



**PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PARA MOTORES FUERA DE BORDA
YAMAHA CUATRO TIEMPOS DE PROPÓSITO COMERCIAL**

MARCO ANTONIO TORRALVO JIMÉNEZ

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
CARTAGENA – BOLÍVAR
2011**



**PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PARA MOTORES FUERA DE BORDA
YAMAHA CUATRO TIEMPOS DE PROPÓSITO COMERCIAL**

MARCO ANTONIO TORRALVO JIMÉNEZ

**Trabajo presentado bajo modalidad de monografía para aspirar al título de
ingeniero mecánico.**

Director

Msc., ME JUAN FAJARDO CUADRO

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
CARTAGENA – BOLÍVAR
2011**



Cartagena de Indias D. T. y C., 19 de enero de 2012

Señores

COMITÉ CURRICULAR

PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA Y MECATRÓNICA

Universidad Tecnológica de Bolívar

Ciudad

Referencia: Presentación monografía como trabajo final.

Por medio de la presente me permito manifestar mi aceptación como director y asesor del trabajo de grado bajo modalidad de monografía titulado **PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PARA MOTORES FUERA DE BORDA CUATRO TIEMPOS DE PROPÓSITO COMERCIAL**, desarrollado por el estudiante de ingeniería mecánica **MARCO ANTONIO TORRALVO JIMÉNEZ**.

Agradezco de antemano la atención prestada.

JUAN FAJARDO CUADRO
INGENIERO MECÁNICO, Msc.



Cartagena de Indias D. T. y C., 19 de enero de 2012

Señores

COMITÉ CURRICULAR

PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA Y MECATRÓNICA

Universidad Tecnológica de Bolívar

Ciudad

Referencia: Presentación monografía como trabajo final.

Estimados Profesores

Por medio de la presente me permito presentar a ustedes mi propuesta de trabajo final de grado bajo modalidad de monografía titulado **PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PARA MOTORES FUERA DE BORDA CUATRO TIEMPOS DE PROPÓSITO COMERCIAL**, para optar al título de ingeniero mecánico.

Agradezco de antemano la atención prestada.

MARCO ANTONIO TORRALVO JIMÉNEZ

c.c. 1.047.389.218 de Cartagena



AGRADECIMIENTOS

Nada de lo que representa este logro, hubiese sido posible sin la comprensión, interés y regaños de mi padre y sin la guía divina que sobre mí ejerce mi madre desde el cielo. A ellos, y a Dani, Lau y Yesse quienes con su paciencia, consejos y amor, han ayudado a formar la persona que hoy soy, y de quienes nunca voy a prescindir. Los amo.

Agradezco a Dios quien siempre me mantuvo firme para alcanzar este objetivo de convertirme en un profesional de bien y que se mantuvo mostrándome el camino correcto a seguir en este proceso.

A todas esas personas que siempre apostaron por mí y mis metas, y que se interesaron para que esta alegría y satisfacción que hoy siento fuera posible.

Fuerte abrazo

Marco Antonio Torralvo Jiménez

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

2. JUSTIFICACIÓN.

3. OBJETIVOS.

3.1. OBJETIVOS GENERALES.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

4. MARCO REFERENCIAL.

4.1. EDUARDOÑO S.A.

4.2. MOTORES FUERA DE BORDA.

4.2.1. ESTRUCTURA DE LOS MOTORES FUERA DE BORDA.

4.3. GENERALIDADES DE MOTORES YAMAHA.

4.4. MOTORES FUERA DE BORDA YAMAHA 2T Y 4T.

4.5. MOTORES FUERA DE BORDA YAMAHA DE LÍNEA COMERCIAL.

4.5.1. MOTOR YAMAHA FT50.

4.5.2. MOTOR YAMAHA F100B.

4.5.3. MOTOR YAMAHA F150B.

4.5.4. MOTOR YAMAHA F200B.

4.6. SISTEMAS CRÍTICOS DE LOS MOTORES FUERA DE BORDA YAMAHA DE LÍNEA COMERCIAL.

4.7. INTRODUCCIÓN AL ESTUDIO DE FALLAS FUNCIONALES.

4.7.1. ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA.

5. METODOLOGIA

5.1. DESCRIPCIÓN DE FALLAS Y MODOS DE FALLA DE LOS SISTEMAS CRÍTICOS DE MOTORES FUERA DE BORDA YAMAHA DE LÍNEA COMERCIAL FT50, F100B, F150B, F200B.

5.1.1. FALLAS Y MODOS DE FALLA DEL SISTEMA DE COMBUSTIBLE.

5.1.2. FALLAS Y MODOS DE FALLA DEL SISTEMA DE LUBRICACIÓN.

5.1.3. FALLAS Y MODOS DE FALLA DEL SISTEMA ELÉCTRICO.

5.1.4. FALLAS Y MODOS DE FALLA DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN.

5.1.5. FALLAS Y MODOS DE FALLA DE LA TRANSMISIÓN.

5.1.6. FALLAS Y MODOS DE FALLA DEL SISTEMA DE TRIM.

5.2. INCIDENCIA DEL USO DE BIOGASOLINA EN LAS FALLAS DEL SISTEMA DE COMBUSTIBLE DE LOS MOTORES FUERA DE BORDA 4T.

5.2.1. PRINCIPALES FALLAS Y MODOS DE FALLA EN EL SISTEMA DE COMBUSTIBLE POR CAUSA DEL USO DE BIOGASOLINA.

5.2.1.1. TANQUE DE COMBUSTIBLE.

5.2.1.2. SISTEMA DE FILTROS.

5.2.1.3. BOMBA DE INYECCIÓN.

5.2.1.4. SISTEMA DE CARBURADORES.

6. PLAN DE MANTENIMIENTO DE MOTORES FUERA DE BORDA DE LÍNEA COMERCIAL.

6.1. MANTENIMIENTO MOTORES F/B CADA 100 HORAS.

6.2. MANTENIMIENTO MOTORES F/B CADA 300 HORAS.

6.3. MANTENIMIENTO MOTORES F/B CADA 500 HORAS.

6.4. MANTENIMIENTO MOTORES F/B CADA 1000 HORAS.

CONCLUSIONES.

BIBLIOGRAFÍA.

ANEXOS.

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Venta de motores fuera de borda de línea comercial en Cartagena año 2010.

Tabla 2. Partes fundamentales de un motor fuera de borda.

Tabla 3. Breve reseña histórica de los motores fuera de borda Yamaha.

Tabla 4. Ventajas y desventajas comunes de los motores 2T y 4T.

Tabla 5. Especificaciones Técnicas Básicas del FT50CETL.

Tabla 6. Especificaciones Técnicas Básicas del F100BETX.

Tabla 7. Especificaciones Técnicas Básicas del F150BETX.

Tabla 8. Especificaciones Técnicas Básicas del F200BETX.

Tabla 9. Trabajos de cambio de tanque realizados en el taller de reparación de botes de Eduardoño S.A. Regional Cartagena.

Tabla 10. Características básicas de las principales resinas de poliéster y viniléster.

Tabla 11. Precio por Kilogramo de las resinas de poliéster y viniléster distribuidas por Eduardoño S.A.

Tabla 12. Modos de falla del sistema de combustible relacionadas con el uso de biogasolina.

Tabla 13. Revisiones periódicas de 100 a 1000 horas de trabajo para el motor FT50C.

Tabla 14. Revisiones periódicas de 100 a 1000 horas de trabajo para el motor F100B.

Tabla 15. Revisiones periódicas de 100 a 1000 horas de trabajo para el motor F150B.

Tabla 16. Revisiones periódicas de 100 a 1000 horas de trabajo para el motor F200B.

LISTADO DE FIGURAS

- Figura 1. Imagen de la Marina Eduardoño S.A. en Cartagena
- Figura 2. Motores fuera de borda Mercury 125 (2 tiempos) y Yamaha F225B (4 tiempos).
- Figura 3. Partes fundamentales de un motor fuera de borda.
- Figura 4. Imagen parte interior cabeza de fuerza motor Yamaha F350.
- Figura 5. Imagen de una transmisión de motor fuera de borda con sus partes.
- Figura 6. Ciclos de la combustión del motor 2T.
- Figura 7. Gráficas de la combustión en un motor 4T.
- Figura 8. Motor fuera de borda YAMAHA FT50CETL.
- Figura 9. Sistema de combustible de cuerpo de carburadores motor F100B.
- Figura 10. Bomba de inyección de combustible de motor F200B y F150B.
- Figura 11. Vista inferior de la cabeza de fuerza de un F200B. Ubicación bomba de aceite.
- Figura 12. Vista interna bomba de aceite motor F200B.
- Figura 13. Flujo de agua a través de los circuitos de refrigeración.
- Figura 14. *Power trim and tilt* de un motor fuera de borda con sus partes (F200B).
- Figura 15. Interior de una transmisión de motor fuera de borda con sus partes básicas.
- Figura 16. Definición gráfica de falla funcional.
- Figura 17. Bomba primaria o Pera.
- Figura 18. Filtro decantador Yamaha Ref. 90794-46866
- Figura 19. Cuerpo de inyectores de un F200B.
- Figura 20. Disposición de las bombas primarias o peras.

Figura 21. Cuerpo de la bomba de inyección de un F150B.

Figura 22. Máquina calibradora de inyectores del Taller de Servicio Eduardoño S.A.

Figura 23. Partes de una bomba de aceite. El endurecimiento o cristalización del retenedor que se muestra en el centro, representa la mayor cantidad de fallas en el sistema de lubricación.

Figura 24. Rompimiento de biela por efecto de un Hidrolock.

Figura 25. Ánodo de cola o de transmisión.

Figura 26. Switches de trim de caja de control.

Figura 27. Ánodo de bracket y composición del soporte de motor.

Figura 28. Biogasolina degradada por absorción de agua.

Figura 29. Tanques de PRFV deteriorados por acción de la biogasolina.

Figura 30. Fibra de vidrio desprendida de un tanque de combustible por efecto de la biogasolina.

Figura 31. Presencia de resina en filtro decantador del sistema de combustible.

Figura 32. Aplicación de la primera capa en resina Novolak durante la fabricación de un tanque de PRFV.

Figura 33. Disposición del filtro decantador respecto al tanque y la bomba primaria.

Figura 34. Filtro decantador Yamaha Ref. 90794-46866.

Figura 35. Filtro de combustible Racor Parker Ref. S3227.

Figura 36. Muestra de filtros decantadores con presencia de agua en el combustible.

Figura 37. Filtro de cabeza de fuerza de motor carburado FT50.

Figura 38. Filtros de bomba de inyección (15 y 18).

Figura 39. Filtro externo de la bomba de combustible de motores F150B y F200B.

Figura 40. Filtro de inyector Yamaha Ref. 2017.

Figura 41. Efecto de la corrosión en la bomba de inyección de un F200B

Figura 42. Comparativo de ventas de bomba de combustible desde noviembre de 2009 hasta octubre de 2011.

Figura 42. Aceite de transmisión TransmiLube® (SAE 90) y de motor SUPRA 4T® (SAE 20W50) marca Eduardoño.

Figura 43. Filtro de aceite de motor para motores de FT50 y F100B (Ref. 5GH-13440-00) y para motores F150By F200B (Ref. 69J-13440-01).

Figura 44. Empaques de tapón de la transmisión para todos los motores F/B de cuatro tiempos (Ref. 90430-08020).

Figura 45. Ánodos de cinc para bloque (Ref. 67F-11325-01) con sus empaques (Ref. 67F-11328-00) utilizados en todos los motores F/B cuatro tiempos.

Figura 46. Ánodo de bracket (Ref. 6G5-45251-02) y ánodo de cola (Ref. 6E5-45371-01)

Figura 47. Elemento filtro decantador de combustible (Ref. 90794-46868).

Figura 48. Partes de la bomba de agua de los motores F100B, F150B y F200B.

Figura 49. Bujías Ref. LFR5A-11 (Motores FT50 y F100B) y Ref. LFR6A-11 (Motores F150B y F200B).

Figura 50. Correa de tiempos instalada motor F200B (Ref. 69J-46241-00)

Figura 51. Correa de tiempo motor F100B (Ref. 67F-46241-00).

LISTADO DE ANEXOS

ANEXO A. COMUNICADO DE INTRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES A LA COSTA CARIBE DEL MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA.

ANEXO B. INSTRUCTIVO DE FABRICACIÓN DE TANQUES CON RESINA NOVOLAC PARA LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BOTES DE EDUARDOÑO S.A. EN ITAGÜÍ.

ANEXO C. INFORME DE RESISTENCIA QUÍMICA DE RESINAS ANTE GASOLINA.

INTRODUCCIÓN

En la ciudad de Cartagena se evidencia cada vez de manera más clara, el desarrollo en los diferentes ámbitos que conforman una ciudad propia de la costa norte de Colombia. Uno de estos ámbitos es el transporte, que a nivel terrestre presenta cambios perceptibles de manera mayúscula como la construcción de su nuevo sistema integrado de transporte masivo, denominado Transcaribe, o las cada vez más asombrosas doble calzadas construidas en las salidas norte, suroriente y suroccidente de la ciudad; o el extraordinario proyecto del Megaeropuerto en la zona norte. Sin embargo, la condición costera de la ciudad propone un medio de transporte eficiente y vital, no solo para los ciudadanos que lo utilizan en el desarrollo de sus labores diarias entre la isla de Tierra Bomba y Cartagena, sino también para las grandes empresas que aprovechan sus puertos de manera eficiente; y que mueve toda una industria detrás de él. Éste medio de transporte es el marino. Y una de sus formas más eficientes y utilizadas son las embarcaciones impulsadas por motores fuera de borda.

Las embarcaciones con motores fuera de borda proporcionan una alternativa eficiente, rápida y segura para suplir las necesidades de transporte a un universo de beneficiados compuesto por las industrias portuarias, de hidrocarburos, de vigilancia y patrullaje, hotelera y de turismo, transporte de pasajeros, actividades de pesca y recreación. YAMAHA como marca líder en el mercado de motores fuera de borda en Colombia y el mundo, suple cada una de estas necesidades con una gran cantidad de productos que son distribuidos por EDUARDOÑO S.A. a nivel nacional, y que presentan características adecuadas para cada finalidad que se requiera.

EDUARDOÑO S.A. Como distribuidor autorizado de YAMAHA para Colombia, divide su actividad comercial en distintos segmentos del mercado de la siguiente manera: Segmento de pesca artesanal y negocio informal, segmento recreo y segmento comercial. Este último comprende una gran cantidad de productos que merecen especial atención en cuanto a mantenimiento ya que son obtenidos con fines de trabajo de alto nivel, y cuyo propósito es lograr una alta eficiencia para

aprovechar sus características y ventajas al máximo, y además, que sea económicamente viable y sostenible; y es precisamente sobre el mantenimiento de los motores fuera de borda de este segmento en lo que se basa este trabajo.

Este trabajo se ha basado exclusivamente en la línea comercial de motores fuera de borda YAMAHA distribuidos por EDUARDOÑO S.A., ya que es el campo donde se puede aplicar de mejor manera el concepto de mantenimiento centrado en la confiabilidad y porque es el segmento que más procura mantener sus equipos en óptimas condiciones de operación ya que de ello depende la rentabilidad de un negocio.

