al comparar los resultados obtenidos por Quesada Rivera J. (2007), encontró que los aceites manifestaron un poder calorífico elevado e incluso superior a los biodiesel que se producen a partir de otras fuentes de aceite, caso como el aceite de soya en comparación con el biodiesel de palma, en contraste con el aceite de pescado, se encontró un valor energético considerable quemado en su estado puro. Asimismo el autor señala que el aceite de pescado alcanza un poder calorífico de 9460 kCal/Kg, comparado con el valor obtenido de 9189.5 kCal/Kg, un valor muy similar.
- Así mismo al comparar los resultados obtenidos por Gobernado Arribas (2010), demostró que los rendimientos más elevados en el poder calorífico de la mezcla se aceite de colza con un hidrocarburo se dio al 25% de colza, en estas condiciones se puede atribuir un grado de similitud con los resultados obtenidos en la presente investigación, debido a que la relación de mezcla del 30% de aceite residual de pescado resultaría la mezcla con mayor poder calorífico, en las condiciones representadas.
- Al incrementar el porcentaje de aceite de pescado en la mezcla con el petróleo residual 500, se observa que este mejora su poder calorífico superior, sin embargo continuar con el incremento del aceite , disminuye el poder calorífico, es posible que esto se debe a la humedad que alcanza la mezcla en general, se sabe que el aceite de pescado proviene de una fuente orgánica , en la cual se percibe que ya contiene mayor humedad que el hidrocarburo, en tanto , el incremento de aceite en la mezcla , originara que disminuya el rendimiento de la combustión , y por ende , baje su poder calorífico.
- Referido a la constante calorimétrica obtenida, este se usa de forma referencial debido a que el calorímetro debe de presentar un certificado de calibración, también se puede inferir que esta situación influye en los resultados analizados y por ende en el resultado de la constante de calorimetría del equipo.
- El índice de acidez del aceite afecta al poder calorífico, sin embargo, para las muestras analizadas no se tuvieron inconvenientes mayores debido a que estos parámetros estuvieron dentro de los rangos normales, además el aceite de pescado en su estado puro contiene restos materiales de pescado que debe ser

removidos estrictamente, además que su viscosidad es superior al de los aceites vegetales, sin embargo, al calentarse hasta 50°C presentaba estabilidad.

- En las lecturas de temperatura en el termómetro se registró que en la relación de 50% de aceite de pescado y 50% de petróleo residual se alcanza una temperatura de 23.75°C ligeramente superior a la temperatura del aceite puro que fue de 23°C , sin embargo esto indica que las relaciones de mezcla por encima de la relación del 50% ya es desventajosa , referido a que la mezcla ya no combustionaría en su totalidad, sin embargo en la relación de 10% de aceite hasta 30% presenta valores de temperatura desde 24.20°C hasta 26.98°C,deduciéndose que entre estas relaciones de mezclas se obtiene el máximo rendimiento energético de las mezclas.
- Respecto a los tiempos de transición en la mezcla de 10% de aceite residual de pescado y 90% de petróleo residual 500, el tiempo de transición inicia a los 7 minutos después de dado la combustión, mientras que en la relación de mezcla de 30% de aceite residual de pescado y 70% de petróleo residual 500, el tiempo se acorta e inicia desde el quinto minuto, en consecuencia, se puede inferir que en esta última relación de mezcla se produce una combustión más eficiente que en la anterior.

6.0 CONCLUSIONES

Se encontró que el aceite y el petróleo residual 500 son miscibles a temperatura de ambiente, y compatibles produciendo estabilidad a diversas proporciones de mezclas, comprobándose lo que cita que los aceites son altamente miscibles y compatibles con solventes inorgánicos como los son los hidrocarburos de cadena larga, sin embargo, el aceite presenta carácter oxidativo, por lo que no debe permanecer mucho tiempo en condición de mezcla con un hidrocarburo.

El tiempo de transición inicial para el aceite de pescado puro se da a los 6 min de darse la combustión ,registrando una temperatura de 23°C en el agua que rodea al vaso reactor del calorímetro, así mismo para la mezcla de 10% de aceite y 90% de petróleo residual 500 se observa que el tiempo de transición se inicia a los 7 minutos de iniciad la combustión y alcanza una temperatura en el agua de 24.35°C, y para la relación de mezcla de 30% de aceite de pescado y 70% de petróleo residual 500 y 50% de aceite de pescado y 50% de petróleo residual 500 , el tiempo de transición inicia en 6 min y 26.98°C y 6 minutos registrando 23.75°C respetivamente.

