



MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO  
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”  
FACULTAD DE METALURGIA ELECTROMECAÁNICA  
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA.

# TRABAJO DE DIPLOMA

*En opción al título de*

# INGENIERO MECÁNICO

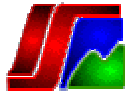
***TITULO:*** Estudio del sistema de lubricación del cárter seco del  
remolcador Coral Power de la empresa Puerto Moa.

***AUTOR:*** Gisela Broon Garrido

***TUTORES:*** M.Sc. Jorge Luis Reyes de la Cruz

Ing. Fausto E. Santravil

“Año 50 de la Revolución”  
Moa, 2008



---

## INTRODUCCIÓN

---

La Empresa Puerto Moa (EPM), se encuentra ubicada en la costa noroeste oriental de la isla de Cuba, en la provincia de Holguín, en una dársena artificial ubicada al sur de la ensenada de Yamanigüey, bahía de Cayo Moa.

El Puerto de Moa constituye el eslabón fundamental en apoyo a la producción de níquel de las fábricas existentes. Unas de las actividades fundamentales en la prestación de servicios lo constituyen las operaciones de los siete remolcadores con que cuenta.

El uso de remolcadores en la Empresa Puerto de Moa ha marcado un punto decisivo en la exportación no solo de níquel ya procesado, sino de la importación de las materias primas necesarias para la producción y otros productos de marcado interés para la población.

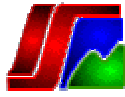
Estos remolcadores realizan funciones de maniobras de entrada, atraque, desatraque, salida y custodia de barcos; asimismo en salvamento y logística, de avituallamiento en embarcaciones de todo tipo en alta mar.

Conocer el estado de los equipos con los que se cuenta es fundamental para mantener en niveles elevados la disponibilidad y reducir el tiempo de parada lo cual eleva la productividad.

El costo de paralización de estos equipos ha escalado vertiginosamente para convertirse en costo de producción, lo cual provoca pérdidas que nunca se recuperarán, por lo que debemos asegurarnos de su confiabilidad, disponibilidad y productividad para la operación, esto significa que debemos aumentar económicamente la utilización de estos equipos.

Una herramienta eficaz para minimizar el costo de inactividad es conocer el comportamiento real del equipamiento durante su explotación. Esto podemos lograrlo verificando los parámetros técnicos de trabajo del equipamiento, en nuestro caso el sistema de lubricación de cárter seco de un remolcador.

La fiscalización de los parámetros técnicos del sistema de lubricación y el análisis del comportamiento del lubricante y de los elementos fundamentales del



remolcador Coral Power perteneciente a Empresa Puerto de Moa, es la temática del presente trabajo, no realizado en investigaciones anteriores.

### **Fundamento de la investigación.**

Para el apoyo a las operaciones que se realizan en el puerto son utilizados remolcadores de varios tipos, entre ellos se encuentra el Coral Power que es nuestro objeto de estudio.

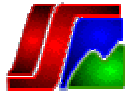
Este realiza actividades durante las 24 horas del día sin ningún tipo de interrupción. Esto trae como consecuencia que en la mayoría de los casos los motores trabajen hasta 16 horas al día sin ser apagados, lo que este régimen de trabajo conlleva a un desgaste favoreciendo que se presenten averías antes de la reparación. Esto provoca graves problemas ya que elevan los costos de mantenimiento, reparación y afectaciones a la producción debido al tiempo de reparación que se prolonga más de lo planificado.

Teniendo en cuenta estas deficiencias se define como **situación problemática** actual:

El comportamiento real de los diferentes parámetros técnicos del sistema de lubricación, es prácticamente desconocido, lo cual no permite tener un control general del régimen de trabajo del sistema. Además no existe pleno dominio de las propiedades que debe reunir el lubricante para darle un mejor seguimiento al mantenimiento. El esquema que existe actualmente no está regido por la normativa internacional, lo cual dificulta su entendimiento, esta situación imposibilita la evaluación del sistema de lubricación y su impacto económico

Por lo ante planteado definimos como **problema**:

El desconocimiento del comportamiento real de los diferentes parámetros técnicos del sistema y del lubricante.



Como posible solución al problema planteado se establece la siguiente **hipótesis**:  
Con la realización del análisis al sistema de lubricación es posible determinar los parámetros técnicos de trabajo y evaluar su comportamiento real.

Nuestro **objeto de estudio** es el sistema de lubricación de cárter seco, del remolcador Coral Power, perteneciente a la Empresa Puerto Moa.

El presente trabajo persigue como **objetivo general**:

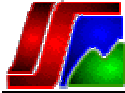
Realizar el análisis de los parámetros técnicos del sistema de lubricación, que permitan el control del estado técnico del lubricante y del sistema para un mejor funcionamiento del remolcador.

Para la realización de este trabajo nos hemos propuestos los siguientes **objetivos específicos**:

- ✓ Realizar el análisis de los parámetros técnicos del sistema de lubricación objeto de estudio.
- ✓ Establecer el esquema del sistema de lubricación normalizado internacionalmente.
- ✓ Realizar la valoración económica y las afectaciones que provoca al medio ambiente.

Para dar cumplimiento a este objetivo han sido trazadas las siguientes **tareas**:

1. Realización de búsqueda bibliográfica sobre los diferentes sistemas de lubricación y diagnóstico a motores de combustión interna diesel, relacionados con los motores marinos, utilizados en los remolcadores.
2. Realización del procedimiento de cálculo para determinar los parámetros técnicos del sistema.
3. Establecimiento del esquema del sistema de lubricación normalizado internacionalmente.
4. Verificación de los parámetros de funcionamiento del intercambiador de calor.
5. Obtención de la valoración técnico-económica del proceso y las afectaciones medioambientales.



---

## DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Yo: Gisela Broon Garrido, certifico la propiedad del presente trabajo a favor del Instituto Superior Minero Metalúrgico y a la Empresa Puerto Moa, el cual podrá ser uso del mismo con la finalidad que estime conveniente.

---

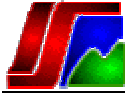
Gisela Broon Garrido  
Edén

---

MSc. Jorge L. Reyes de la C.

---

Ing. Fausto E. Santrayll

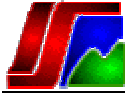


---

## **PENSAMIENTO**

*La preparación del ingeniero debe asegurar la elevación de la productividad del trabajo, el mejoramiento de la calidad de la producción y la reducción del precio de costo en todas las fábricas del Ministerio de Industria.*

*Ché*

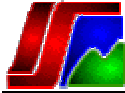


## **AGRADECIMIENTO**

Quiero agradecer en primer lugar a mi hermana Yolanda por su ayuda incondicional.

A mis compañeros de estudio que me estimularon a seguir con la carrera y profesores.

A todos los que han tenido que ver directa o indirectamente con la realización de este sueño, a todos mis más sinceros agradecimientos.



## **DEDICATORIA**

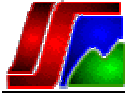
Dedico este trabajo a todos aquellos compañeros que se dedican al campo de la lubricación.

A los jóvenes que se forman como ingenieros mecánicos y se motivan por la lubricación.

A todos los que nos brindaron su colaboración en el desarrollo del presente trabajo.

Y principalmente a mi hijo, que fue el motivo para mi superación.



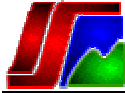


## **Resumen**

El presente trabajo titulado “*Análisis del Sistema de Lubricación en Máquina Marina de Combustión de Cáster Seco del Remolcador Coral Power*”, aborda la caracterización de los parámetros técnicos del sistema de lubricación del remolcador Coral Power de la Empresa Puerto Moa. Se realizó la caracterización de los diferentes sistemas de lubricación, con sus características propias, y específicamente lo relacionado con el sistema cáster seco; conjuntamente, se realizaron los cálculos en puntos y partes del sistema de lubricación, incluyendo una actualización del sistema con la normativa internacional, con relación a las simbologías de los componentes del sistema.

Además se caracterizó el aceite lubricante usado en el sistema de la firma Castrol S.A, con otras firmas homólogas de aceite marino, valorándose el deterioro de este lubricante mediante análisis de laboratorio para su mantenimiento en cambio de aceite. También se analizaron los parámetros del intercambiador de calor instalado en el sistema.

Se aborda el tema medio ambiental, reflejándose aspectos que ayudan al mejoramiento del mismo, teniendo como aspecto a los lubricantes en su función de explotación.



---

## **ABSTRACT**

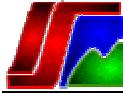
The present work titled *“Analysis of the System of Lubrication in Marine Machine of combustion of dry carter of the Coral Power Tow”*, is about the characterization Coral Power tow’s technical parameters of the lubrication system of the at Moa Port Enterprise.

It was carried out the characterization of the different lubrication systems, with its own characteristics, and specifically the related to the dry carter; jointly, were carried out the calculations in points and parts of the lubrication system, including an actualization about the system with the international standards, in relation to the symbolgies of the system components.

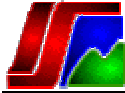
Besides was characterized the lubricant oil used in the system belonging to Castrol S.A, with another homologous signatures of marine oil, valuing the deterioration of this lubricant by laboratory analysis for its maintenance in oil change.

On the other hand were analyzed the parameters of the hot interchange, installed in the system.

The environmental theme is present in this work in different aspects that help to the improvement of it, having like aspect, to the lubricants in their exploitation function

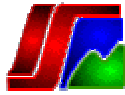


<b>Índice</b>	<b>Página</b>
Introducción	1
Capítulo I: Fundamentación teórica de la investigación.	4
1.1. Motores de combustión interna.	7
1.2. Sistemas de lubricación utilizados en los motores de combustión interna.	9
1.3. Sistema de lubricación cárter seco.	13
1.4. Descripción del equipo objeto de estudio.	14
1.5. Exigencias que deben cumplir los aceites para motores.	15
Conclusiones del capítulo.	17
Capítulo II: Caracterización y análisis del sistema de lubricación cárter seco, del remolcador, Coral Power.	18
2.1. Características del aceite motor marino utilizado en el remolcador Coral Power.	18
2.2. Homologación del aceite Castrol marine MLC SAE 30 y SAE 40 con otras firmas fabricantes suministradoras.	20
2.3. Parámetros condensorios para los aceites motores.	21
2.4. Interpretación del sistema de lubricación de cárter seco del remolcador Coral Power.	24
2.5. Método de mantenimiento para cambio de aceite motor en esta máquina marina de cárter seco.	26
2.6. Esquema del sistema de lubricación cárter seco.	28
2.7. Determinación de los parámetros técnicos del sistema de lubricación de cárter seco.	28
⇒ Película de lubricante.	29
⇒ Determinación de la velocidad de deslizamiento.	32
⇒ Determinación de la viscosidad.	34
⇒ Gasto de aceite que entrega la bomba.	35
⇒ Determinación del gasto agua, carga térmica y área de transferencia de calor.	36



---

Conclusiones del capítulo.	41
Capítulo III: Impacto ambiental y valoración económica.	42
3.1. Impacto ambiental.	42
3.2. Aceites lubricantes biodegradables.	44
3.3. Lubricantes vegetales.	45
Conclusiones del capítulo	51
Conclusiones	52
Recomendaciones	53
Bibliografía	54
Anexos	



---

## **CAPÍTULO I. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN**

---

### **Introducción**

La rápida evolución tecnológica, las exigencias para el mantenimiento de los estándares de calidad y los mercados extremadamente competitivos y agresivos, hacen necesario buscar vías e implementar soluciones que posibiliten a la industria cubana, enfrentar, en muchos casos, el reto de la supervivencia y en otros el de insertar y mantener nuestras tecnologías, productos y servicios en el mercado nacional e internacional.

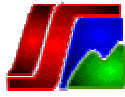
El desarrollo de nuevas tecnologías ha marcado la industria mundial. En los últimos años la industria mecánica se encuentra bajo la influencia determinante de la electrónica, la automática y las telecomunicaciones, exigiendo mayor preparación del personal, tanto del punto de vista operacional como del mantenimiento industrial.

