

Conditions for operation, navigation and Maintenance of outboard motor son the Ecuadorian coast

Condiciones de operación, navegación y mantenimiento de motores fuera de borda en la costa ecuatoriana

Osorio-Cobos, Franklin Marcelo
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
Maestrante
Maestría en Mantenimiento Industrial
Facultad de Posgrado
Portoviejo – Ecuador



fosorio9364@utm.edu.ec



<https://orcid.org/0009-0008-7938-9958>

Rodríguez-Gámez, María
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
Docente de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Aplicadas
PhD. en Estrategias de Planificación del Territorio
Portoviejo – Ecuador



maria.rodriguez@utm.edu.ec



<https://orcid.org/0000-0003-3178-0946>

Tamayo-Mendoza, Jorge Enrique
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
Docente de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Aplicadas
Master en Ingeniería y Gerencia de Mantenimiento
Portoviejo – Ecuador



jorge.tamayo@utm.edu.ec



<https://orcid.org/0000-0002-2981-8151>

Fechas de recepción: 06-MAR-2024 aceptación: 06-ABR-2024 publicación: 15-JUN-2024



<https://orcid.org/0000-0002-8695-5005>

<http://mqrinvestigiar.com/>



Resumen

Los motores fuera de borda constituyen una parte fundamental de las embarcaciones dedicadas al turismo en Santa Elena, Ecuador. El objetivo del estudio responde a caracterizar las condiciones de operación, navegación y mantenimiento de motores fuera de borda en la costa ecuatoriana. La metodología incluyó el análisis de criticidad y de mantenimiento centrado en la confiabilidad de dos motores fuera de borda que operan en la península de Santa Elena, Ecuador. Como resultados se obtuvo 3 sistemas, con criticidad muy alta, que ocasionan problemas en el funcionamiento óptimo de los motores; la relación de los tiempos medio entre fallos con la implementación aumenta significando que la adecuación se orienta en el cuidado de la máquina por la agresividad del ambiente salino y las condiciones de manejo del combustible; otros valores que ayudan a definir la adecuación es la relación entre el total de los mantenimientos sugeridos por el fabricante y el valor de los mantenimientos implementada la adecuación, estos valores cubren los mantenimientos preventivos por los dos motores en las once planificaciones en el año con un valor de 6850.54 dólares sugerido por la marca, en la adecuación se incrementa el valor 8040.15 dólares, que significa un aumento del 14.8 %. Se concluye en que, el mantenimiento centrado en la confiabilidad para los motores fuera de borda es una metodología efectiva para garantizar las condiciones en que operan y navegan las embarcaciones turísticas en la costa ecuatoriana, reduciendo riesgos de impacto ambiental y en la seguridad de los pasajeros

Palabras clave: Condiciones de operación; Criticidad; Motor fuera de borda; Navegación; Tareas de mantenimiento

Abstract

Outboard engines are a fundamental part of the boats dedicated to tourism in Santa Elena, Ecuador. The objective of the study was to characterize the operating, navigation and maintenance conditions of outboard engines on the Ecuadorian coast. The methodology included the analysis of criticality and maintenance focused on the reliability of two outboard engines operating in the peninsula of Santa Elena, Ecuador. As results, 3 systems were obtained, with very high criticality, which cause problems in the optimal operation of the engines; the relation of the mean times between failures with the implementation increases meaning that the adequacy is oriented in the care of the machine due to the aggressiveness of the saline environment and the fuel handling conditions; other values that help to define the adequacy is the relationship between the total maintenance suggested by the manufacturer and the value of the maintenance implemented the adequacy, these values cover the preventive maintenance for the two engines in the eleven schedules in the year with a value of 6850.54 dollars suggested by the brand, in the adaptation the value is increased to 8040.15 dollars, which means an increase of 14.8 %. It is concluded that reliability-focused maintenance for outboard engines is an effective methodology to guarantee the conditions in which tourist vessels operate and navigate on the Ecuadorian coast, reducing risks of environmental impact and passenger safety.

Keywords: Operating conditions; Criticality; Outboard engine; Navigation; Maintenance tasks

Introducción

Los motores fuera de borda (MFB) son empleados con suma frecuencia para las operaciones de pesca, actividades turísticas y deportivos a lo largo de las costas del Ecuador, incrementándose con rapidez su demanda en el mercado local, lo cual ha generado que los fabricantes realicen un trabajo de asesoría constante mediante manuales y guías de mantenimiento para garantizar la operatividad de estos equipos (Osorio & y Rodríguez, 2023).

El mantenimiento periódico de los motores fuera de borda es de vital importancia para garantizar su rendimiento y seguridad. A través del mantenimiento adecuado, se pueden identificar y resolver posibles fallas o desgastes antes de que se conviertan en problemas mayores (Granados y Murcia, 2023). El mantenimiento regular contribuye a prevenir daños costosos en las embarcaciones y prolonga la vida útil del motor, lo cual resulta en un ahorro significativo a largo plazo para los propietarios de embarcaciones (Calvo, 2022).

Realizar un mantenimiento periódico en los MFB ofrece una serie de beneficios. En primer lugar, permite mantener el rendimiento óptimo del motor, asegurando un funcionamiento eficiente y confiable, contribuye a reducir el consumo de combustible, lo cual supone un ahorro económico para los propietarios de embarcaciones; al mantener el motor en buenas condiciones, se minimiza la probabilidad de sufrir averías o interrupciones durante la navegación, lo que proporciona mayor tranquilidad y seguridad en el agua (Flores, 2023).

El objetivo del estudio responde a caracterizar las condiciones de operación, navegación y mantenimiento de motores fuera de borda en la costa ecuatoriana.

Definiciones de MFB

El motor fuera de borda es un dispositivo utilizado en embarcaciones para proveer la propulsión necesaria. Este tipo de motor se coloca en la parte trasera de la embarcación, sobre el agua y afuera del casco. A diferencia de los motores dentro de borda, los motores fuera de borda son portátiles y se pueden instalar y desmontar fácilmente, lo que hace que sean ampliamente utilizados en diferentes tipos de embarcaciones, desde pequeñas embarcaciones recreativas hasta botes de pesca y embarcaciones comerciales (Cepeda y García, 2021).

Un motor fuera de borda es un tipo de motor utilizado en embarcaciones que proporciona la fuerza necesaria para propulsar la embarcación. Este tipo de motor se encuentra ubicado en la parte trasera de la embarcación y se coloca directamente en el agua (Córdova, 2013). Los motores fuera de borda son portátiles y pueden ser fácilmente transportados y montados en diferentes embarcaciones; estos motores son muy populares debido a su versatilidad y facilidad de uso (ESPOL, 2019).

