



# **UNIVERSIDAD MODELO**

## **“PROYECTOS VI”**

**DOCENTE. ING. PECH BORGES PASCUAL GABRIEL**

**"Rehabilitación y adecuación de un motor marino para  
material didáctico"**

**Carrera Ingeniería Automotriz**

**Por:**

**Ávila Chacón Manuel Humberto**

**Cabrera Mendoza Emiliano**

**Jiménez Sánchez Yolanda Beatriz**

**Kurt Weise Díaz**

**Montañez Pérez Gabriel Alejandro**

**Poot Chan Leonardo Yael**

**Sáenz Echeverría Axel Manuel**

**Tuz Poot Juan Manuel**

## Introducción

El presente documento constituye la documentación formal del proyecto titulado “Motor Fuera de Borda”, una iniciativa diseñada para ser implementada por los alumnos de la asignatura optativa de Motores Marinos. El propósito primordial de este trabajo es servir como plataforma práctica para que los estudiantes demuestren de manera tangible el conocimiento técnico adquirido durante el curso, aplicándolo directamente en el diagnóstico y la ejecución del debido mantenimiento preventivo y correctivo de la unidad.

A través de esta intervención, se busca no solo alcanzar el objetivo técnico de lograr el arranque del motor, sino también validar las competencias mecánicas de los participantes en un entorno real. Una vez recuperada su funcionalidad, el proyecto escala hacia una segunda etapa de gran valor académico: convertirlo en un motor didáctico.

Esta transformación tiene como fin último facilitar la comprensión de los sistemas internos y procesos de combustión, funcionando como un recurso de enseñanza visual que optimice el aprendizaje de la optativa. Con ello, se busca dejar un legado técnico que beneficie tanto a la generación actual como a las posteriores, asegurando una formación más clara, dinámica y profesional en el área de motores marinos.

## Problemática

La optativa de Motores Marinos que ofrece la Universidad Modelo para la carrera de Ingeniería Automotriz representa una rama completamente única, es una oportunidad para explorar un campo laboral diferente a lo que los alumnos están acostumbrados. A pesar de las similitudes que existen de los motores marinos con los convencionales para automóviles el alumno muchas veces no tiene nociones de este ambiente, sumando que no existe un material tangible en la institución que ayude a fortalecer los conocimientos adquiridos en aula, ya que los alumnos no pueden obtener una embarcación propia con la cual experimentar, se encuentran limitados a los materiales de texto o herramientas digitales.

Existiendo así, una desconexión que genera egresados con dificultades para diagnosticar fallas en escenarios reales, lo que aumenta los costos de operación y los tiempos de inactividad en las flotas locales. Siendo que en Yucatán estas, representan un pilar fundamental en la economía por el comercio exterior, la pesca comercial y el turismo en general. A través del Puerto de Progreso, que es la principal infraestructura marítima, el estado fortalece su integración global y la generación de empleos.

## Justificación

La enseñanza de la mecánica aplicada a motores marinos no puede limitarse a una comprensión puramente abstracta o teórica. El aprendizaje profundo de esta disciplina exige una interacción directa con la maquinaria; por ello, la reparación y adecuación de este motor permite que los estudiantes desarrollen competencias tácticas y destrezas manuales que los textos y manuales no pueden ofrecer por sí solos. Al contar con un modelo didáctico físico y funcional, el alumno tiene la oportunidad crítica de visualizar y analizar en tiempo real los ciclos termodinámicos, los sistemas de enfriamiento y la transmisión de potencia. Esta experiencia garantiza un aprendizaje significativo, logrando reducir eficazmente la brecha existente entre el entorno controlado del aula y las exigencias del trabajo profesional en el sector naval.

El proyecto trasciende la técnica mecánica al integrar una valiosa lección de ética profesional: la ingeniería también consiste en la recuperación y optimización de los recursos existentes. En un mundo con recursos limitados, este proyecto fomenta el fortalecimiento de la creatividad y la innovación, obligando a los estudiantes a encontrar soluciones ingeniosas para que el motor no solo recupere su funcionalidad operativa, sino que sea adecuado estéticamente para la enseñanza de las generaciones próximas.

Finalmente, esta iniciativa se justifica como una inversión de alto impacto y bajo costo. Al rescatar equipo que se consideraba en desuso para transformarlo en un activo educativo permanente, el proyecto demuestra ser una aportación estratégica a la economía costera. Formar técnicos y profesionales mejor capacitados mediante herramientas didácticas impacta directamente en la eficiencia y sostenibilidad de las actividades marítimas de la región, asegurando un beneficio social y económico a largo plazo.

### Objetivo general

Rehabilitar y acondicionar un motor marino fuera de borda mediante procesos de diagnóstico, mantenimiento correctivo y adecuación técnica, con el fin de transformarlo en una herramienta didáctica funcional que facilite el aprendizaje práctico en el taller de ingeniería.

### Objetivos específicos

- Realizar una evaluación del estado inicial del motor para ejecutar el mantenimiento correctivo y preventivo necesario, asegurando la sustitución de piezas críticas y la recuperación de su funcionalidad.
- Diseñar y aplicar modificaciones estéticas o estructurales que sirva como base para la formación de futuros estudiantes en el taller, garantizando la transferencia de conocimiento y la facilidad del aprendizaje.
- Elaborar un banco de pruebas del motor y protocolos de encendido para verificar la estabilidad de sus sistemas, garantizando que su rendimiento sea lo más adecuado posible.
- Diseñar un plan de mantenimiento preventivo y de operación segura, para garantizar la integridad mecánica del motor y prolongar su vida útil.

## Listado de actividades

En el siguiente apartado, a manera de lista, se presentan todas las actividades a realizar que involucran al cumplimiento del proyecto establecido, describiendo brevemente cada uno de los puntos para mejor entendimiento y aclarar cualquier duda superficial que pudiera existir con alguno de los objetivos.

1.- Planeación del proyecto a realizar: Con la guía del profesor asignado, planificar el producto a realizar junto con los objetivos a cumplir.

2.- Definición del proyecto: Una vez recibida la guía y haber discutido, definir oficialmente el proyecto que se realizará.

3.- Cotización del motor marino: Cotizar por distintos medios los tipos y precios en los que se pudiera conseguir algún tipo de motor marino para su utilización en el proyecto.

4.- Obtención del motor marino: Habiendo cotizado y elegido las opciones más viables, proceder a conseguir el motor para posteriormente evaluar y comenzar a trabajar en éste.

5.- Evaluación del estado del motor marino: Con el motor conseguido, hacer una inspección exhaustiva sobre el que se consiguió el motor para determinar su estado y las futuras tareas a realizar dependiendo del resultado.

6.- Cotización de las piezas del motor marino: Determinando el estado del motor, hacer un listado y búsqueda de aquellos elementos del motor que necesitan un reemplazo, asimismo de insumos.

7.- Restauración del motor marino: Determinando su estado y actividades a realizar, empezar el proceso de restauración del motor para acondicionarlo a las medidas establecidas.

8.- Construcción del prototipo didáctico: Adecuando el motor a un funcionamiento estable, iniciar el proceso del prototipo didáctico junto con su banco

9.- Pruebas y ajustes: Durante y finalizando con la restauración del motor, verificar su funcionamiento y el óptimo estado que éste pueda adoptar como motor didáctico.

10.- Entrega final: Una vez finalizadas todas las actividades propuestas, hacer oficialmente la entrega del proyecto de la materia.