EDUARDOÑO S.A. Ha permitido que conozcamos a fondo su estrategia comercial en área de servicio técnico para que, a través de un trabajo como este podamos optimizar los tiempos de atención en el mantenimiento de sus clientes, y que esto repercuta en la rentabilidad de los mismos.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Está comprobado que el mantenimiento es un área sobre la cual las empresas pueden basar un alto porcentaje de su rentabilidad, a través de la medición de disponibilidad, confiabilidad, y calidad de operación de sus equipos. Y es un hecho importante el que la cultura sobre esta área en la industria cartagenera esté creciendo y que cada vez más se considera el mantenimiento como un pilar fundamental en el desarrollo de una organización.

El taller de servicio técnico de EDUARDOÑO S.A. recibe a diario una gran cantidad de solicitudes de servicio técnico para motores fuera de borda de línea comercial, la mayoría de dichas solicitudes se concentran en mantenimientos preventivos, basándose en las horas de trabajo y reparaciones de fallas producto del no seguimiento de un programa de mantenimiento adecuado para estos equipos. Aun así no existe un mecanismo que contemple las recomendaciones del fabricante acerca de su producto y la experiencia de los mantenedores que la ejecutan.

Estudio aparte merece la creciente problemática relacionada con las abundantes fallas del sistema de combustible de los motores fuera de borda, causadas principalmente por el taponamiento de filtros y tuberías, producto de la dañina reacción que provoca el etanol contenido en la gasolina que consumimos los colombianos desde el pasado año. Esto se debe a la incompatibilidad que existe entre éste y la fibra de vidrio, material comúnmente utilizado en la fabricación los tanques de combustible de las embarcaciones.

Lo que se pretende con este trabajo es hacer un análisis de las fallas que se presentan en los motores fuera de borda que resultan del uso de la biogasolina y que son atendidas por el taller de servicio técnico de EDUARDOÑO S.A. y una vez identificadas las mismas, establecer unas estrategias que permitan optimizar el tiempo utilizado en los servicios requeridos, buscando obtener una satisfacción en sus clientes y una rentabilidad en sus empresas.

2. JUSTIFICACIÓN.

Debido a la incrementada utilización de los motores fuera de borda en el segmento comercial por su propósito meramente económico, la exigencia de su correcta funcionalidad aumenta para que con ello se logre la sostenibilidad de este mercado y la utilidad económica para sus usuarios. Por ello, las fallas son algo totalmente indeseables pero son reales, así que hay que mantener el riesgo de las mismas en un nivel mínimo y controlable, sumando a esto que la confiabilidad en la utilización de estos equipos debe ser alta, toda vez que el medio en que se mueven es el mar y deben medirse todos los contratiempos y sobre todo los riesgos que implique una falla parcial o total en el mar.

Por lo anterior y por la abundante demanda de mantenimiento y reparaciones de motores fuera de borda en los talleres de servicio de EDUARDOÑO S.A., así como por el interés de optimizar costos de operación y mantenimiento en estos equipos, es necesario hacerse a una herramienta que permita de manera clara y completa identificar las fallas y modos de falla de los distintos sistemas que componen los motores fuera de borda YAMAHA y de esta manera ayudar a prevenirlas.

Por ello, en este trabajo se propone un plan de mantenimiento para motores fuera de borda que les permita tanto a los operadores como a los mantenedores saber cuáles son las actividades correspondientes dependiendo de las condiciones de aplicación y disponibilidad del equipo, y basándonos en un sistema estándar de medición como son las horas de trabajo de los motores.

3. OBJETIVOS.

3.1. OBJETIVOS GENERALES

Desarrollar un plan de mantenimiento preventivo teniendo en cuenta las fallas del sistema de combustible de los motores fuera de borda YAMAHA de línea comercial distribuidos por EDUARDOÑO S.A.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Caracterizar los sistemas críticos que componen un motor fuera de borda YAMAHA de línea comercial.

Analizar las fallas y modos de falla de los sistemas críticos de funcionamiento de los motores fuera de borda YAMAHA.

Señalar la incidencia que tiene el uso de biogasolina en las embarcaciones y sobre los motores fuera de borda de cuatro tiempos.

Describir el proceso de servicio para mantenimiento de motores fuera de borda utilizado en EDUARDOÑO S.A.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1. EDUARDOÑO S.A.

EDUARDOÑO S.A. Es una empresa con más de 60 años en el mercado, cuya actividad económica es distribuir equipos agrícolas y de generación de energía, motores fuera de borda, lubricantes y fabricar embarcaciones y tanques de almacenamiento en fibra de vidrio. Además ofrece servicio técnico especializado a cada una de las áreas de negocio.



Figura 1. Imagen de la Marina Eduardoño en Cartagena

La empresa divide su actividad comercial por negocios:

- **Negocio Ambiental:**

Ofrece plantas para el tratamiento de agua y tanques de almacenamiento fabricados en PRFV.

- **Negocio Lubricantes:**

Ofrece lubricantes para motores de dos y cuatro tiempos refrigerados por aire y por agua con fórmula propia y envasados en su planta de Itagüí. Además es el distribuidor autorizado para Colombia de los lubricantes Chevron®.

- **Negocio Agrícola y Energía:**

Distribuye equipos livianos para el trabajo del campo como guadañadoras, fumigadoras, motosierras entre otras. También ofrece plantas generadoras de energía eléctrica hasta de 20KVA.

- **Negocio Náutico:**

En esta área EDUARDOÑO S.A. Ofrece una gran cantidad de productos que van desde embarcaciones para pesca y transporte, hasta botes deportivos y de recreación fabricados en su planta de producción en Itagüí. Para complementar esto EDUARDOÑO S.A. Ofrece motores fuera de borda marca YAMAHA de dos y

cuatro tiempos, de los cuales es distribuidor exclusivo para Colombia. El mercado de los motores fuera de borda, EDUARDOÑO S.A. Lo divide en segmento de pesca artesanal y negocio informal, con motores que van desde 2,5 Hp, hasta los 40 Hp; el segmento recreo que maneja motores de más de 200 Hp y motos acuáticas marca YAMAHA; y el segmento comercial que abarca los motores comprendidos entre 50Hp y 200Hp.

Analizando este segmento, nos damos cuenta que estos equipos son obtenidos por clientes cuya finalidad es poner a producir los motores y en búsqueda de ser eficientes, se ofrecen los motores de cuatro tiempos preferiblemente. Esto nos lleva a que, estadísticamente, de acuerdo a la tabla 1., los motores más vendidos por Eduardoño S.A. a este tipo de cliente son los modelos F50, F100, F150 y F200.

VENTAS MOTORES LÍNEA COMERCIAL AÑO 2010									
MES	FT50		F100B		F150		F200		
	CLIENTE	CANT	CLIENTE	CANT	CLIENTE	CANT	CLIENTE	CANT	
ENE			HOTEL 3 BANDERAS	1					
			ALCALDIA DE CARTAGENA	2					
FEB			HOTELES DECAMERON	2			OT* ALEX BELLO	2	
MAR			OT* CARMELO ZÍÑIGA	2					
			PROFESIONALES MARÍTIMOS	1					
ABR	CONTECAR	1	CONEQUIPOS	2					
	DRAGADOS HIDRÁULICOS	1							
MAY	SERPORT	1	PROFESIONALES MARITIMOS	1					
	OT* F. ESCAMILLA EU	1	OT* PUNTA FARO	2					
JUN							OT GENTE DE MAR	2	
JUL			SPRC	2			CARIBE NÁUTICO	3	
AGO							CARIBE NÁUTICO	2	
SEPT						CARIBE NÁUTICO EU	3	CARIBE NÁUTICO	1
			PONAL	2					
			BUZOS POSEIDON	2					
OCT			GINRED - DIMAR	2					
NOV			OLGA BAUTIRTA S. EN C.	2					
DIC							COTECMAR	3	

* Operador turístico.

Tabla 1. Venta de motores fuera de borda de línea comercial en Cartagena año 2010.

4.2 MOTORES FUERA DE BORDA.

Un motor fuera de borda es un sistema de propulsión para botes, que consiste en una unidad autónoma que incluye motor, transmisión y hélice, diseñada para ser colocada en la parte exterior de la embarcación [2]. Ofrece un buen control de la dirección, ya que están diseñados para girar sobre sus monturas y por lo tanto controlar la dirección del empuje generado por la hélice.

La popularidad del motor fuera de borda radica en lo versátiles y maniobrables que son, satisfaciendo así necesidades de una gran diversidad de embarcaciones con ventajas tales como que, en comparación con los motores instalados a bordo, conocidos como internos o dentro-fuera, éstos se pueden desmontar fácilmente para su almacenamiento o reparación.



Figura 2. Motores fuera de borda Mercury 125 (2 tiempos) y Yamaha F225B (4 tiempos).

La historia del motor fuera de borda nos remonta al año 1906, con el monocilindro de dos tiempos conocido como *Waterman Outboard Porto*, construido por Cameron Waterman en sociedad con el proyectista Oliver Barthel, quienes lo perfeccionaron hasta lograr dar una transmisión vertical al motor. Su popularidad aumentaría en los Estados Unidos alrededor de la década de los 20, cuando las empresas norteamericanas Johnson, Evinrude y Mercury se dedicaron decididamente a perfeccionar su funcionamiento.

Ya en los años 60 del pasado siglo, las casas japonesas YAMAHA, Suzuki y Honda se decidieron por introducir dentro de su portafolio de producto los mencionados motores, con la particularidad que, hasta estos días, son los más vendidos en el mundo a excepción de los Estados Unidos, quienes son fieles a sus fabricantes locales.

Desde los inicios del motor fuera de borda, el tipo predominante ha sido el de dos tiempos, sin embargo, a partir de la década de los 80, y debido al gran interés y presión de la comunidad internacional por cuidar el medio ambiente, se abrió paso la tecnología cuatro tiempos. Estos últimos además de ser amigables con el medio ambiente, ofrecen una mayor eficiencia, potencia y menor consumo de combustible. Se fabrican equipos desde 2.5 hasta 350 caballos de fuerza representados en el F350 - V8 de YAMAHA que es el motor fuera de borda de mayor potencia en el mundo.

4.2.1. ESTRUCTURA DEL MOTOR FUERA DE BORDA.

El motor fuera de borda en sí, como se muestra en la figura 3, se compone de una cabeza de fuerza que abarca un motor de combustión interna; un soporte o *bracket* para sujetarlo a la embarcación y una transmisión vertical que se encarga de entregar la potencia de giro a la hélice para que esta produzca propulsión. En la tabla 2. Podemos ver las funciones de cada componente.

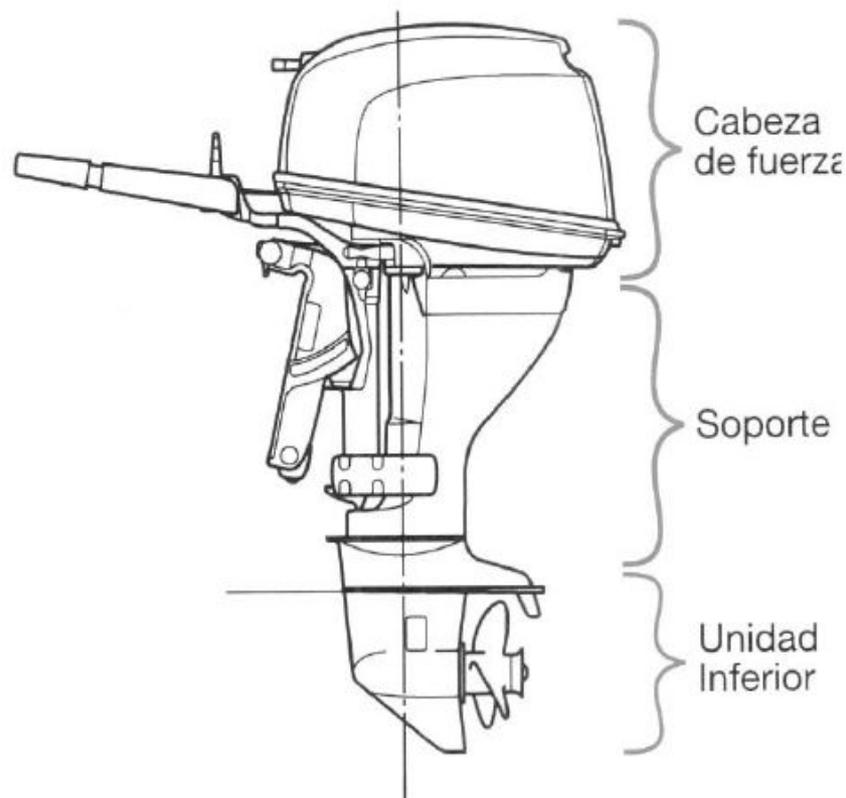


Figura 3. Partes fundamentales de un motor fuera de borda.

Parte	Función
Cabeza de Fuerza	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de la potencia
Soporte	<ul style="list-style-type: none"> • Fijación del bote • Dirección • Ajuste del ángulo de inclinación • Amortiguación de la vibración generada por la transmisión de potencia a través de los amortiguadores. • Reducción del ruido generado por la salida de los gases por el exhosto • Salida del agua de refrigeración.
Unidad Inferior	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de empuje. • Timón: Actúa como timón variando la dirección de empuje de la hélice. • Refrigeración: Lleva el agua desde las rejillas de refrigeración, por medio de la bomba de refrigeración hasta la cabeza de fuerza. • Salida de gases quemados: Los gases quemados salen por debajo de la superficie del agua.

Tabla 2. Partes fundamentales de un motor fuera de borda [2].

• CABEZA DE FUERZA

La cabeza de fuerza está ubicada en la parte superior del motor, y es allí donde se genera la potencia, es decir, es el motor del fuera de borda. La estructura fundamental de la cabeza de fuerza, básicamente, es la misma de un motor de combustión interna común y normal con disposición del eje cigüeñal vertical.

La cabeza de fuerza se compone en su mayoría de un motor que puede ser de dos o cuatro tiempos, un *charol* que la soporta y una tapa protectora que tiene los orificios de entrada de aire necesarios para producir la combustión. Además en ella se encuentran muchos de los sistemas críticos para el buen funcionamiento del motor.



Figura 4. Imagen parte interior cabeza de fuerza motor Yamaha F350.

- **SOPORTE**

También conocido como unidad intermedia, el soporte, como su nombre lo indica, contiene los elementos necesarios para sujetar el motor al bote. Así como también el sistema de inclinación o *trim*, el exhosto del motor y además acopla el sistema de dirección del bote. La longitud de éste se conoce como altura del *transom*.

- **UNIDAD INFERIOR**

La unidad inferior es la caja de transmisión del motor fuera de borda; ésta contiene el embrague y juegos de piñones y rodamientos que se encargan de entregar la potencia producida en la cabeza de fuerza a la hélice para convertirla en fuerza de propulsión.