La realidad industrial, matizada por la gran necesidad de explotar eficientemente las maquinarias instaladas y elevar a niveles superiores la actividad de mantenimiento demuestra que no se remedia nada con grandes soluciones que implican diseños, innovaciones y tecnologías de recuperación, si esto no lo mantenemos con una alta disponibilidad.

La industria debe distinguirse por una correcta explotación y un mantenimiento eficaz, es decir operar correctamente y realizar el mantenimiento oportuno para cuidar lo que se tiene.

Fernández et. al (1983), establece que el objetivo principal del sistema de mantenimiento preventivo planificado se fundamenta en alcanzar la explotación racional de los equipos, eliminando las dificultades que puedan presentarse, y planificar las interrupciones de los mismos.

Los sistemas de lubricación son los encargados de lubricar las diferentes partes del equipo, su propósito es prever las fallas manteniendo los sistemas de infraestructura, equipos e instalaciones productivas en completa operación a los niveles y eficiencia óptimos.



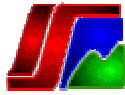
La característica principal de este tipo de mantenimiento es la de inspeccionar los equipos y prever las fallas en su fase inicial y corregirlas en el momento oportuno. Teniendo en cuenta lo ante expuesto los trabajos de mantenimiento se organizan basándose fundamentalmente en los planes de Mantenimiento Preventivos Planificados (MPP) que contempla las inspecciones, mantenimientos por tipos, reparaciones menores, medianas y generales, de acuerdo con las características técnicas del objeto.

El mantenimiento preventivo tiene grandes ventajas comparado con otros sistemas:

- ✓ Confiabilidad, ya que los equipos operan en mejores condiciones de seguridad, ya que se conoce su estado y sus condiciones de funcionamiento.
- ✓ Disminución del tiempo muerto, tiempo de parada de equipos.
- ✓ Mayor duración, de los equipos.
- ✓ Uniformidad de la carga de trabajo para el personal de mantenimiento debido a una programación de actividades.
- ✓ Menor costo de las reparaciones

También se aplica el mantenimiento predictivo por diagnóstico que es una técnica para pronosticar el punto futuro de falla de un componente de una maquina, de tal forma que dicho componente pueda reemplazarse, con base en un plan, justo antes de que falle. Así, el tiempo muerto del equipo se minimiza y el tiempo de vida del componente se maximiza. El mantenimiento predictivo debe ser considerado como un complemento al sistema de mantenimiento planificado, este mantenimiento reporta ventajas como:

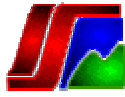
- ✓ Reducción de los costos de mantenimientos.
- ✓ Identificación de los daños sin parar o desmontar elementos de la máquina.
- ✓ Maximizar la vida útil de las piezas.
- ✓ Programar la reparación de los daños en paradas rutinarias.
- ✓ Programar el suministro de recambio.
- ✓ Propiciar el funcionamiento más seguro de los equipos.



La lubricación constituye una de la actividad que presenta mayor atención en los sistemas de mantenimiento, por lo que en nuestro caso, el análisis del sistema de lubricación constituye una herramienta eficaz para dar solución a cualquier problema que se presente en la rama del transporte marino. Con este análisis podrán conocerse el comportamiento de los parámetros técnicos del equipo y además de servir como herramienta para predecir cualquier avería que pueda presentarse.

El Puerto de Moa constituye el eslabón fundamental en apoyo a la producción de níquel de las fábricas existentes. Un eslabón fundamental en la prestación de servicios lo constituyen las operaciones de los siete (7) remolcadores con que cuenta, siendo el remolcador Coral Power el seleccionado para este trabajo.

Este remolcador está constituido por diferentes componentes entre los que se encuentra el motor de combustión interna.



### **1.1. Motores de combustión interna.**

El objetivo de los motores de combustión interna convertir la energía química del combustible en energía calórica y esta última en energía mecánica (Reyes et. al).

Se les denominan de combustión interna porque el proceso químico de combustión ocurre en el interior del motor y los gases, producto de este, al expandirse por el calor generado, ejercen la fuerza que proporciona la potencia mecánica, teniendo similitud con el objeto de estudio.

Los motores de combustión interna pueden ser agrupados en dos amplias categorías:

- I. Motores alternativos
- II. Motores rotativos

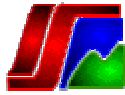
Los motores de combustión interna alternativos son aquellos en los cuales la transmisión de trabajo se efectúa mediante un desplazamiento lineal recíprocante.

Los rotativos realizan la transmisión a través de un movimiento rotatorio, como por ejemplo, en las turbinas y los motores basados en el diseño Wankel.

El gran desarrollo de los motores de combustión interna alternativos se debe a una serie de características que los colocan en favorable ventaja frente a otros motores, entre los cuales cabe destacar:

- ✓ Alta posibilidad de utilizar diferentes tipos de combustibles, en particular, líquidos de elevado poder calórico, característica ésta de gran importancia en automoción, porque condiciona la autonomía del vehículo.
- ✓ Rendimientos térmicos aceptables, con valores dependientes del tipo de motor y de sus condiciones operativas, que raramente sobrepasan el 50% de la energía disponible en el combustible.
- ✓ Disponibilidad en una amplia gama de potencias que en la actualidad abarcan desde 0,1 hasta 43,000 hp (caballo de potencia).
- ✓ Gran cantidad de disposiciones constructivas, que permiten adaptar los motores a los usos más diversos.





---

## **CAPÍTULO I. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN**

---

### **Introducción**

La rápida evolución tecnológica, las exigencias para el mantenimiento de los estándares de calidad y los mercados extremadamente competitivos y agresivos, hacen necesario buscar vías e implementar soluciones que posibiliten a la industria cubana, enfrentar, en muchos casos, el reto de la supervivencia y en otros el de insertar y mantener nuestras tecnologías, productos y servicios en el mercado nacional e internacional.

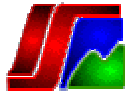
El desarrollo de nuevas tecnologías ha marcado la industria mundial. En los últimos años la industria mecánica se encuentra bajo la influencia determinante de la electrónica, la automática y las telecomunicaciones, exigiendo mayor preparación del personal, tanto del punto de vista operacional como del mantenimiento industrial.

La realidad industrial, matizada por la gran necesidad de explotar eficientemente las maquinarias instaladas y elevar a niveles superiores la actividad de mantenimiento demuestra que no se remedia nada con grandes soluciones que implican diseños, innovaciones y tecnologías de recuperación, si esto no lo mantenemos con una alta disponibilidad.

La industria debe distinguirse por una correcta explotación y un mantenimiento eficaz, es decir operar correctamente y realizar el mantenimiento oportuno para cuidar lo que se tiene.

Fernández et. al (1983), establece que el objetivo principal del sistema de mantenimiento preventivo planificado se fundamenta en alcanzar la explotación racional de los equipos, eliminando las dificultades que puedan presentarse, y planificar las interrupciones de los mismos.

Los sistemas de lubricación son los encargados de lubricar las diferentes partes del equipo, su propósito es prever las fallas manteniendo los sistemas de infraestructura, equipos e instalaciones productivas en completa operación a los niveles y eficiencia óptimos.



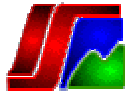
La característica principal de este tipo de mantenimiento es la de inspeccionar los equipos y prever las fallas en su fase inicial y corregirlas en el momento oportuno. Teniendo en cuenta lo ante expuesto los trabajos de mantenimiento se organizan basándose fundamentalmente en los planes de Mantenimiento Preventivos Planificados (MPP) que contempla las inspecciones, mantenimientos por tipos, reparaciones menores, medianas y generales, de acuerdo con las características técnicas del objeto.

El mantenimiento preventivo tiene grandes ventajas comparado con otros sistemas:

- ✓ Confiabilidad, ya que los equipos operan en mejores condiciones de seguridad, ya que se conoce su estado y sus condiciones de funcionamiento.
- ✓ Disminución del tiempo muerto, tiempo de parada de equipos.
- ✓ Mayor duración, de los equipos.
- ✓ Uniformidad de la carga de trabajo para el personal de mantenimiento debido a una programación de actividades.
- ✓ Menor costo de las reparaciones

También se aplica el mantenimiento predictivo por diagnóstico que es una técnica para pronosticar el punto futuro de falla de un componente de una maquina, de tal forma que dicho componente pueda reemplazarse, con base en un plan, justo antes de que falle. Así, el tiempo muerto del equipo se minimiza y el tiempo de vida del componente se maximiza. El mantenimiento predictivo debe ser considerado como un complemento al sistema de mantenimiento planificado, este mantenimiento reporta ventajas como:

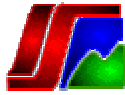
- ✓ Reducción de los costos de mantenimientos.
- ✓ Identificación de los daños sin parar o desmontar elementos de la máquina.
- ✓ Maximizar la vida útil de las piezas.
- ✓ Programar la reparación de los daños en paradas rutinarias.
- ✓ Programar el suministro de recambio.
- ✓ Propiciar el funcionamiento más seguro de los equipos.



La lubricación constituye una de la actividad que presenta mayor atención en los sistemas de mantenimiento, por lo que en nuestro caso, el análisis del sistema de lubricación constituye una herramienta eficaz para dar solución a cualquier problema que se presente en la rama del transporte marino. Con este análisis podrán conocerse el comportamiento de los parámetros técnicos del equipo y además de servir como herramienta para predecir cualquier avería que pueda presentarse.

El Puerto de Moa constituye el eslabón fundamental en apoyo a la producción de níquel de las fábricas existentes. Un eslabón fundamental en la prestación de servicios lo constituyen las operaciones de los siete (7) remolcadores con que cuenta, siendo el remolcador Coral Power el seleccionado para este trabajo.

Este remolcador está constituido por diferentes componentes entre los que se encuentra el motor de combustión interna.



### **1.1. Motores de combustión interna.**

El objetivo de los motores de combustión interna convertir la energía química del combustible en energía calórica y esta última en energía mecánica (Reyes et. al).

Se les denominan de combustión interna porque el proceso químico de combustión ocurre en el interior del motor y los gases, producto de este, al expandirse por el calor generado, ejercen la fuerza que proporciona la potencia mecánica, teniendo similitud con el objeto de estudio.

Los motores de combustión interna pueden ser agrupados en dos amplias categorías:

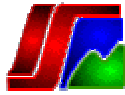
- I. Motores alternativos
- II. Motores rotativos

Los motores de combustión interna alternativos son aquellos en los cuales la transmisión de trabajo se efectúa mediante un desplazamiento lineal recíprocante.

Los rotativos realizan la transmisión a través de un movimiento rotatorio, como por ejemplo, en las turbinas y los motores basados en el diseño Wankel.

El gran desarrollo de los motores de combustión interna alternativos se debe a una serie de características que los colocan en favorable ventaja frente a otros motores, entre los cuales cabe destacar:

- ✓ Alta posibilidad de utilizar diferentes tipos de combustibles, en particular, líquidos de elevado poder calórico, característica ésta de gran importancia en automoción, porque condiciona la autonomía del vehículo.
- ✓ Rendimientos térmicos aceptables, con valores dependientes del tipo de motor y de sus condiciones operativas, que raramente sobrepasan el 50% de la energía disponible en el combustible.
- ✓ Disponibilidad en una amplia gama de potencias que en la actualidad abarcan desde 0,1 hasta 43,000 hp (caballo de potencia).
- ✓ Gran cantidad de disposiciones constructivas, que permiten adaptar los motores a los usos más diversos.