El funcionamiento básico de un motor fuera de borda se basa en la mezcla de combustible y aire en un cilindro dentro del motor; este cilindro contiene un pistón que se mueve hacia arriba y hacia abajo, generando la potencia necesaria, a medida que el pistón sube, succiona

la mezcla de aire y combustible del carburador; luego, cuando el pistón desciende, comprime la mezcla y la enciende mediante una chispa generada por la bujía, la explosión de la mezcla comprimida impulsa el pistón hacia arriba, generando el movimiento necesario para propulsar la embarcación (MOBIL, 2012). Este proceso se repite de manera continua, generando la potencia requerida para mantener la velocidad y dirección de la embarcación (Gutiérrez, 2023).

Tipos de MBF

Existen diferentes tipos de motores fuera de borda que se utilizan en embarcaciones. Estos motores se clasifican principalmente en tres categorías: motores de dos tiempos, motores de cuatro tiempos y motores eléctricos, cada tipo tiene sus propias características y ventajas (García J. , 2010).

Los motores de dos tiempos son aquellos que realizan su ciclo de trabajo en dos movimientos del pistón: uno hacia abajo y otro hacia arriba. Estos motores suelen ser más ligeros y compactos que los motores de cuatro tiempos, lo que los hace ideales para embarcaciones pequeñas, su mantenimiento es más sencillo y su arranque es más rápido. Sin embargo, estos motores suelen ser menos eficientes en cuanto al consumo de combustible y pueden generar más contaminación (Tábora, 2023).

Los motores de cuatro tiempos son aquellos que realizan su ciclo de trabajo en cuatro movimientos del pistón: admisión, compresión, explosión y escape. Estos motores son más eficientes y generan menos contaminación que los motores de dos tiempos. Además, son más silenciosos y ofrecen un rendimiento constante y suave. Sin embargo, tienden a ser más pesados y voluminosos que los motores de dos tiempos, lo que puede limitar su uso en embarcaciones más pequeñas (Ortega, 2014).

Los motores eléctricos son una opción cada vez más popular para las embarcaciones. Estos motores funcionan con energía eléctrica y no requieren de combustible, lo que los hace más limpios y respetuosos con el medio ambiente, son silenciosos y ofrecen un bajo mantenimiento. Los motores eléctricos son especialmente adecuados para su uso en aguas tranquilas y embarcaciones más pequeñas. Sin embargo, su autonomía puede ser limitada y pueden requerir de baterías adicionales para su funcionamiento (García S. , 2019).

Componentes de un MFB

El motor fuera de borda se compone de varios componentes que trabajan juntos para proporcionar una potencia eficiente y confiable. Estos componentes incluyen el cabezal del motor, el sistema de encendido, el sistema de combustible, el sistema de enfriamiento y el sistema de escape. Cada uno de estos componentes desempeña un papel importante en el funcionamiento del motor (Euroinnova, 2022).

El cabezal del motor es la parte superior del motor y contiene las válvulas y el árbol de levas. El sistema de encendido proporciona la chispa necesaria para encender el combustible en el cilindro. El sistema de combustible suministra la mezcla de combustible y aire al motor

(Cárdenas, 2021). El sistema de enfriamiento mantiene la temperatura del motor dentro de los límites seguros mediante el uso de agua o aire. Finalmente, el sistema de escape expulsa los gases de escape producidos durante la combustión fuera del motor. Cada uno de estos componentes cumple una función esencial en el funcionamiento del motor fuera de borda (Mercury, 2018).

Mantenimiento básico del MFB

El mantenimiento básico de un MFB incluye diversas tareas periódicamente para mantenerlo en óptimas condiciones. Estas tareas incluyen el cambio de aceite y filtro, la limpieza de bujías, la revisión y ajuste de correas, y la inspección de cables y conexiones. Realizar estas actividades de manera regular y adecuada garantiza un mejor rendimiento y evita posibles averías (Jaramillo & y Cedeno, 2014).

El cambio de aceite y filtro es una tarea esencial en el mantenimiento de motores fuera de borda. Se debe realizar de manera regular para garantizar un óptimo funcionamiento. El aceite lubrica y protege las partes internas del motor, mientras que el filtro retiene impurezas y partículas. Al cambiar el aceite y el filtro, se eliminan los residuos acumulados, lo que contribuye a prevenir el desgaste y a mantener la temperatura adecuada de funcionamiento del motor. Es importante utilizar el tipo de aceite recomendado por el fabricante y seguir las instrucciones específicas de cambio (SENATI, 2017).

La limpieza de las bujías es una tarea clave en el mantenimiento básico de un motor fuera de borda. Las bujías son responsables de generar la chispa que enciende la mezcla de combustible dentro del cilindro. Con el tiempo, las bujías pueden acumular suciedad, lo que afecta su rendimiento y provoca dificultades para arrancar el motor. Para limpiarlas, se deben retirar con cuidado y utilizar un limpiador de bujías específico o un cepillo de alambre para eliminar los residuos. Es importante revisar su estado periódicamente y reemplazarlas si están desgastadas o dañadas (Quiroz, 2017).

La revisión y ajuste de correas es una tarea importante en el mantenimiento básico de un motor fuera de borda. Las correas transmiten la energía generada por el motor a diferentes componentes, como el alternador, la bomba de agua y el compresor. Es necesario revisar su estado periódicamente para detectar desgaste, fisuras o tensión inadecuada. En caso de encontrar alguna irregularidad, se deben ajustar o reemplazar las correas según sea necesario. Un correcto ajuste y estado de las correas garantiza un funcionamiento eficiente del motor y evita posibles fallos (Ruiz y Trujillo, 2023).

La inspección de cables y conexiones es una tarea fundamental en el mantenimiento básico de un motor fuera de borda. Los cables y conexiones eléctricas son responsables de transmitir la corriente necesaria para el encendido y funcionamiento del motor (García, 2023). Se deben revisar visualmente para detectar posibles desgastes, corrosión o conexiones flojas, lo que puede afectar el correcto flujo de electricidad. En caso de encontrar alguna anomalía, se deben limpiar las terminales, ajustar las conexiones o reemplazar los cables si es necesario.

Una correcta inspección de los cables y conexiones mejora la confiabilidad y seguridad del motor (OSPESCA, 2012).