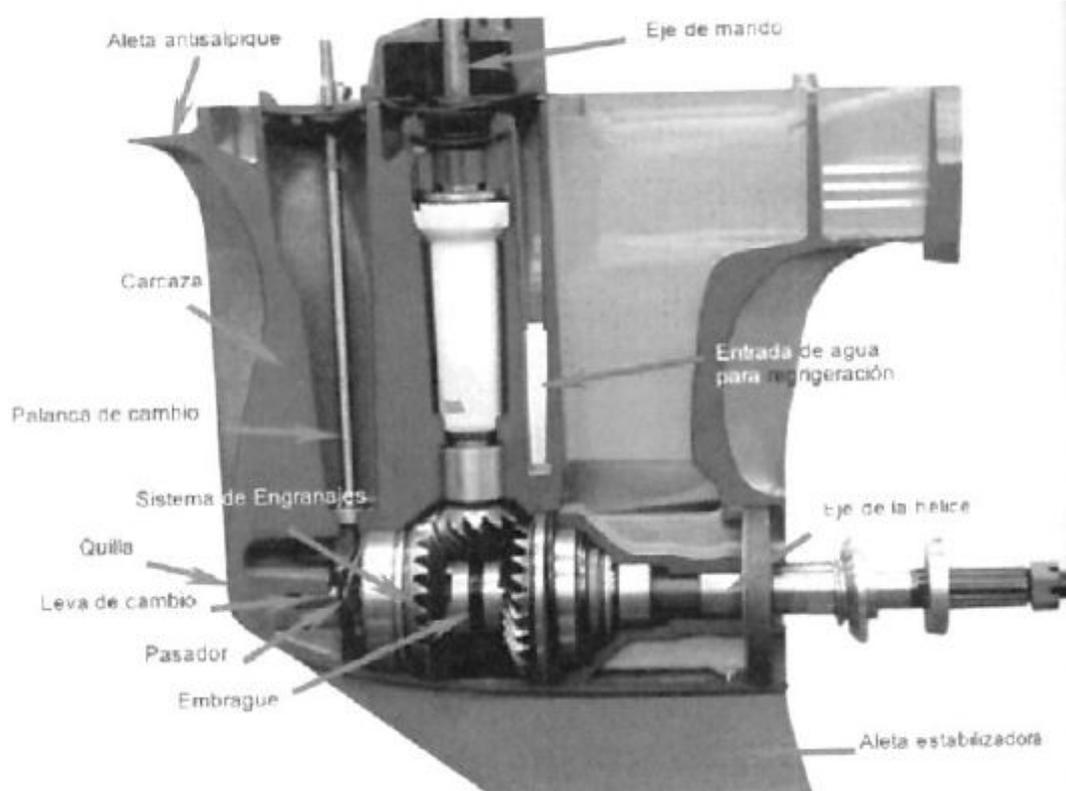


Figura 5. Imagen de una transmisión de motor fuera de borda con sus partes.

4.3. GENERALIDADES DE MOTORES YAMAHA.

La Historia de Yamaha comienza a finales del siglo XIX como una industria fabricante de instrumentos musicales, que luego de 50 años, durante la segunda guerra mundial, se fortalece con la producción de motocicletas. Sin embargo, es hasta 1960 que Yamaha decide incursionar en el mercado de los motores fuera de borda y desde entonces se ha posicionado como una de las marcas más fuertes y con mayor índice de ventas en el mercado global de motores fuera de borda de dos y cuatro tiempos. En la tabla 3. se puede observar la evolución de los motores fuera de borda de YAMAHA MOTOR COMPANY®.

Año	Evento
1960	Se introdujo el primer modelo P-7 de 2 tiempos, refrigerado por aire de 125 cm ³
1961	El P-7 se modifica para trabajar con Keroseno.
1964	Se introdujo el primer motor refrigerado por agua, de dos cilindros en línea y 22Hp (360 cm ³).
1974	Se introdujo un modelo de 55Hp, 2 cilindros y encendido eléctrico.
1981	Se introduce el modelo 115A de 4 cilindros en V a 90° con inyección de aceite (1730 cm ³)
1984	Se introdujo el primer motor de 4 tiempos de Yamaha, de 2 cilindros, de 9.9 Hp y refrigerado por agua.
1985	Se introdujo el modelo de contra rotación L150A.
1989	Se introdujo el modelo de 250A de dos tiempos V6 y 3130 cm ³ .
1992	Se introdujo el modelo 4T, 4 cilindros con carburadores F50A.
1996	Se introdujo el primer modelo de 2 tiempos con inyección electrónica de combustible de 250 Hp.
1999	Se introdujo el primer modelo 4T de doble eje de levas (DOHC) F100A.
2002	Se introdujo el primer modelo 4T de inyección electrónica de combustible F200A.
2007	Se introdujo el modelo F350A, 4 tiempos V8. El más potente del mundo
2010	Se lanza al mercado el modelo F300B V6 con bloque liviano fabricado en aleación de aluminio.

Tabla 3. Breve reseña histórica de los motores fuera de borda Yamaha.[2]

Los modelos de motores fuera de borda Yamaha poseen una nomenclatura que detalla cada una de las características del equipo[2]. A continuación se muestra la descripción de los códigos de un modelo de motor fuera de borda de Yamaha.

- Ejemplo:

1	2	3	4	5	6	7
F	200	B	E	T		X

1: *Descripción del modelo.*

- F: Cuatro tiempos.
- L: Contra rotación (Hélice gira en contra de las manecillas del reloj).
- E: Enduro (Trabajo pesado).
- T: Transmisión de alto empuje.
- Z: HPDI

2: *Potencia en el eje de la hélice en caballos de fuerza (Hp).*

3: *Generación del motor.*

4: *Arranque y sistema de mandos.*

- M: Arranque manual.
- E: Arranque eléctrico / mandos remotos.
- R: Arranque manual / mandos remotos.
- H: Dirección manual.

5: *Sistema de inclinación.*

- Sin Letra: Inclinación manual.
- P: Sistema de *tilt*.
- T: *Power trim and tilt*.

6: *Sistema de lubricación.*

- Sin Letra: Sistema de premezcla (Modelos 2T).
- O: Inyección de aceite.

7: *Altura del Transom.*

- S: Corto 15".
- L: Largo 20".
- X: Ultralargo 25".
- U: Superultralargo 30".

4.4 MOTORES FUERA DE BORDA YAMAHA 2T Y 4T.

Yamaha fabrica motores fuera de borda para todo tipo de aplicaciones; en ese sentido encontramos motores fuera de borda de dos y cuatro tiempos, cada uno con sus características y ventajas particulares.

En general, el motor dos tiempos posee una configuración más simple, con menos partes, lo que lo hace liviano. Genera trabajo o explosión en cada revolución del cigüeñal en comparación con el 4T, que realiza trabajo cada dos vueltas, razón por la que realiza el mismo trabajo en menor tiempo (teniendo en cuenta que sea la misma cilindrada), lo cual lo hace más potente. Sin embargo, el consumo de combustible es elevado debido a que los tiempos de admisión y escape se dan casi a la vez a través de lumbreras ubicadas en el bloque, y parte de la mezcla de admisión se pierde ayudando a evacuar los gases de escape (Figura 6.), es decir es una combustión imperfecta[2]. La mencionada mezcla se conforma de combustible y aire, pero en este tipo de motores el combustible es combinado en cierta proporción con aceite de lubricación que también es quemado durante la combustión por esto producen mucho humo.

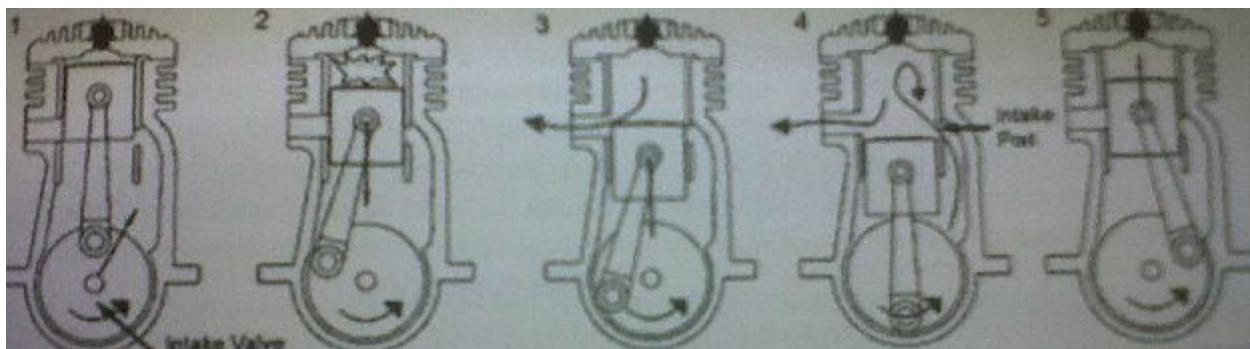


Figura 6. Ciclos de la combustión del motor 2T.

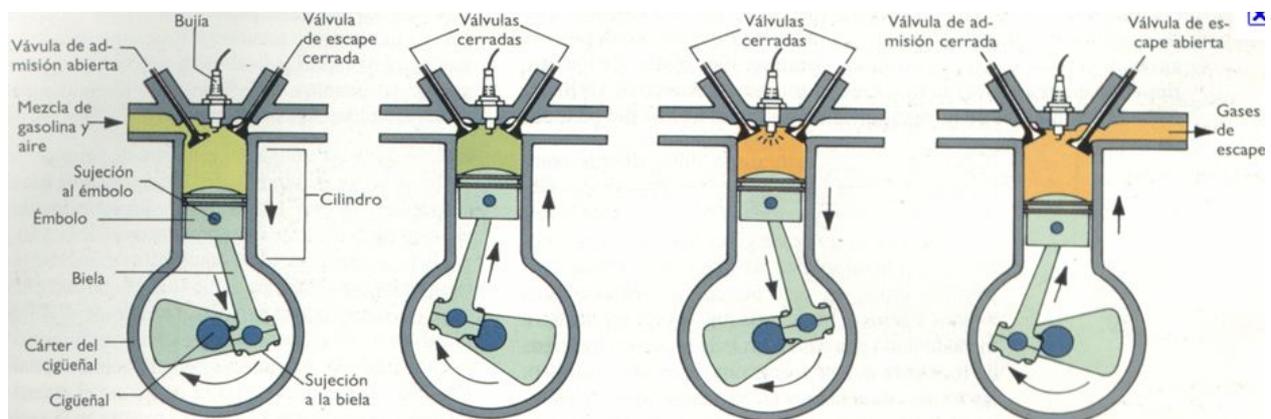


Figura 7. Gráficas de la combustión en un motor 4T.[2]

Por otra parte, los motores de cuatro tiempos representan una ventaja en operación debido a su bajo consumo de combustible y no producción de humo, ya que la lubricación se genera a través del flujo de aceite en un circuito cerrado impulsado por una bomba; y teniendo en cuenta que la admisión y el escape de gases se dan a través de válvulas accionadas por un eje de levas (Figura 7). En la tabla 4. se realiza un resumen de la comparación de ventajas y desventajas entre los motores fuera de borda de dos y cuatro tiempos.

Motor Fuera de Borda 2T	
Ventajas	Desventajas
✓ Es Barato.	➤ Uso ineficiente del combustible.
✓ No requiere gran calidad de combustible.	➤ Vida útil breve (2 años aprox.).
✓ Buen rendimiento con aceleración rápida.	➤ Requiere aceite para motor dos tiempos para el combustible (operación costosa).
✓ La tecnología es simple.	➤ Alta emisión de gases de escape.
✓ Es liviano.	➤ Funcionamiento inestable a bajas revoluciones.
Motor Fuera de Borda 4T	
✓ Económico en la operación.	➤ Es un 35% aprox. Más costoso que el equivalente en 2T.
✓ Emite menos gases de escape.	➤ Es un 15% aprox. Más pesado que su equivalente en 2T.
✓ Posee mejor rendimiento.	➤ La tecnología es nueva por lo que requiere mantenimiento especializado.
✓ Mayor vida útil (3-6 años aprox.).	➤ Requiere combustible de buena calidad.
✓ Es silencioso.	
✓ No necesita combustible mezclado	

Tabla 4. Ventajas y desventajas comunes de los motores 2T y 4T.[3]

Los motores fuera de borda de cuatro tiempos de Yamaha, de acuerdo a al *Product Guide Information 2012* [4] (Catálogo de información de motores fuera de borda), poseen en común las siguientes características:

- *Protección anticorrosión extra:* El motor cuenta con una pintura de 5 capas, una aleación de aluminio especialmente desarrollada por Yamaha y ánodos de sacrificio estratégicamente ubicados.
- *Sistema limitador de sobre-revoluciones:* Actúa automáticamente para detener las sobre-revoluciones causadas por la ventilación u otras causas, a fin de evitar daños en el motor.
- *Alarma de sobrecalentamiento:* Si se bloquea la toma de agua, este sistema impide el

sobrecalentamiento reduciendo la velocidad del motor, a la vez que avisa al operador mediante una luz y/o zumbador (alarma sonora).

- *Alarma de baja presión de aceite:* En los motores de 4 tiempos, cuando la presión de aceite cae por debajo de un valor prefijado, la velocidad se reduce automáticamente mientras se enciende un indicador o suena un dispositivo de alarma para alertar al piloto.
- *Horómetro:* Un medidor registra las horas de funcionamiento del motor, lo que facilita las tareas de mantenimiento como los cambios.

4.5 MOTORES FUERA DE BORDA YAMAHA DE LÍNEA COMERCIAL.

De acuerdo a las necesidades del mercado, se ofrecen líneas de motores que cumplan con las características y funciones que éste requiera. Los motores de línea comercial representan los equipos cuya finalidad es meramente económica y productiva. Por esta razón y, de acuerdo a lo señalado en la tabla 1. y teniendo en cuentas las ventajas mostradas en la tabla 4., los motores fuera de borda de cuatro tiempos son los preferidos para este propósito.

De este segmento los modelos de más representativos de Yamaha son:

- FT50CETL.
- F100BETX.
- F150BETX.
- F200BETX.

4.5.1. MOTOR YAMAHA FT50CETL.



Figura 8. Motor fuera de borda YAMAHA FT50CETL.

El motor fuera de borda FT50CETL es un motor de cuatro cilindros y 935 c.c. de cilindrada, ideal para embarcaciones diseñadas para transportar grandes cargas ya que cuenta con una transmisión de alto empuje. Su sistema de alimentación por carburador simplifica las labores de mantenimiento.

Este modelo se puede usar en botes para mar entre 22 y 26 pies en instalación doble. El FT50 (como se le conoce) reúne las siguientes características:

- *Navegación en aguas poco profundas*: El motor fuera de borda se puede levantar y ubicar en ángulo para evitar que choque contra el fondo. Protege la hélice y posibilita maniobras próximas a tierra.
- *Prime Start™*: El sistema de arranque en frío sin choque de Yamaha es automático y brinda un arranque seguro y rápido en cualquier clima.
- *Alta capacidad de carga*: Poseen un diseño de transmisión de alto empuje lo que los hace ideales para trabajos de carga.

Las especificaciones técnicas del FT50 (Tabla 5.) son típicas de motores buscados para labores de carga, transporte y vigilancia con régimen de trabajo 24/7.

Motor Fuera de Borda FT50CETL	
Tipo de Motor	4 Tiempos, 4 cilindros en línea SOHC.
Cilindrada	935 cm ³
Potencia de Salida	50HP @ 5500 rpm.
Relación de Compresión	9.3:1
Diámetro por Carrera	63 mm x 75 mm.
Peso	112 Kg.