Con relación a la utilización de los motores de combustión interna alternativos como planta motriz, su extenso campo de aplicación se centra básicamente en dos áreas:

I. Motores para automoción

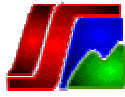
II. Motores estacionarios

En el área de automoción la utilización más difundida es en los siguientes segmentos:

- ✓ Transporte por carretera (automóviles, camiones, motocicletas)
- ✓ Maquinarias de obras públicas (palas cargadoras, buldózer, excavadoras)
- ✓ Maquinarias agrícolas (tractores, cosechadoras)
- ✓ Propulsión ferroviaria
- ✓ Propulsión aérea (en la actualidad, solo pequeños motores)
- ✓ *Propulsión marina* dentro del cual se encuentra nuestro objeto de estudio

En el área de motores estacionarios, su empleo incluye:

- ✓ Generadores de energía eléctrica (centrales eléctricas y plantas de emergencia)
- ✓ Accionamiento industrial (bombas, compresores)
- ✓ Accionamiento agrícola (motobombas, cortadoras agrícolas, sierras mecánicas)



## **1.2. Sistemas de lubricación utilizados en los motores de combustión interna.**

Teniendo en cuenta lo planteado por Oro et. al (2007), los motores de combustión interna son sin duda una de las máquinas cuya lubricación presenta mayores complejidades, debido a las difíciles y variadas condiciones que en ellos se pueden encontrar: temperatura desde 80°C – 100°C en el cárter hasta alrededor de 350°C – 400°C en la cabeza de los pistones; cargas variables en magnitud y frecuencia; presencia de vapores de combustible; batimiento del lubricante.

García (2007), refiere que en ellos se pueden presentar diferentes condiciones de lubricación, que van desde la formación de película hidrodinámica en los cojinetes de apoyo del cigüeñal, la cual será determinado en el presente trabajo y cabezas de bielas; película mixta o límite en los cilindros, pasadores de pistón y guías de válvulas, hasta la película elastohidrodinámica en las levas y empujadores de las válvulas.

Un sistema de lubricación es un conjunto de elementos tuberías, válvulas, bombas, filtros, intercambiadores de calor y otros elementos destinados a cumplir determinada función.

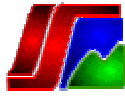
Los sistemas de lubricación que con más frecuencia se presentan son:

- ✓ De aplicación de lubricante
- ✓ De enfriamiento del lubricante
- ✓ De filtración y acondicionamiento del lubricante.

Estos sistemas pueden existir de forma separada o combinaciones de ellos según las exigencias de las máquinas.

Teniendo en cuenta lo planteado por García (2007), los sistemas de aplicación de lubricantes seleccionados deben ser económicamente compatibles con los equipos a lubricar, ambos en costo inicial y subsiguiente mantenimiento.

El aceite que circula en el sistema de lubricación desempeña a la vez varias funciones, que tienen influencia decisiva en la duración del motor. Las más importantes teniendo en cuenta lo referido por Oro et. al (2007) son:



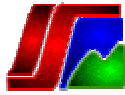
- ✓ Disminución del rozamiento entre las partes móviles, teniendo como resultado, la disminución del desgaste, el aumento de la eficiencia y la durabilidad del motor.
- ✓ Evacuación del calor de las piezas que se encuentran a mayor temperatura.
- ✓ Contribución al sellaje de la holgura cilindro-pistón.
- ✓ Amortiguar los golpes producto de las cargas a impacto.

El sistema de lubricación de los motores de combustión modernos se efectúa a presión, mediante un circuito cuyas partes esenciales son las siguientes:

- ✓ Una o varias bombas de aceite.
- ✓ Válvulas de descarga.
- ✓ Conductos internos y externos para el transporte del aceite a presión hasta los principales elementos del motor.
- ✓ Uno ó más filtros.
- ✓ Intercambiadores de calor para el enfriamiento del aceite.
- ✓ Válvula de seguridad o de presión límite.

Los sistemas utilizados para la aplicación de lubricante pueden clasificarse atendiendo a diferentes criterios (García 2007), pudiendo existir dentro de cada grupo diferentes tipos.

- ✓ *Sistemas de lubricación de una sola pasada:* Están comprendidos todos aquellos métodos y sistemas de aplicación del lubricante en los cuales este se pierde después de realizar su trabajo. Se aplican a elementos que trabajan con régimen de lubricación de película límite o mixta; poco cargados y por lo tanto con poca generación de calor y en sistemas abiertos donde no es posible otra forma de lubricación.
- ✓ *Sistemas con circulación interior del lubricante:* Se encuentran todos aquellos en los cuales el mismo aceite se mantiene realizando su función durante un período de tiempo relativamente largo dentro de un determinado recinto (soporte, caja, cárter), el cual cumple además la importante función de transferir el calor hacia el exterior.



- ✓ *Sistemas de lubricación centralizada:* En aquellas máquinas que tienen varios puntos por lubricar o en las que estos son inaccesibles. Tienen como elementos fundamentales una estación de bombeo y un sistema de control de la periodicidad y del gasto de lubricante.
- ✓ *Sistemas con circulación exterior del lubricante:* En estos sistemas el lubricante se toma mediante colectores de los diferentes pares de fricción y por un sistema de tuberías se hace circular a través de filtros, intercambiadores de calor y otros elementos, llevándose nuevamente a la máquina. Se recurre a estos sistemas cuando los pares de fricción se encuentran muy separados y es necesario un colector distribuidos y otro recolector para el aceite, tal como ocurre en las grandes turbinas de vapor; o cuando la cantidad de calor generada es tan grande, que no es suficiente el enfriamiento por circulación interior del lubricante. Ejemplo de ello lo podemos encontrar en los grandes compresores y motores de combustión para equipos de la construcción y barcos (objeto de estudio), lo cual se ilustra en la figura 1 Clasificación de los sistemas de lubricación



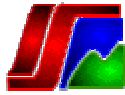
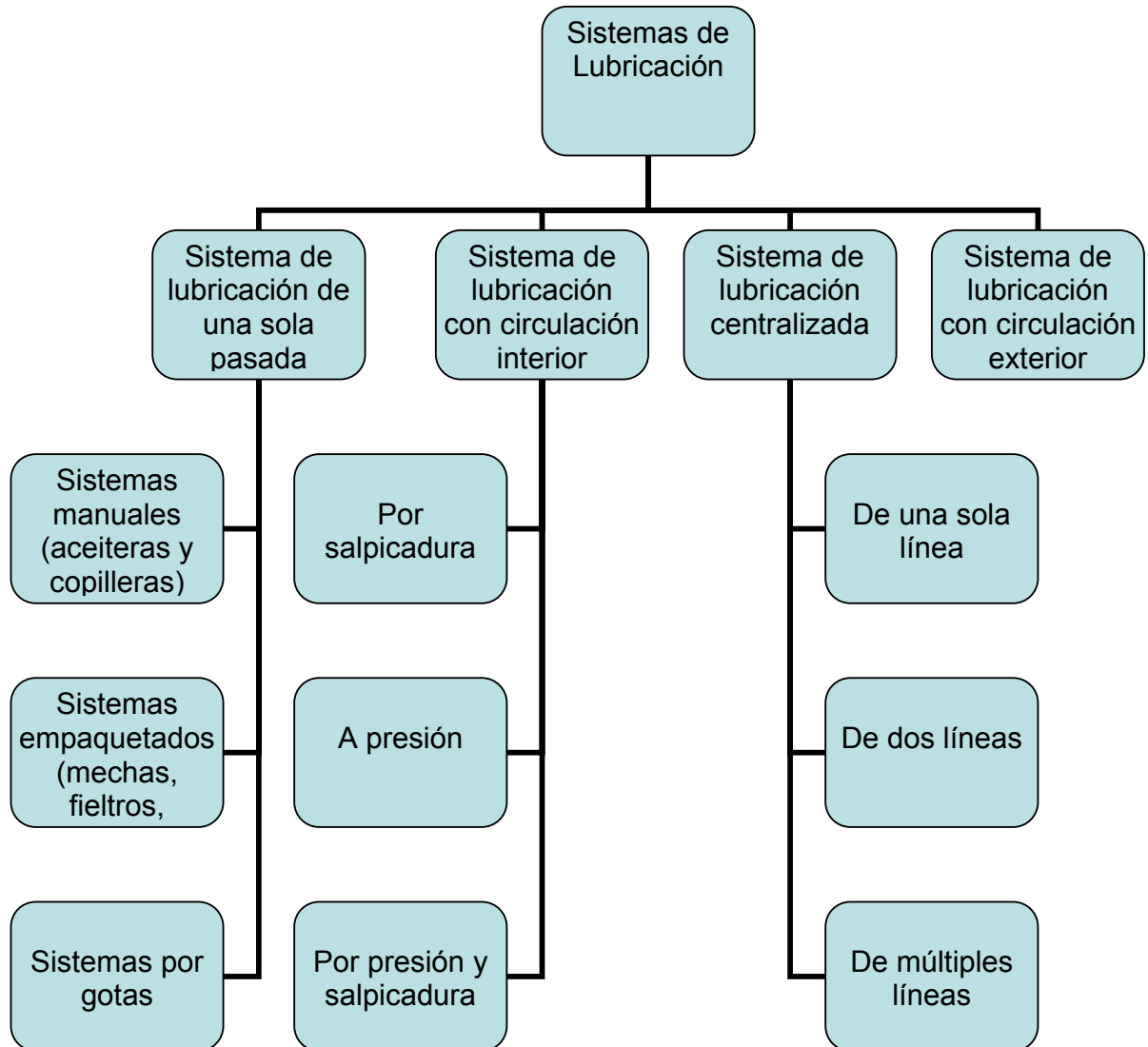
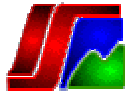


Figura 1. Clasificación de los sistemas de lubricación



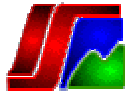


### **1.3. Sistema de lubricación de cárter seco.**

En este tipo de circuito, el cárter no constituye una reserva de aceite de nivel limitado, sino que sirve solamente para la recuperación del aceite a su retorno, una vez efectuada la lubricación del conjunto del motor (ver Anexo 1).

Este circuito de lubricación a cárter seco, lleva un depósito de aceite, generalmente situado en el exterior del motor, a menudo con un nivel visible y dos bombas, llamada de agotamiento o vaciado, aspira el aceite a su retorno, desde el fondo del cárter del motor expulsándolo hacia el exterior a través de un filtro y según las exigencias a través de un desaireador. Puede incluirse también un radiador de refrigeración, según el tipo de motor y sus aplicaciones. La otra sección de la bomba, llamada de alimentación, aspira el aceite del exterior del motor y lo envía directamente o previa nueva filtración al circuito de lubricación propiamente dicho del motor. La bomba de agotamiento suministra generalmente un gasto más elevado que el de alimentación para evitar que el depósito exterior pueda quedar vacío. Esto puede traer consigo, el arrastre de aire con la consiguiente formación de espuma. La formación de espuma puede combatirse con la utilización de aditivos antiespumantes, pero a veces se necesitan el empleo de dispositivos desaireadores.

Los sistemas de lubricación en motores de cárter seco son utilizados con frecuencia en los equipos que por sus dimensiones y mecanismos se le suministran cantidades de lubricantes consideradas, nuestro objeto de estudio es considerado un equipo con motor de combustión interna que funciona con un sistema de lubricación de cárter seco.



#### 1.4. Descripción del equipo objeto de estudio.

El remolcador Coral Power realiza funciones de maniobras de entrada, atraque, desatraque, salida y custodia de barcos; asimismo en salvamento y logística, de avituallamiento en embarcaciones de todo tipo en alta mar.

La máquina marina principal de combustión interna posee las condiciones técnicas siguientes:

Año de construcción: 1972, Japón

Eslora: 26,98 metros

Puntal: 8,60 metros

Cros: 220 toneladas

67 toneladas netas

Sistema de propulsión MIGATA Z PELLER

HPB 3600

Bollar Pull: 36 toneladas

Velocidad de proyecto: 11 nudos

✓ Motor MIGATA Diesel

Tipo 6L25BX

Número de cilindros: 6

RPM: 750

Diámetro de apoyo del cigüeñal: 210 mm

Diámetro de apoyo cabeza de biela: 200 mm

Longitud del cigüeñal 2300 mm

Diámetro de los cilindros: 250 mm

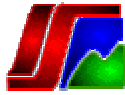
Carrera del pistón: 320 mm

✓ Bomba de lubricación acoplada directa al motor

RPM: 1154/ rpm del motor 750

Capacidad: 23,5 m<sup>3</sup>/h

Altura de succión: 65 m



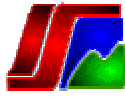
- ✓ Bomba de refresco de agua centrífuga acoplada directa al motor  
RPM: 2057/ rpm del motor 750  
Capacidad: 48 m<sup>3</sup>/h  
Altura de succión: 30 m
- ✓ Bomba de combustible  
RPM: 1578/ rpm del motor 750  
Capacidad: 1130 l/h  
Altura de succión: 15 m
- ✓ Componentes del sistema de lubricación motor.  
Depósito de lubricante de 5200 litros (cisterna)  
Tuberías  
Válvulas  
Bombas  
Filtros  
Intercambiadores de calor (cooler)  
Motor marino de combustión

### **1.5. Exigencias que deben cumplir los aceites para motores.**

Teniendo en cuenta a Oro (2006), una de las actividades preventivas del mantenimiento que se considera de primer orden de importancia es la lubricación. Los aceites son componentes esenciales en todas las máquinas, y de su estado depende en mayor o menor medida la vida útil de los equipos. Existen varios tipos de aceites adecuados a la función que deben cumplir en el conjunto mecánico al que sirven.