El poder calorífico superior del aceite de pescado puro equivale a 9189.5 kCal/Kg y su poder calorífico inferior corresponde a 8323.85 kCal/Kg , para la mezcla al 10% de aceite de pescado con petróleo residual 500 se obtiene un poder calorífico superior de 11872 kCal/Kg y un poder calorífico inferior de 11006.75 kCal/Kg, para la relación de mezcla del 30% de aceite residual y 70% de petróleo residual 500 se obtiene 17600 kCal/Kg y 16739.723 kCal/Kg y para la mezcla de 50% de sus proporciones se obtiene 110003 kCal/Kg y 10077.65 kCal/Kg respectivamente , deduciéndose que la relación de mezcla más favorable resulta la proporción de 30% de aceite de pescado y 70% de petróleo industria 500.

7.0 RECOMENDACIONES

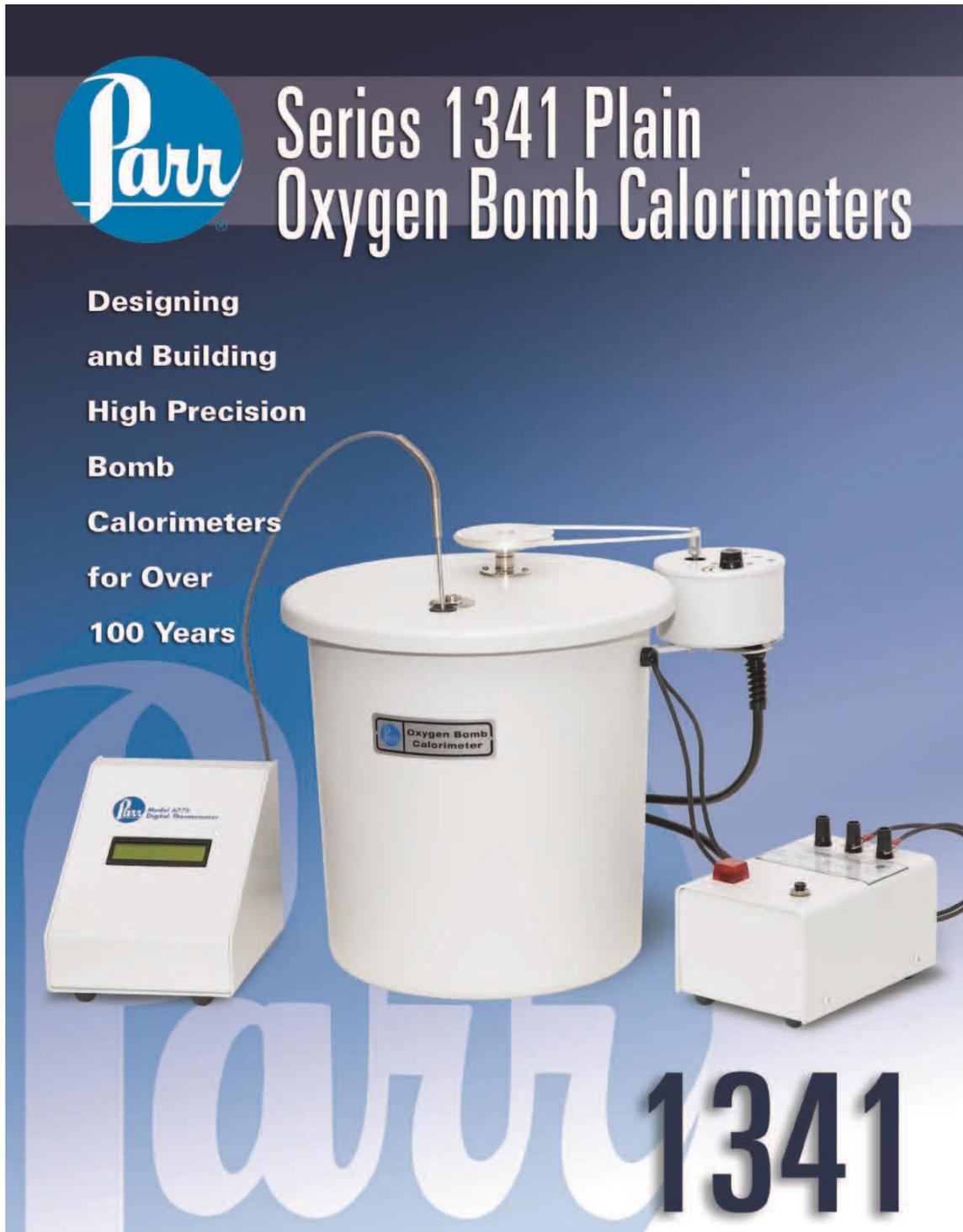
- El aceite que se use debe de ser centrifugado y deshumidificado para alcanzar mayor poder calorífico en las próximas experiencias.
- Se recomienda llevar un proceso de centrifugación y deshumidificación del aceite a fin de la humedad presente no afecte al poder calorífico.
- Además se deberá considerar otras presiones de oxígeno que alimenta al calorímetro, se sugiere utilizar presiones entre 10 psi y 20 psi.
- Es necesario realizar la calibración del calorímetro anualmente y comprobar su constante calorimétrica en base a la reacción de ácido benzoico ya que es un compuesto normalizado que se usa en general para determinar el valor de esta constante.
- Mantener en revisión constante la presión y la temperatura cuando se está operando el quemador a fin de mantener los parámetros dentro de los alcances esperados.