Tabla 5. Especificaciones Técnicas Básicas del FT50CETL.[4]

4.5.2. MOTOR YAMAHA F100BETX.

El F100BETX es uno de los primeros motores 4 tiempos en alcanzar la categoría de uso comercial, cuyas principales características se encuentran en la tabla 6. Posee también sistema de alimentación por carburador simplificando así las labores de mantenimiento y limpieza. Sus 1600 cm³ y sus 100 Hp lo convierte en el motor de trabajo por excelencia y se adapta, inclusive, para aplicaciones de placer. Además de las características de todos los motores 4T de Yamaha, presenta las siguientes:

- *Módulo de control electrónico*: El módulo de control electrónico (ECM, por sus siglas en inglés) monitorea constantemente las condiciones del motor, ajusta la distribución del encendido y la mezcla de combustible para proveer un arranque seguro, máximo desempeño, excelente eficiencia en el consumo y unas emisiones limpias. También activa los sistema de aviso que cuidan del motor.
- *Termostato*: Mantiene la temperatura óptima de operación en todo momento,

alargando la vida útil del motor gracias a la disminución de la carga térmica en el mismo.

- *Power Trim & Tilt (PTT)*: Es el sistema de elevación controlado por switch que permite el trimado hacia arriba o abajo sin necesidad de hacer esfuerzos. El trimado permite planear rápidamente y navegar en aguas poco profundas.
- *Unidad CDI*: El sistema bobina-distribuidor-encendido unificado ofrece una chispa fuerte y una distribución precisa. Aumenta la vida de las bujías y mejora el arranque.

Motor Fuera de Borda F100BETX	
Tipo de Motor	4 Tiempos, 16 válvulas, 4 cilindros en línea DOHC.
Cilindrada	1596 cm ³
Potencia de Salida	100HP @ 5500 rpm.
Relación de Compresión	8.9:1
Diámetro por Carrera	79 mm x 81.4 mm.
Peso	189 Kg.

Tabla 6. Especificaciones Técnicas Básicas del F100BETX.[4]

4.5.3. MOTOR YAMAHA F150BETX.

Este modelo de Yamaha es el único motor de 150 Hp en el mercado que cuenta con la categoría de uso comercial, es ideal para aplicaciones de transporte en río y para botes de mar que operan en aguas abiertas. Su excelente relación peso – potencia le permite obtener altas velocidades de forma suave, limpia y económica. Además de compartir ciertas características con el F100B tales como el ECM, el sistema de *Trim and Tilt*, CDI y doble árbol de levas (DOHC); cuenta con:

- *Inyección electrónica de combustible*: Permite suministrar la cantidad exacta de combustible para cada cilindro. El sistema atomiza el combustible para una combustión óptima, mejorando el desempeño y la eficiencia en el consumo.
- *Cigüeñal de larga duración*: El cigüeñal está fabricado con un material especialmente duro para alargar la vida del motor. A su vez, el motor está perfectamente balanceado para reducir las vibraciones.
- *Sistema a pruebas de averías*: Permite seguir operando el motor, si falla alguno de los sensores.

- *Sistema de diagnóstico computarizado Yamaha YDIS:* Se conecta un computador personal al módulo de control electrónico (ECM) para un fácil diagnóstico y un mantenimiento acertado.
- *Dispositivo de lavado de agua dulce:* Con el dispositivo de lavado de agua dulce de Yamaha es posible conectar una manguera directamente al motor, para efectuar un completo lavado interno después de su uso, proporcionando de ese modo una protección adicional contra la corrosión.
- *Sistema de contra rotación:* Los motores vienen con función de contra rotación para que el timón se mantenga neutral en caso de montajes dobles. Por el contrario, un par de hélices de rotación en sentido horario hará que la embarcación vire a babor.

Motor Fuera de Borda F150BETX	
Tipo de Motor	4 Tiempos, 16 válvulas, 4 cilindros en línea DOHC.
Cilindrada	2670 cm ³
Potencia de Salida	150HP @ 5500 rpm.
Relación de Compresión	9.0:1
Diámetro por Carrera	94 mm x 96.2 mm.
Peso	220 Kg.

Tabla 7. Especificaciones Técnicas Básicas del F150BETX.[4]

4.5.4. MOTOR YAMAHA F200BETX.

El Yamaha F200BETX es el único motor de 200 caballos de potencia diseñado para uso comercial como la pesca, el transporte de pasajeros y patrullaje. Con apropiadas inspecciones y mantenimiento periódico este motor puede tener un uso continuo que garantiza productividad y rentabilidad. Es un motor de seis cilindros en V y 24 válvulas lo que ratifica su evidente mayor potencia para cualquier actividad que se le requiera. Algunos de los beneficios con los que cuenta son la inyección electrónica de combustible, el ECM, sistema de *Trim*, *YDIS* y unidad CDI.

Motor Fuera de Borda F200BETX	
Tipo de Motor	4 Tiempos, 24 válvulas, V6 a 60° DOHC.
Cilindrada	3352 cm ³
Potencia de Salida	200HP @ 5500 rpm.
Relación de Compresión	9.0:1
Diámetro por Carrera	94 mm x 80.5 mm.
Peso	269 Kg.

Tabla 8. Especificaciones Técnicas Básicas del F200BETX.[4]

4.6. SISTEMAS CRÍTICOS DE LOS MOTORES FUERA DE BORDA YAMAHA DE LÍNEA COMERCIAL.

Teniendo en cuenta que los sistemas críticos son aquellos de los cuales no se puede prescindir para el correcto funcionamiento de un equipo, a continuación se describe los sistemas sin cuyo óptimo estado, no se garantiza un efectivo desempeño de los motores fuera de borda Yamaha.

-*Sistema de combustible.* El sistema de combustible comprende desde el tanque de almacenamiento hasta el carburador o inyector que suministra la mezcla necesaria para que se produzca la combustión.

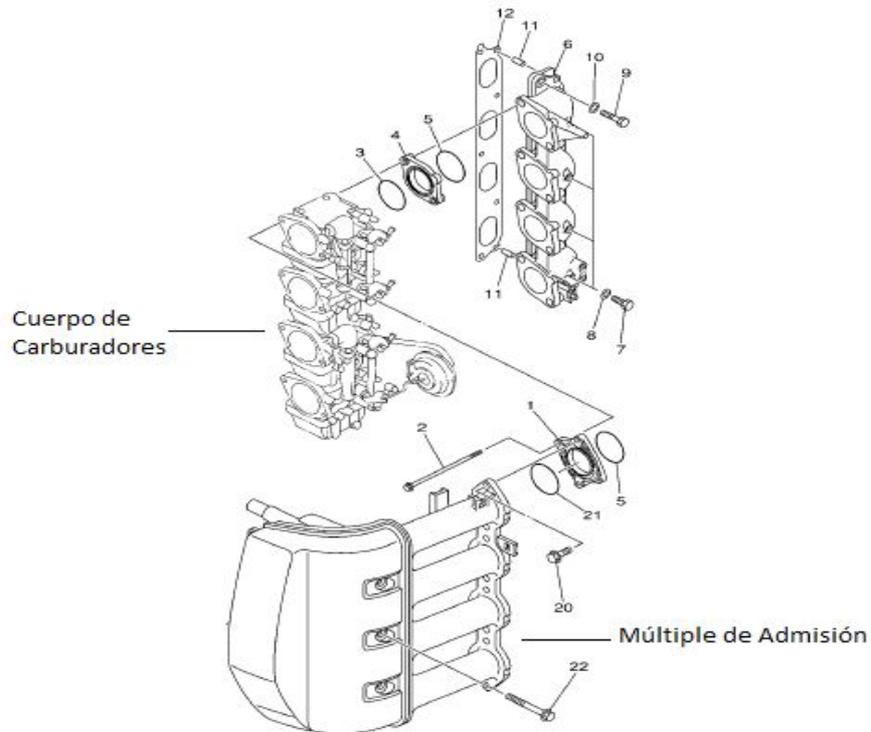


Figura 9. Sistema de combustible de cuerpo de carburadores motor F100B.[5]

Los motores FT50 y F100B son alimentados por el sistema de carburadores, mientras que el F150 y el F200 lo hacen a través de un sistema de inyección electrónica cuyos principales componentes son las bombas de inyección y los inyectores.



Figura 10. Bomba de inyección de combustible de motor F200B y F150B.

El sistema de combustible se compone de:

- *Tanque de almacenamiento:* Es el depósito de combustible de la embarcación.
- *Mangueras de succión:* Son las encargadas de llevar el combustible hasta la bomba primaria.
- *Filtro separador de combustible y filtros de cabeza de fuerza:* El filtro separador es muy importante, ya que es el primer elemento de filtración del sistema de combustible y se encarga de recoger toda la suciedad que puede estar contenida en el tanque y además sirve para conocer si el combustible tiene presencia de agua, para esto utiliza una marca de agua que consiste en un anillo de bajo peso que flota por diferencia de densidad cuando en el filtro hay agua. Una vez se detecta que hay presencia de agua, éste posee un orificio de desagüe para ir separando el combustible del agua y que esta no haga parte del proceso de combustión.
- *Bomba primaria o pera:* La pera es una bomba manual que sirve para succionar el combustible del tanque y llevarlo ya sea, hasta los carburadores o la bomba de inyección.
- *Bombas de inyección (F200 y F150):* Son las encargadas del flujo de combustible a través del sistema de los motores alimentados por esta forma,

es decir llevar el combustible hasta los inyectores.

- *Inyectores (F200 y F150):* Los inyectores se encargan de dosificar exactamente la cantidad necesaria de combustible para producir la combustión dentro de los cilindros.[7][8]
- *Carburadores (F100 y FT50).* En los motores con este sistema, es en el carburador donde se produce la mezcla necesaria para la combustión y este se encarga también de dosificar la mezcla que irá a los cilindros.[5][6]

-*Sistema de Lubricación.* Como todos los motores, los motores Yamaha tienen un sistema de lubricación, ésta se da a través de una bomba de aceite mecánica ubicada en la parte inferior de la cabeza de fuerza y es accionada por el *eje largo* de la transmisión, a excepción del F50 en el cual se acciona por medio del eje de levas, pero cuyo funcionamiento es similar.



Figura 11. Vista inferior de la cabeza de fuerza de un F200B. Ubicación bomba de aceite.



Figura 12. Vista interna bomba de aceite motor F200B.

-*Sistema Eléctrico*. En motores de tan alta tecnología como la que aplica Yamaha, el sistema eléctrico es un factor vital para el óptimo funcionamiento del motor, ya que controla ya sea eléctrica o electrónicamente todos los demás sistemas del motor. En los motores de mayor potencia se presentan mayores avances tecnológicos y por lo tanto cobra más importancia el sistema eléctrico que gobierna desde el encendido del motor hasta la inyección de combustible y admisión de aire para la mezcla que produce la combustión. Se puede decir que el sistema eléctrico se divide en sistema de arranque, sistema de carga y sistema de alarmas.

-*Sistema de Refrigeración*. Básicamente el sistema de refrigeración se compone de una bomba de agua, un tubo y unas galerías de agua y un termostato, que en conjunto se encargan de mantener el motor a la temperatura adecuada para su óptima operación. El proceso es simple: el agua entra a través de las rejillas de la unidad inferior y se fuerza a subir a través del impeler de la bomba que es accionada por el eje de mando de la transmisión. Una vez el agua llega a la bomba es enviada a presión por las paletas del impeler recorriendo las galerías del bloque. El termostato actúa como válvula permitiendo o restringiendo el paso del agua dependiendo la temperatura a la que se encuentre el motor, y luego el agua es expulsada a través de un *testigo* de refrigeración. Es un circuito abierto de refrigeración por convección.



Figura 13. Flujo de agua a través de los circuitos de refrigeración.[2]

-*Sistema de Inclinación o Trim.* El *Trim* se encuentra ubicado en el *bracket* del motor y consta de una bomba de aceite eléctrica que acciona unos cilindros usados para subir o bajar los motores de acuerdo a la aplicación o trabajo que se esté realizando con el motor. Sirven para planear mejor el bote durante la navegación y también para cruzar a través de aguas poco profundas.



Figura 14. *Power trim and tilt* de un motor fuera de borda con sus partes (F200).

En embarcaciones que viven las 24 horas del día en el agua, se utilizan para sacar los motores del agua y evitar la corrosión acelerada de la estructura del motor y el efecto dañino de la fauna marina sobre las transmisiones (*Caracolejo* o *fouling*).

-Transmisión. Como ya se ha comentado, en la transmisión se produce el empuje de la hélice que genera movimiento a través de la propulsión. Se compone básicamente de un juego de piñones, ejes, y rodamientos, y es a través de ésta que se inicia el ciclo de refrigeración del motor.

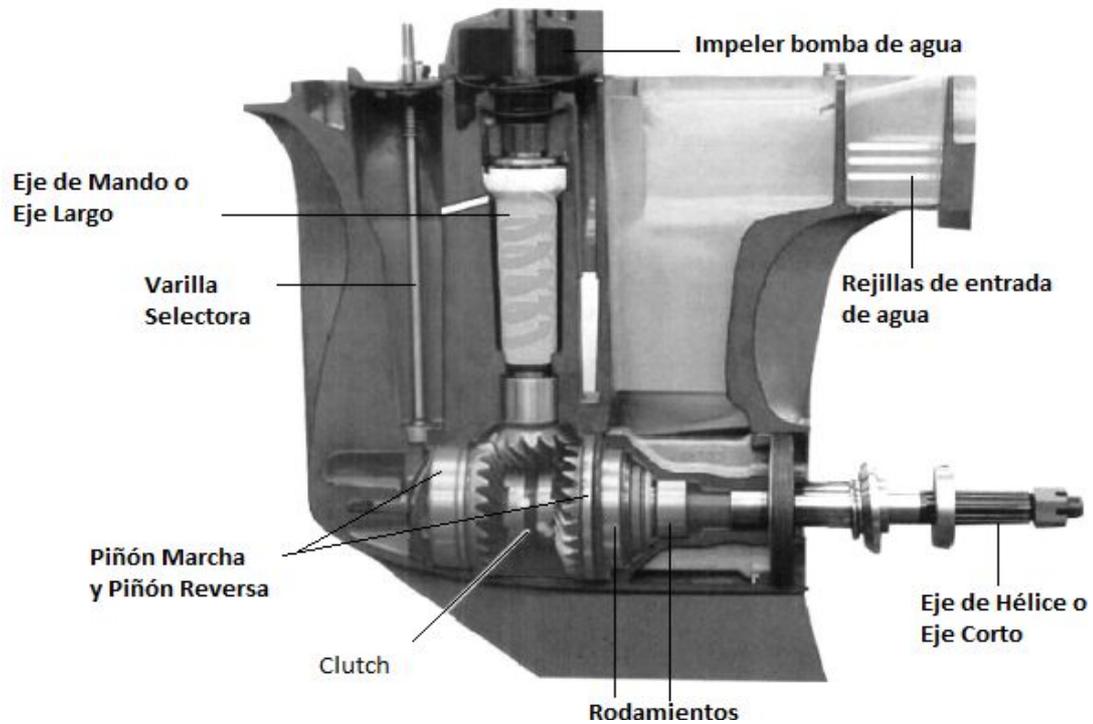


Figura 15. Interior de una transmisión de motor fuera de borda con sus partes básicas.

4.7. INTRODUCCIÓN AL ESTUDIO DE FALLAS FUNCIONALES.

Se define falla como la incapacidad de un equipo para realizar lo que el usuario desea que éste haga. Partiendo de esto y tomando como base la gráfica de la figura 16, se puede entender una falla funcional como la incapacidad de un equipo o sistema de ejecutar sus funciones en pleno o de acuerdo a lo esperado[1].