Mantenimiento avanzado

Este tipo de mantenimiento incluye diversas tareas especializadas que requieren conocimientos y habilidades adicionales. Algunas de estas tareas incluyen el desmontaje y limpieza del carburador, el ajuste de la mezcla de combustible, el reemplazo de la bomba de agua, la verificación de la compresión del motor y la inspección de la hélice y del sistema de dirección. Estas actividades permiten asegurar un correcto desempeño del motor y prevenir problemas futuros. Es recomendable realizar este tipo de mantenimiento de manera regular y contar con la asesoría de un profesional en el tema (Moubray, 2010).

El desmontaje y limpieza del carburador es una parte esencial del mantenimiento avanzado de motores fuera de borda. Con el tiempo, los residuos de combustible y otros depósitos pueden acumularse en el carburador, obstruyendo los conductos y afectando la mezcla de combustible y aire. Para realizar esta tarea, es necesario desmontar el carburador, limpiar todas sus partes con un solvente adecuado y asegurarse de eliminar cualquier obstrucción antes de volver a ensamblarlo. Esto garantiza un flujo de combustible adecuado y un mejor rendimiento del motor (Torralvo, 2011).

El ajuste de la mezcla de combustible en un motor fuera de borda es esencial para lograr un buen funcionamiento y rendimiento. La mezcla correcta de combustible y aire asegura una combustión eficiente y reduce el riesgo de daños en el motor (Bergamasco, 2024). Para ajustar la mezcla, es necesario seguir las indicaciones del fabricante y utilizar herramientas específicas para medir los niveles de mezcla. Si la mezcla es demasiado rica o demasiado pobre, es necesario realizar los ajustes necesarios en los carburadores para obtener una mezcla óptima (Vicedirección de mecanización, 2012).

La bomba de agua es un componente clave en el sistema de refrigeración de un motor fuera de borda. El reemplazo periódico de esta bomba es necesario para asegurar un adecuado enfriamiento del motor y prevenir el sobrecalentamiento. La bomba de agua debe ser revisada regularmente y reemplazada si muestra señales de desgaste o deterioro. Durante el proceso de reemplazo, es importante seguir las instrucciones del fabricante y utilizar piezas de repuesto de calidad para garantizar un correcto funcionamiento del sistema de refrigeración (Suzuki, 2022).

La verificación de la compresión del motor es una tarea clave en el mantenimiento avanzado de motores fuera de borda. Esta prueba permite evaluar la salud del motor y detectar posibles problemas en los cilindros y las junta de culata. Para realizar esta verificación, se utiliza un medidor de compresión que se conecta a las bujías del motor. Se deben seguir las indicaciones del fabricante en cuanto a los valores de compresión adecuados para cada modelo de motor. Si se detectan valores muy bajos, puede ser necesario realizar reparaciones o ajustes adicionales (YAMAHA, 2020).

La inspección de la hélice y del sistema de dirección es una parte importante del mantenimiento avanzado de motores fuera de borda. Se debe revisar regularmente el estado de la hélice en busca de daños, desgaste o deformaciones que puedan afectar el rendimiento del motor. Además, se recomienda comprobar el sistema de dirección para asegurarse de que funcione correctamente y no presente holguras o desgaste excesivo. En caso de encontrar alguna irregularidad, se deben tomar las medidas necesarias para reparar o reemplazar las piezas afectadas y así garantizar la seguridad y eficiencia en la navegación (Salinas, 2008).

Material y Métodos

Material

Para establecer la condición operativa de los motores fuera de borda, se aplicó un enfoque cuantitativo de investigación, diseño cuasi experimental de nivel descriptivo. El proceso de recolección de información y métodos aplicados permitieron la recolección de datos medibles y comparables.

A través de la cuasi experimentación se aplicó un modelo de recolección de datos, empleando el análisis de criticidad y los análisis de modos de fallos de los dos motores fuera de borda (Antamba, 2018).

La investigación se realizó en una compañía turística que opera en la provincia de Santa Elena. Los equipos que se utilizaron en la investigación fueron dos motores fuera de borda, equipos de propulsión para embarcaciones de turismo, según la configuración de la embarcación se utilizó el modelo DF90THL. En la tabla 1 se detalla la información de los equipos:

Tabla 1
Motores fuera de borda de prueba

Ítem	Modelo	Serie	Año de fabricación	Horas de funcionamiento	Lugar de trabajo	Combustible
1	DF90THL	09003F-914522	2019 (1)	1282	Salinas	Ecopaís
2	DF90THL	09003F-818651	2018 (1)	1315	Salinas	Ecopaís

Fuente: Elaboración propia.

Se aplicó también la metodología RCM en el mantenimiento de los motores fuera de borda, como objetos de estudio, para obtener mejoras muy significativas en la confiabilidad de los MFB, lo cual equivale consecuentemente al mejoramiento de la operatividad de las embarcaciones, una transportación segura de pasajeros, y por ende a una optimización de las inversiones efectuadas en el programa de mantenimiento.

Métodos

Se emplearon como fuentes secundarias de información artículos científicos, manuales y guías de mantenimiento de motores fuera de borda, tesis y libros, para poder fundamentar el objeto de estudio, realizar los cálculos y facilitar el procesamiento de los resultados.

Resultados

De conformidad con la bibliografía revisada, se detalla el mantenimiento que los motores fuera de borda deben recibir para operar en condiciones óptimas en la costa del territorio ecuatoriano, considerando algunas precauciones En motores fuera de borda que trabajen bajo condiciones severas deberán realizarse actividades de servicio más frecuentes.

Análisis de los Resultados

Caracterización de las condiciones de operación, navegación y mantenimiento

En las costas ecuatorianas las operaciones de embarcaciones con motores fuera de borda no cuentan con el seguimiento de los procesos de mantenimiento, por lo cual para poder realizar el estudio de la adecuación se verificó de los avisos de servicio emitidas en el transcurso de enero del 2022 hasta diciembre del 2022, con el plan de mantenimiento sugerido por el fabricante, que fue comparado con los avisos emitidos desde enero 2023 hasta diciembre 2023 con la adecuación planteada.