8.0 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adrover, J. J. H., & M. L. (1998). *Tecnologías de la combustión*. Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha.
- Bailey, A. E. (1961). *Aceites y grasas industriales*. Reverté.
- Bulla-Pereira, E. A., Guerrero-Fajardo, C. A., & Sierra-Vargas, F. E. (2015). Producción de biodiésel por etanolisis utilizando aceites de fritura de hoteles y su uso en calderas piro-tubulares. *Iteckne*, 12(1), 44-53.
- Quispe Ascencio, V. I., & Adaniya Higa, B. J. (1984). Evaluación de los aceites vegetales y de pescado como diesel 2.
- Cengel, Y. A. (2007). *Transferencia de calor y masa*. Editorial: Editorial McGraw–Hill.
- Constante, E. G. (2006). *Los aceites y grasas: composición y propiedades*. Asociación Matemática Venezolana (AMV).
- Naranjo, C. S. (2007). *Teoría de la Combustión*. Editorial UNED.
- Martínez, M. M. (2005). *Combustión y quemadores* (No. 1). Marcombo.
- Patricio Pizarro, J., & Flores Celis, J. F. (1997). *Industrialización de los Residuos Grasos de las Refinerías de Aceites*.
- Espinoza, D. H., San Martín, C. O., & Sáez, G. V. (2008). Gestión integral de residuos líquidos: estudio de caso de una planta refinadora de aceite de pescado. *Teoría*, 17(1), 41-50.

ANEXOS

**ANEXO 01: ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LA BOMBA
CALORIMÉTRICA**



Parr Series 1341 Plain
Oxygen Bomb Calorimeters

**Designing
and Building
High Precision
Bomb
Calorimeters
for Over
100 Years**

Oxygen Bomb
Calorimeter

Parr Model 6776
Digital Thermometer

1341

The image features a central white cylindrical calorimeter with a lid and a small cylindrical component on top. To its left is a white digital thermometer with a small screen. To its right is a white control box with several knobs and a red button. The background is a gradient of blue and white, with a large, faint 'Parr' logo at the bottom. The text 'Series 1341 Plain Oxygen Bomb Calorimeters' is prominently displayed at the top right. On the left side, there is a vertical list of descriptive text. A small label on the calorimeter reads 'Oxygen Bomb Calorimeter'. Another label on the thermometer reads 'Parr Model 6776 Digital Thermometer'. The number '1341' is written in large, bold, dark blue font at the bottom right.

Series 1341 Plain Oxygen Bomb Calorimeters



1341 Calorimeter with 6775 Digital Thermometer & 2901 Ignition Unit

Bomb Calorimetry

A fundamental test of great significance to anyone concerned with the production or utilization of solid or liquid fuels.