Cabe aclarar la generalización de los puntos, a través del tiempo, se realizará un informe más exhaustivo con respecto a las actividades a hacer y el cumplimiento de éstos con respecto a un esquema visual, como el siguiente diagrama de Gantt, *Tabla 1* que representa el desglose del proyecto a través del tiempo durante la materia:

A continuación, se presenta el diagrama de Gantt de actividades programadas

*Tabla 2. Diagrama de Gantt*

| Actividades                          | Semana |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|--------------------------------------|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|                                      | 1      | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| Planeación del proyecto a realizar   | ■      | ■ |   |   |   |   |   |   |   |    |    | ■  | ■  |    |    |    |    |    |    |    |
| Definición del proyecto              |        | ■ | ■ |   |   |   |   |   |   |    |    | ■  | ■  |    |    |    |    |    |    |    |
| Cotización del motor marino          |        | ■ | ■ | ■ | ■ |   |   |   |   |    |    | ■  | ■  |    |    |    |    |    |    |    |
| Obtención del M.M.                   |        |   |   | ■ | ■ | ■ |   |   |   |    |    | ■  | ■  |    |    |    |    |    |    |    |
| Evaluación del estado del motor      |        |   |   |   | ■ | ■ | ■ | ■ |   |    |    | ■  | ■  |    |    |    |    |    |    |    |
| Cotización de las piezas del M.M.    |        |   |   |   | ■ | ■ | ■ | ■ |   |    |    | ■  | ■  |    |    |    |    |    |    |    |
| Restauración del motor marino        |        |   |   |   |   |   | ■ | ■ | ■ | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  |    |    |    |    |    |
| Construcción del prototipo didáctico |        |   |   |   |   |   |   |   |   |    | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  |    |
| Pruebas y ajustes                    |        |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    | ■  | ■  |    |    |    |    | ■  | ■  |    |
| Entrega final                        |        |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    | ■  | ■  |    |    |    |    |    |    | ■  |

## Selección de equipos de trabajo

Considerando el cronograma establecido y la complejidad técnica del proceso de rehabilitación, el equipo ha definido una estructura de trabajo, con el fin de asegurar una contribución equitativa y garantizar el éxito técnico de la restauración, cada integrante desempeñará un rol específico orientado al cumplimiento satisfactorio de los objetivos.

Se presenta a continuación, la *Tabla 2*, desglose del papel que desempeñará cada integrante.

*Tabla 2. Asignación y roles de trabajo.*

| <b>Integrante</b>                                | <b>Rol de trabajo</b>                 | <b>Tareas Principales</b>                                                                                     |
|--------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Planteamiento conjunto                           | Planeación, liderazgo y documentación | Planeación y documentación del proceso, definición de metas con el docente y supervisión de la entrega final. |
| Ávila Manuel                                     | Jefe de Taller                        | Evaluación técnica exhaustiva del motor y dirección de los procesos de restauración.                          |
| Planteamiento conjunto                           | Técnicos Mecánicos                    | Ejecución del mantenimiento correctivo/preventivo y sustitución de piezas críticas.                           |
| Poot Leonardo, Tuz Juan                          | Técnico de Pruebas                    | Verificación de funcionalidad, ajustes de estabilidad y protocolos de encendido.                              |
| Echeverría Axel, Mendoza Emiliano, Poot Leonardo | Gestores de Logística                 | Cotización de motores , gestión de obtención del equipo y logística de traslado.                              |
| Ávila Manuel, Montañez Gabriel                   | Control de Insumos                    | Gestión de presupuestos para refacciones y adquisición de materiales para el banco de pruebas.                |
| Jiménez Yolanda, Tuz Juan                        | Diseño Didáctico                      | Diseño de modificaciones estéticas/estructurales para que el motor sea visualmente funcional.                 |
| Kurt Weise Díaz                                  | Documentación por fotografía          | Documentación del proceso en elementos visuales                                                               |

## Marco Teórico

### Calor

Según Termodinámica para ingenieros (2016), se define como la energía en tránsito a través de un sistema termodinámico debido a la diferencia de temperatura que existe entre un sistema y el medio que lo rodea o sus alrededores; para representarlo se utiliza la letra  $Q$ .



*Figura 1. Muestra de calor*

La transferencia de calor se puede dar por cualquiera de sus tres diferentes mecanismos: conducción, convección o radiación, o por una combinación de estos. Un ejemplo se ve en la *figura 1*. La conducción se da entre sólidos. En la convección es necesaria la intervención de un fluido, mientras que en la radiación se da por medio de ondas electromagnéticas, en las cuales la energía se puede transferir incluso en el vacío.

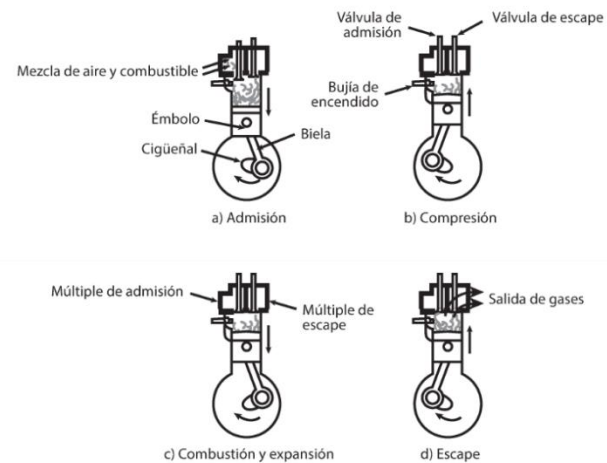
La velocidad de transferencia de calor se ve afectada por dos aspectos. Uno de ellos es el gradiente de temperatura, ya que entre más grande sea este se tendrá una tasa de transferencia mayor. El otro aspecto tiene que ver con la oposición que los cuerpos involucrados presenten al flujo de calor a través de ellos; a esta propiedad se le denomina resistencia térmica, los la tienen elevada, se les conoce como aislantes. Cuando no existe transferencia de calor entre el sistema y sus alrededores durante un proceso, se dice que este es adiabático. Por otra parte, si el proceso se da de tal manera que la temperatura del sistema permanece constante, se trata de un proceso isotérmico.

## Ciclo Otto ideal

Para Termodinámica para Ingenieros (2016) es aquel en el cual funcionan los motores de combustión interna de encendido por chispa ( $MCI_{ECH}$ ). El ciclo lo propuso el alemán Nikolaus A. Otto, quien diseñó en 1876 un ciclo de cuatro tiempos. El  $MCI_{ECH}$  representa en la actualidad uno de los inventos mas exitosos y ampliamente utilizados, ya que es el principio con el cual funcionan una gran diversidad de aparatos. En este tipo de motores la mezcla es encendida por una fuente externa, como una chispa, que en la mayoría de los casos es producida por una descarga eléctrica que se da en una bujía.

Durante un ciclo, en los motores de cuatro tiempos el embolo realiza cuatro carreras completas dentro del cilindro mientras que el cigüeñal completa únicamente dos revoluciones. Una imagen ilustrativa del principio de funcionamiento del  $MCI_{ECH}$  se muestra en la *figura 2*.

Inicialmente, la válvula de escape está cerrada y la de admisión abierta, mientras que el embolo está en el PMS. El ciclo inicia con la carrera de admisión en la cual el embolo se desplaza desde el PMS hacia el PMI aspirando la mezcla aire-combustible.

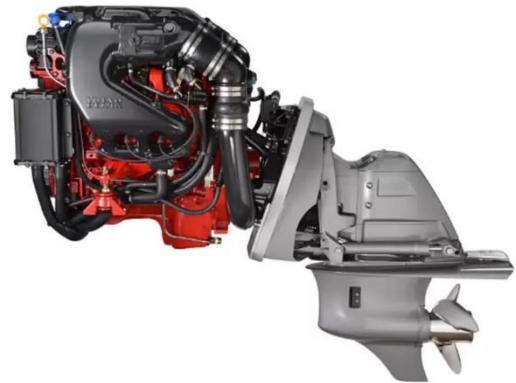


*Figura 2. Ciclo Otto ideal*

Una vez que el embolo llega al PMI, la válvula de admisión se cierra y el embolo comienza su carrera ascendente hacia el PMS o carrera de compresión, durante la cual la mezcla aire-combustible se comprime alcanzando una elevada presión.