En la operación del funcionamiento de la embarcación donde están instalados los dos motores fuera de borda objeto de estudio, se verifica el valor de la hora no laborada para el análisis de la adecuación (ecuaciones 1 y 2), así como del valor de ingreso en dólares por hora de operación (ecuación 3).

$$\begin{aligned} \text{Valor de viaje} &= \text{Capacidad de pasajeros} * \text{valor por persona} & (1) \\ \text{Valor de viaje} &= 125 \text{ dólares} \end{aligned}$$

Donde:

Capacidad de pasajeros → 25

Valor por persona → 5 dólares

Horas operación → 6 h

Recorridos día → 8

$$\begin{aligned} \text{Ingresos por día} &= \text{Valor de viaje} * \text{Recorridos por día} & (2) \\ \text{Ingresos por día} &= 1\,000 \text{ dólares} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Valor de Ingresos por hora} &= \text{Ingresos por día} * \text{horas de operación} & (3) \\ \text{Valor de Ingresos por hora} &= 166.66 \text{ dólares por hora} \end{aligned}$$

Otros valores que ayudan a definir la adecuación es la relación entre el total de los mantenimientos sugeridos por el fabricante y el valor de los mantenimientos implementada la adecuación, estos valores cubren los mantenimientos preventivos por los dos motores en

las once planificaciones en el año con un valor de 6850.54 dólares sugerido por la marca, en la adecuación se incrementa el valor 8040.15 dólares, que sería un aumento del 14.8 %.

En la tabla 2 se muestra la recolección de datos del periodo de trabajo del 2022 obteniendo los valores para el cálculo del tiempo medio entre fallos (MTBF) y tiempo medio de reparación (MTTR).

Tabla 2
Comparación MTBF y MTTR de la operación del año 2022

Año	Mes	Horas de operación	Horas de disponibilidad	Horas de falla	Frecuencia de fallas	MTBF	MP	MC	MTTR MC
2022	Enero	120	120	0	0	0	1	0	0
	Febrero	95	115	5	0	0	1	2	0
	Marzo	60	90	30	2	15,0	1	8	4,0
	Abril	98	112	8	2	45	1	2	1
	Mayo	100	114	6	1	94	1	1	1
	Junio	98	110	10	2	44	1	2	1
	Julio	93	108	12	1	81	1	2	2
	Agosto	95	112	8	1	87	1	1	1
	Septiembre	95	111	9	1	86	1	1	1
	Octubre	80	92	28	2	26,0	1	4	2,0
	Noviembre	70	82	38	2	16	1	1	0,5
	Diciembre	95	116	10	1	85	1	2	2,0
		1099	1282	164	15	48,3	12	26	6,3

Fuente: Elaborado por autor.

En la tabla 3 se observa la recolección de datos del periodo de trabajo del 2023 obteniendo los valores para el cálculo del MTBF y MTTR.

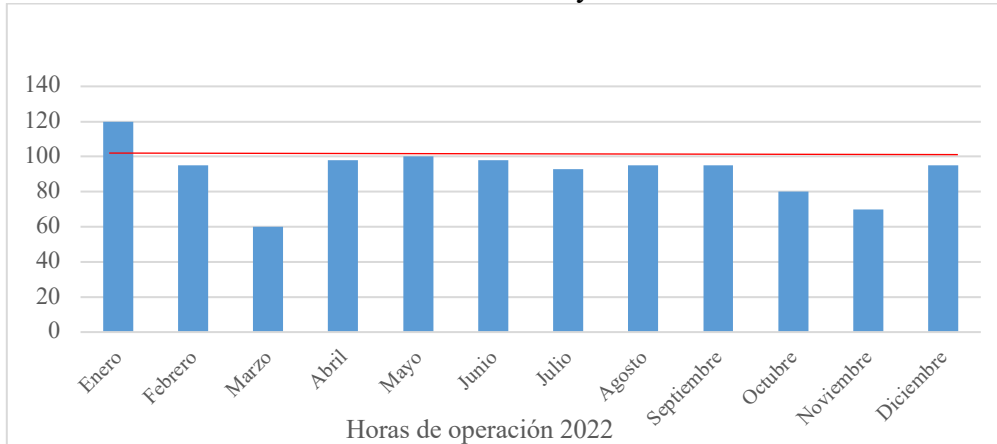
Tabla 3
Comparación MTBF y MTTR de la operación del año 2023

Año	Mes	Horas de operación	Horas de disponibilidad	Horas de falla	Frecuencia de fallas	MTBF	MP	MC	MTTR MC
2023	Enero	120	120	0	0	0	1	0	0
	Febrero	120	120	0	0	0	1	0	0
	Marzo	100	100	20	2	40	1	2	1
	Abril	100	110	10	2	45	1	2	1
	Mayo	100	115	5	1	95	1	1	1
	Junio	100	112	8	1	92	1	2	2
	Julio	95	109	11	3	28	1	3	1
	Agosto	100	114	6	1	94	1	1	1
	Septiembre	98	115	5	1	93	1	3	3
	Octubre	100	108	12	2	44	1	2	1
	Noviembre	120	110	10	2	55	1	2	1
	Diciembre	100	116	4	1	96	1	2	2
		1253	1349	91	16	56,8	12	20	4,6

Fuente: Elaborado por autor.

En la figura 1 se muestran los niveles de MTBF y MTTR del motor a babor.

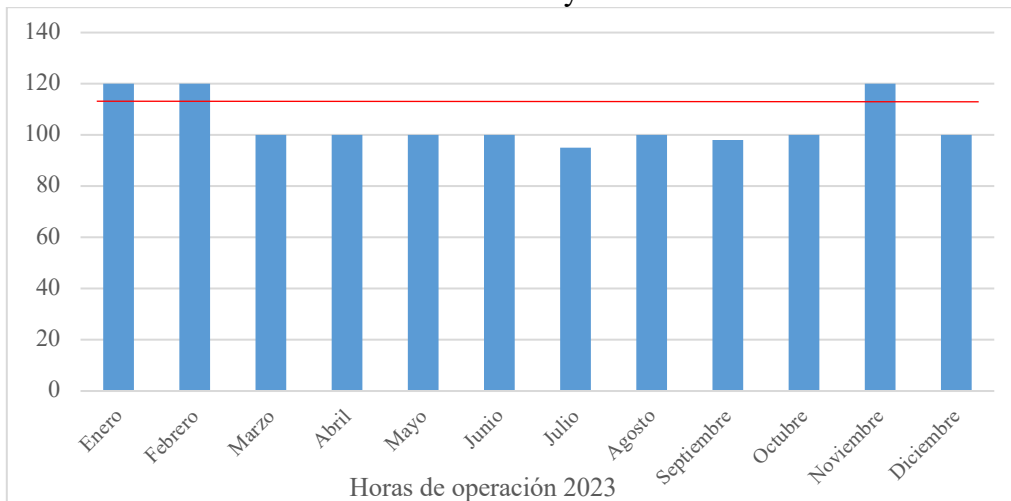
Figura 1
 Niveles de MTBF y MTTR motor babor



Fuente: Elaborado por autor.