Entre todas estas funciones, la más frecuente y de mayor complejidad es la lubricación, pues está muy relacionada con el rozamiento mecánico, el desgaste y el calentamiento.

La eficacia con que un aceite cumple su función (lubricante, refrigerante, hidráulica, aislante) depende de su grado de degradación y contaminación que en definitiva condiciona completamente la vida útil de la máquina.



En los aceites de motores en particular sus exigencias están dadas por las funciones que deben satisfacer así como a las condiciones a que se ve sometido.

Condiciones a las que está sometido un aceite de motor:

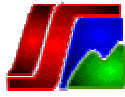
- ✓ Temperaturas extremas y variables.
- ✓ Grandes velocidades de fricción (0-500 m/min).
- ✓ Tolerancias mínimas.
- ✓ Ambientes nocivos

Rodríguez (2006), expone que la lubricación es el procedimiento más importante para disminuir las pérdidas de energía por fricción en el proceso de desgaste, teniendo en cuenta lo antes referido podemos afirmar que las funciones que deben satisfacer los aceites de motor son:

- ✓ Reducir el desgaste.
- ✓ Reducir fricción.
- ✓ Evitar corrosión y herrumbre.
- ✓ Mantener limpio el motor.
- ✓ Refrigerante.
- ✓ Sellaje.
- ✓ Evacuar todas las impurezas.

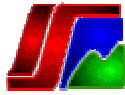
Para que el lubricante pueda cumplir con condiciones y funciones para la que son diseñados se establecen unas series de características o cualidades que deben cumplir:

- ✓ Viscosidad adecuada.
- ✓ Propiedades antidesgaste.
- ✓ Propiedades inhibidoras de la corrosión.
- ✓ Propiedades dispersantes y detergentes.



### **Conclusiones del capítulo**

- ✓ El análisis bibliográfico nos permitió conocer que la cultura de mantenimiento no está lo suficientemente estudiada, existiendo criterios los cuales no argumentan el objetivo de nuestro trabajo.
- ✓ Se analizó la temática referente a los motores de combustión interna, reflejando la variedad de tipos de estos motores, no existiendo la precisión del motor de combustión interna de cárter seco para la utilización en los remolcadores.
- ✓ Mediante el análisis bibliográfico realizado, nos permitió destacar los diferentes tipos de sistemas de lubricación, permitiendo ubicar al motor de combustión interna de la máquina marina de cárter seco en el tipo de; sistema con circulación exterior del lubricante.



---

## **CAPÍTULO II. CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS DEL SISTEMA DE LUBRICACION CÁRTER SECO, DEL REMOLCADOR CORAL POWER.**

---

### **Introducción**

El diagnóstico de motores y mecanismos lubricados a partir del análisis de lubricantes es una herramienta ampliamente empleada en la industria moderna. A partir de diferentes ensayos de los parámetros físicos químicos del aceite se puede establecer el grado de deterioro del aceite como el funcionamiento de la máquina lubricada.

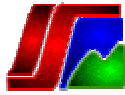
Mediante la determinación de los diferentes parámetros del aceite en los motores de combustión interna tenemos la posibilidad de predecir posibles averías y el momento oportuno para llevar acabo el mantenimiento.

El aceite lubricante puede ser utilizado con fines de diagnóstico, ya que en cumplimiento de una de sus funciones, es el medio de evacuación de todas las impurezas que recoge o se forman en él y es una herramienta que brinda dos posibilidades.

El análisis de lubricante consiste en tomar la muestra durante la explotación de los equipos de forma periódica, puede coincidir con su cambio o relleno.

### **2.1. Caracterización del aceite motor marino utilizado en el remolcador Coral Power.**

Teniendo en cuenta el Manual de productos de Castrol (2005), el aceite lubricante Castrol Marine MLC es una gama de aceites lubricantes formulados a partir de básicos parafínicos de alta calidad a la que se adiciona un balanceado grupo de aditivos. Castrol Marine MLC es un lubricante de alto rendimiento con TBN 12 diseñado para motores de pistón de tronco que operan con combustibles refinados que requieran un nivel de TBN más alto que el que presenta el rango de multipropósitos MPX.



Castrol Marine MLC está disponible en viscosidades SAE 30 y SAE 40 lo que lo hace especialmente aplicable a las necesidades de las flotas de cabotaje, navegación por ríos, canales y barcos pesqueros y flotas de travesía. Su habilidad de aplicación en los motores que operan con combustibles destilados de baja calidad fue un factor muy significativo para que Castrol Marine MLC obtuviera la aprobación de los mayores fabricantes de motores de media velocidad.

Los beneficios que brinda este lubricante según el Manual de productos:

- ✓ Superior capacidad para separarse del agua.
- ✓ Excelente estabilidad a la oxidación.
- ✓ Magnífica filtrabilidad.
- ✓ Protege los cojinetes contra la corrosión.

Los niveles de rendimiento son:

- ✓ API – CD
- ✓ MIL -L - 2104 C

<u>Propiedades Físicas</u>	<u>Método</u>	<u>Valor</u>	
		<u>MLC-30</u>	<u>MLC-40</u>
Grado de Viscosidad SAE		30	40
Viscosidad a 40 °C, cst	ASTM D-445	103,0	138,0
Viscosidad a 100 °C, cst	ASTM D-445	11,5	14.0
Índice de Viscosidad	ASTM D-2270	98	98
TBN, mg KOH/g	ASTM D-2896	12	12
Punto de Inflamación, °C, (PMCC)	ASTM D-93	218	222
Densidad relativa a 15 °C	ASTM D-1298	0,897	0,898
Punto de Fluidez, °C		-15	-9

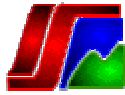
\* ASTM: Sociedad Americana para pruebas de materiales.

\* Centistoke (cst): Unidad de viscosidad cinemática. 1 cst = 0,01 stoke. Mide la viscosidad de los aceites lubricantes.

\* Número Total de Alcalinidad (TBN): La cantidad de ácido expresada en términos del número equivalente de miligramos de base que se requiere para neutralizar todos los constituyentes bases presentes en un gramo de muestra.

\* SAE: Sociedad de Ingenieros Automotrices.





## 2.2. Homologación del aceite motor Castrol Marine MLC-SAE-30 y SAE-40, con otras firmas fabricantes suministradoras.

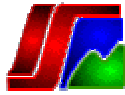
Técnicamente se puede aplicar la homologación de las mismas familias en los lubricantes, debido que la analogía entre ellos, corresponden de alguna manera a los valores de parámetros técnicos significativos. Todo esto nos posibilita obtener lubricantes similares, que en este caso nos referiremos al aceite motor Castrol Marine MLC SAE-30 y SAE-40 en la tabla 2.1:

Tabla 2.1. Equivalencia de aceites motores marinos con las firmas de fabricantes Castrol – Cubalub – Total.

Suministrador	Castrol	Cubalub	Total
Lubricante	MLC SAE 30	Mar-Sis-Tron-10E12 (30)	Disola 3015
	MLC SAE 40	Mar-Sis-Tron-16E12 (40)	Disola 4015

Estos lubricantes equivalentes tienen propiedades físicas que se asemejan a las del aceite MLC usado en el sistema de lubricación del objeto de estudio, las cuales damos a conocer auxiliándonos del Manual de productos de Total (2006) y Cubalub (2003) respectivamente:

<u>Propiedades Físicas</u>	<u>Valor</u>	
	<u>Disola 3015</u>	<u>Disola 4015</u>
Grado de Viscosidad SAE	30	40
Viscosidad a 40 °C, mm <sup>2</sup> /s	110	145
Viscosidad a 100 °C, mm <sup>2</sup> /s	12	14,2
BN, mg KOH/g	14	14
Punto de Inflamación, °C,	>220	>230
Densidad relativa a 15 °C	0,900	0,905
Punto de Fluidez, °C	-15	-12



<b>Propiedades Físicas</b> <b>Producto Cubalub</b>	<b>Valor</b>	
	<b>Mar-Sis-Tron 10E12</b>	<b>Mar-Sis-Tron 16E12</b>
Grado de Viscosidad SAE	30	40
Viscosidad a 100 °C, mm <sup>2</sup> /s	11	15
BN, mg KOH/g	12	12
Punto de Inflamación, °C,	230	235
Densidad relativa a 15 °C	0,87	0,87
Punto de Fluidez, °C	-10	-10

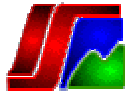
Estos lubricantes poseen el mismo grado de viscosidad SAE, pero presentan diferencias en los valores del punto de inflamación donde difieren entre 101% a 105%, en las demás propiedades físicas no presentan diferencias notables de sus valores y se encuentran dentro de las especificaciones que exige el fabricante del equipo.

### **2.3. Parámetros condenatorios para aceites de motores.**

Teniendo en cuenta a Ramírez et. al, (1999) sobre los parámetros condenatorios en los lubricantes, es de vital importancia su conocimiento para determinar la vida útil de un lubricante en cuanto a condiciones de explotación, estado técnico del equipo, calidad del lubricante y medio ambiente. Esto implica que no siempre para un mismo nivel de calidad y diferentes modelos de equipos, se debe seguir estrictamente los valores de los parámetros que se deben analizar para efectuar el cambio de los productos, no obstante, siempre se hace recomendación por tipos de productos que permita orientar a los clientes al respecto.

#### Aceites Motores

- ✓ **Viscosidad:** Este parámetro durante el servicio puede aumentar o disminuir, el incremento puede deberse a una oxidación profunda del producto, rellenos con aceites de viscosidad superior o alta concentración de productos insolubles. Ante esta situación se recomienda tomar medidas para evitar esta situación y hacer cambio de inmediato ( $\pm 25\%$  de la viscosidad inicial).



- ✓ *Punto de inflamación:* Se puede considerar como parámetro la disminución de un 30% del valor inicial del producto. Aunque conviene comparar siempre este valor con el de la dilución. (hasta 180 °C)
- ✓ *Dilución:* El efecto de la dilución en la lubricación está condicionada fundamentalmente a la disminución de la viscosidad y del punto de inflamación. No obstante concentraciones de 2% V para motores de gasolina y 3% V para motores diesel son valores orientativos para tomar las medidas oportunas.
- ✓ *Contenido de agua:* Valores superiores a 0,5% V.
- ✓ *BN, mgKOH/g:* Cuando el valor producto tenga un valor menor al 75% del valor inicial.
- ✓ *Insolubles totales:* Entre 1% y 2% del valor inicial
- ✓ *Contenido de metales:* Se deben determinar plomo, cromo, estaño, silicio. Los valores son fijados en función de las especificaciones de cada fabricante, ya que la concentración de partículas metálicas varían de un motor a otro, e incluso entre motores idénticos de la misma marca.

El análisis de metales de desgaste se realiza mediante equipos de Espectrometría de Absorción Atómica o Infrarrojos. La prueba controla la proporción de desgaste de un elemento determinado identificando y midiendo la concentración (ppm) de los elementos de desgaste que se encuentran en el aceite. Basados en datos previos de concentración normales se establecen los límites máximos de elementos de desgaste. Después de haber tomado varias muestras de aceite, se pueden establecer líneas de tendencia de los distintos elementos de desgaste de un motor determinado. A su vez se pueden identificar los posibles fallos cuando los resultados se desvían del patrón establecido.