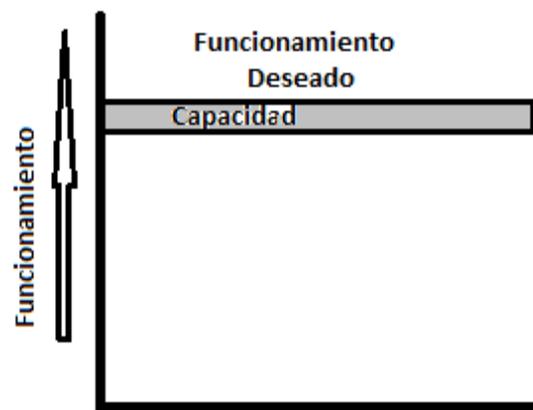


Figura 16. Definición gráfica de falla funcional.

Por lo anterior, si el activo es incapaz de hacer lo que el usuario quiere que haga, éste considerará que ha fallado. Aún así, un activo puede tener más de una función, de hecho usualmente tiene varias, y las fallas deben basarse, muchas veces, en la *pérdida de una función específica*. Es por esto que algunas técnicas de mantenimiento como el *MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD* O *RCM* (por su sigla en inglés), utilizan el término *Falla Funcional* para definir estas fallas de tipo parcial basándolas en la función que no está alcanzando el rendimiento esperado por el usuario.

- *Parámetros de Funcionamiento.*

Los parámetros de funcionamiento satisfactorios y las fallas, están definidos por límites que representan estas condiciones, y aplican a funciones individuales. Teniendo en cuenta esto, podemos definir una falla funcional así:

“Falla funcional es la incapacidad de un activo físico de cumplir una función según un parámetro de funcionamiento aceptable por el usuario”.[1]

Cabe aclarar también que la función de un equipo o sistema debe ser descrita con un verbo, un objeto y un estándar de funcionamiento, por ejemplo: la función de la bomba de refrigeración es “enviar agua salada a la cabeza de fuerza a razón de 1.2 litros por segundo”.

- Falla Total y Falla Parcial.

La definición citada anteriormente de una falla funcional se refiere a la pérdida total de una función. También abarca situaciones en las que el comportamiento funcional queda al margen de los límites admisibles.

Una pérdida parcial de una función casi siempre proviene de modos de falla diferentes de los que proviene una falla total y las consecuencias usualmente son distintas. Por esta razón se debe registrar todas las funciones asociadas a cada función.

4.7.1. ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA.

El análisis de modos y efectos de falla, es el estudio y proceso por medio del cual se identifican las causas de y las consecuencias de una eventual falla funcional del un equipo o sistema. El FMEA (su sigla en inglés) se nutre de valiosa información sobre el activo para tratar prevenir las fallas del mismo.

- Modos de Falla.

Los modos de falla pueden ser definidos como cualquier evento que pueda causar falla a un activo, ya sea un sistema o proceso. Teniendo en cuenta lo anteriormente dicho, se debe distinguir entre una falla funcional (estado de falla del activo) y un modo de falla (evento que puede causar un estado de falla del activo).

De donde podemos concluir que un *modo de falla funcional es cualquier evento que causa una falla funcional*.^[1]

Un equipo o un sistema pueden fallar por muchas razones, y en la base del mantenimiento centrado en confiabilidad descubrirlas, describirlas y registrarlas, sin embargo, la inversión en tiempo y recursos de personal y costos, son las principales razones para que el ingeniero de mantenimiento crea que puede prescindir de esta información. De esta manera se enfrenta las novedades del mantenimiento día a día, o sea, se basa en el modo de falla en la medida en que esta ocurre, lo cual es la esencia del mantenimiento correctivo y todos los gastos y reprocesos que éste representa. Por otra parte el mantenimiento preventivo se basa en manejar los eventos antes de que ocurran, y define cómo se manejan si llegaran a ocurrir. Los eventos en este contexto son los modos de falla. Así las cosas un mantenimiento preventivo eficiente requiere de la identificación de todos los modos de falla que pudieran afectar el equipo.

Una vez se han identificado los modos de falla, se debe considerar y analizar qué sucedería en el eventual caso que ocurriera. Se debe evaluar las consecuencias y definir las acciones a tomar en cuanto la participación de personal, destino de recursos, prevención de daños a la salud, seguridad y/o al medio ambiente, corrección de errores o incluso considerar rediseños. De esta manera avanza el mantenimiento preventivo al nivel de modos de falla.

Cabe anotar que deben registrarse la mayor cantidad de modos de falla por cada falla funcional, así las acciones a tomar en el mantenimiento preventivo son más precisas generando ahorro de tiempo y recursos.

- *Efectos de Falla.*

Otro de los pasos importantes en un programa de mantenimiento preventivo que busque reducir la cantidad de fallas funcionales de un equipo es identificar qué sucede al producirse cada modo de falla. Es a esto lo que se denomina *Efecto de Falla*. Y esta identificación debe incluir toda la información que le permita al mantenedor evaluar las verdaderas consecuencias de las fallas.

Básicamente, la información que se debe tener en cuenta a la hora de describir los efectos de falla, son:

- La evidencia de que se ha producido la falla.
- En que forma la falla pondría en riesgo la salud, seguridad y/o medio ambiente.
- La manera en que afectaría la producción o las operaciones.
- Qué se debe hacer para reparar la falla.

- Fuentes de Información de Modos y Efectos de Falla.

Para obtener información que nos permita conformar un FMEA se debe tener en cuenta que el objetivo del mantenimiento es ser preventivo, esto significa que debe hacerse tanto énfasis a lo que podría ocurrir como a lo que ha ocurrido. Las principales fuentes de información son:

- El fabricante o proveedor del equipo. Es la primera fuente de información al momento de llevar a cabo este análisis. Sin embargo debe tenerse en cuenta que usualmente esta información se basa en condiciones ideales o neutras y no tienen en cuenta la particularidad de la operación cotidiana del equipo.
- Registros de antecedentes técnicos. Mejor conocida como la hoja de vida del equipo es otra valiosa fuente de información, debe saberse interpretar, pues usualmente no contienen la información completa. Actualmente es de mucha ayuda sistemas operativos como SAP® que suelen llevar mejor control de esta información.
- Personal técnico. Son las personas que operan y conviven día a día con el equipo y constituyen la fuente de información más subjetiva pero más valiosa por lo real que ésta es, y eso es de gran importancia a la hora de preparar un FMEA. Estas personas pueden proveer datos claros sobre las condiciones específicas de funcionamiento (ruido, vibración, olor, etc.) que nos pueden ayudar a concluir las consecuencias de las fallas y en muchos casos a prevenirlas.

5. METODOLOGIA

5.1. DESCRIPCIÓN DE FALLAS Y MODOS DE FALLA DE LOS SUBSISTEMAS CRÍTICOS DE MOTORES FUERA DE BORDA YAMAHA DE LÍNEA COMERCIAL.

El estudio del análisis de las fallas y modos de falla de los motores fuera de borda de uso comercial, se hará describiendo la función de cada sistema y sus modos de falla. Luego de esto se colocará a consideración un plan de mantenimiento preventivo para contrarrestar las consecuencias de las fallas generadas.

5.1.1. FALLAS Y MODOS DE FALLA DEL SISTEMA DE COMBUSTIBLE.

La función principal del sistema de combustible en los motores fuera de borda de cuatro tiempos, es suministrar combustible desde el depósito hasta el motor para crear la combustión. Las principales fallas y modos de falla del sistema de combustible son:

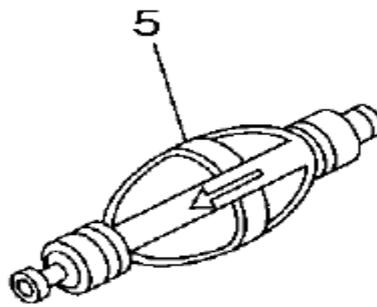


Figura 17. Bomba primaria o Pera.



Figura 18. Filtro decantador Yamaha Ref. 90794-46866

a) *El motor arranca y se apaga.*

- Bomba de baja presión averiada.
- Carburadores descalibrado (FT50 - F100).
- Carburadores empastados (FT50 – F100).

b) *El motor arranca pero no opera establemente.*

- Filtros de bomba de baja e inyectores taponados (F150 - F200).
- Inyectores descalibrados (F150 – F200).
- Presencia de suciedad en los ductos de la bomba de baja presión.
- Entrada de aire en el sistema.

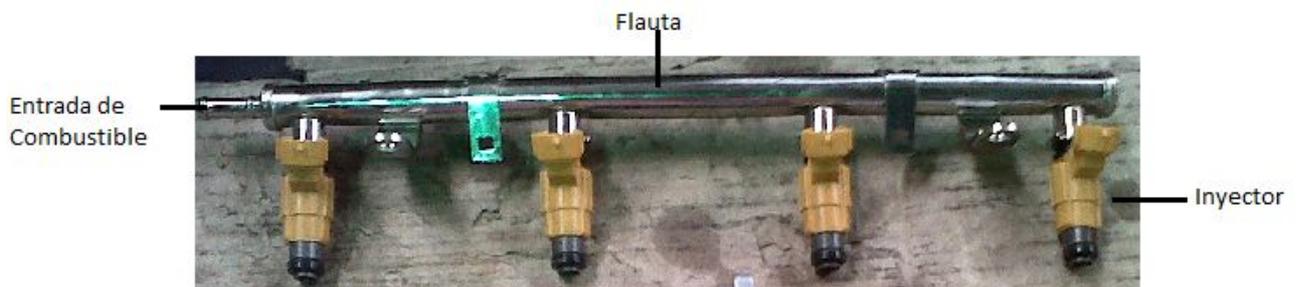


Figura 19. Cuerpo de inyectores de un F200B.

c) *La Bomba primaria se chupa.*

- Falta de combustible en el depósito.
- Sello no hermético del flanche del tanque de combustible.
- Mangueras de succión del sistema porosas.
- Mangueras de succión del sistema comprimida.
- Respiradero del tanque de combustible desconectado.

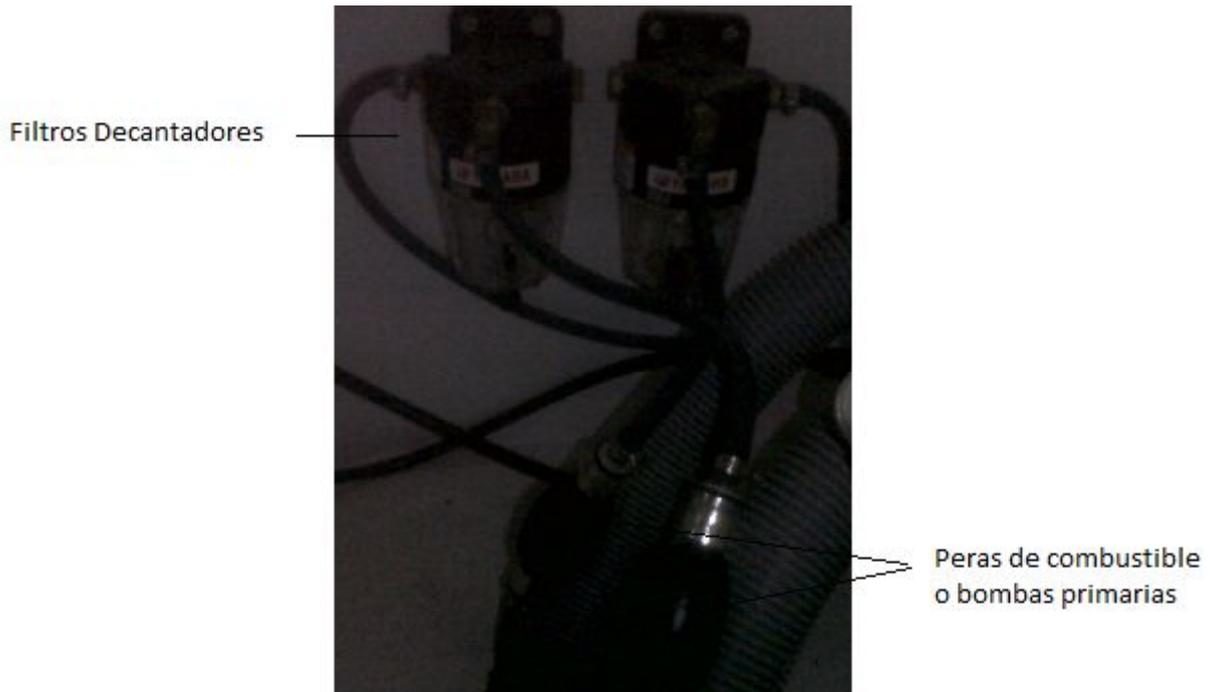


Figura 20. Disposición de las bombas primarias o peras.

d) *El motor se apaga durante la operación.*

- Bomba de baja presión averiada (F150 - F200).
- Bomba de alta presión averiada (F150 – F200).
- Entrada de agua por el muffler (*hydrolock*).



Figura 21. Cuerpo de la bomba de inyección de un F150.

e) *El motor no alcanza la potencia.*

- Bomba de baja presión averiada.
- Filtros decantadores y de cabeza de fuerza taponados.

f) *El motor alcanza la potencia y la pierde paulatinamente.*

- Bomba de baja presión averiada.
- Inyectores descalibrados.

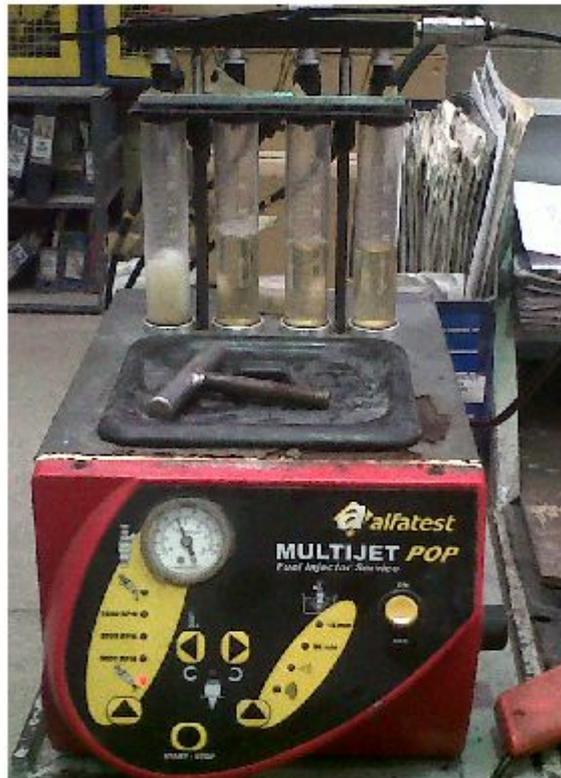


Figura 22. Máquina calibradora de inyectores Taller de Servicio Eduardoño S.A.

5.1.2. FALLAS Y MODOS DE FALLA DEL SISTEMA DE LUBRICACIÓN.

La función del sistema de lubricación es mantener todas las partes móviles de la cabeza de fuerza en las condiciones óptimas de desempeño y proteger de la fricción las partes que entran en contacto.

a) *El motor no alcanza las máximas revoluciones.*

- Nivel bajo de aceite.
- Aceite con viscosidad muy baja.
- Fuga de aceite por el filtro.

b) *Alarma visual de baja presión de aceite.*

- Bajo nivel de aceite.
- Fuga de aceite en el sistema.
- Fuga de aceite por los retenedores de la bomba de aceite.
- Placa del exhosto perforada.