En la figura 2 se muestran los niveles de MTBF y MTTR del motor a estribor.

Figura 2
 Niveles de MTBF y MTTR motor estribor



Fuente: Elaborado por autor.

Los resultados demuestran que la navegación sin una adecuación para las condiciones de la costa ecuatoriana, la relación de los MTBF con la implementación aumenta significando que la adecuación se orienta en el cuidado de la máquina por la agresividad del ambiente salino y las condiciones de manejo del combustible.

Análisis RCM para identificar las partes críticas de los motores

En la aplicación de esta metodología en los motores fuera de borda y la identificación de las fallas de los motores, se aplica una matriz de criticidad así poder encontrar los sistemas con mayor grado y poder realizar la adecuación necesaria en nuestro plan de mantenimiento. En la tabla 4 se detalla la matriz de criticidad.

Tabla 4



Matriz de criticidad

Frecuencia	5	A	A	MA	MA	MA
	4	M	M	A	A	MA
	3	M	M	M	A	MA
	2	B	B	B	M	A
	1	B	B	B	M	A
		1	2	3	4	5

Consecuencias

MA: Muy Alta Criticidad	M: Media Criticidad
A: Alta Criticidad	B: Baja Criticidad

Fuente: Elaborado por autor.

La verificación de los niveles de criticidad se evaluó según la tabla 4, aplicados en la matriz de la tabla 5, donde se ubicaron los sistemas más relevantes de los motores fuera de borda.

Tabla 5
Jerarquización de los sistemas del MFB

Código de Equipo	Denominación	Frecuencia de falla	SHA	OP	IP-CM	Consecuencias	Total	Jerarquización
Sistema de refrigeración	RF	3	1	4	3	4	12	Alta Criticidad
Sistema de inyección	SI	5	4	4	4	4	20	Muy Alta Criticidad
Sistema de lubricación	SL	3	5	5	5	5	15	Muy Alta Criticidad
Sistema eléctrico	SE	2	1	4	4	4	8	Media Criticidad
Alimentación de combustible	SC	3	3	4	3	4	12	Alta Criticidad
Transmisión	TNS	3	4	4	4	4	12	Alta Criticidad
Propulsión/hélice	HE	2	1	3	3	3	6	Baja Criticidad
Maquina	MAQ	4	4	4	5	5	20	Muy Alta Criticidad

Fuente: Elaborado por autor.

Según la matriz de jerarquización de la tabla 5, se pudo encontrar dentro del rango de muy alta criticidad a tres sistemas que son los causantes de los problemas en el funcionamiento óptimo de los motores, por lo cual se realizó un análisis que facilita la comprensión de los resultados, se procedió a codificar los modos de falla y causas de falla con escalas de severidad, ocurrencia y detección.

Con el análisis de los modos de fallo, sus consecuencias y causas se pueden clasificar en tablas en la plantilla del FMECA, según las funciones analizadas en la tabla de criticidad de los subsistemas con procesos de control (prevención y detección) estas tablas facilitan el proceso de evaluación y clasificación de los modos y causas de los fallos.

Para un mejor entendimiento se utiliza los siguientes valores de la tabla 6, para medir los niveles del análisis de las fallas de los sistemas críticos.

Tabla 6

Clasificación de la gravedad del modo fallo según la repercusión en el cliente/usuario

Gravedad	Criterio	Valor
Muy Baja Repercusiones imperceptibles	No es razonable esperar que este fallo de pequeña importancia origine efecto real alguno sobre el rendimiento del sistema. Probablemente, el cliente ni se daría cuenta del fallo.	1
Baja Repercusiones irrelevantes apenas perceptibles	El tipo de fallo originaría un ligero inconveniente al cliente. Probablemente, éste observaría un pequeño deterioro del rendimiento del sistema sin importancia. Es fácilmente subsanable.	2-3
Moderada Defectos de relativa importancia	El fallo produce cierto disgusto e insatisfacción en el cliente. El cliente observará deterioro en el rendimiento del sistema.	4-6
Alta	El fallo puede ser crítico y verse inutilizado el sistema. Produce un grado de insatisfacción elevado	7-8
Muy Alta	Modalidad de fallo potencial muy crítico que afecta el funcionamiento de seguridad del producto o proceso y/o involucra seriamente el incumplimiento de normas reglamentarias. Si tales incumplimientos son graves corresponde un 10.	9-10

Fuente: Elaborado por autor.

En la tabla 7 se observa la clasificación de la probabilidad de que ocurran modos de fallos en los motores fuera de borda.

Tabla 7

Clasificación de la frecuencia/ probabilidad de ocurrencia del modo de fallo

Frecuencia	Criterio	Valor
Muy Baja Improbable	Ningún fallo se asocia a procesos casi idénticos, ni se ha dado nunca en el pasado, pero es concebible.	1
Baja	Fallos aislados en procesos similares o casi idénticos. Es razonablemente esperable en la vida del sistema, aunque es poco probable que suceda.	2-3
Moderada	Defecto aparecido ocasionalmente en procesos similares o previos al actual. Probablemente aparecerá algunas veces en la vida del componente/sistema.	4-5
Alta	El fallo se ha presentado con cierta frecuencia en el pasado en procesos similares o previos procesos que han fallado.	6-8
Muy Alta	Fallo casi inevitable. Es seguro que el fallo se producirá frecuentemente.	9-10

Fuente: Elaborado por autor.

En la tabla 8 puede visualizarse la clasificación para detectar el modo de fallos.

Tabla 8

Clasificación de la facilidad de detección del modo de fallo

Detectabilidad	Criterio	Valor
Muy Alta	El defecto es obvio. Resulta muy improbable que no sea detectado por los controles existentes	1

Alta	El defecto, aunque es obvio y fácilmente detectable, podría en alguna ocasión escapar a un primer control, aunque sería detectado con toda seguridad a posteriori.	2-3
Mediana	El defecto es detectable y posiblemente no llegue al cliente. Posiblemente se detecte en los últimos estadios de producción	4-6
Pequeña	El defecto es de tal naturaleza que resulta difícil detectarlo con los procedimientos establecidos hasta el momento.	7-8
Improbable	El defecto no puede detectarse. Casi seguro que lo percibirá el cliente final	9-10

Nota. Elaborado por autor.

En la figura 2 se observa la forma cómo debe aplicarse la AMFE para el sistema de lubricación del motor fuera de borda.