En un punto cercano al PMS, y con las válvulas aun cerradas, se da la ignición de la mezcla por medio de una chispa o descarga eléctrica, lo que provoca que la mezcla se encienda, con lo que se logra un aumento de temperatura considerable y, por ende, un aumento de presión del gas.

Toda la energía que el gas adquiere al ser quemado provoca que el embolo, que ha alcanzado el PMS, comience una carrera desplazándose hacia el PMI, lo que se conoce como carrera de expansión; es durante este desplazamiento del embolo donde se obtiene el trabajo útil del ciclo,



*Figura 3. Motor marino a gasolina*

generándose un torque de giro en el cigüeñal. Una vez que el embolo alcanza su PMI, la válvula de escape se abre y el embolo comienza su recorrido hacia el PMS, lapso durante el cual los gases producto de la combustión son expulsados del cilindro para que, una vez limpio este último, se cierre la válvula de escape y se abra la de admisión para iniciar el ciclo una vez más. Su aspecto en un motor marino intraborda se aprecia en la *figura 3*.

#### Ciclo Diésel ideal

El ciclo Diésel es también muy usado en la industria. Sus aplicaciones son prácticamente las mismas que las de los motores de ciclo Otto, aunque se prefiere por su mayor relación de compresión, razón por la cual el tamaño del motor es más grande y sus aplicaciones se destinan a cubrir necesidades que requieren mayor potencia. Para Termodinámica para Ingenieros (2016) el motor de ciclo Diésel fue propuesto por Rudolf Diésel en la década de 1890.

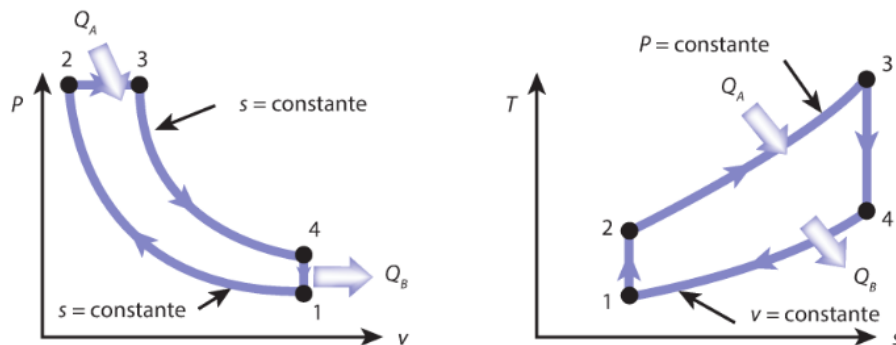
A diferencia del ciclo Otto, en el ciclo Diésel el suministro de calor se considera un proceso a presión constante. El proceso de combustión de la mezcla aire-combustible se da debido a que se presenta una combustión espontánea ocasionada por la alta temperatura que resulta de someter la mezcla a una presión elevada. Por esta razón, al motor de ciclo Diésel se le define como un motor de encendido por compresión y no necesita bujías. El proceso de encendido es ampliado debido a que la combustión se da durante la inyección del combustible dentro del cilindro, y el combustible continúa quemándose conforme el embolo se aleja del PMS. Un modelo de motor marino Diesel se aprecia en la *figura 4*. Este proceso es reversible a presión constante.



*Figura 4. Motor marino a diésel*

Los diagramas del ciclo Diésel en coordenadas  $P - v$  y  $T - s$  se muestran en la *figura 5*. El comportamiento térmico del ciclo Diésel puede medirse con la eficiencia, la cual se estima por la siguiente relación:

$$\eta_{tDiesel} = \frac{W_{neto}}{Q_A} = 1 - \frac{Q_B}{Q_A}$$

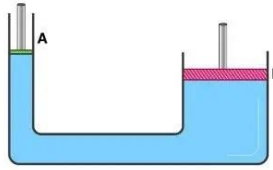


*Figura 5. Diagrama del ciclo Diesel ideal*

## Ley de Pascal

Para Mecánica de Fluidos (2018) la Ley de Pascal nos dice que toda presión ejercida en un punto de una masa fluida e incompresible en equilibrio dentro de un recipiente de paredes indeformables se transmitirá en todas las direcciones de dicha masa, conservando su magnitud. Un ejemplo se muestra en la *figura 6*.

**Pascal's Law**

$$P_1 = P_2$$
$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$


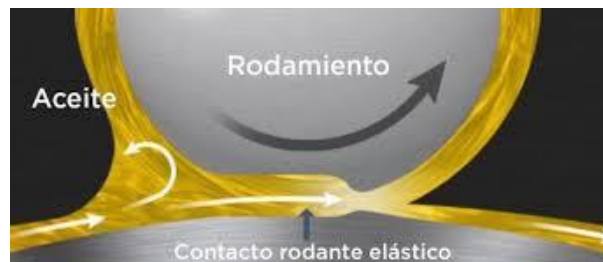
*Figura 6. Formula de Ley de Pascal*

## Lubricantes

Para Motores (2011) es cualquier compuesto sólido, líquido o gaseoso que se interpone entre dos superficies en movimiento relativo, con el fin de evitar su contacto y reducir la fricción. Para la lubricación del motor se suelen utilizar lubricantes líquidos o aceites con una cierta viscosidad. El aceite crea una película entre las superficies; que se explica en la *figura 7*. para ello debe tener viscosidad suficiente. El espesor de esta debe ser superior a la suma de alturas de las rugosidades superficiales de las piezas que se lubrican.

Para:

- Evitar el contacto entre las piezas a lubricar, reduciendo al máximo su rozamiento y alargando la vida de las piezas.
- Ayudar a rebajar la temperatura de las piezas lubricadas.
- Proteger químicamente las superficies metálicas de la oxidación.



*Figura 7. Película de aceite*

- Limpiar y arrastrar contaminantes.
- Ayudar a sellar entre pistón, segmentos y cilindro.
- Amortiguar ruidos del motor.

#### Características de un lubricante

Siguiendo a Motor(2011) un lubricante de calidad debe tener:

- Viscosidad: Resistencia de las moléculas de un fluido a ser desplazadas. Cuanto más viscoso mayor dificultad a la hora de fluir.
- Densidad: Masa que tiene el aceite por unidad de volumen.
- Untuosidad: Propiedad de adherirse a lo que lubrican.
- Acidez: El pH es la concentración de hidrógenos que tiene una sustancia. A mayor número de hidrógenos mayor acidez y viceversa.
- Punto de inflamación: Temperatura a la desprende vapores inflamables al entrar en contacto con una llama.
- Volatilidad: Porcentaje de peso que pierde un aceite al calentarlo a 250° C, durante una hora, prueba Noack.
- Detergencia: Capacidad para prevenir la formación de barnices y carbonilla durante el funcionamiento del motor.
- Dispersión: Capacidad de movilizar las partículas que se han limpiado gracias a su detergencia, evitando que se acumulen y lleguen a taponar el circuito de engrase.
- Capacidad antiespumante: Capacidad para evitar la formación de espumas.

## Evolución histórica de la propulsión marina

Tal como describe Nutshell (2025) la historia empieza con:

### 1. Era de la Energía Natural (Antigüedad - Siglo XIX)

**Propulsión Humana (Remos):** 3500 a.C. Basado en la fuerza metabólica y el principio de palanca. Ofrecía gran maniobrabilidad para combate, pero baja autonomía y requerimiento de grandes tripulaciones.

**Propulsión Eólica (Velas):** 3000 a.C. Utiliza la sustentación aerodinámica para generar empuje y depende totalmente del clima, lo que impedía horarios regulares.