One of the most important tests in the evaluation of materials which are burned as fuels is the determination of the heat of combustion, or calorific value. These measurements can be made quickly and accurately in Parr oxygen bomb calorimeters, utilizing either the latest in automatic calorimetric equipment or in simple calorimeters in which all elements have been reduced to their fundamental forms. Uses for these calorimeters extend into any chemical, physical, or physiological process in which heat generation or burning is an important factor. Principal applications include calorific measurements for:

- Coal and coke, all varieties and types
- Fuel oil, both heavy and light varieties
- Gasoline, all motor fuel and aviation types

- Jet fuels, all varieties
- Combustible wastes and refuse disposal
- Foodstuffs and supplements for human nutrition
- Forage crops and supplements for animal nutrition
- Building materials
- Explosives and heat powders
- Rocket fuels and related propellants
- Thermodynamic studies of combustible materials
- Energy balance studies in ecology

Ideal for Laboratory Instruction

The 1341 is ideal for teaching the fundamentals of calorimetry.

Using the Parr 6775 Digital Thermometer included with the 1341, temperature points are manually recorded and plotted. Students perform the calculations to determine the energy released from the sample.

With the addition of the optional Parr 6772 Calorimetric Thermometer students or faculty can automate the

temperature acquisition and calculations in cases where manual calculations are not desirable.

For occasional calorific tests

The 1341 Calorimeter is an improved version of a plain, static jacket calorimeter that has been made by Parr for nearly 100 years. It is a reliable calorimeter that can be used for a full range of solid and liquid samples, but it is recommended primarily for users who make only an occasional calorific test, or whose work load does not justify the purchase of an automatic model. Its modest cost and simple design make it well suited for intermittent use. The calorimeter requires no permanent connections. It can be set-up and ready to operate in a few minutes, and, when not in use, it is easily disassembled and stored on a shelf.

Many Applications

The 1341 Calorimeter can be used to determine the calorific value of coal, oil, foodstuffs and any other materials which can be burned safely

in an oxygen bomb. Calorific tests for coal and solid fuels are made in accordance with ASTM Standard Test Method D5865, "Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke." The 1341 Calorimeter is also an excellent instrument for teaching calorimetry and heat measurement techniques in a student laboratory since it provides all of the instrumentation needed for such tests, but with each element in the system reduced to fundamental forms.

Although commonly called a "plain" calorimeter because of its simple design, technically this is a static jacket instrument which operates at or near room temperature with no provision for temperature adjustment or control. Compensation for any heat loss (or gain) during a test is made by applying a correction computed from heat leak measurements taken immediately before and after each test. Because of the additional time required for these measurements, the speed with which a test can be performed in this calorimeter is slower than in a microprocessor controlled, automatic model. Ten or twelve tests can be completed in an eight hour day, whereas approximately five times this number can be run in the same period using a Parr Automatic Calorimeter.

Good Repeatability

Good repeatability can be obtained with the 1341 Calorimeter provided that the temperature rise and the heat leak correction are measured and applied carefully. When operated with the standard 6775 Digital Thermometer supplied with the instrument, standard

deviations in a series of tests with a uniform sample, such as benzoic acid, should not exceed 0.3%. This repeatability can be improved by using a Parr 6772 Calorimetric Thermometer. Users requiring better precision should consider one of the other Parr calorimeters. Values obtained when testing a non-homogeneous material, such as coal, may show a wider spread than when testing a uniform material.

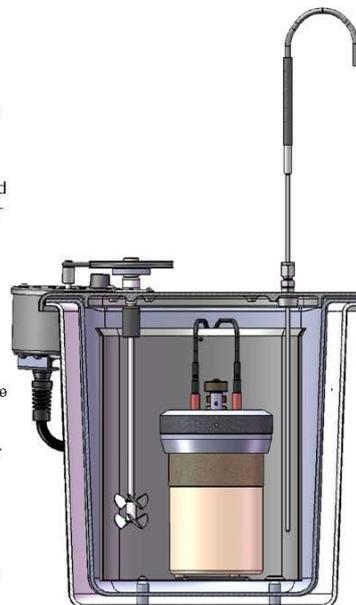
An Effective Thermal Jacket

The 1341 Calorimeter has a high strength, molded fiberglass jacket formed with double walls and a double cover to provide an oval chamber for the calorimeter bucket which is completely surrounded by sealed, dead air space. This simple yet effective insulating system allows very little heat transfer between the calorimeter and its surroundings. A stirring shaft and thermister are attached to the cover and are removed with the cover when the calorimeter is opened. Stirring is provided by a small motor attached to the jacket but sufficiently removed so that it does not add heat to the system. A pair of wires with banana plugs carry the firing circuit to terminals on the bomb head. Outside dimensions of the cylindrical jacket are 10-7/8" dia. X 10-3/4" high.