Figura 2
 Aplicación AMFE para el sistema lubricación de MFB

OPERACIÓN O FUNCIÓN	FALLO Nº	FALLOS POTENCIALES			ESTADO ACTUAL									
		MODOS DE FALLO	EFFECTOS	CAUSAS DEL MODO DE FALLO	MEDIDAS DE ENSAYO	G	GRAVEDAD	CRITERIO	VALOR	F	FRECUENCIA	D	DETECTABILIDAD	IPR
Lubricacion	1	Baja presión de aceite	Presión de aceite baja o intermitente	Bomba de aceite defectuosa	Medidor de presión	4	Moderada Defectos de relativa importancia	El fallo produce cierto disgusto e insatisfacción en el cliente. El cliente observará deterioro en el rendimiento del sistema	4-6	1	Alta	2	Alta	8
				Fugas de aceite	Detección visual	3	Alta	El fallo puede ser crítico y verse inutilizado el sistema. Produce un grado de insatisfacción elevado	7-8	2	Alta	7	Alta	42
				Presencia de combustible	Análisis de aceite	4	Alta	El fallo puede ser crítico y verse inutilizado el sistema. Produce un grado de insatisfacción elevado	7-8	6	Alta	5	Alta	120
				Baja viscosidad o presencia de emulsiones	Análisis de aceite	4	Baja Repercusiones irrelevantes apenas perceptibles	El tipo de fallo originaría un ligero inconveniente al cliente. Probablemente, éste observará un pequeño deterioro del rendimiento del sistema sin importancia. Es fácilmente subsanable	2-3	5	Muy Alta	3	Pequeña	60

Nota. Elaborado por autor.

En la figura 3 se puede observar la aplicación del AMFE para el sistema de combustible del motor fuera de borda.

Figura 3
 Aplicación AMFE para el sistema de combustible de MFB

OPERACIÓN O FUNCIÓN	FALLO N°	FALLOS POTENCIALES			ESTADO ACTUAL									
		MODOS DE FALLO	EFECTOS	CAUSAS DEL MODO DE FALLO	MEDIDAS DE ENSAYO	G	GRAVEDAD	CRITERIO	VALOR	F	FRECUENCIA	D	DETECTABILIDAD	IPR
Sistema de combustible	1	Presión baja	Motor no alcanza su régimen de funcionamiento	Regulador deficiente	Medidor de presión	1	Moderada Defectos de relativa importancia	El fallo produce cierto disgusto e insatisfacción en el cliente. El cliente observará deterioro en el rendimiento del sistema	4-6	1	Alta	2	Alta	2
				Bomba principal dañada	Medidor de presión	3	Alta	El fallo puede ser crítico y verse inutilizado el sistema. Produce un grado de insatisfacción elevado	7-8	2	Alta	2	Alta	12
				Juntas defectuosas	Verificación de purga	2	Alta	El fallo puede ser crítico y verse inutilizado el sistema. Produce un grado de insatisfacción elevado	7-8	2	Alta	2	Alta	8
				bajo ingreso de combustible (filtros defectuosos)	Verificación de visores	5	Baja Repercusiones irrelevantes apenas perceptibles	El tipo de fallo originaría un ligero inconveniente al cliente. Probablemente, éste observará un pequeño deterioro del rendimiento del sistema sin importancia. Es fácilmente subsanable	2-3	7	Muy Alta	6	Pequeña	210

Fuente: Elaborado por autor.

En la figura 4 se ve el detalle de la aplicación AMFE para el sistema de refrigeración de los motores.

Figura 4
 Aplicación AMFE para el sistema de refrigeración de MFB

OPERACIÓN O FUNCIÓN	FALLO N°	FALLOS POTENCIALES			ESTADO ACTUAL									
		MODOS DE FALLO	EFECTOS	CAUSAS DEL MODO DE FALLO	MEDIDAS DE ENSAYO	G	GRAVEDAD	CRITERIO	VALOR	F	FRECUENCIA	D	DETECTABILIDAD	IPR
Refrigeración	1	Baja presión de agua	Protección del motor, funcionamiento intermitente	Kit de bomba de agua defectuoso	medidor de presión, SDS	3	Moderada Defectos de relativa importancia	El fallo produce cierto disgusto e insatisfacción en el cliente. El cliente observará deterioro en el rendimiento del sistema	4-6	6	Alta	5	Alta	30
	2	Calentamiento del motor	Protección del motor, funcionamiento intermitente	Termostato defectuoso	medidor de presión, SDS	2	Alta	El fallo puede ser crítico y verse inutilizado el sistema. Produce un grado de insatisfacción elevado	7-8	6	Alta	4	Alta	48
				Valvula de presión defectuosa	Desarmado, verificación visual	4	Alta	El fallo puede ser crítico y verse inutilizado el sistema. Produce un grado de insatisfacción elevado	7-8	2	Alta	8	Alta	64
				Juntas defectuosas	Desarmado, verificación visual	5	Baja Repercusiones irrelevantes apenas perceptibles	El tipo de fallo originaría un ligero inconveniente al cliente. Probablemente, éste observará un pequeño deterioro del rendimiento del sistema sin importancia. Es fácilmente subsanable	2-3	1	Muy Alta	9	Pequeña	45

Fuente: Elaborado por autor.

En función a los resultados obtenidos y mejorar la comprensión, se utiliza en la práctica códigos para identificar los modos y causas de fallas, con la evaluación de severidad, ocurrencia y detección.

Discusión

Según la investigación de Osorio y Rodríguez (2023), el mantenimiento de motores fuera de borda es vital para asegurar su correcto funcionamiento, pero a veces pueden surgir problemas. Uno de los problemas más comunes es cuando el motor no arranca. Esto puede deberse a varias razones, como una bujía sucia, un cable suelto o una mezcla de combustible incorrecta. Para solucionar este problema, es recomendable limpiar o reemplazar la bujía, verificar y ajustar los cables de conexión y asegurarse de tener la proporción adecuada de combustible.

Otro problema común es la pérdida de potencia del motor. Esto puede ser causado por un filtro de aire sucio, un carburador obstruido o una bujía desgastada. Para solucionarlo, es necesario limpiar o reemplazar el filtro de aire, limpiar el carburador y reemplazar la bujía si es necesario. En caso de sobrecalentamiento del motor, es importante verificar el nivel de refrigerante, limpiar las rejillas de ventilación y enfriamiento, y verificar el termostato. Por último, si se presentan problemas con la dirección, es recomendable verificar la dirección hidráulica, las conexiones de dirección y los cables, además de lubricar adecuadamente los componentes. Estas soluciones ayudarán a mantener el motor fuera de borda en buen estado y resolver problemas comunes (Osorio y Rodríguez, 2023).