### 2. La Revolución del Vapor (Siglos XIX - XX)

**Ruedas de Paletas:** Los primeros buques mecánicos (1807) usaban máquinas de vapor alternativas para mover ruedas laterales. Eficaces en ríos, pero ineficientes en mar abierto por el oleaje.

**Hélice Sumergida:** (1830-1840) Sustituyó a las paletas por su superioridad hidrodinámica. Permitió el desarrollo de motores de expansión múltiple, mejorando drásticamente el consumo de carbón y la autonomía.

**Turbinas de Vapor:** (1884) Charles Parsons eliminó el movimiento alternativo de los pistones. La expansión del vapor mueve directamente álabes rotatorios, logrando alta velocidad, menos vibración y gran potencia. Ejemplo de su avance se muestra en la *figura*

8.



*Figura 8. Barco de Vapor*

De acuerdo con los datos publicados en Business History (2024) los avances continuaron con:

### 3. Dominio del Motor de Combustión y Electricidad (Siglo XX)

**Motor Diésel:** 1912 . Es el sistema dominante hoy por su altísima eficiencia térmica (más del 50%) y capacidad de usar combustibles pesados con gran torque.

**Diésel-Eléctrica:** Los motores diésel generan electricidad para mover motores eléctricos. Optimiza el consumo y es clave en buques que requieren maniobra precisa.

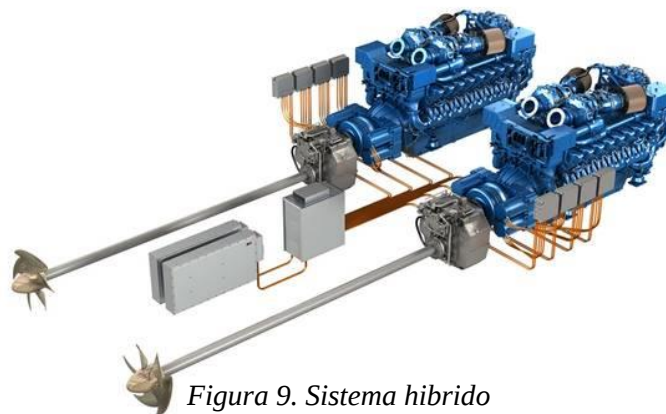
**Pods Azimutales:** Góndolas externas que giran 360°, eliminando la necesidad de timón y revolucionando la maniobrabilidad moderna.

**Propulsión Nuclear:** Utiliza reactores de fisión para generar calor y vapor. Ofrece autonomía de años sin repostar, pero se limita a usos militares y rompehielos por costo y riesgo.

### 4. Transición Energética y Futuro (Siglo XXI)

**GNL (Gas Natural Licuado):** Reduce drásticamente emisiones de azufre y nitrógeno. Se almacena a  $-162^{\circ}\text{C}$  y se usa en motores "dual-fuel".

**Sistemas Híbridos e Hidrógeno:** Uso de baterías para puerto y celdas de combustible como se muestra en la *figura 9* que solo emiten agua. Se investigan nuevos portadores como el amoníaco para lograr la descarbonización total.



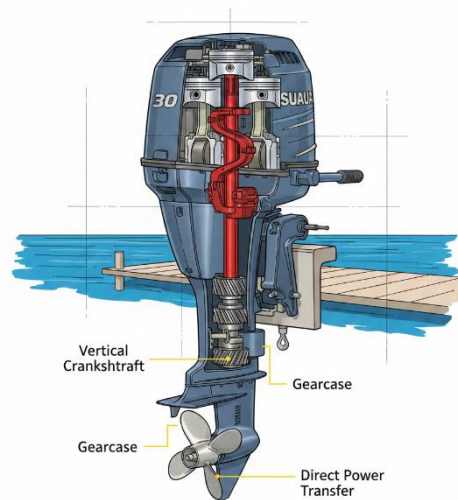
*Figura 9. Sistema híbrido*

## Particularidades de los motores marinos

De acuerdo con Taylor (2019) aunque los motores marinos comparten principios fundamentales con los motores automotrices, presentan características específicas relacionadas con su entorno de operación. Estos deben resistir condiciones de alta humedad, exposición constante al agua salina y variaciones de carga prolongadas.

En palabras de Heywood (2018) una diferencia técnica importante radica en el sistema de enfriamiento. Mientras que los motores automotrices utilizan un sistema cerrado con radiador, muchos motores marinos emplean enfriamiento por agua directa, utilizando el agua del entorno para disipar calor.

Asimismo, los motores marinos suelen operar a regímenes constantes durante largos periodos, lo que exige estabilidad térmica y lubricación eficiente. Los motores fuera de borda presentan una disposición vertical del cigüeñal para facilitar la transferencia de potencia directa hacia la unidad inferior. Como se explica en la *figura 10*.

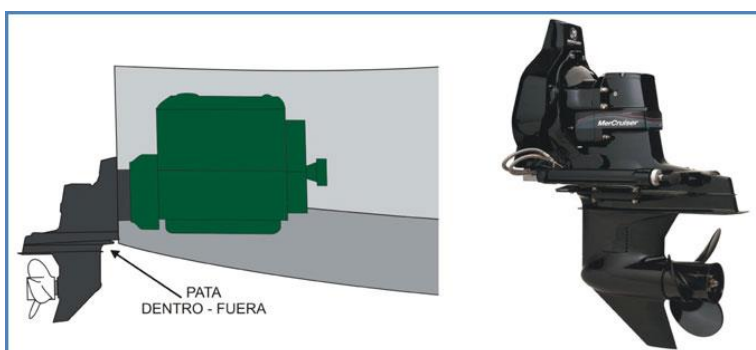


*Figura 10. Diagrama de componentes internos*

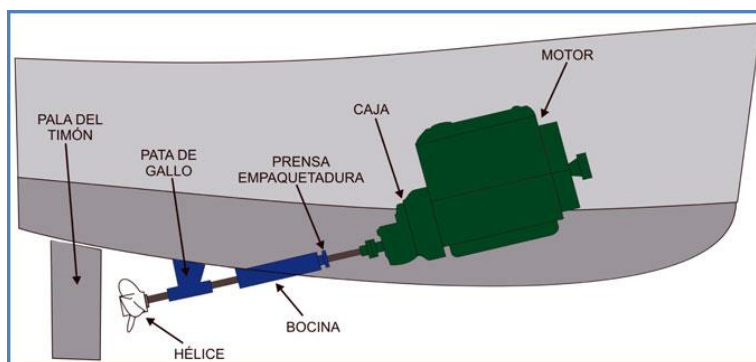
Mientras que para los intra borda, según lo descrito en los manuales técnicos de ingeniería naval de autores como Jean-Luc Pallas (2005), este sistema transfiere el par motor hacia una caja de engranajes o inversor que permite gestionar el sentido de la marcha y la reducción de revoluciones.

Desde este punto, el movimiento se transmite a través de un eje de propulsión sólido fabricado comúnmente en acero inoxidable, el cual atraviesa el casco mediante un componente sellado denominado bocina o prensaestopas, cuya función es permitir la rotación del eje mientras impide la entrada de agua al interior de la nave.

La configuración intraborda requiere una alineación precisa entre el cigüeñal, la transmisión y el eje de la hélice para evitar vibraciones estructurales que podrían comprometer la integridad del casco. En este proceso, el movimiento rotativo final se entrega a una hélice sumergida que se encuentra fijada al extremo exterior del eje, a menudo apoyada por un soporte o arbotante en embarcaciones de mayor calado. Como se observa en las *figuras 11 y 12*.



*Figura 11. Transmisión con hélice y pala juntas*



*Figura 12. Transmisión con hélice y pala separada*

Continuando con Heywood, (2018) menciona que, en lugar de una caja de cambios compleja con múltiples marchas, el motor marino utiliza un sistema de engranajes de avance, neutro y reversa, optimizado para transmitir el torque directamente a una hélice sumergida.