Figura 23. Partes de una bomba de aceite. El endurecimiento o cristalización del retenedor que se muestra en el centro, representa la mayor cantidad de fallas en el sistema de lubricación.

c) *Aceite emulsionado.*

- Presencia de agua en el sistema de lubricación.
- Placa del exhosto perforada.
- Empaque de manifold de escape quemado.
- Culata deformada.
- Entrada de agua por el muffler (*Hydrolock*).



Figura 24. Rompimiento de biela por efecto de un Hidrolock.

5.1.3. FALLAS Y MODOS DE FALLA DEL SISTEMA ELÉCTRICO.

El sistema eléctrico de un motor fuera de borda, se compone principalmente de un sistema de ignición, sistema de carga y sistema de alarmas y sensores. La principal función de este conjunto de subsistemas es mantener el flujo de corriente necesario para el óptimo funcionamiento de todos los sistemas que de éste dependen. Las fallas más frecuentes que se presentan en el sistema eléctrico son:

a) *El motor no alcanza las revoluciones máximas.*

- Novedad en sistema de fusibles de las bombas de inyección.
- Sistema de alarma y protección por baja presión de aceite activado.
- Sistema de alarma y protección por falla de refrigeración activado.

b) *El motor no opera establemente.*

- *Fallo en sensor de temperatura de aire*
- *Fallo en sensor de presión de agua.*
- *Fallo en sensor de presión de aceite.*
- *Fallo eléctrico de la bomba de baja presión.*

c) *El motor no genera carga.*

- Bobina de carga averiada.
- Condensador averiado.

5.1.4. FALLAS Y MODOS DE FALLA DEL SISTEMA REFRIGERACIÓN.

El sistema de refrigeración se encarga de que el motor opere a la temperatura adecuada para que dé su rendimiento óptimo. Las falencias de este sistema se reconocen por medio de las alarmas sonora y visual y por la activación del sistema de limitación de revoluciones que se activa cuando los sensores del motor detectan un aumento irregular en la temperatura de operación del motor.

a) *Chorro del testigo débil o nulo.*

- Impeler de bomba de agua desgastado o roto.
- Rejillas de succión taponadas.
- Perforación en los ductos de agua del exhosto (pérdida de presión).

b) *El motor no alcanza las revoluciones.*

- Alarma de alta temperatura activada.
- Termostato dañado.

5.1.5. FALLAS Y MODOS DE FALLA DE LA TRANSMISIÓN.

La transmisión o unidad inferior se encarga de convertir la potencia generada por el motor en movimiento de giro de la hélice y de esta manera producir la propulsión. Las fallas más representativas que se presentan en la transmisión son:

a) Aceite de transmisión emulsionado.

- Entrada de agua por los sellos del eje corto. (Golpe en la hélice)
- Entrada de agua por los empaques del orificio de llenado de aceite.(Mala instalación).

b) Eje corto desbalanceado o doblado.

- Golpe en la hélice.
- Rodamientos desgastados.

c) Ruido en operación.

- Daño severo en piñonería y rodamientos.
- Falta de aceite de transmisión.

d) Ruido excesivo al engranar los cambios.

- Falta de engrase en la estria del eje largo.

e) No engrana los cambios.

- Daño severo en piñonería y rodamientos.
- Varilla selectora de cambios rota.

d) Corrosión de la carcasa de la transmisión.

- Ánodo zinc de cola o aleta desgastado.



Figura 25. Ánodo de cola o de transmisión.

5.1.6. FALLAS Y MODOS DE FALLA DEL SISTEMA DE TRIM.

Como se comentó anteriormente, el trim es un mecanismo electrohidráulico que se emplea para inclinar los motores y es activado a través de tres distintos switches (Común, individual y charol). Sus principales fallas son:

a) *Fuga de aceite de aceite hidráulico.*

- Sellos de los cilindros y gatos hidráulicos desgastados.

b) *El trim se sube solo.*

- Sensor de trim en mal estado.
- Switches de trim en mal estado o pegados.

c) *El trim no sube o no baja.*

- Switches de trim en mal estado o pegados.
- Falta de aceite en el sistema hidráulico.

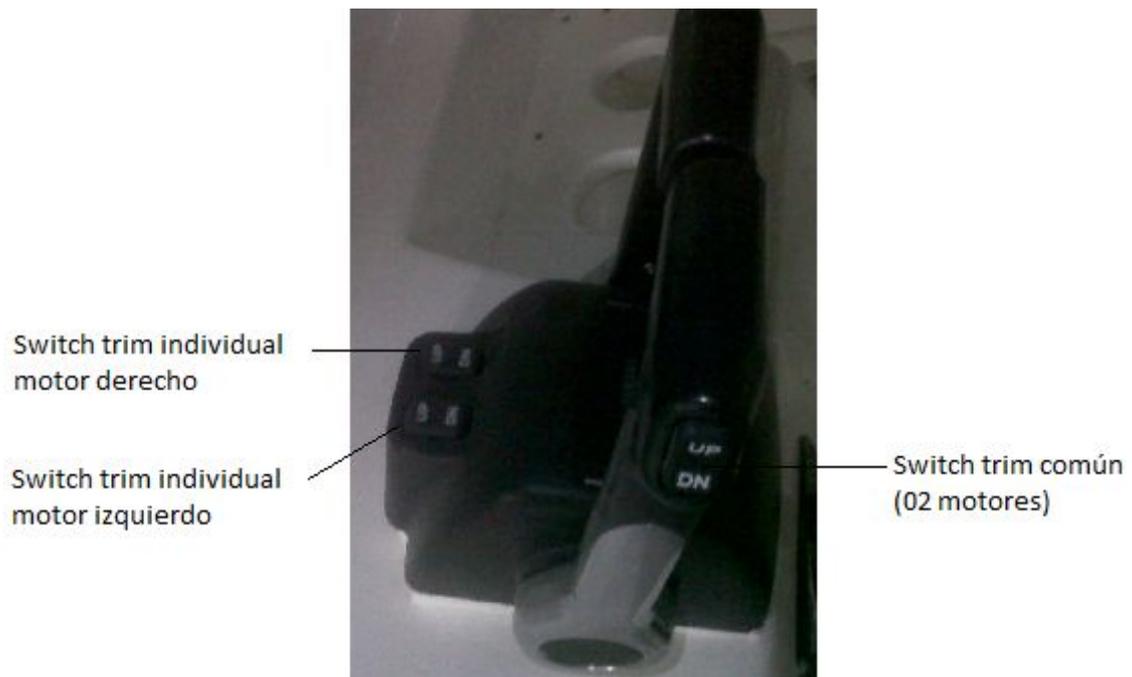


Figura 26. Switches de trim de caja de control.

e) *El trim ni sube ni baja por ningún switch.*

- Motor eléctrico de trim dañado o falta de mantenimiento.
- Bomba hidráulica de trim en mal estado.
- Sistema hidráulico totalmente seco de aceite.
- Sensor de trim en mal estado.
- Switches de trim en mal estado.

f) *Corrosión en la bomba o motor eléctrico de trim.*

- Ánodo de zinc de bracket desgastado.
- Motor eléctrico de trim mal aterrizado.

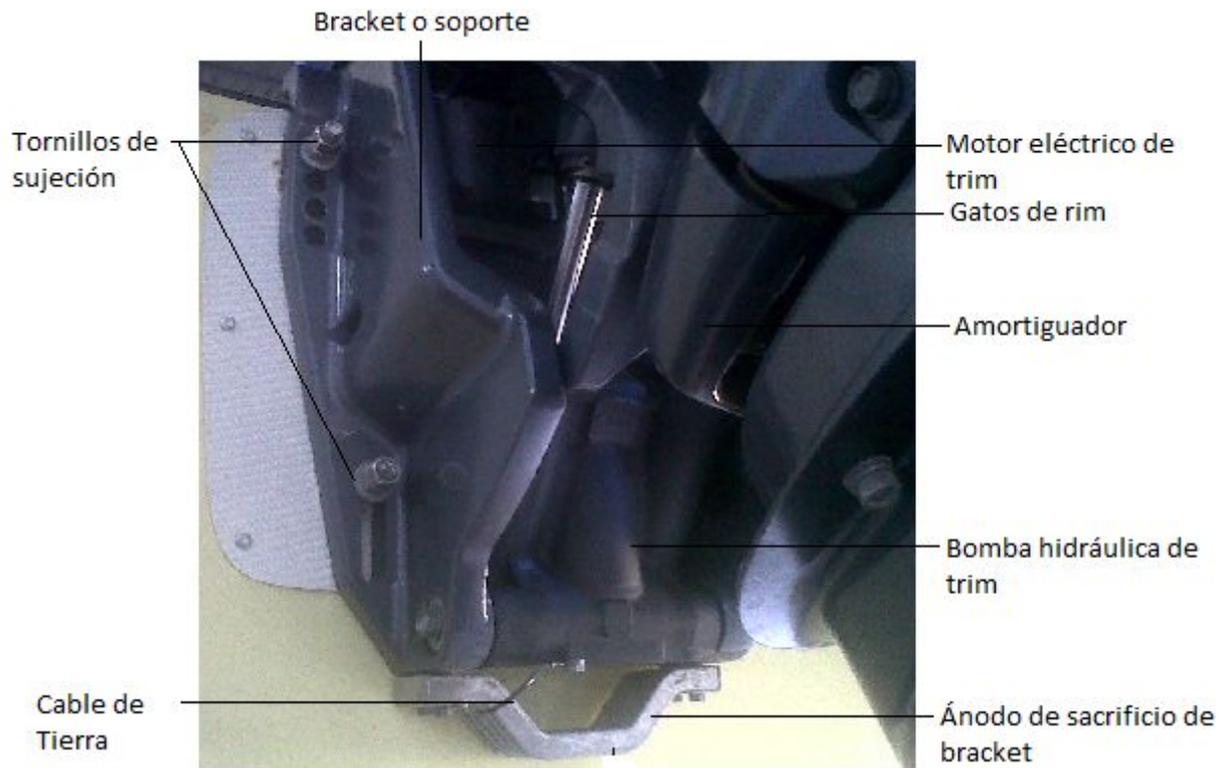


Figura 27. Ánodo de trim y composición del soporte de motor.

g) Indicador de trim no marca.

- Levas de trim desgastadas.
- Sensor de inclinación en mal estado.

5.2. INCIDENCIA DEL USO DE BIOGASOLINA EN LAS FALLAS DEL SISTEMA DE COMBUSTIBLE DE LOS MOTORES FUERA DE BORDA 4T.

De acuerdo al comunicado No. 240 del sector de hidrocarburos del Ministerio Nacional de Minas y Energía, AVANZA EL PROGRAMA DE BIOCOMBUSTIBLES EN COLOMBIA (Anexo A.), a partir del 1 de abril del año 2010, se distribuye biogasolina en la ciudad de Cartagena y toda la costa caribe del país y en otras distintas zonas del territorio nacional, completando de esta manera la totalidad de los departamentos de la nación con uso de biocombustibles, ya que esto contempla también la distribución de biodiesel.

La mencionada biogasolina, está compuesta por un 90% de gasolina fósil y un 10% de alcohol carburante o etanol producto del procesamiento de fuentes renovables como la caña, el maíz o la yuca; esta combinación representa ventajas en cuanto al octanaje del combustible, y la baja producción de monóxido de carbono, lo que la hace más amigable con el medio ambiente; esto sin mencionar los empleos que se generan y la nueva área de explotación de cultivos para el sector rural en el país y el desarrollo en materia energética que se demanda. Sin embargo trae consigo algunos problemas para los vehículos o equipos que habían trabajado con la gasolina tradicional. Si bien en el comunicado, que se distribuyó a todos y cada uno de los grandes, pequeños y medianos distribuidores de combustible del país, se emiten recomendaciones en cuanto al mantenimiento previo de filtros, carburadores e inyectores para el uso de los nuevos combustibles, el tema es aun más complicado en las embarcaciones marinas. En este capítulo, abordaremos algunas de las más comunes de estas complicaciones.

5.2.1. PRINCIPALES FALLAS Y MODOS DE FALLA EN EL SISTEMA DE COMBUSTIBLE POR CAUSA DEL USO DE BIOGASOLINA.

El sistema de combustible de un motor fuera de borda comprende todos los accesorios que tienen que ver con el proceso de combustión del motor, desde el tanque, hasta los inyectores o los carburadores dependiendo del caso. De ahí que

del buen mantenimiento de éste dependa en gran parte la eficiencia y el buen desempeño del motor fuera de borda.

Es directamente sobre el sistema de combustible que se presentan las más graves consecuencias del cambio a biogasolina en los motores fuera de borda y a continuación se mostrará cuáles son los mayores y más comunes efectos que tiene ésta sobre los materiales, partes y accesorios en general de este importante sistema.

5.2.1.1. TANQUE DE COMBUSTIBLE.

Agua en el Tanque

Una de las recomendaciones sobre las que más se hace énfasis es la de evitar que la biogasolina se mezcle con agua ya que, debido a la fuerte afinidad entre el agua y el alcohol, el agua puede ocasionar la separación de las fases, es decir, el alcohol y el agua se mezclan y se van hacia el fondo del tanque y cuando la bomba de combustible succiona el producto, podría estar solamente succionando agua mezclada con alcohol carburante y no la biogasolina. Esto representa graves inconvenientes para el resto del proceso de combustión, con consecuencias que se discutirán más adelante.

En las embarcaciones marinas, este problema es común, no solo por la falta de mantenimiento de los tanques de combustible, sino también por las condiciones de almacenamiento y manipulación de combustibles con las que se trabaja en el ambiente marino, además de la pobre calidad de combustible que usualmente se encuentra para estos equipos y también la condensación nocturna que se produce en el interior de los tanques de combustible. Otras razones por las que puede haber presencia de agua en el combustible son[9]:

- Contaminación durante la producción, el transporte, almacenamiento o reparación.
- Partículas que entran a través del sistema de ventilación del tanque de combustible.
- Contaminación por suciedad y oxidación en el tanque de combustible o las tuberías.
- Agua condensada en el tanque de combustible, debido a cambios en la temperatura.

Esto último es consecuencia natural del cambio de temperatura ambiente que se experimenta en nuestra ciudad durante la noche, comparada con la del día, esto provoca una condensación de vapores al interior del tanque que no es más que agua que se mezclará con el combustible. Este fenómeno es esperado por los fabricantes y por esto el

primer filtro del sistema es un filtro decantador, es decir, separa, por diferencia de densidades, la gasolina del agua, yendo ésta al fondo del recipiente y siendo evacuada a través de un sistema de drenaje que el filtro posee.



Figura 28. Biogasolina degradada por absorción de agua.

Sin embargo, el etanol contenido en la biogasolina posee características que le permiten mezclarse con el agua, químicamente, esto sucede debido a los radicales libres OH que la estructura de éste tiene ($\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$). Si bien la propiedad de absorción de agua del etanol se produce en el tanque, las consecuencias de que esto suceda se presentan en el sistema de inyección y en los carburadores por los efectos contaminantes que tiene o por que representa una fuente de inminente corrosión.

Tanques de PRFV

El tanque o depósito de combustible es el primer actor del sistema de combustible, toda vez que éste contiene la gasolina que se utilizará en el proceso de combustión, y de su composición, material y conservación depende en buena parte las fallas que se presentan en el mencionado sistema.