Calorimetric Thermometers

Each 1341 Calorimeter is equipped with a Parr 6775 Digital Thermometer. Parr test certificates are furnished for each thermometer.

For easier measurements and automatic calculation of results, Parr offers the 6772 Calorimetric Thermometer.



1341 Calorimeter Cross Section

Ignition Unit

The only additional accessory needed for the 1341 Calorimeter is a Parr 2901 Ignition Unit which supplies the proper electric current for firing the oxygen bomb. This unit must be listed specifically when ordering a 1341 Calorimeter since it is priced separately and is not included as part of the calorimeter. The 2901 unit operates from a 115 volt line and has a push switch, indicator light and output terminals on its top panel. Ignition units for 230 volt operation are available also.

1341 Ordering Guide

1341 Plain Calorimeter

Model No.	Voltage	Description
1341EB	115V 50/60 Hz	Bomb Calorimeter with 1108 Oxygen Bomb
1341EE	230V 50/60 Hz	Bomb Calorimeter with 1108 Oxygen Bomb
2901EB	115V 50/60 Hz	Ignition Unit
2901EE	230V 50/60 Hz	Ignition Unit
1349B	NA	Spare Parts Kit for 1341 Calorimeter

The Parr Warranty

Parr Instrument Company (Parr) combustion bombs, calorimeters, and associated products are designed and manufactured only for use by or under the direct supervision of trained professionals in accordance with specifications and instructions for use supplied with the products. For that reason, Parr sells only to professional users or through distributors to such users. Parr produces precision equipment and associated products which are not intended for general commercial use.

Exclusive Warranty

To the extent allowed by law, the express and limited warranties herein are the sole warranties. Any implied warranties are expressly excluded, including but not limited to implied warranties of merchantability or fitness for a particular purpose.

Express Warranties

Subject to the above Conditions, Parr expressly warrants that its products: Are as described in the applicable Parr sales literature, or as specified in Parr shipping documents. Will function as described in corresponding Parr sales bulletins, or for specifically engineered assemblies, as stated in the sales proposal and purchase agreement. Will remain free from defects in materials and workmanship for one year from date of delivery of the product to the original purchaser/user. Note that there is no guarantee of a service life of one year after delivery.

Limitations on the Parr Warranty

As to the original purchaser/user and to the distributors to such users, Parr limits its liability for claims other than personal injury as follows: Replacement or repair. With respect to express warranties herein, Parr's only obligation is to replace or repair any parts, assemblies or products not conforming to the warranties provided herein. Disclaimer of consequential commercial damages, including but not limited to: damages for loss of use, damages for lost profits, and damages for resulting harm to property other than the Parr product and its component parts.



Parr Instrument Company

211 53rd Street
Moline, Illinois 61265 USA
Phone: 1-309-762-7716 or 1-800-872-7720
Fax: 1-309-762-9453
E-mail: parr@parrinst.com
<http://www.parrinst.com>

**ANEXO 02. CUADRO DE REGISTRO DE TEMPERATURA Y TIEMPO PARA
CALENTAMIENTO DE AGUA EN EL INTERIOR DEL CALORÍMETRO**

EVOLUCION DE TEMPERATURA	Nº	TIEMPO (min)	TEMPERATURA REGISTRADA(°C)
ZONA DE TRANSICION	01	0	
	02	1	
	03	2	
	04	3	
	05	4	
	06	5	
	07	6	
	08	7	
	09	8	
	10	9	
	11	10	
	12	11	
	13	12	
	14	13	
	15	14	
	16	15	
	17	16	
	18	17	
	19	18	
	20	19	

Fuente. Elaboración propia

ANEXO 03. Muestra de aceite de pescado para uso en ensayos de laboratorio