En general para motores de combustión interna los límites condinatorios y las fuentes de origen de las partículas metálicas se muestran en la tabla 2.2.

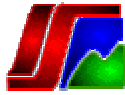
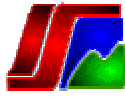


Tabla 2.2. Valores condenatorios para el análisis de metales

Elemento	ppm	Posible fuente de origen
Aluminio	>15	Cojinetes – bujes – block – pistones – turbo – bomba – polvo – arandela.
Cromo	>10	Cojinetes – aros – rodillos – válvulas de escape.
Cobre	>30	Cojinetes – bujes – bomba – arandelas.
Hierro	>80	Cojinetes – block – bomba – cilindro – pistones – tornillos – válvulas.
Silicio	>20	Juntas – empaquetaduras – polvo atmosférico – aditivo depresor del punto de fluidez – aditivo antiespumante.
Estaño	>30	Cojinetes – bujes – pistón
Plomo	>30	Cojinetes

En la actualidad existen equipos automatizados para la valoración de las muestras de aceite en los análisis de metales de desgaste que disponen de las curvas de comportamiento de las principales marcas y modelos de motores existentes en el mundo y que dan respuesta inmediata del estado del mecanismo en cuestión, así como, recomendaciones de las medidas a tomar en cada caso específico.

Todos los análisis se realizan a partir de los valores del aceite nuevo.



#### **2.4. Método de mantenimiento para el cambio de aceite motor en esta máquina marina de cárter seco.**

Teniendo en cuenta la capacidad que tienen algunos sistemas de lubricación se estableció que todos aquellos equipos de diferente explotación, siempre que sus volúmenes de aceites lubricantes sobrepasen los 100 litros de capacidades, se les realizan sus mantenimientos de cambios de aceite a partir de análisis de laboratorio para lubricantes, y teniendo en cuenta los resultados de los mismos, se comparan éstos a partir de los requisitos estipulados en la tabla de los parámetros condenatorios, siempre partiendo del aceite lubricante nuevo.

Para nuestro caso, la capacidad de volumen de aceite lubricante marino MLC SAE-40 de Castrol, es de 5200 litros, (25 tanques de 208 litros cada uno), por lo cual, para la realización de su mantenimiento por cambio de aceite, este se realiza por análisis de laboratorio, que para este remolcador, es aproximadamente en función de las horas de trabajo de tres años, equivalente a 3500 – 4000 horas, reflejada a continuación, (por datos de archivo), la secuencia de los análisis obtenidos con la recomendación del laboratorio que los realizan, que para los lubricantes Castrol. Estos análisis se realizan en una dependencia que tiene Castrol, en los laboratorios de aceites lubricante Cubalub; refinería Hermanos Díaz, en Santiago de Cuba.

Teniendo en cuenta que la capacidad de aceite de nuestro objeto de estudio es de 5200 litros de aceite lubricante se recomienda realizar los análisis cada seis (6) meses.

En la tabla 2.3 aparece una comparación de los parámetros del aceite lubricante nuevo, y en su fase de explotación hasta el cambio.

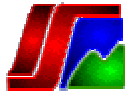
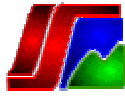


Tabla 2.3. Comparación del Aceite MLC SAE-40 (nuevo y deteriorado).

Tiempo de Trabajo	Aceite	Visc. 40°C, cst	Visc. 100°C, cst	Ind. Visc.	Pto. Infl.
(V)		(I)	(II)	(III)	(IV)
Catálogo Castrol S.A	Aceite Nuevo	138,0	14,0	98	222
1 <sup>er</sup> análisis 635 horas	Aceite en fase de trabajo	132,61	13,79	99	216
2 <sup>o</sup> análisis 1345 horas	Aceite en fase de trabajo	131,26	12,94	92,90	210
3 <sup>er</sup> análisis 2199 horas	Aceite en fase de trabajo	118,23	11,64	89,35	206
4 <sup>o</sup> análisis 2879 horas	Aceite en fase de trabajo	112,65	9,35	82,44	200
5 <sup>o</sup> análisis 3417 horas	Aceite en fase de trabajo	105,77	8,26	78,29	196

Auxiliándonos de los parámetros condenatorios para los aceites motores y los valores reflejados en la tabla 2.2 tenemos que a partir del 4<sup>o</sup> análisis ya se hace pronunciado la diferencia en los valores de los parámetros, demostrando la degradación del lubricante. Estos análisis demuestran que el aceite ha perdido sus propiedades para las que fueron diseñados y no cumple objetivo en el sistema. Un uso prolongado del mismo puede provocar fallas y averías en el sistema.

Con 3417 horas de trabajo, con un promedio diario de explotación de 4 horas, equivalente a 2 años y 4 meses, se le realizó cambio del aceite motor, por recomendación del laboratorio, por estar los parámetros del quinto análisis fuera de especificaciones de explotación; en éste análisis se detectó dilución de diesel en el aceite.



## **2.5. Interpretación del sistema de lubricación de cárter seco del remolcador Coral Power.**

Teniendo en cuenta el Niigata (1972), el proceso del sistema comienza por el depósito del lubricante, (cisterna que se encuentra en el exterior del motor con una capacidad para 5200 litros de aceite). El aceite de la cisterna, es aspirado a través de una tubería protegida parcialmente en su extremo por un tamiz, mediante dos bombas de engranes, una acoplada directamente al motor de combustión interna, que es la encargada de mantener el suministro de aceite al sistema. Fundamentalmente, a los diferentes puntos de lubricación en el motor.

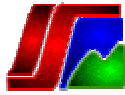
La otra bomba de engrane está acoplada a un motor eléctrico y es la encargada de efectuar una prelubricación, antes del arranque del motor principal. Después de efectuar la prelubricación, la bomba se dispara y se pone en funcionamiento el motor principal conjuntamente con la bomba de lubricación acoplada al mismo, que es la encargada de realizar la lubricación del sistema, a partir de una válvula de regulación de flujo.

Después que el aceite es aspirado de la cisterna por las bombas de lubricación, este pasa a través de dos filtros cilíndricos de mallas metálicas finas, que son los encargados de recoger las impurezas que transporta el aceite, mediante la filtración del mismo. Las obstrucciones del filtro, producto de las impurezas o sustancias contaminantes del aceite, se reflejan en la caída de presión señalada por el manómetro instalado en el sistema, que se identifica mediante la señal de alarma. La capacidad de filtración esta sobre los 25 micrones.

El aceite a continuación pasa, por el intercambiador de calor de coraza y tubos, cuya función es disipar el calor contenido en el aceite por contracorriente del agua a través de sus 60 tubos de 1000 mm de largo por 12 mm de diámetro.

Al salir el aceite del intercambiador, pasa por dos filtros más instalados ante de la entrada del aceite al motor, con las mismas características de los situados a la salida de las bombas de engranes de la cisterna de aceite.

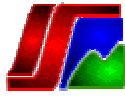
Existe una válvula con un manómetro acoplado a la línea de aceite del sistema, situada en la entrada del motor, con la función de señalar la presión de aceite del sistema.



La presión normal de trabajo en la cañería principal, indicada por el manómetro está entre  $(343,2 - 490)[kPa]$ , en el momento del arranque del motor entre  $(490 - 588)[kPa]$  y a baja revolución del motor de  $196[kPa]$ .

El aceite lubricante, en el interior, realiza las funciones de lubricación en los diferentes puntos del sistema. Después de realizada la lubricación dentro del motor, el aceite sale de éste por gravedad a través de una tubería al depósito o cisterna de almacenamiento del aceite, realizándose nuevamente el ciclo del sistema de lubricación descrito anteriormente desde el principio.





## **2.6. Esquema del sistema de lubricación de cárter seco.**

El esquema de lubricación que actualmente presenta nuestro objeto de estudio no responde a las normas internacionales, (ver Anexo 2), debido a que la nomenclatura y simbología no corresponden al sistema internacional.

Para un mejor análisis e interpretación del sistema se realizó una reestructuración basado en la nomenclatura y simbología del sistema internacional, el mismo se realizó con ayuda del software AutoCAD 2005 (ver Anexo 3).

Además a través del esquema se detallan los elementos que lo componen y se analiza el comportamiento del funcionamiento real del sistema, reflejado en los manómetros y parámetros de control de regulación como válvulas, que contribuyen a ganar en eficiencia del funcionamiento del sistema de lubricación.

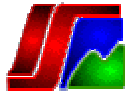
## **2.7. Determinación de los parámetros técnicos del sistema de lubricación de cárter seco.**

El propósito de la lubricación es la separación de dos superficies con deslizamiento relativo entre sí de tal manera que no se produzca daño en ellas, es decir que el rozamiento sea lo más pequeño posible. Para conseguir esto se intenta, siempre que sea posible, que haya una película de lubricante de espesor suficiente entre las dos superficies en contacto para evitar el desgaste, *Linares*, (2005).

El objetivo de la lubricación es reducir el rozamiento, el desgaste y el calentamiento de las superficies en contacto de piezas con movimiento relativo.

Teniendo en cuenta a Benlloch, (1986), durante la lubricación de los elementos de máquinas se puede distinguir diferentes regímenes de lubricación en dependencia de: la carga normal a las superficies, la velocidad de deslizamiento entre los cuerpos, la microgeometría superficial, las propiedades de los lubricantes utilizados y la forma geométrica de los cuerpos en contacto.

Existen tres tipos básicos de lubricación: la hidrodinámica, la límite y la mixta (ver Anexo 4 y 5).



*Lubricación Límite-* Se produce en los casos en que existe una película de lubricante muy delgada de lubricante que no evita el contacto entre los picos de las asperezas superficiales de los cuerpos en contacto (Zona 1) (ver Anexo 4).

*Lubricación Mixta-* La película de lubricante es de tal espesor que la carga normal a las superficies en contacto se distribuye entre las asperezas y las micro zonas de lubricación hidrodinámica (Zona 2), (ver Anexo 5)

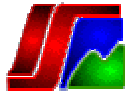
*Lubricación Hidrodinámica-* Se caracteriza por la existencia de una película de lubricante de tal espesor que evita que se produzca el contacto entre las asperezas; constituye el régimen de lubricación óptimo en los sistemas tribológicos debido al bajo valor del coeficiente de fricción y la no existencia prácticamente de desgaste (Zona 4). La zona de lubricación fluida se puede dividir en dos subzonas: lubricación elastohidrodinámica (zona 3) en uniones sometidas a grandes cargas que provocan la deformación elástica de las capas superficiales y la lubricación hidrodinámica (zona 4) característica de regímenes de cargas ligeros (ver Anexo 5)

⇒ **Determinación del espesor de película de lubricante.**

Cuando los elementos se diseñan de forma adecuada y se lubrican por medio de una película fluida, como el caso de cojinetes, engranajes, etc., las superficies lubricadas se encuentran completamente separadas por una película de lubricante. Cuando la película no es suficientemente gruesa para proporcionar una separación completa entre las asperezas existentes en la zona de contacto, la vida de los cojinetes se afecta de manera adversa por los altos esfuerzos cortantes que resultan del contacto directo entre metales.

*Películas de Lubricación*

Existen tres tipos de películas de lubricación: película completa, película elastohidrodinámica y película superficial. Estos términos se refieren al grosor de la película que en realidad refleja el grado de protección por lubricación que se tiene (factor de lubricación).



### Película Elastohidrodinámica

Esta es una película hidrodinámica, formada mediante la aplicación de una presión, para el caso en donde al aplicar una carga en un elemento giratorio, hace que este se mueva hacia una placa fija. El lubricante entonces, se ubica entre ambos elementos, el giratorio y el fijo.

Esta condición se presenta por un suministro insuficiente de lubricante y/o por la aplicación de cargas que sobrepasan la capacidad del lubricante.

### Película Completa

La Película Completa, también conocida como Película de Fluido, es el tipo ideal de película de lubricación. En ella, las partes en movimiento no se tocan, ya que se encuentran completamente separadas por una película continua de lubricante. Existen dos tipos de película completa: hidrodinámica e hidrostática.