Los motores marinos utilizan aleaciones de aluminio especiales y recubrimientos de pintura con alta resistencia química. Estos motores integran ánodos (generalmente de zinc o magnesio) diseñados para corroerse deliberadamente y proteger, mediante electrólisis, las partes internas vitales del motor. En un motor fuera de borda, el escape suele ser enfriado por agua y expulsado a través del núcleo de la hélice, lo que ayuda a reducir el ruido y la temperatura de los componentes internos de manera inmediata.

#### Motor fuera de borda: estructura y funcionamiento

Tal como afirma Taylor (2019) es una unidad compacta un solo conjunto montado externamente en la embarcación . Su diseño modular facilita el desmontaje, mantenimiento y sustitución. Se explican sus partes en la *figura 13*. y sus principales componentes son:

- Bloque del motor
- Sistema de alimentación (carburado o inyección)
- Sistema de encendido
- Sistema de enfriamiento
- Eje de transmisión
- Unidad inferior y hélice



Figura 13. Partes externas de un fuera de borda <sup>19</sup>

De acuerdo con Pulkrabek (2014), el diagnóstico adecuado de un motor requiere comprender la interacción dinámica entre estos sistemas, ya que una falla en uno de ellos puede afectar el rendimiento global del equipo. La rehabilitación del motor exige evaluar:

- Compresión de cilindros
- Estado del sistema de encendido
- Integridad del sistema de enfriamiento
- Condiciones del sistema de lubricación
- Desgaste de componentes móviles

#### Mantenimiento preventivo y correctivo en motores marinos

Como bien señala Mobley (2002) el mantenimiento preventivo se define como el conjunto de acciones programadas destinadas a conservar el funcionamiento óptimo del equipo y prevenir fallas futuras. En motores marinos, este mantenimiento incluye:

- Cambio periódico de aceite
- Inspección de bujías
- Limpieza del sistema de enfriamiento
- Revisión de la bomba de agua
- Sustitución de ánodos de sacrificio

Por otro lado, el mantenimiento correctivo implica la intervención directa una vez detectada una falla, incluyendo la reparación o sustitución de componentes dañados. Para The International Institute of Marine Surveying (2022) la aplicación adecuada de ambos tipos de mantenimiento no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también prolonga la vida útil del motor y reduce costos asociados a fallas mayores. El estándar periódico de los mantenimientos se muestra en la *tabla 3*.

## Mantenimiento Preventivo

- Sistema de Refrigeración por Agua Salada: Se debe revisar y sustituir el rodete (impeller) de la bomba de agua cruda cada 200 horas o anualmente. Además, se deben limpiar los intercambiadores de calor para eliminar incrustaciones de sal y calcio.
- Gestión de Combustible y Filtrado: Drenaje de los filtros separadores de agua mensualmente y el cambio de filtros primarios y secundarios según las horas de uso.
- Alineación del Tren de Propulsión: En motores intraborda, es vital verificar la alineación entre el motor y el eje de la hélice. Una desalineación de apenas unos milímetros puede destruir los cojinetes de soporte, los prensaestopas y causar vibraciones que dañan la transmisión.

## Mantenimiento de Protección Electroquímica

- Protección Catódica Avanzada: Tienen ánodos internos (tapones de zinc) dentro del bloque del motor y del intercambiador de calor. Estos deben inspeccionarse cada 6 meses.
- Verificación de Corrientes Galvánicas: Medir con un multímetro si existen fugas eléctricas en el sistema de tierra del barco

## Mantenimiento de la Transmisión y Unidad Inferior

- Cambio de Aceite de Transmisión (Cola/Inversor): Debe revisarse para detectar un aspecto "lechoso", lo cual indica entrada de agua por un sello dañado. En motores fuera de borda, se debe cambiar el aceite de la unidad inferior cada temporada para asegurar la lubricación de los engranajes cónicos.

- Mantenimiento de la Hélice: Retirar la hélice para engrasar el eje con grasa náutica de alta resistencia. Esto evita que la hélice se "suelde" al eje por electrólisis, lo que haría imposible su desmontaje en caso de emergencia.

A continuación, se muestra una tabla con el estándar periódico de los mantenimientos.

*Tabla 3. Ciclos de Mantenimiento Estándar*

| Frecuencia        | Tarea Principal                                                                  |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| Cada salida       | Revisar niveles de aceite, refrigerante y verificar flujo de agua por el escape. |
| 50 - 100 Horas    | Cambio de aceite de motor y filtro (primer servicio en motores nuevos).          |
| 200 Horas / Anual | Cambio de rodete de bomba, filtros de combustible y revisión de ánodos.          |
| 500 Horas         | Ajuste de válvulas, revisión de inyectores y limpieza de intercambiador.         |

## Tipos de fallas en Motores Marinos

A continuación, se detallan los fallos más frecuentes según expertos de Sea Start (2024):

### 1. Problemas de Combustible (Falta de Suministro)

El uso de biodiésel ha incrementado los bloqueos debido al "virus del diésel", un organismo que crece en la unión entre el agua y el combustible en el tanque. Se recomienda el uso de aditivos insecticidas de forma rutinaria para eliminar estos organismos. Limpiar el tanque de combustible periódicamente y uso de bombas para extraer el agua acumulada por condensación. Instalar sistemas de doble filtro para poder alternar entre ellos en caso de obstrucción y llevar siempre repuestos.

### 2. Sobre calentamiento

Suele ser causado por filtros de agua salada obstruidos o fallos en el impulsor de goma. Se debe revisar y limpiar regularmente el filtro de agua cruda; una tapa transparente facilita detectar si hay flujo. Reemplazar el impulsor anualmente para evitar que las aspas se agrieten por inactividad e instalación de una alarma de escape para detectar el aumento de temperatura antes de que ocurran daños graves.

### 3. Fallas Eléctricas

La humedad y el aire salino son corrosivos para los circuitos. Muchos problemas surgen por baterías viejas o instalaciones complejas mal gestionadas. Se necesita reemplazar las baterías cada 3 a 5 años o si desconoce su historial de uso. Mantener el cableado lo más simple posible e identifique cada circuito con etiquetas o fundas de colores para facilitar reparaciones, al igual que, los contactos limpios y usar protectores de humedad con moderación.

#### 4. Correas Sueltas o Dañadas

Aunque son menos comunes hoy, una correa rota detiene el funcionamiento de bombas de agua y alternadores. Se aconseja llevar siempre correas de repuesto específicas para su modelo de motor, asegurando que el perfil sea el correcto para evitar deslizamientos. Eliminar el óxido de las poleas, ya que las superficies rugosas desgastan prematuramente la goma. Verificar y ajustar la tensión periódicamente.

#### 5. Corrosión y Acción Galvánica

La proximidad al agua salada y la conexión constante a tierra en puertos deportivos aceleran el deterioro de metales y componentes eléctricos.

Se necesita revisar y cambiar los ánodos de sacrificio anualmente para proteger la hélice y otras partes metálicas bajo el agua. Limpiar la corrosión visible con papel de lija y retoque con pintura o imprimación metálica. Lubricar las piezas móviles con productos recomendados por el fabricante que no reaccionen negativamente con el agua salada.

#### Causas de fallas en Motores Marinos

Para seguir con la información de fallas comunes, los ingenieros navales de Marine Insigh (2023) exponen lo siguiente:

##### 1. Fallas en el Sistema de Combustible

- Obstrucción de filtros: Microorganismos o suciedad bloquea el flujo.
- Aire en el sistema: Una pequeña fuga en las líneas de succión permite la entrada de aire, causando que el motor se apague o no arranque.
- Falla de inyectores: El desgaste o la carbonización afectan la atomización, provocando pérdida de potencia y humo negro.