El estudio de Muñoz y Macías (2019) enfatiza en la importancia del mantenimiento regular de los motores y la serie de beneficios significativos que representa para su funcionamiento óptimo y durabilidad a largo plazo. Mediante un mantenimiento regular, se pueden detectar y solucionar posibles problemas antes de que se conviertan en fallas y averías costosas.

Realizar un mantenimiento periódico adecuado es una inversión que asegura el óptimo rendimiento del motor a largo plazo. Durante cada revisión, se realizan inspecciones exhaustivas para detectar desgaste excesivo, piezas dañadas o problemas de funcionamiento.

Durante las inspecciones regulares, se verifican todas las partes y componentes del motor que contribuyen a su seguridad, como los sistemas de frenado y refrigeración, se comprueba que no haya fugas de líquidos peligrosos o componentes sueltos que podrían representar un riesgo para la seguridad; permite llevar un registro actualizado del estado del motor y realizar ajustes o cambios de piezas según sea necesario.

Mantener un motor en óptimas condiciones es fundamental para reducir el riesgo de accidentes o fallas que podrían poner en peligro la vida de las personas. Un motor bien cuidado y en buen estado de funcionamiento utiliza de manera más eficiente el combustible, lo que se traduce en ahorros significativos. Durante el mantenimiento periódico, se realizan ajustes y limpieza de componentes que pueden afectar el rendimiento del motor. El mantenimiento regular del motor incluye pruebas de funcionamiento y rendimiento que ayudan a verificar que el motor cumpla con estos estándares establecidos por las autoridades y evita posibles sanciones o multas. El registro y documentación del mantenimiento periódico sirve como evidencia de cumplimiento en caso de inspecciones o requerimientos legales.

Por su parte, el experto en ecoeficiencia energética, Ricardo Muñoz, explica que es importante seguir las tareas de mantenimiento establecidas para los MFB, con el fin de ir descartando aquellas que se han cumplido y tomar acciones correctivas inmediatas, esto es, si el motor no arranca, hay varias posibles causas para este problema. En primer lugar, se debe verificar si el tanque de combustible tiene suficiente gasolina y que no esté obstruido, además, se debe comprobar si hay burbujas de aire en la línea de combustible, ya que esto puede afectar el flujo adecuado de combustible. Otro factor a considerar es la bujía, una bujía sucia o desgastada puede dificultar el arranque del motor. Se debe limpiar o reemplazar según sea necesario. También es importante verificar si hay conexiones sueltas o cables dañados.

Se debe comprobar que todos los cables estén conectados correctamente y que no haya cables rotos.

La pérdida de potencia es muy común en estos motores, la verificación del filtro de aire para ver si está obstruido o sucio es una tarea rutinaria que debe hacerse; pues un filtro de aire sucio puede restringir el flujo de aire al motor y reducir su potencia. Se debe limpiar o reemplazar según sea necesario para solucionar este problema. Otra posible causa de pérdida de potencia es un carburador obstruido, si está sucio, puede afectar la mezcla de combustible y aire necesaria para un funcionamiento adecuado. Se debe limpiar el carburador siguiendo las instrucciones del fabricante. Cuando una bujía está desgastada puede resultar en una chispa débil y una pérdida de potencia, entonces, se reemplaza la bujía (Muñoz R. , 2024).

Finalmente, el profesional enfatiza en la necesidad de realizar inspecciones periódicas, cambiar el aceite y los filtros, y realizar ajustes y calibraciones necesarias, para prevenir daños o desgastes que podrían acortar la vida útil del motor. Si el motor está bien mantenido, puede resistir mejor las condiciones de funcionamiento adversas, lo que prolonga aún más su vida útil. Esto tiene un impacto positivo en su rendimiento y eficiencia, ya que, al realizar ajustes y calibraciones adecuadas, se puede optimizar el rendimiento del motor, lo que se traduce en una mayor potencia y velocidad. También, al limpiar y mantener los componentes en buen estado, se garantiza un funcionamiento más eficiente que puede resultar en un menor consumo de combustible y puede ayudar a reducir significativamente los costos de

reparación. Al detectar y resolver problemas menores antes de que se conviertan en averías importantes, se evita la necesidad de reparaciones costosas; al mantener los componentes en buen estado y prevenir el desgaste prematuro, se reduce la probabilidad de fallos y averías inesperados, lo que también impacta positivamente en el presupuesto de mantenimiento a largo plazo.

Conclusiones

Realizar el mantenimiento a los motores fuera de borda a gasolina es fundamental para contrarrestar la fuerte corrosión y la contaminación de combustible, ya que la función de los componentes de protección del motor se degradan con el trabajo y tiempo, disminuyendo su rendimiento si no se realiza las inspecciones periódicas y se aumenta los cambios de estos elementos, para disminuir los problemas iniciales que son consecuencia de daños graves en las máquinas. Estos equipos son la fuente de propulsión de la embarcación y deben ser atendidos con un mantenimiento que mejora el rendimiento y la disponibilidad de la máquina para las jornadas ya programadas, ya que un daño en el equipo puede provocar que la embarcación quede a la deriva y poner en un riesgo eminente a los ocupantes.

Los análisis de criticidad de efectos y modos de fallo y su implementación son herramientas eficaces que brindan soporte en la buena planificación de las tareas de prevención y reparación en los motores fuera de borda, con el control continuado del funcionamiento de los motores fuera de borda y la implementación para mejorar sus estados es una obligación si se quiere prolongar la vida de los equipos.

El análisis de estos equipos de motores fuera de borda, en base a la metodología RCM y la correcta aplicación del FMECA en función a las medidas resultantes de la implementación de una adecuación del plan de mantenimiento original, pone de manifiesto las diversas capacidades frente a otras formas de abordar el mantenimiento preventivo y evitar las averías y daños colaterales; además la mejora de la seguridad en la navegación propuesto en el presente estudio, contribuye a reducir los riesgos del impacto ambiental a la flora y fauna marítima de los ecosistemas naturales presentes en la península de Santa Elena.