Se tendrá el caso de una película completa de lubricación *hidrodinámica*, cuando se forma una película presurizada por la acción de un elemento giratorio, que comprime al lubricante que se aloja entre el y el componente fijo. Conforme la velocidad de rotación se incrementa, el elemento giratorio es levantado de la superficie en reposo por la película de aceite, que tendrá una forma de cuña, sin que se aprecie deformación en cualquiera de las superficies.

Se tendrá una película completa hidrostática, cuando la película de lubricación presurizada, levante y soporte a la carga, mediante el suministro de presión de una fuente externa.

El parámetro de película sirve para definir los cuatro regímenes de lubricación principales

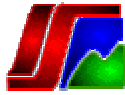
Para obtener estos valores debemos conocer primeramente algunos parámetros que nos ayudarán a determinar correctamente el espesor de la película de lubricante y su viscosidad.

Partiendo de la relación  $l/d$  (2.1)

Donde:

$l$  = longitud del cojinete de apoyo del cigüeñal

$d$  = Diámetro de apoyo del cigüeñal



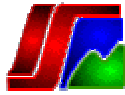
Según los criterios empleados por García, (2007), con el valor de  $l/d$ , seleccionamos el valor promedio del *huelgo relativo* ( $\psi$ ). Ambos valores, corresponden a condiciones de explotación en cojinetes cargados que trabajan a altas velocidades para motores diesel.

Tabla 2.4 Condiciones de explotación

Condiciones de explotación y tipo de máquina	$l/d$	$\psi$
Cojinetes altamente cargados que trabajan a altas velocidades. Turbinas, turbogeneradores, compresores pesados, motores diesel y máquinas herramientas de alta velocidad.	0.5 – 0.9	0.002 – 0.003
Cojinetes medio cargados, altas velocidades y régimen ligero. Motores de combustión, centrifugas, separadores, etc.	0.4 – 0.7	0.002 – 0.003
Cojinetes fuertemente cargados que trabajan con velocidad media.	0.6 – 0.8	0.0005– 0.001
Cojinetes medio cargados que trabajan con velocidad media. Compresores, bombas centrifugas.	0.7 – 1.0	0.001 – 0.002
Cojinetes alta y medianamente cargados con bajas velocidades. Grúas, transportadores, máquinas de la construcción civil, máquinas vibratorias.	0.8 – 1.2	0.002 – 0.003
Cojinetes medio y poco cargados con bajas velocidades. Grúas, transportadores, máquinas agrícolas y la construcción, etc.	0.8 – 1.2	0.003 – 0.005

Para la determinación del *huelgo u holgura radial* utilizamos la ecuación:

$$\delta = \psi \cdot r, (mm) \quad (2.2)$$



Donde:

$\delta$ : Huelgo radial

$\psi$ : Huelgo relativo

$r$ : Radio del árbol

Para la determinación del *diámetro del cojinete* utilizamos la ecuación:

$$\psi = \frac{d_e - d}{d} \quad (2.3)$$

Donde:

$\psi$  = Holgura diametral

$d$  = Diámetro de apoyo del cigüeñal

$\delta$  = Holgura radial

$d_e$  = Diámetro del cojinete

Despejando  $d_e$

$$d_e = \psi \cdot d + d, \text{ (mm)} \quad (2.4)$$

#### ⇒ **Determinación de la Velocidad de Deslizamiento**

El incremento de la velocidad de deslizamiento conlleva a un aumento de la generación de calor en la superficie de deslizamiento; el índice de desgaste aumenta.

Para determinar la *velocidad deslizamiento* ( $V$ ) partimos de la expresión matemática, empleada por Rodríguez (2007):

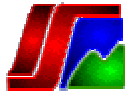
$$\psi = 0,8 \cdot 10^{-3} \sqrt{V} \quad (2.5)$$

Despejando ( $V$ )

$$\left(\sqrt{V}\right)^2 = \frac{\psi}{0,8 \cdot 10^{-3}}, \text{ (m/s)} \quad (2.6)$$

Donde:

$V$ : Velocidad de deslizamiento



Las condiciones de explotación las determinamos por la tabla 2.5:

Tabla 2.5 Condiciones de explotación.

Régimen de explotación	Presión proyectada (Mpa)	Velocidad de deslizamiento (m/s)
Ligeras	< 7	1.5÷3
Medias	7÷15	3÷7
Pesadas	>15	>7

La holgura mínima se determinó por la ecuación:

$$h_{\min H} = \delta - e$$

$$h_{\min H} = \delta(1 - \varepsilon) \quad (2.7)$$

$$h_{\min} = 0,5\psi d(1 - \varepsilon) \quad (2.8)$$

La excentricidad relativa es la relación entre la excentricidad absoluta y la holgura radial.

$$\varepsilon = \frac{e}{\delta} = \frac{2e}{\Delta} = 1 - \frac{2h_{\min H}}{\psi d} \quad (2.9)$$

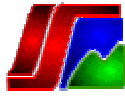
Para cojinete centrado:

$$e = 0$$

El parámetro ( $e$ ) es la distancia del árbol al centro del cojinete medida por la línea de los centros.

Se considera que la excentricidad relativa de los cojinetes de deslizamiento radial debe ser superior o igual a 0,5 para evitar que el trabajo del cojinete sea estable y no se origine el peligro de autovibraciones.

El parámetro  $h_{\min}$ , es el espesor mínimo de película entre el árbol del cigüeñal y el cojinete.



Comparando el espesor mínimo de película  $h_{\min}$  con el espesor mínimo de película permisible  $[h_{\min}]$ ; para garantizar el *régimen de lubricación hidrodinámico*, debe cumplirse que  $h_{\min} \geq [h_{\min}]$

Partiendo de la expresión:

$$[h_{\min}] = 3Ra, \quad (mm) \quad (2.10)$$

Donde:

$[h_{\min}]$ : Espesor mínimo de película admisible

$Ra$ : Rugosidad superficial del muñón o del cojinete

Con el valor de la tolerancia, dado por el catálogo, obtendremos la rugosidad superficial de  $Ra$  en la gráfica, Frómeta (1997)

#### ⇒ **Determinación de la viscosidad del lubricante.**

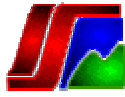
La viscosidad es una de las propiedades más importantes de un lubricante. De hecho, buena parte de los sistemas de clasificación de los aceites están basados en esta propiedad.

La viscosidad se define como la resistencia de un líquido a fluir, Benlloch (1986). Esta resistencia es provocada por las fuerzas de atracción entre las moléculas del líquido. El esfuerzo necesario para hacer fluir el líquido (esfuerzo de desplazamiento) estará en función de esta resistencia. Los fluidos con alta viscosidad ofrecen cierta resistencia a fluir, mientras que los poco viscosos lo hacen con facilidad.

La viscosidad se ve afectada por las condiciones ambientales, especialmente por la temperatura y la presión, y por la presencia de aditivos modificadores de la misma, que varían la composición y estructura del aceite.

La fricción entre moléculas genera calor; la cantidad de calor generado está en función de la viscosidad. Esto también afecta a la capacidad sellante del aceite y a su consumo.

La viscosidad también tiene que ver con la facilidad para ponerse en marcha de las máquinas, particularmente cuando operan en temperaturas bajas.



El funcionamiento óptimo de una máquina depende en buena medida del uso del aceite con la viscosidad adecuada para la temperatura ambiente.

Además es uno de los factores que afecta a la formación de la capa de lubricación.

Viscosidad dinámica o absoluta.

Los términos viscosidad absoluta y viscosidad dinámica se usan intercambiamente para distinguirla de la viscosidad cinemática o comercial. Para la determinación de la viscosidad cinemática a la temperatura de trabajo partimos de la expresión:

$$\nu_{TT} = \nu_L \cdot \frac{1}{\left(\frac{t_{tm}}{40}\right)^{2,6}}, \left(\frac{mm^2}{s}\right) \quad (2.11)$$

Donde:

$\nu_{TT}$  = Viscosidad cinemática del aceite MLC SAE 40 a la temperatura de trabajo.

$\nu_L$  = Viscosidad del aceite a 40 °C, tomada del catálogo de lubricantes Castrol.

$t_{tm}$  = Temperatura de trabajo del motor marino.

⇒ **Determinación del gasto de aceite que entrega la bomba.**

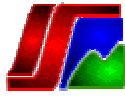
En los sistemas de lubricación se utilizan casi de forma absoluta, las bombas volumétricas rotatorias y en muy pocas ocasiones, sobre todo para muy grandes presiones y pequeños gastos, las bombas volumétricas reciprocantes.

Las bombas rotatorias volumétricas están ampliamente difundidas en la industria, el transporte, la construcción, la agricultura. Se utilizan en los sistemas de lubricación de motores, compresores, turbinas, máquinas herramientas, sistemas centralizados industriales y en las transmisiones oleohidráulica para distintas aplicaciones.

El gasto teórico que entrega cualquier bomba volumétrica está dado por la ecuación general:

$$G_t = \frac{C \cdot n}{60}, \left(\frac{m^3}{s}\right) \quad (2.12)$$





Donde:

$n$  = número de revoluciones por minuto

$C$  = Volumen entregado en una revolución (cilindrada)

$G_t$  = Gasto teórico que entrega la bomba

⇒ **Determinación de la carga térmica, gasto de agua y área de transferencia de calor en el intercambiador de coraza y tubos.**

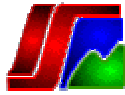
Los intercambiadores de calor de coraza y tubos en sus variados modelos de construcción, son sin duda los tipos de intercambiadores más utilizados para el calentamiento y enfriamiento de fluidos. Ellos garantizan grandes relaciones de área de transferencia de calor respecto al tamaño y peso; son relativamente sencillos de construir en un amplio rango de tamaños, pueden limpiarse de forma razonablemente fácil y sus componentes más sujetos a fallos, como tubos y juntas, pueden ser fácilmente reemplazados, García, (2007).

Los tubos son los componentes básicos, que proveen la superficie de transferencia de calor entre un fluido que fluye por dentro de los tubos y otro fluido que fluye por el exterior de los tubos. Los tubos pueden ser lisos, (para el caso nuestro), o tener aletas en la superficie exterior para aumentar la relación  $A_2/A$ .

Los tubos se mantienen en su lugar mediante el cabezal o espejo en cada extremo, (excepto el diseño en forma de U, que tiene cabezal en un solo extremo). El cabezal es un disco circular de metal que ha sido mandrinado para alojar los tubos.

Los tubos pueden ser fijados a los cabezales mediante expansionados de éstos en los agujeros, o pueden también soldarse.

La coraza es el elemento cilíndrico que rodea los tubos, por lo cual pasa el fluido del lado de la coraza. Esta comúnmente se hace mediante el rolado de una plancha de metal de dimensiones adecuadas y soldada longitudinalmente. Las corazas de pequeño diámetro, por debajo de 0,6 m se pueden hacer de un tramo de tubería cortada.



Los baffles son elementos que se incorporan dentro de la coraza de forma radial, pero sin cubrir todo el diámetro de ésta, a diferentes longitudes. Los baffles cumplen dos funciones: la primera y más importante, es la de soportar los tubos para evitar la flexión y la vibración; en segundo lugar, ellas guían el flujo desviándolo en un sentido y otro transversal a los tubos de forma tal que se produzca un mejor intercambio de calor.

En los intercambiadores de calor se distinguen dos tipos de problemas, cálculos de diseño y de comprobación, García, (2007).

El primero se lleva a cabo cuando se proyecta un equipo nuevo. El objeto de los cálculos es determinar la superficie de transmisión del calor necesario para un determinado proceso de enfriamiento o calentamiento del fluido.

Los cálculos de comprobación se realizan cuando se conoce la superficie de calefacción del intercambiador, pero es necesario hallar la cantidad de calor transferido y las temperaturas finales de los fluidos de trabajo, que es para el caso nuestro.

Los cálculos de los intercambiadores de calor consisten en hallar las soluciones simultáneas de las ecuaciones del balance del calor y transmisión del calor. Cualquier cálculo se basa en estas dos ecuaciones. Siendo iguales en esencia, las ecuaciones del balance de calor y de la transmisión del calor difieren entre sí solamente en detalles, en función del tipo de intercambiador.