## 2. Fallas en el Sistema de Refrigeración

- Incrustaciones y depósitos: La sal y los minerales se acumulan en las camisas de enfriamiento y los intercambiadores de calor, reduciendo la eficiencia térmica.
- Falla de la bomba de agua cruda: El impulsor (impeller) de goma suele romperse por trabajar en seco o por desgaste natural.
- Corrosión galvánica: Si los ánodos de sacrificio (zinc) no se cambian, el agua de mar "devora" las partes metálicas internas del motor.

## 3. Fallas Mecánicas y de Lubricación

- Contaminación del aceite: La entrada de agua (por una junta de culata dañada) o combustible al cárter reduce la viscosidad y capacidad de lubricación.
- Desgaste de cojinetes: Una lubricación deficiente provoca el rayado de cigüeñales y cojinetes de biela.
- Agarrotamiento de pistones: Generalmente causado por un sobrecalentamiento extremo.

## 4. Fallas Eléctricas y Electrónicas

- Sulfatación de conexiones
- Falla de baterías

## Sistemas de refrigeración

El sistema de refrigeración para un motor marino es de suma importancia ya que este ayudará a mantener el motor a una temperatura óptima de funcionamiento y eficiencia por lo mismo el hecho del mantenimiento y la comprensión de este sistema es de vital importancia para la larga vida útil de la unidad.

## Sistemas para intraborda.

### Sistema de refrigeración por agua

Según Motorborda (2011) “El agua del mar es bombeada a través del motor, absorbiendo el calor y luego expulsada. Es un sistema sencillo y económico, pero susceptible a la formación de óxido y corrosión” lo cual es un sistema muy utilizado por ser el más económico en base a instalación, se observa en la *figura 14*, pero en cuanto a mantenimiento sería uno muy costo, ya que es tardado el proceso de tener que limpiar todas las líneas en caso de obstrucción por salinidad y sarro, así mismo, se pueden llegar a picar las líneas por el contacto con el agua de mar, es muy ocupado para motos acuáticas.

## Componentes

- Circuito de Admisión: Comienza con la toma de agua salada y el filtro de agua salada, encargados de captar y limpiar el fluido externo.
- Gestión del Flujo: La bomba de agua impulsa el líquido a través del radiador (o intercambiador de calor), donde se produce la transferencia térmica.
- Regulación y Mantenimiento: El sistema incluye un vaso de expansión para absorber las variaciones de presión, además de un punto de drenaje para labores de servicio.

- Finalmente, el ciclo se completa con el colector de escape y el cuello de cisne, este último vital

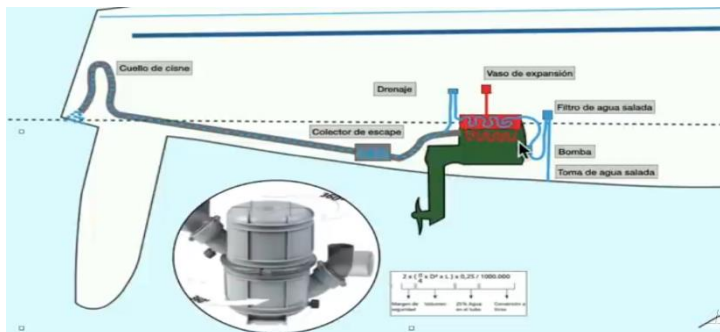


Figura 14. Sistema de refrigeración por agua

para evitar el retorno de agua al motor.

Bajo la perspectiva del Instituto Superior de Navegación Darío Fernández (2024) este sistema representa la opción más eficiente y segura para la gestión térmica, ya que su uso de aditivos especializados previene fallos críticos, tales como la perforación de líneas por corrosión o la obstrucción de los conductos debido a la acumulación de sarro.

## Captación y Filtrado de Agua

El ciclo inicia en la toma de agua, donde el fluido es capturado mediante la fuerza de succión generada por la bomba de agua. Posteriormente, el líquido atraviesa un filtro de agua salada, cuya función es minimizar la entrada de sedimentos y reducir el impacto de la salinidad. Este proceso es vital para evitar el desgaste prematuro de los componentes internos y prevenir obstrucciones en el circuito.

## Intercambiador de Calor y Vaso de Expansión

El núcleo del sistema reside en el intercambiador de calor (o convertidor). Aunque visualmente pueda parecer un bloque sólido, su estructura interna cuenta con un diseño de conductos serpenteados con una separación mínima de 1mm. Esta configuración maximiza la superficie de contacto para optimizar la transferencia de calor desde el motor hacia el líquido refrigerante. Complementariamente, el vaso de expansión permite la gestión de presiones y la dosificación de aditivos anticorrosivos. Estas sustancias no solo mejoran la capacidad de absorción térmica del fluido, sino que también mantienen las tuberías libres de incrustaciones.

## Colector de Escape y Prevención de Inundación

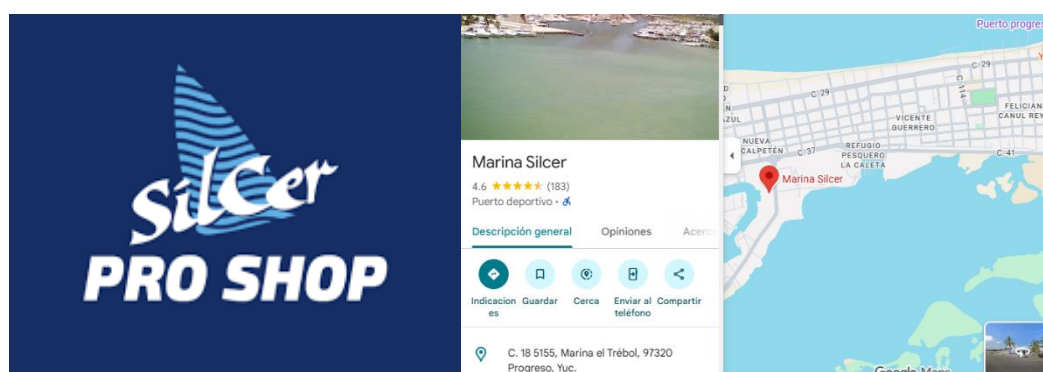
Tras absorber el calor, el líquido se dirige hacia el colector de escape. Este componente cumple una función de seguridad crítica: su diseño volumétrico está calculado para evitar que el agua retroceda hacia la cámara de combustión. El volumen total acumulado en el cuello de cisne y la tubería de escape nunca debe exceder la capacidad del colector. De lo contrario, el agua podría alcanzar las válvulas de escape, provocando la inundación del motor y daños irreversibles.

## Importancia del Cuello de Cisne y la Línea de Flotación

Según la Escuela Náutica Navarra (2023) el cuello de cisne posee una geometría diseñada en función de la línea de flotación de la embarcación. Es imperativo que tanto este componente como los puntos de inyección de agua se instalen a una altura superior a dicha línea. Esta disposición evita que, por efecto de los vasos comunicantes o el nivel del mar, el agua ingrese de forma pasiva al sistema de escape y, eventualmente, al motor.

## Desarrollo de Proyecto

Para formalizar el inicio de las etapas de desarrollo del proyecto, el equipo de trabajo junto con el apoyo de docentes, gestionó un enlace institucional con la empresa Marina Silcer Pro Shop, ubicada en el puerto de Progreso, Yucatán. Su logo y dirección se reflejan en la *figura 15*. Esta organización se distingue en el sector naval por su especialización en la comercialización, servicios de mantenimiento técnico y soporte integral para embarcaciones de recreo y equipos marinos de alto desempeño.



*Figura 15. Ubicación de Marina Silcer*

Como resultado de esta colaboración, la empresa accedió a facilitar un motor Mercury de 90 HP y 4 cilindros, el cual ha permanecido en desuso durante los últimos tres años, su estado se muestra en la *figura 16*. Esta unidad mecánica constituye el elemento central sobre el cual se ejecutarán los procesos de diagnóstico, adecuación y restauración técnica, el cual, al concluir el proyecto, permanecerá bajo resguardo de la Universidad Modelo por un periodo de tres años, consolidándose como una herramienta de aprendizaje práctico para las nuevas generaciones de estudiantes.