En el tanque de combustible se presenta la principal consecuencia del uso de la biogasolina, ya que es conocida la incompatibilidad de ésta con algunos materiales como polímeros y fibras de vidrio. En el último año, en los talleres de reparación de PRFV de Eduardoño S.A. Se han llevado a cabo 15 trabajos de cambio de tanque de combustible (Tabla 9) , con uno en ejecución y 4 más se encuentran cotizados a

la fecha; en comparación con cero trabajos de esta índole hasta el mes de julio del año inmediatamente anterior (Información suministrada por sistema operativo SAP de facturación). Si bien, es muy complejo el estudio profundo de las resinas y su origen y composición química, en este capítulo se explicará el por qué se ha venido reemplazando la fibra de vidrio por otros materiales o se ha modificado la estructura de la misma para la fabricación de tanques para biogasolina.



Figura 29. Tanques de PRFV deteriorados por acción de la biogasolina.

BOTE	CANTIDAD	FECHA DE CAMBIO	NUEVO MATERIAL
HIPOCAMPO	2	AGO-2010	PLÁSTICO
DELPHINUS	2	NOV-2010	ACERO INOXIDABLE
MEA CULPA	1	DIC-2010	PLÁSTICO
MARIAISABELLA	1	ENE-2011	PLÁSTICO
SYLVANA	2	MAR-2011	PLÁSTICO
UNAGUI	1	ABR-2011	ACERO INOXIDABLE
PARADIGMA	2	MAY-2011	ACERO INOXIDABLE
LA COLOMBINA II	2	MAY-2011	ACERO INOXIDABLE
GIANNINA	1	JUN-2011	ACERO INOXIDABLE
CHIQUITINA	2	JUN-2011	PLÁSTICO
SARA SOFIA	2	JUL-2011	PLÁSTICO
AGUA I	2	JUL-2011	PLÁSTICO
QUIETA MARGARITA	1	AGO-2011	ACERO INOXIDABLE
SEA BLUE	1	AGO-2011	ACERO INOXIDABLE
ARMADA I (BOTE PRESIDENCIAL)	1	SEP-2011	ACERO INOXIDABLE

Tabla 9. Trabajos de cambio de tanque realizados en el taller de reparación de botes de Eduardoño S.A. Regional Cartagena.*

*Fuente: Sistema Operativo de Facturación SAP® de Eduardoño S.A.

Históricamente, el poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV) o fibra de vidrio, como se le conoce comúnmente, ha sido un material eficiente, económico y funcional para fabricar tanques de combustible para embarcaciones marinas, de ahí que reconocidas marcas de botes nacionales (como Eduardoño, Firpol, Naval Cat, entre otros) e internacionales (como Wahoo o Beltram), prefirieran este material para fabricar los tanques de combustible de sus diferentes productos. Sin embargo con la introducción de la biogasolina, la fibra de vidrio ha pasado a segundo plano para atender esta necesidad debido a la dañina reacción que se presenta entre estos y las fallas en el sistema de combustible de los motores fuera de borda producto de la misma.

Los tanques de PRFV se fabrican a través de la unión de láminas compuestas por un “sanduche” de fibra o en molde, como se muestra en el INSTRUCTIVO DE FABRICACIÓN DE TANQUES DE COMBUSTIBLE EN PRFV de Eduardoño S.A. (ANEXO B). Dicho sanduche se compone básicamente de varias capas de tela de fibra de vidrio de diferentes densidades, dependiendo de la rigidez y resistencia que se requiera, cuya función es otorgar al material compuesto la elasticidad y refuerzo a algunas propiedades mecánicas; sin embargo es la resina, el otro componente, quien proporciona las principales propiedades tanto químicas como térmicas, eléctricas y mecánicas al material. A la resina se le adicionan ciertos químicos endurecedores y catalizadores para acelerar el proceso de secado y acabado[10]. Lo que esto quiere decir, es que la resina es el actor principal en la conformación de lo que conocemos como fibra de vidrio.



Figura 30. Fibra de vidrio desprendida de un tanque de combustible por efecto de la biogasolina.

Dado que las características principales de la fibra de vidrio dependen de la resina, y de acuerdo a las propiedades de la biogasolina, es sobre ésta que se produce la indeseable reacción que provoca las fallas en el sistema de combustible de los motores fuera de borda. Las resinas usualmente utilizadas en la preparación de fibra de vidrio son resinas de poliéster. Las resinas poliéster no poseen dentro de sus características una alta resistencia química, razón por la que se ven afectadas gravemente por la acción solvente del alcohol carburante contenido en la biogasolina[9]. La gasolina tradicional, no presentaba ninguna propiedad que atacara directamente la resina de poliéster, razón por la cual ésta era comúnmente utilizada para la fabricación de depósitos de combustible sin mayores inconvenientes.

El deterioro que se presenta en los tanques de fibra de vidrio consiste en la formación de grandes cantidades de una materia pastosa de color amarillento que se posa sobre los orificios de succión y que provoca taponamiento, lo que obviamente interrumpe el flujo de combustible y se evidencia en una súbita pérdida de potencia del motor. Eventualmente, esto llegará a los filtros y seguirá representando la posibilidad de falla. La mencionada materia, no es más que el producto de la reacción química entre la resina de poliéster y el alcohol carburante, lo cual químicamente se define como un ataque de un agente solvente al monómero (éster) que compone la resina[9].



Figura 31. Presencia de resina en filtro decantador del sistema de combustible.

El factor más influyente a la hora de hacer una selección de resina para la fabricación de tanques de combustible, es la resistencia química de la misma, y cobra más importancia esto desde la introducción de la biogasolina al mercado.

Los procesos de selección de resina basados en la resistencia química de ésta están estandarizados bajo la norma ASTM C581 "RESISTENCIA QUÍMICA DE RESINAS TERMOESTABLES USADAS EN ESTRUCTURAS REFORZADAS CON FIBRA DE VIDRIO"^[9], sin embargo existen antecedentes en la planta de fabricación de botes de Eduardoño de adaptaciones de la norma para aplicarla a tanques de combustible para botes. Dichas adaptaciones consisten en un a serie de pruebas de laboratorio en las que se someten láminas de fibra de vidrio compuestas por distintos tipos de resinas para encontrar el mejor comportamiento de ellas en aplicaciones de contenido de gasolina. De acuerdo a las conclusiones del INFORME DE RESISTENCIA QUÍMICA DE RESINAS ANTE GASOLINA (ANEXO C.) realizado por el departamento de ingeniería de la planta de producción de botes de Eduardoño en Itagüi, las medidas a tener en cuenta para este propósito son la pérdida de dureza y la absorción de líquido. Lo que quiere decir que la adaptación a la norma consiste en excluir de las pruebas tanto las mediciones de proporción de fibra como la medición de cantidad de resina después de quema, entre otras actividades que sí incluye la Asociación Americana

de Prueba de Materiales (ASTM). Y se concluye que la mejor opción a la época (año 2006) es continuar utilizando resina de poliéster isoftálica en la fabricación de tanques para combustible en las embarcaciones. Aun así, y con nuevas pruebas de laboratorio se supo que este tipo de resinas no eran aptas para continuar fabricando los tanques ya que, aunque no hay evidencia clara de ataque químico agresivo del etanol a ésta, si presentaba una pérdida de dureza cercana al 50%, cuando se consideran aceptables pérdidas comprendidas entre el 10% y 20% de acuerdo al estudio.

En la actualidad, la planta de producción de botes de Eduardoño, con el fin de anticiparse a las fallas en los tanques de combustible, y teniendo en cuenta los estudios realizados por su departamento de ingeniería y por expertos internacionales en la materia, decidió seleccionar la mejor combinación de materias primas y procesos para garantizar la resistencia química de los tanques. Por lo anterior implementa desde finales de 2010 resinas epoxi viniléster para la fabricación y curación de los tanques de sus embarcaciones.

La razón por la que las resinas de viniléster representan la mejor opción para la aplicación mencionada es, químicamente hablando, por que las resinas de poliéster presentan una red más estrecha que una molécula de éster vinílica, al no poseer esta última dobles enlaces de carbono entre medios de la cadena lineal, esto, junto a que tienen mayor cantidad de grupos ésteres, hace que las resinas de poliéster en general sean más susceptibles al ataque químico[9]. Estas particularidades otorgan a las resinas viniléster mejores propiedades mecánicas, térmicas, al fuego y especialmente a ambientes altamente corrosivos.

	POLIÉSTER		VINIL ÉSTER	
	ISOFTÁLICA	ORTOFTÁLICA	BISFENOLA	NOVOLAC
DUREZA	B	B	E	MB
TENACIDAD	B	B	E	B
RESISTENCIA QUÍMICA	B	MM	M	E
RESISTENCIA QUÍMICA AL ETANOL	B	M	M	E

M= MALA B= BUENA MB= MUY BUENA E= EXCELENTE

Tabla 10 . Características básicas de las principales resinas de poliéster y viniléster.[10]

Las resinas de viniléster pueden ser Bisfenol A o Novolak, ésta última es la que se selecciona para la fabricación de tanques ya que presenta excelente resistencia química y térmica frente a las demás resinas, mientras que la resina Bisfenol A se caracteriza por proveer alta tenacidad al producto final. En la tabla 10, observamos la comparación de las propiedades de las resinas citadas.

Si bien la resina Novolak se muestra como la solución al problema del ataque químico del etanol a los tanques de PRFV, al momento de fabricar los tanques no se suele utilizar este tipo de resina en la totalidad de la preparación de la fibra de vidrio debido al costo, que en comparación con la resina tradicional es muy alto (Tabla 11). Tal como se muestra en el INSTRUCTIVO DE FABRICACIÓN DE TANQUES DE COMBUSTIBLE EN PRFV de Eduardoño S.A. (Anexo B.), la resina Novolak se emplea solo en la primera capa de la preparación de la fibra de vidrio junto a una muy delgada tela de fibra de vidrio llamada velo, o sea, solo en las paredes internas del tanque, que son las que están en contacto con el agente solvente (Figura 32.). Teniendo en cuenta esto, se convierten en alternativas de materiales para la fabricación de tanques, el plástico, el aluminio y el acero inoxidable.

TIPO DE RESINA	PRECIO POR KILOGRAMO
POLIÉSTER ORTOFTÁLICA	7.000 \$/Kg*
POLIÉSTER ISOFTÁLICA	14.168 \$/Kg*
VINILÉSTER BISFENOL A	29.619 \$/Kg*
NOVOLAK	46.400 \$/Kg*

*Datos SAP®

Tabla 11. Precio por Kilogramo de las resinas de poliéster y Viniléster distribuidas por Eduardoño S.A.



Preparar resina novolaca con catalizador incoloro. Esta resina puede ser preparada usando la regla de catalización, la catalización nunca puede ser menor a 1% (Día Caliente).



2. Aplicar resina novolaca con brocha sobre la superficie del molde. Se debe vigilar que la brocha este siempre bien humectada porque se corre el riesgo de remover la cera del molde.



Asentar velo sobre superficie humectada del molde



4. Eliminar burbujas de aire con rodillo.

Figura 32. Aplicación de la primera capa en resina Novolak durante la fabricación de un tanque de PRFV.

5.2.1.2. SISTEMA DE FILTROS

Dentro del sistema de combustible se encuentran una serie de filtros cuya función es crear un tamiz entre el combustible que fluye y los residuos que éste contenga. El Sistema de filtros de los motores fuera de borda consta de:

- *Filtro decantador*: Es el primer filtro del sistema y su importancia radica en que debido a la transparencia de su vaso, el operador del bote puede realizar actividades de inspección no invasivas como drenar el agua existente o verificar presencia de residuos sólidas en el combustible. Es recomendable ubicar este antes de la pera (bomba primaria) para efectos de desvare.

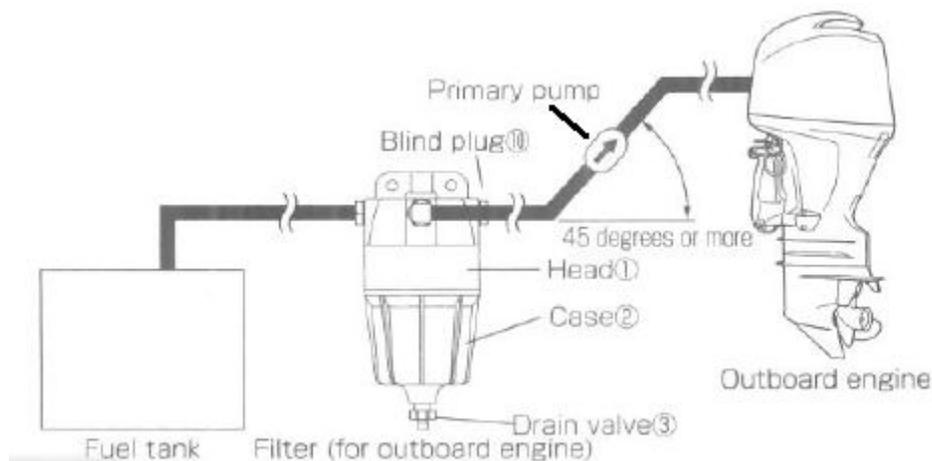


Figura 33. Disposición del filtro decantador respecto al tanque y la bomba primaria

Yamaha con el fin de completar su paquete de motor, introdujo al mercado su filtro decantador de referencia 90794-46866 cuyo uso ayuda a prevenir más las fallas del sistema de combustible en comparación con el tradicional filtro *Racor S3227* marca *Parker*, más aun cuando se trata de biogasolina. Esto debido a la tecnología de materiales que empleó Yamaha. La principal diferencia entre estos filtros es el material del elemento, ya que en el S3227 éste es metálico, lo cual es un problema, ya que es sabido que la biogasolina retiene agua y representa una eventual corrosión del mismo. Además el filtro Yamaha, tiene los empaques en caucho *fluorado* que lo convierte en un material resistente al efecto del agua y al ataque químico de sustancias como el etanol, y todos los accesorios plásticos están fabricados en una resina especial (se asume que de Viniléster, ya que el fabricante no revela su composición) resistente al ataque químico del etanol.

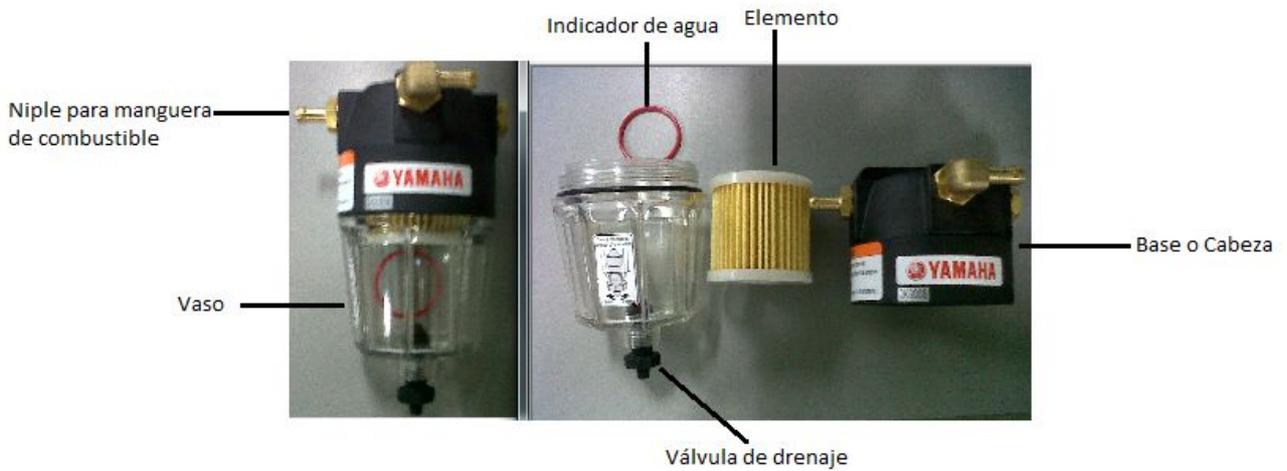


Figura 34. Filtro decantador Yamaha Ref. 90794-46866.