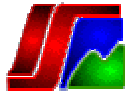
Consideraciones:

- ✓ Pérdidas de calor al medio ambiente despreciables.
- ✓ Propiedades de los fluidos constantes.

Las propiedades de los fluidos la determinamos en las tablas de los apéndice A-2.6 y A-2.7, del folleto de Sistemas de Lubricación (ver anexo 6).

Para determinar la temperatura media del agua y el aceite, usamos la ecuación:

$$t_{m_{H_2O}} = \frac{t_1 + t_2}{2}, \text{ (}^\circ\text{C)} \quad (2.13)$$



Donde:

$t_1$  = temperatura de salida

$t_2$  = temperatura de entrada

Para la determinación de la carga térmica, es decir del calor recogido por el aceite usamos la ecuación general:

$$Q = Mx \cdot Cp_x (t_1 - t_2)$$
$$Q_{ac} = Mac \cdot Cp_{ac} (t_1 - t_2), (kW) \quad (2.14)$$

Donde:

$M_{ac}$  = Masa del aceite

$C_p$  = Calor específico

Para determinar el gasto de agua partimos despejamos de la ecuación 2.14, la masa de agua.

$$M_{H_2O} = \frac{Q_{ac}}{Cp_{H_2O} (t_{2H_2O} - t_{1H_2O})}, \left( \frac{kg}{s} \right) \quad (2.15)$$

Para el área de transferencia de calor y teniendo en cuenta que es un intercambiador de flujo cruzado:

$$A = \frac{Q}{U \cdot \Delta t_{ML} \cdot \epsilon_{\Delta t}}, (m^2) \quad (2.16)$$

Donde:

$A$  = Área de transferencia de calor

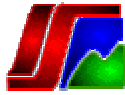
$Q$  = Carga térmica

$U$  = Coeficiente integral de transmisión, el cual se determina por la ecuación:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_0}} \quad (2.17)$$

$\Delta t_{ML}$  =Diferencia de temperatura media logarítmica y se determina:

$$\Delta t_{m_2} = \frac{\Delta t_{ac} - \Delta t_{agua}}{\ln \left( \frac{\Delta t_{ac}}{\Delta t_{agua}} \right)}, (^\circ C) \quad (2.18)$$



El número de Reynold lo determinamos por la ecuación:

$$\text{Re} = \frac{V \cdot d_t \cdot \rho}{\mu} = \frac{4M_{H_2O}}{\pi \cdot d_t \cdot \mu} \quad (2.19)$$

Donde:

$d_t$  = Diámetro del tubo

$\mu$  = Viscosidad dinámica

De la tabla A-2.8 del Anexo 7 tomamos la ecuación para determinar el coeficiente superficial de transmisión de calor, teniendo en cuenta el régimen de flujo:

$$N_u = 0,023 \cdot \text{Re}^{4/5} \cdot \text{Pr}^n \quad (2.20)$$

Para determinar el coeficiente superficial por el interior de los tubos, partimos de la expresión:

$$Nu = \frac{\alpha_t \cdot d_t}{\lambda} \quad (2.21)$$

Donde:

$\lambda$  = Conductividad térmica

Despejando  $\alpha_t$ :

$$\alpha_t = \frac{Nu \cdot \lambda}{d_t} \quad (2.22)$$

Para determinar la longitud de los tubos, partimos de la ecuación:

$$A = n_t \cdot \pi \cdot d_t \cdot L \quad (2.23)$$

Donde:

$A$  = Área de transferencia de calor

$n_t$  = Cantidad de tubos

$d_t$  = Diámetros de los tubos

En la tabla 2.6 se muestran los resultados obtenidos de los parámetros técnicos del objeto de estudio, teniendo en cuenta la metodología aplicada para el análisis de los mismos.

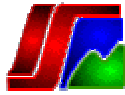
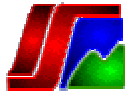


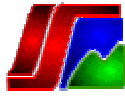
Tabla 2.6 Parámetros técnicos de trabajo determinados:

Parámetros técnicos	Resultado	U/M	Ecuación
Relación $(l/d)$	0,70		2.1
Huelgo u holgura radial $(\delta)$	0,26	mm	2.2
Diámetro del cojinete $(d_e)$	210,52	mm	2.4
Velocidad de deslizamiento $(V)$	9,77	$m^3/s$	2.6
Holgura mínima $h_{\min H}$	0,26		2.7
Espesor de la película de lubricante $(h_{\min})$	0,131	mm	2.8
Espesor mínimo de película permisible $[h_{\min}]$	0,06	mm	2.10
Viscosidad cinemática a la temperatura de trabajo $\nu_{TT}$	34,7	$mm^2/s$	2.11
Gasto de aceite que entrega la bomba $G_t$	$3,33 \times 10^{-6}$	$m^3/s$	2.12
Diferencia de temperatura media logarítmica, $\Delta TML$	8,41	K	2.18
Carga térmica del aceite, $Q_{ac}$	24,85	W	2.14
Gasto de agua, $M_{H_2O}$	0,59	$kg/s$	2.15
Número de Reynold, Re	$2,238 \cdot 10^3$		2.19
Número de Nusselt, $Nu$	19,12		2.20
Coefficiente superficial para el agua, $\alpha_t$	$1,05 \cdot 10^3$	$\frac{W}{m^2 \cdot K}$	2.22
Coefficiente superficial para el aceite, $\alpha_0$	275	$\frac{W}{m^2 \cdot K}$	2.23
Coefficiente integral de calor, $U$	217,93	$\frac{W}{m^2 \cdot K}$	2.17
Área de transferencia de calor, $A$	0,015	$m^2$	2.16



### Conclusiones del capítulo

- ✓ Se estableció la metodología de cálculo para la determinación de los parámetros técnicos del sistema objeto de estudio, estableciendo los pasos lógicos y necesarios para la determinación de estos.
- ✓ Los resultados arrojaron que el sistema trabaja en un régimen de lubricación hidrodinámico, se cumple la condición que  $h_{\min} \geq [h_{\min}]$ , este es el régimen óptimo de trabajo del sistema debido al bajo valor del coeficiente de fricción y la no existencia prácticamente de desgaste.
- ✓ Se estableció el esquema del objeto de estudio que cumple con la normativa internacional.
- ✓ Se verificaron los parámetros técnicos del intercambiador de calor lo cual arrojaron que este trabaja en un régimen turbulento pues se cumple la condición  $Re \geq 2300$



---

## CAPITULO III: IMPACTO AMBIENTAL Y VALORACION ECONÓMICA.

---

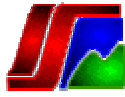
### 3.1. Impacto ambiental.

El proceso de industrialización y desarrollo ha traído una explotación indiscriminada de los recursos naturales y con ello la contaminación a niveles permisibles de los principales recursos con los cuales cuenta el hombre. Es por ello que constituye una prioridad dentro de cada empresa que se vele y se trabaje sobre la base de disminuir la contaminación que se puede producir.

Todo residuo o desecho que pueda causar daño a la salud o al medio ambiente es considerado como un residuo peligroso, fundamento por el cual los gobiernos tienen la responsabilidad de promover la adopción de medidas para reducir al máximo la generación de estos desechos, así como establecer políticas y estrategias para que su manejo y eliminación se ejecuten sin menoscabo del medio ambiente y se reduzcan sus propiedades nocivas mediante técnicas apropiadas.

Moa constituye un foco contaminante, producto de las industrias que posee, las cuales arrojan al medio ambiente gran cantidad de productos tóxicos que contaminan tanto el aire, la tierra y el agua.

En el caso específico del Puerto, se ha logrado trazar una efectiva política que permite que no ocurran agresiones al medio ambiente y en el caso que ocurran provoquen el menor daño posible. En el Puerto se almacenan gran cantidad de productos que pueden constituir focos de contaminación. Entre estos podemos mencionar el amoníaco, el azufre y el petróleo. En el caso del amoníaco es un gas tóxico, el cual puede provocar asfixia al ser inhalado. Al constituir una reserva grande puede llegar a afectar un gran porcentaje de los habitantes de la ciudad. En caso de llegar a producirse un escape se recomienda acostarse en el piso y cubrirse la cara con un pañuelo o ponerse la careta antigas. En caso de existir obras protectoras, correr de forma transversal al viento hasta llegar a ella.



En el Puerto existe una base de recepción de combustible en la cual atracan los buques. En caso de un derramamiento de combustible traería graves consecuencias para la flota y la fauna marina. Sin embargo se han tomado fuertes medidas de seguridad, además de constituir una moderna instalación, lo cual hace posible que accidentes de este tipo no ocurran.

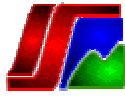
Con respecto al tema objeto de estudio, después de su uso, el aceite lubricante adquiere concentraciones elevadas de metales pesados producto principalmente del desgaste del motor o maquinaria que lubricó y por contacto con combustibles. Además, se encuentran con frecuencia solventes clorados en los aceites usados, provenientes del proceso de refinación del petróleo, principalmente por contaminación durante el uso (reacción del aceite con compuestos halogenados de los aditivos) o por la adición de estos solventes por parte del generador.

Los aceites lubricantes sufren una descomposición luego de cumplir con su ciclo de operación y por esto es necesario reemplazarlos.

En el caso específico de los lubricantes debemos plantear que este producto es usado por todos los equipos mecánicos que operan en el Puerto, por lo tanto pueden ocurrir derramamientos de este. La parte que más afectada se podría ver sería la parte marítima producto al vertimiento de combustible y lubricantes al mar, con las consecuencias que traería para el entorno. Por tanto está totalmente prohibido verter productos al mar y los buques, en caso específico de los remolcadores, poseen los requerimientos necesarios para evitar que accidentes de este tipo ocurran, sabiendo que un litro de aceite contamina 4000 m<sup>2</sup> de agua de mar y con una conciencia de lo anterior contribuimos al retraso del ambiente negativo.

Todo residuo o desecho que pueda causar daño a la salud o al medio ambiente es considerado como un residuo peligroso, fundamento por el cual los gobiernos tienen la responsabilidad de promover la adopción de medidas para reducir al máximo la generación de estos desechos, así como establecer políticas y estrategias para que su manejo y eliminación se ejecuten sin menoscabo del





medio ambiente y se reduzcan sus propiedades nocivas mediante técnicas apropiadas.

La combustión de 1 litro de aceite usado produce en promedio emisiones al aire de 800 mg de zinc y 30 mg de plomo. La combustión de los aceites usados comparados con la regeneración y la destilación genera en promedio 150 y 5 veces más contaminación respectivamente.

Los aceites usados contaminan el ambiente cuando:

1. Se descarga a un curso de agua, una gota de aceite usado puede contaminar cerca de 100 m<sup>3</sup> de agua.
2. Se realiza una quema inapropiada, el aceite tiene emisiones altamente contaminantes debido al contenido de metales pesados y la presencia de compuestos clorados y sulfurados.

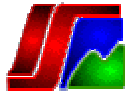
Se considera que un lubricante es ecológico, cuando el efecto negativo que puede causar sobre el medio ambiente se minimice al máximo, logrando que su vida útil se agote y se haga una correcta utilización después de desechado como lubricante.

### **3.2. Aceites lubricantes biodegradables.**

La contaminación es una de las lacras de nuestra época. A pesar de ello, su presencia cotidiana resulta irremediable. No en vano, la polución medioambiental parece haberse convertido en el peaje inevitable que toda sociedad moderna debe pagar si no quiere renunciar a sus comodidades.

Afortunadamente, nuestro planeta goza de recursos naturales capaces de sustituir algunas de las fuentes de energía más contaminantes. Recursos que tratados con la tecnología adecuada, pueden derivar en la fabricación de productos perfectamente competitivos.

A diferencia de los aceites de base mineral, los llamados "aceites ecológicos" son biodegradables. Esto significa que en un plazo máximo de 21 días, este tipo de lubricantes son capaces de degradarse en una proporción superior al 80 por ciento, lo que sin duda representa una muy buena noticia para el medio natural.