*Figura 16. Estado del motor Mercury 90hp*

En contraprestación por la cesión del equipo, el equipo de ingeniería asumió el compromiso de diseñar y construir una base de soporte estructural adaptada específicamente a las dimensiones y requerimientos del motor. Asimismo, el acuerdo incluye el patrocinio oficial de Marina Silcer Pro Shop en toda la documentación técnica y actividades de difusión relacionadas con el proyecto, fortaleciendo así el vínculo entre la formación académica y la industria naval regional.

Una vez realizado el traslado al taller de diseño automotriz de la universidad, se establecieron horarios específicos de trabajo vinculados a las asignaturas de Motores Marinos y Proyectos. Bajo esta estructura académica, se determinó como prioridad inmediata el inicio del proceso de diseño y construcción de la base de soporte.

Para el desarrollo de la estructura, se tomó como referencia técnica una base diseñada por una generación previa (G12) de la misma asignatura, reflejada en la *figura 17*; sin embargo, debido a que dicho antecedente fue proyectado para un motor de menores dimensiones, el equipo procedió a realizar las adecuaciones necesarias. El nuevo diseño debe garantizar la integridad estructural para soportar un peso operativo de más de 180 kg, además de proporcionar una elevación ergonómica que permita trabajar con comodidad en los componentes internos. Esta altura es crítica no solo para las fases de restauración, sino también para asegurar la seguridad durante la puesta en marcha final, permitiendo observar libremente el funcionamiento de la hélice.



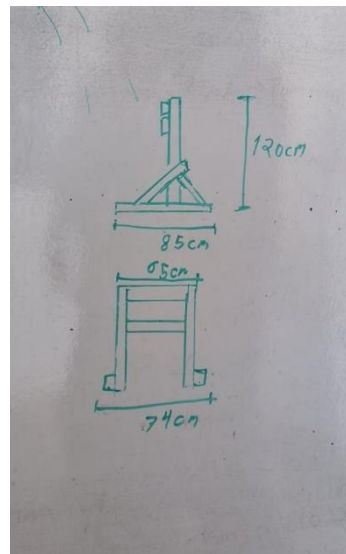
*Figura 17. Base de motor de G12*

Para la fabricación de este soporte de alta resistencia, se seleccionaron materiales que cumplen con los estándares para el pesaje del motor. La lista de materiales incluye un perfil tubular cuadrado (PTR) de 2x2 pulgadas, calibre 11, con una longitud de 6 metros, el cual constituye el armazón principal, cuatro placas de solera de 3/16 de pulgada de 20x20 centímetros, destinadas a los puntos de anclaje y refuerzo estructural, y tres tornillos de grado que irán en el volante de inercia del motor para poder levantarlo con una pluma y colocarlo en su base.

Con el material listo se empezó a tomar medidas como se aprecia en la figura 18, para detallar un boceto mostrado en la *figura 19*, una vez especificadas se realizaron los cortes pertinentes en el material como se muestra en las figuras 20 y 21.



*Figura 18. Medidas de base G12*



*Figura 19. Boceto de base G13*



*Figura 20. Proceso de corte*



*Figura 21. Resultado de cortes*

Una vez finalizada la etapa de dimensionamiento y corte de los perfiles, el proyecto avanzará hacia la fase de unión y ensamblaje estructural. Debido a la proximidad del periodo vacacional, se determinó el traslado del material al taller de uno de los integrantes del equipo, ubicado en Hopelchén, Campeche.

En dicho taller se llevarán a cabo los trabajos de soldadura necesarios, así esta estrategia de trabajo externo permitirá que, al retomar las actividades académicas, la base se encuentre totalmente finalizada y lista para proceder con el montaje inmediato de la unidad.

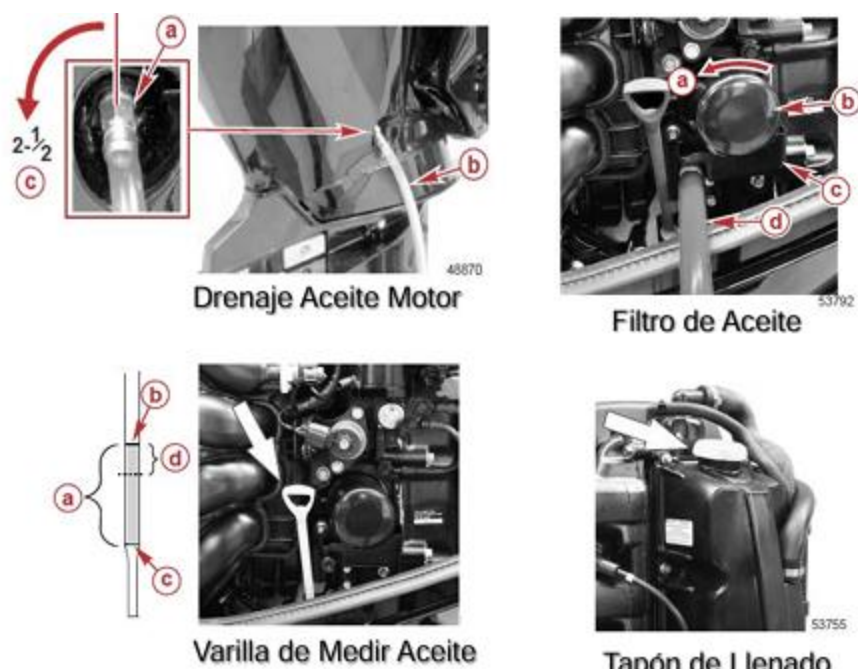
Una vez planteadas las gestiones logísticas y de fabricación de la base, el equipo ha iniciado una investigación exhaustiva sobre las especificaciones técnicas del motor Mercury. El equipo mantiene como meta la adquisición del libro de taller original, con el propósito de que este sirva como objeto de estudio y referencia técnica para futuras consultas. Hasta el momento, el proceso de recopilación de datos ha permitido obtener la siguiente información técnica apreciada en la *tabla 4* para la etapa de restauración:

Tabla 4. Especificaciones técnicas de Motor Mercury 90hp 2008

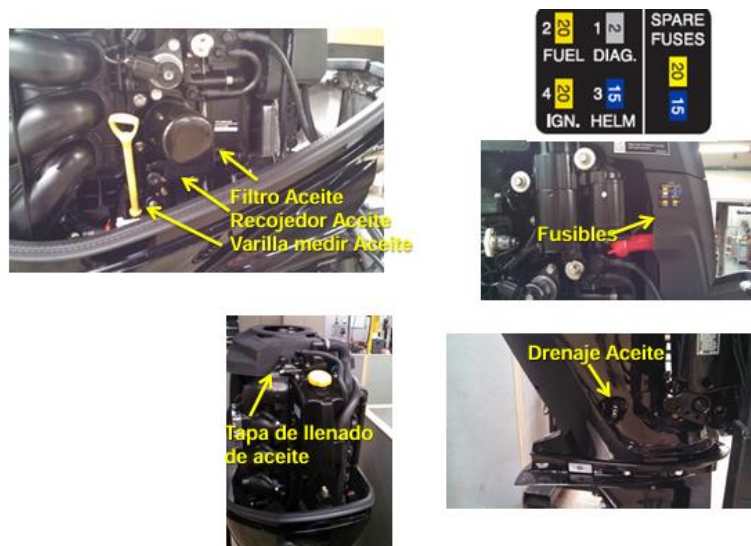
| Parámetro                   | Detalle Técnico                                      |
|-----------------------------|------------------------------------------------------|
| Potencia (CV)               | 90                                                   |
| RPM Máximas                 | 5000 - 6000                                          |
| Configuración de Cilindros  | 4 (en línea)                                         |
| Cilindrada                  | 1,732 cc                                             |
| Diámetro x Carrera (mm)     | 3.23 x 3.23                                          |
| Sistema de Refrigeración    | Por agua, con control termostático                   |
| Sistema de Encendido        | Inductivo, bobina en bujía                           |
| Arranque                    | Eléctrico (Turn Key)                                 |
| Relación de Engranajes      | 2.33:1                                               |
| Cambios y Dirección         | Control a distancia                                  |
| Sistema Alternador (Amp.)   | 50 A                                                 |
| Sistema Alternador (Vatios) | 630 W                                                |
| Posiciones de Regulación    | Power Trim                                           |
| Sistema de Escape           | A través de la hélice                                |
| Sistema de Lubricación      | Cárter húmedo                                        |
| Aceite Recomendado          | QUICKSILVER para fuerabordas de 4 Tiempos            |
| Sistema de Admisión         | Control electrónico (EFI), inyectores sobre colector |
| Altura del Eje (mm)         | 508                                                  |
| Peso en Seco (kg)           | 181                                                  |
| Sistema de Alarma           | SmartCraft Engine Guardian                           |
| Tecnología de Diagnóstico   | Compatible con SmartCraft                            |
| Hélices                     | Según especificación de repuestos originales         |