Referencias bibliográficas

- Bergamasco, G. (2024). Evaluación de las condiciones de higiene y seguridad en el buque GC-27, Ingeniero White, Buenos Aires. ufasta.edu.ar
- Calvo-Cordero, C. (2022). Estudio de prefactibilidad técnico-financiero basado en el análisis del ciclo de vida útil para un barco eléctrico pequeño de pesca artesanal a través de energías limpias en Costa Rica [Tesis de licenciatura en Mantenimiento Industrial]. Instituto Tecnológico de Costa Rica. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/13989>



- Cárdenas Valencia, A. D. (2021). Análisis de emisiones contaminantes y consumo de combustible a diferentes proporciones y marcas de aceites lubricantes para motores de dos tiempos empleando gasolina extra y super [Tesis de Ingeniería]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. <http://dspace.espace.edu.ec/handle/123456789/15325>
- Cepeda López, M. E. & García Burgos, C. L. (2021). Diseño de adaptación de un motor eléctrico fuera de borda alimentado por energía solar fotovoltaica para una embarcación de 16 ft de eslora [Tesis de Ingeniería]. Universidad Antonio Nariño. http://repositorio.uan.edu.co/bitstream/123456789/4583/1/2021_Manuel%20Cepeda.pdf
- Córdova, E. (2013). *Estudio de un motor fuera de borda para determinar sus parametros de funcionamiento y su factibilidad de aplicacion en los laboratorios*. Universidad Técnica de Ambato. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/4338/1/Tesis%20I.%20M.%20I.70%20-%20C%C3%B3rdova%20Morales%20Edison%20Iv%C3%A1n.pdf>
- ESPOL. (13 de junio de 2019). *Mantenimiento de motores fuera de borda*. [espol.edu.ec: https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6351/1/Cap%C3%ADtulo%206%20Motores%20Fuera%20Borda.pdf](https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6351/1/Cap%C3%ADtulo%206%20Motores%20Fuera%20Borda.pdf)
- Euroinnova. (2 de julio de 2022). *Motores fuera de borda. Taller de mecánicod de motores fuera de borda*. [euroinnova.ec: https://www.euroinnova.ec/motores-fuera-borda](https://www.euroinnova.ec/motores-fuera-borda)
- Flores-Salazar, C. E. (2023). Efecto de la instalación de un keel cooler en el desempeño de un motor marino para una embarcación pesquera artesanal [Tesis de ingeniería]. Universidad Nacional del Santa. <https://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/4332>
- García Ferri, A. (2023). Desarrollo de Embarcación de recreo con Propulsión Eléctrica [Tesis de Ingeniería]. Universidad Pontificia Comillas. <https://repositorio.comillas.edu/jspui/bitstream/11531/73371/1/TFG%20-%20GarciaFerriAnton.pdf>
- García, J. (2010). *Motores fuera de borda. Tercera edición*. Editorial Heliasta.
- Granados Montoya, D. F. & Murcia Parra, A. T. (). Estudio para la viabilidad del uso de un sistema de propulsión *water jet* en una embarcación de la Armada Nacional alimentado por energía solar fotovoltaica [Tesis de Ingeniería]. Universidad Santo Tomás. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/45867>
- Gutiérrez, M. S. (2023). Mantenimiento de motores térmicos de dos y cuatro tiempos. TMVG0409. IC Editorial. https://books.google.com.ec/books?id=t1QpEAAAQBAJ&pg=PT92&hl=es&source=gbs_selected_pages&cad=1#v=onepage&q&f=false
- Jaramillo, J. y Cedeño, E. (2014). *Planes de mantenimiento y su contribución a la operatividad de las lanchas tipo albatro y pirana en el comando de guardacostas*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/14531/1/T-ESSUNA-004151.pdf>
- Mercury. (2018). *Mantenimiento para el fuera de borda*. Nautica. https://www.touron-nautica.com/descar/mantenimiento/Mantenimiento_OptiMax_3.pdf

- MOBIL. (2012). *Manual dem otores fuera de borda*. Editorial Mobil.
- Moubray, J. (2010). *Reliability-Centered Maintenance; Industrial. Third Edition*. Press Inc.
- Ortega, E. (2014). *Gestión por procesos de mantenimiento de motores fuera de borda*.
Universidad Politécnica Salesiana, Sede Guayaquil.
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/6519/1/UPS-GT000570.pdf>
- OSPESCA. (2012). *Guía general para el mantenimiento de motores fuera de borda para la pesca*. PRIPESCA.
- Quiroz, L. (2017). *Guía de mantenimiento de motores fuera de borda*. Univerisdad de las Fuerzas Armadas ESPE.
https://www.academia.edu/18624737/TEMA_PR%C3%81CTICAS_DEL_MOTOR_FUERA_DE_BORDA_YAMAHA_EN_RELACI%C3%93N_A_SU_MEZCLA_DE_COMBUSTIBLE_ACEITE
- Ruiz Paredes, O. & Trujillo Chandí, A. D. (2023). Propuesta de prototipo de un bote eléctrico mediante la implementación de paneles solares. [Tesis de Ingeniería]. Universidad Técnica del Norte. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/15323>
- Salinas, A. (2008). *Motores. Priemra ediciión*. . Editorial Paraninfo.
- SENATI. (2017). *Manual de reparación dem otores fuera de borda*. Servicio Nacional de Adiestramiento en Trabajo Industrial.
<https://es.scribd.com/document/353989097/Manual-de-Reparacion-de-Motores-Fuera-de-Borda>
- Suzuki. (2022). *Guía de mantenimiento de motores fuera de borda*. Suzuki S.A.
- Tábor, H. A. F. (2023). Estudio de factibilidad de la adaptación de motores de combustión interna de gasolina a gas licuado de petróleo para uso marítimo [Tesis de Ingeniería]. Universidad Tecnológica Centroamericana.
<https://repositorio.unitec.edu/handle/123456789/11399?show=full>
- Torralvo, M. (2011). *PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PARA MOTORES FUERA DE BORDA YAMAHA CUATRO TIEMPOS DE PROPÓSITO COMERCIAL*.
Univerisdad Tecnológica de Bolívar.
<https://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0063126.pdf>
- Vicedirección de mecanizaciión. (2012). *Manual de mantenimiento del sistema de lubricacion de motores*. JICA. https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/12176285_02.pdf
- YAMAHA. (2020). *Aprendamos más acerca de los motores fuera de borda*. Yamaha S.A.
[https://www.motomundohn.com/assets/taller/Motores%20Fuera%20de%20Borda/Motor%20%20Tiempos/Manual%20motores%20fuera%20de%20borda%20\(2%20TIEMPOS\).pdf](https://www.motomundohn.com/assets/taller/Motores%20Fuera%20de%20Borda/Motor%20%20Tiempos/Manual%20motores%20fuera%20de%20borda%20(2%20TIEMPOS).pdf)

Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

Financiamiento:

No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.

Agradecimiento:

N/A

Nota:

El artículo no es producto de una publicación anterior.