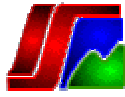


No obstante, aún existen personas que opinan que estos lubricantes no ofrecen las mismas prestaciones que los fluidos tradicionales de base mineral. Nada más lejos de la realidad. Gracias a las modernas tecnologías, hoy puede afirmarse que la calidad de los aceites ecológicos es perfectamente equiparable a la de sus predecesores en el mercado. Ya que presentan por ejemplo un bajo consumo gracias a las mínimas pérdidas por evaporación, unas mermas cuantificadas en niveles muy bajos de consumo. Por otra parte, la escasa viscosidad de este tipo de lubricantes, garantiza una rápida distribución por el motor después del encendido. Como consecuencia de ello, además de proteger contra el desgaste de los componentes, facilita el comportamiento de las válvulas. Algunos de estos aceites resultan efectivos incluso a temperaturas muy por debajo de cero grados debido a su naturaleza multigrado y pueden ser utilizados en cualquier tipo de motor, diesel o gasolina.

Una cuestión que afecta a nuestra economía: los lubricantes biodegradables también pueden contribuir a reducir el consumo de combustible de los vehículos gracias a su bajo índice de viscosidad y como es natural, esto supone un importante ahorro económico para los usuarios. Además de estas, muchas más son las razones que ayudan a pensar en estos productos como lubricantes de futuro. Una de ellas es precisamente su origen vegetal, lo que hace prácticamente inagotable la base de materia prima dada su abundancia en nuestro entorno.

### **3.3. Lubricantes vegetales**

Los lubricantes vegetales ó "verdes" como también se les conoce, son derivados de semillas vegetales sujetas a una producción agraria, lo que permite concluir que su disponibilidad en el tiempo depende de fuentes renovables e inagotables de materias primas, contrario a lo que sucede con los lubricantes derivados del petróleo, cuya existencia en el futuro es incierta y limitada. Los aceites vegetales sobre los aceites minerales tienen la ventaja de ser biodegradables y no tóxicos, así como la de tener una lubricidad mayor.



Los lubricantes vegetales se caracterizan por ser biodegradables ya que son capaces de degradarse como mínimo en un 80% en un plazo máximo de 21 días. En el caso de los aceites de tipo automotriz, el consumo de aceite vegetal por evaporación es muy bajo y apenas alcanza el 3,5%, lo cual representa una cuarta parte del límite superior estipulado por la ACEA (Asociación de Constructores Europeos de Automóviles) que es del 15%; por otra parte la baja viscosidad de estos aceites en el momento de la puesta en marcha del motor permite su rápida distribución por todas las partes internas del motor.

Los aceites vegetales más importantes representan algunas deficiencias en mayor ó menor grado relacionadas con su estabilidad a la oxidación, resistencia a bajas temperaturas y a la hidrólisis.

Las ventajas más importantes de los aceites vegetales con respecto a los minerales son:

- ✓ Son biodegradables y no tóxicos.
- ✓ Mayor lubricidad; como fluidos en sistemas hidráulicos sobrepasan las pruebas ASTM D2882 y ASTM D2271.
- ✓ Mayor Índice de Viscosidad; en algunos aceites es hasta de 223 como en el caso de los aceites de soya.
- ✓ Elevados puntos de inflamación, el cual puede ser hasta de 326°C en los aceites de soya versus 280°C en los aceites minerales.
- ✓ Proviene de recursos renovables lo que permite garantizar su disponibilidad en el tiempo.

Las desventajas más importantes de los aceites vegetales con respecto a los minerales son:

- ✓ Baja resistencia a la oxidación.
- ✓ Bajo punto de fluidez, lo que permite que se congelen a menores temperaturas de operación.

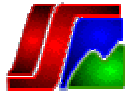


Tabla 3.1. Propiedades físicas de los aceites vegetales.

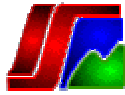
Tipo de aceite vegetal			
Propiedades físicas	Saturado	Monoinsaturado	Polinsaturado
Estabilidad a la oxidación	E	MB	D
Fluidez a bajas temperaturas	D	B	B
Estabilidad hidrolítica	M	MB	MB
Índice de Viscosidad	130	200	200

E: Excelente; MB: Muy Bueno; B: Bueno; M: Moderado; D: Deficiente

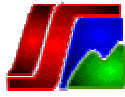
3.2. Producción mundial de aceites vegetales durante el año 2001

Tipo de aceite vegetal	Millones de toneladas métricas
Colza	4,0
Girasol	4,5
Soya	8,0
Palma	4,0
Maní	4,0
Algodón	3,0
Coco	3,0
Olivo	2,0

El uso de los aceites vegetales por parte de la industria y del sector automotriz cada vez será mayor lo que permitirá eliminar paulatinamente la utilización de los aceites derivados del petróleo. Los requerimientos de que los aceites lubricantes sean biodegradables y no tóxicos marcará la diferencia entre los vegetales y cualquier otro tipo de aceite. En la actualidad los aceites vegetales, son casi de uso exclusivo de los países desarrollados y en muy pocos casos se encuentran en el sector productivo de América Latina debido fundamentalmente a la inexistencia



ó falta de aplicabilidad de normas ambientales más exigentes que conlleven de manera obligatoria a que la industria los utilice. Para dar este paso es muy importante que el personal de mantenimiento tenga unas buenas bases en los procesos de la lubricación y de la Tribología ya que de lo contrario el programa de implementación de lubricantes vegetales puede ser un fracaso. La recomendación en este caso es que el paso a los aceites vegetales se de en el siguiente orden: minerales-sintéticos y vegetales.



### 3.4. Valoración técnico-económica.

Actualmente la Empresa Puerto de Moa está llevando a cabo estrategias para lograr más calidad en la política de mantenimiento y aumentar la vida útil de su equipamiento.

Teniendo en cuenta la situación mundial existente en el precio de un barril de petróleo y por el aumento de los precios de los productos derivados del mismo, se hace necesario buscar soluciones que ahorren lubricantes.

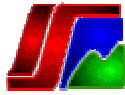
Teniendo en cuenta este trabajo la determinación de los parámetros técnicos del sistema de lubricación nos permite tener un mejor control del funcionamiento del sistema y su régimen de trabajo.

Además se debe mantener el control del mantenimiento adecuado y el cambio de aceite realizarlo por análisis de laboratorio, teniendo en cuenta los parámetros condenatorios, para evitar que se realice un cambio de lubricante estando este dentro de los valores permisibles, lo cual provocaría un gasto innecesario y pérdidas económicas

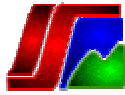
Por otra parte, si valoramos que el elemento que permite el funcionamiento de la máquina marina y de vital importancia es el motor de combustión interna y su valor económico es de 197326.50 USD y para que su funcionamiento sea óptimo depende fundamentalmente del sistema de lubricación, de la calidad y cantidad del lubricante, y este un valor de 10920.00 USD, la tabla 3.3 muestra los precios del aceite lubricante y los motores que componen el sistema y el costo total:

Tabla 3.3. Costo total del sistema de lubricación

	U/M	Cantidad	Precio USD	Importe USD
Aceite Castrol Marine MLC SAE 40	Litro	5200	2,10	10920,00
Motor marino	U	2	394653,00	394653,00
Costo total				<b>405573,00</b>



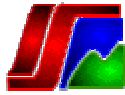
Por este concepto se ahorra a través del cambio del lubricante equivalente a la diferencia de la afectación del motor de combustión interna 10919.00 USD del costo total que representa un ahorro del 5.5% del valor total del motor de combustión interna.



### **Conclusiones del capítulo**

- ✓ Se realizan estudios de nuevos productos que sustituyan algunos de los productos contaminantes los cuales puedan ser tratados con tecnología adecuada, entre ellos se encuentran los aceites ecológicos que son biodegradables.
- ✓ Se realizó la valoración económica del trabajo valorándose los resultados económicos obteniendo un ahorro de 10919.50 USD que representa el 5.5% del valor total del motor de combustión interna.

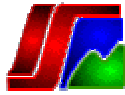




## CONCLUSIONES

---

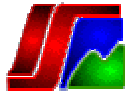
- ✓ Se estableció la metodología de cálculo de los parámetros técnicos del sistema de lubricación en máquina marina de combustión cárter seco.
- ✓ Teniendo en cuenta los resultados obtenidos y cumpliéndose que  $h_{\min} \geq [h_{\min}]$ , nuestro objeto de estudio trabaja en un régimen de lubricación hidrodinámico, el cual es el régimen óptimo de trabajo que evita el rozamiento entre las superficies en contacto, lo cual evita o disminuye el desgaste en esas zonas.
- ✓ Se verificaron los parámetros técnicos del intercambiador de calor los cuales arrojaron resultados aceptable y se obtuvo que este presenta un régimen turbulento ya que se cumple la condición que  $Re \geq 2300$ .
- ✓ El nuevo esquema de lubricación responde a las normativas internacionales y facilita la interpretación del sistema, posibilitando una mejor interpretación y análisis del funcionamiento del sistema de lubricación.



## **RECOMENDACIONES**

---

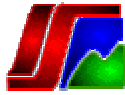
- ✓ Auxiliarse para cualquier interpretación del esquema del sistema de lubricación del motor marino de combustión interna del remolcador Coral Power, actualizado en la normativa internacional.
- ✓ Realizar los análisis de laboratorio del aceite motor en un intervalo de tres a cuatro meses, por razones de la baja calidad del combustible diesel.
- ✓ Aplicar al combustible diesel, aditivo que mejoren el porcentaje del índice de cetano del mismo, que influya en una combustión más completa, para evitar una degradación del lubricante.
- ✓ Realizar un estudio que responda al comportamiento del desgaste en el sistema, teniendo en cuenta la lubricación.



## BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

---

- I. Benlloch María, José. *“Lubricantes y lubricación aplicada”*. Ediciones Revolucionarias. Habana. 1986.
- II. Oro, Ortiz Celestino, *“Lubricantes”* Ingeniería Mecánica. Universidad de Oriente, 2006.
- III. Cojinetes de fricción, velocidad de deslizamiento <http://www.glycodur.cojinetesdefriccion.velocidaddeslizamiento> En línea. (10-05-2008)
- IV. Fernández, Jorge; Matos, Julio y Prim, Raúl, *“Sistema de Mantenimiento Preventivo Planificado”*, editorial Científico-técnica, 1983
- V. Franco Irene. Mantenimiento Predictivo. En línea. <http://www.itc.edu.co/carrera.itc/mantenimiento/lubricacion> (2-06-2008)
- VI. Frómata José Ramón, *“Manual de Metrología Dimensional”*, Departamento de Ingeniería, Empresa Mecánica del Níquel, Moa, 1997.
- VII. Oro Ortiz, Celestino y García Faure, Luis. *“Lubricación de Máquinas”*. Ingeniería Mecánica. Universidad de Oriente, 2007.
- VIII. García Faure, Luis. *“Sistemas de Lubricación”*. Ingeniería Mecánica. Universidad de Oriente, 2007
- IX. Linares Omar. *“Generalidades de la Tribología. Fundamentos de la Lubricación, Fricción y Desgaste”*, Bolivia, 2005.



- X. “Manual de Productos de Lubricantes” Cubalub, 2003.
- XI. “Manual de Productos, Castrol, 2005.
- XII. Niigata Diesel. “Manual técnico Remolcador Coral Power”, Japón, 1972.
- XIII. Ramírez, Osmay y Hernández Marta. “Comportamiento de los Aceites Lubricantes en Servicio”, Curso de Postgrado Universidad de Oriente, Castrol Cuba S.A, 1999.
- XIV. Rodríguez Gil Carlos Manuel. “Lubricantes”. Castrol Training, 2006.
- XV. Rodríguez Martínez, Calixto. –“Tribología de cojinetes de deslizamiento” (Primera Parte). Ingeniería Mecánica. Universidad de Oriente, 2007.
- XVI. Reyes Rodríguez José L., Choy Pérez Ramón, Morozov Konstantin. – Teoría de los motores de combustión interna, Ministerio de Educación Superior.
- XVII. Total S.A. Guía de lubricantes para motores, 2006.
- XVIII. <http://www.mantenimientomundial.com>
- XIX. <http://www.monografias.com>
- XX. <http://www.revistamarina.cl>
- XXI. <http://www.solomantenimiento.com>