Se consiguió un manual de mantenimiento con diversos modelos de la marca Mercury en el que encuentra dentro del rango el 90hp, por lo que tienen muchas similitudes, que, aunque no muestra los diagramas de los sistemas de manera detallada, si le da al equipo una gran ayuda en el estudio de la localización de los componentes. Se reflejan en las *figuras 22, 23, 24 y 25*.

Mantenimiento.



*Figura 22. Componentes para cambio de aceite y filtro*



*Figura 23. Componentes para cambio de aceite y filtro*

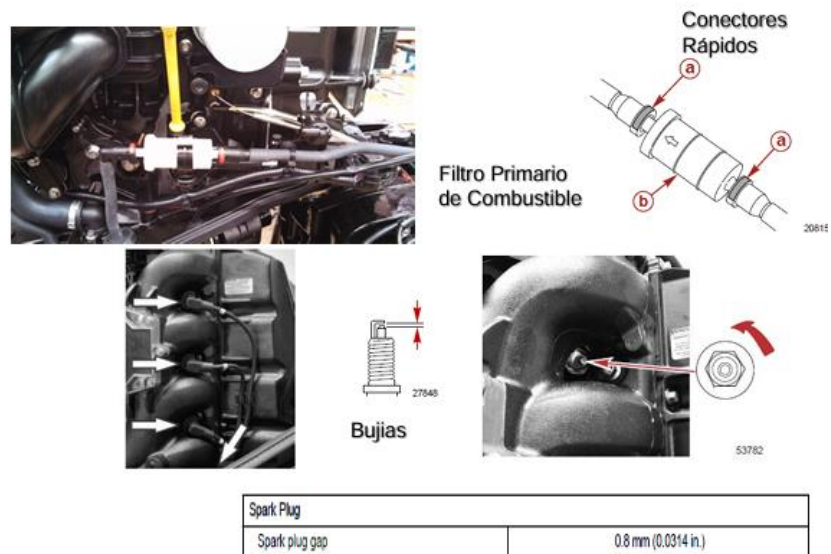


Figura 24. Componentes para cambio de bujías

## Compensación Electrico / Hidráulica Localización de los relé

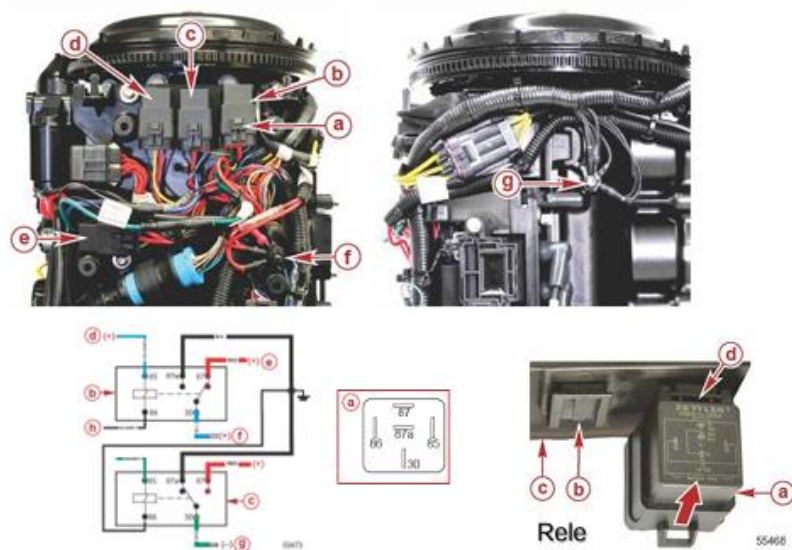


Figura 25. Ubicación de relevadores

### *Cada 100 Horas de Uso*

- Cambio de aceite y reemplazo del filtro de aceite

Aceite: Mercury 4 Stroke Outboard Oil (SAE 10W30). Filtro: 35-8M0065104 (Mercury).

Capacidad (5.2 litros / 5.5qts)

- Revisar o reemplazar de ser necesario filtro combustible de baja presión

Filtro: 35-879885

- Revisar o reemplazar de ser necesario el termostato Termostato:

8M0090819 Abrazadera: 54-888988001

- Revisar o reemplazar de ser necesario los ánodos de corrosión Drenar y reemplazar el aceite de la caja de engranajes

Aceite: High Performance Gear Lube

- Revisar o reemplazar de ser necesario las bujías

Bujías: NGK- ZFR5F (33-8M0057936) Abertura (0.032)

### *Cada 300 Horas de Uso*

- Verificar el aceite de la compensación hidráulica

Aceite: Mercury Power Trim and Steering Fluid

- Reemplazar el impulsor (Impeller) de la bomba de agua Impeller

Kit: 8M0094530 Reemplazar las Bujías (NGK-ZFR5F) Abertura (0.032)

- Reemplazar el filtro de combustible de alta presión

Filtro: 35-8M0090809 Abrazadera: 54-855697

Lubricar las estrías del eje de la caja de engranaje (Engine Spline Grease)

## Bibliografía

- Barbosa Saldaña, J., y Gutiérrez Torres, C. (2016). Termodinámica para ingenieros. Grupo Editorial Patria. Recuperado el 19 de febrero de 2026. <https://elibro.net/es/ereader/bookstoremexico/40432?page=55>
- Fernández, D. G. (30 de mayo de 2024). La Transmisión (Clase 9). Instituto Superior de Navegación (ISNDF). Recuperado el 17 de febrero de 2026. <https://www.isndf.com.ar/la-transmision/>
- Heywood, J. B. (2018). Internal combustion engine fundamentals (2.<sup>a</sup> ed.). McGraw-Hill Education. Recuperado el 17 de febrero de 2026.
- Mobley, R. K. (2002). An introduction to predictive maintenance (2.<sup>a</sup> ed.). Butterworth-Heinemann. Recuperado el 17 de febrero de 2026.
- Peñaranda Osorio, C. V. (2018). Mecánica de fluidos. Ecoe Ediciones. Recuperado el 19 de febrero de 2026. <https://elibro.net/es/ereader/bookstoremexico/122458?page=54>
- Secundino, E. (2011). Motores. Macmillan Iberia, S.A. Recuperado el 19 de febrero de 2026. <https://elibro.net/es/ereader/bookstoremexico/101844?page=293>
- Taylor, D. A. (2019). Marine engines and propulsion systems. Butterworth-Heinemann. Recuperado el 17 de febrero de 2026.