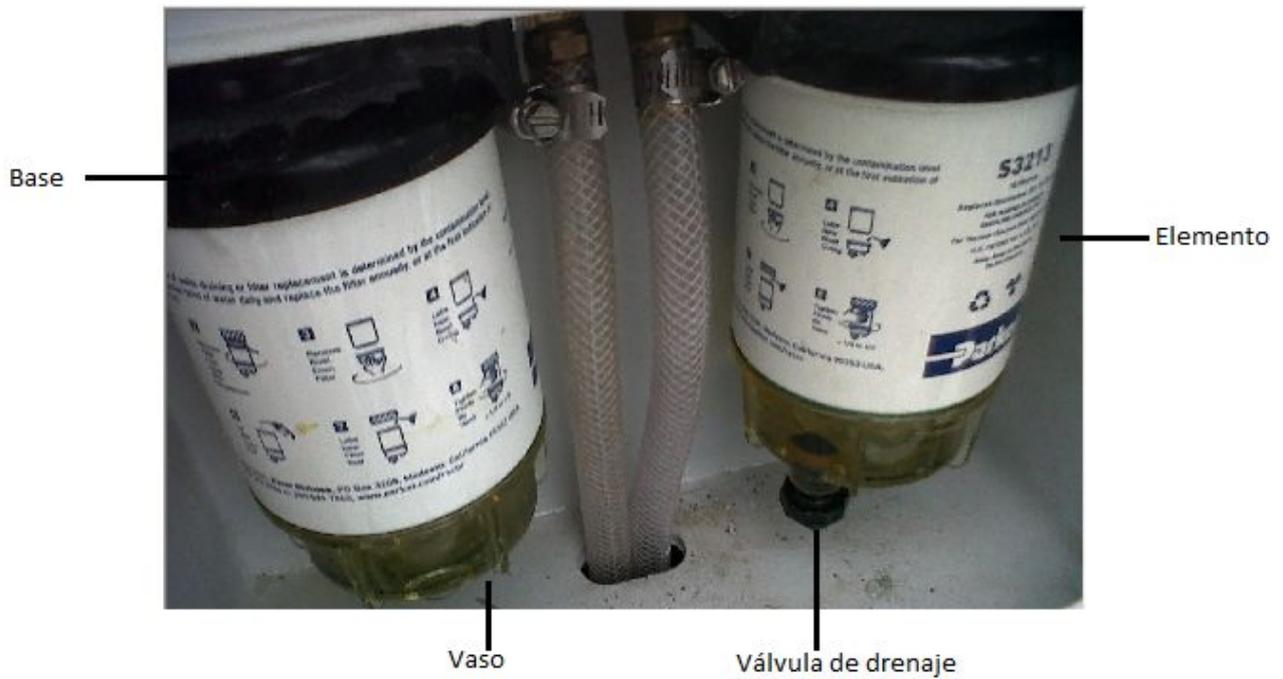


Figura 35. Filtro de combustible Racor Parker Ref. S3227.

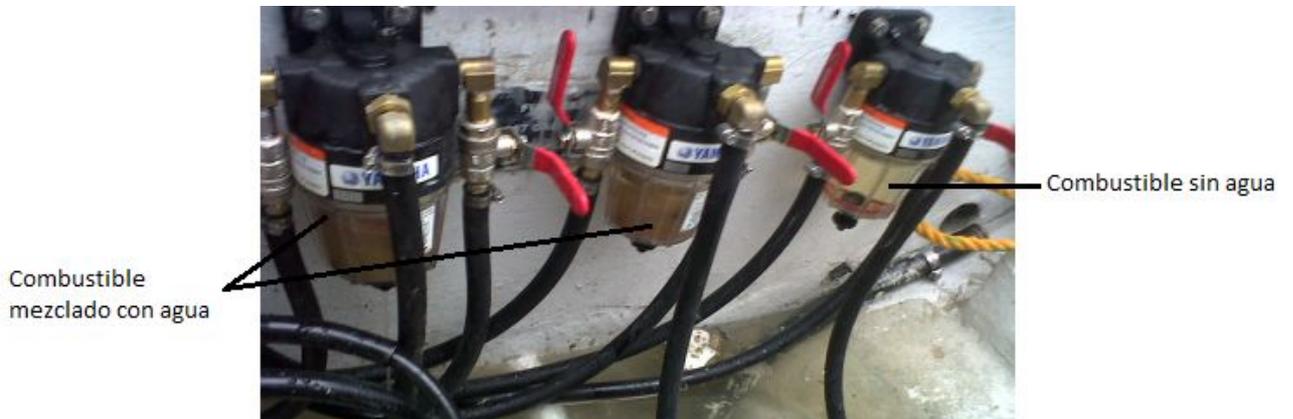


Figura 36. Muestra de filtros decantadores con presencia de agua en el combustible.

- *Filtro de cabeza de fuerza.* Su función es prevenir, tanto en motores a inyección como carburados, que ingresen partículas contaminantes a los elementos críticos del suministro de combustible. Está compuesto en su totalidad de material plástico.



Filtro Cuerpo de Carburadores

Figura 37. Filtro de cabeza de fuerza de motor carburado FT50.

- *Filtros de bomba de inyección (02).* Son filtros muy finos para proteger exclusivamente la bomba de inyección, uno se ubica en la propia base de la bomba, o sea, en la succión, y el otro está posterior al de cabeza de fuerza.

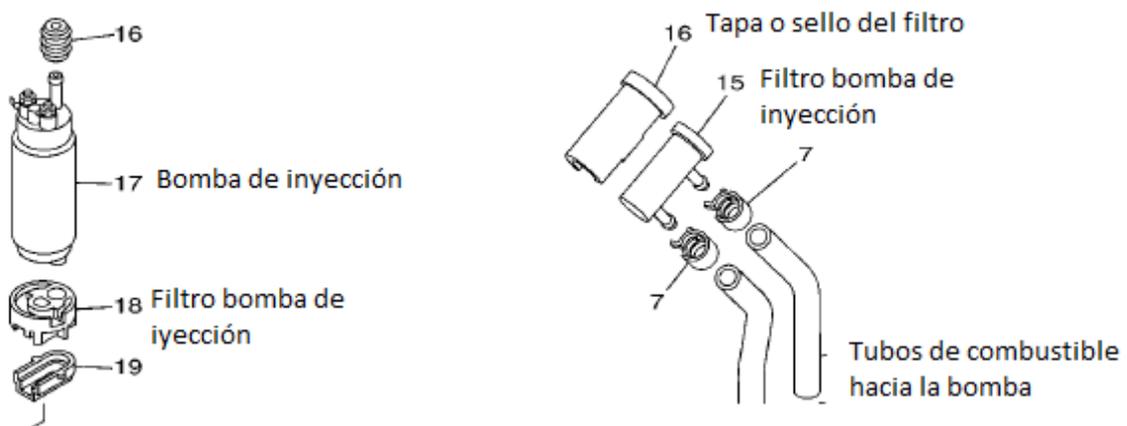


Figura 38. Filtros de bomba de inyección (15 y 18).[8]

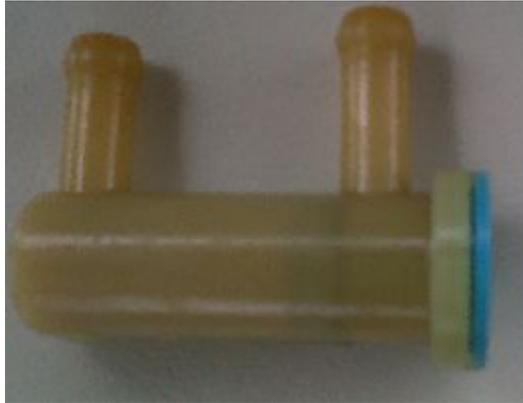


Figura 39. Filtro externo de la bomba de combustible de motores F150 y F200.

- *Filtros de inyectores.* Los filtros de inyector son un minúsculo y muy fino elemento filtro de papel especial para evitar en última instancia que los inyectores reciban cualquier tipo de residuo que los pueda descalibrar o taponar.



Figura 40. Filtro de inyector Yamaha Ref. 2017.

5.2.1.3. BOMBAS DE ALIMENTACIÓN

Como se ha venido comentando, el etanol presenta ciertas características como la solubilidad en agua y la incompatibilidad con ciertos materiales de fabricación de tanques de combustible causando taponamientos en las líneas del sistema. En el caso de la solubilidad con el agua, el problema es serio y es indiferente al material del tanque de combustible. En el caso de los tanques de PRFV el problema también reviste gravedad, ya que la resina que es desprendida debido al ataque solvente del alcohol sigue su dañino recorrido hasta llegar a componentes tan delicados e importantes como la bomba de inyección y en algunos casos a los inyectores.

Por las razones que se mencionaron anteriormente, el etanol, se combina con agua formando una mezcla que afecta gravemente el funcionamiento de las bombas de inyección. Como se muestra en la figura . La corrosión es la principal afectación que sufren las bombas debido al contenido de agua en la biogasolina.



Figura 41. Efecto de la corrosión en la bomba de alta presión de un F200B

Esta bomba tiene una naturaleza electromecánica, razón por la que su funcionamiento eléctrico sufre cuando existe esta presencia de agua en el combustible. Por otra parte, cuando la resina desprendida del tanque por efecto del etanol alcanza llegar hasta el filtro de la bomba, éste se tapona evitando el flujo y ocasionando el daño de la bomba de inyección por dos razones, se quema

mecánicamente porque trabaja en vacío o se que ma eléctricamente por una elevación del voltaje de trabajo al trabajar en vacío.

El extraordinario consumo de bombas de combustible del año 2011 en los talleres de Eduardoño S.A. comparado con el año inmediatamente anterior es una muestra feaciente de cómo se ven afectados estos importantes elementos desde la implementación de la biogasolina como combustible para los motores fuera de borda. En la figura 42. están contenidos datos provenientes del sistema operativo de ventas y facturación SAP® utilizado por la mencionada empresa, que muestran el comportamiento de dicho consumo.

En la figura se puede observar que a partir de mayo de 2010, fecha en que se introduce la biogasolina a Cartagena, empieza el crecimiento en el consumo de las bombas de combustible. El 2010 se cerró con una venta total de 37 bombas de combustible y la evidencia de que el problema crece en la medida en que transcurre el tiempo es el consumo a octubre de 2011, donde se totalizan 113 unidades de bombas facturadas.

Debe tenerse en cuenta que el cliente con mayor consumo es la Dirección de Abastecimiento de la Armada Nacional a través de las estaciones de Guardacostas del Caribe ubicadas a lo largo de la costa atlántica (56% del consumo de 2010 y 81% del consumo de 2011), cuyos equipos de intersección, carga y transporte montan motores de 200 Hp, la gran mayoría motores de cuatro tiempos (F200BETX). De ahí que observemos el superlativo consumo de enero del presente año, en el cual una vez fue aprobado el contrato de mantenimiento para sus embarcaciones, Guardacostas realizó pedidos por un total de 71 unidades en el primer cuatrimestre, en cual se encuentra uno por 54 unidades. Con esto Guardacostas se aprovisionó de bombas para contrarrestar el problema que tanto los aquejó durante el último semestre de 2010.

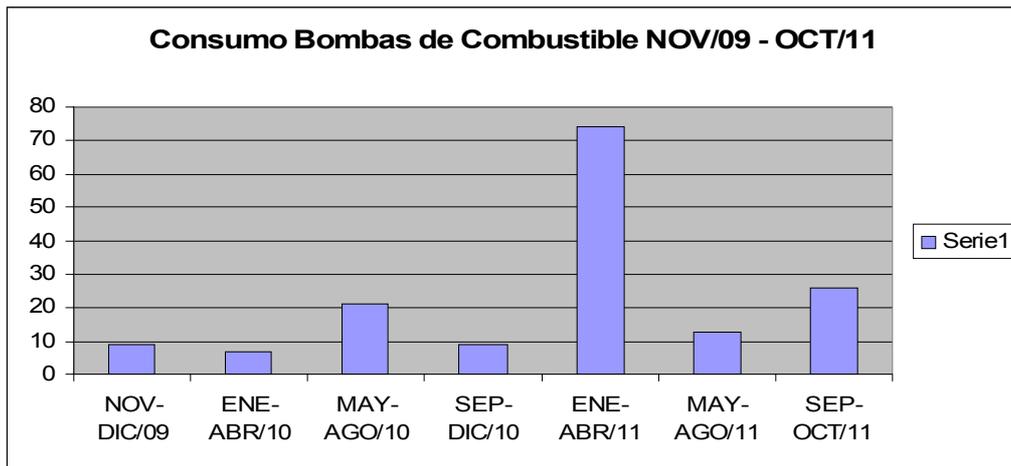


Figura 42 . Comparativo de ventas de bombas de combustible desde noviembre de 2009 hasta octubre de 2011*.

*Fuente: Sistema Operativo de Facturación SAP® de Eduardoño S.A.

5.2.1.4. SISTEMA DE CARBURADORES

Los motores carburados, presentan la menor afectación por motivo del uso de biogasolina. Esto debido a su sencilla composición y estructura simple. La pincipal falla que presentan los carburadores está relacionada con la presencia de agua en el combustible lo que produce en estos corrosión y “empaste” que se conoce como el proceso de endurecimiento por acumulación de contaminantes en las partes móviles del carburador (las válvulas de mariposa y la aguja principalmente).

Las fallas del sistema de combustible relacionadas con el uso de la biogasolina se manifiestan siempre con una pérdida súbita o paulatina de la potencia del motor fuera de borda, cuando se está en operación. Y las causas siempre dependen de las dos más importantes novedades de la aplicación de este combustible en los motores náuticos: Presencia de agua en el combustible y desprendimiento de resina proveniente del tanque de combustible. La tabla 12. resume los modos de falla a los que se le puede atribuir tales fallas.

FALLA	MODO DE FALLA	CAUSA	RECOMENDACIONES
PÉRDIDA DE POTENCIA EN EL MOTOR	DAÑO ELÉCTRICO DE LA BOMBA DE INYECCIÓN	PRESENCIA DE AGUA EN EL COMBUSTIBLE	UTILIZAR LA BOMBA DE COMBUSTIBLE DE REFERENCIA 69J-24410-12
	BOMBA DE INYECCIÓN CORROIDA		INSPECCIÓN Y DRENAJE CONSTANTE DEL FILTRO DECANTADOR
	FILTRO DE LA BOMBA DE INYECCIÓN TAPONADO CON ÓXIDO		INSPECCIÓN Y DRENAJE CONSTANTE DEL FILTRO DECANTADOR
	CORROSIÓN EN CARBURADORES		INSPECCIÓN Y DRENAJE CONSTANTE DEL FILTRO DECANTADOR
	INYECTORES DESCALIBRADOS/DAÑO O ELÉCTRICO DE LOS CONECTORES		CALIBRAR Y LLEVAR A BANCO LOS INYECTORES CADA 300 HORAS DE TRABAJO
	DETERIORO DE TANQUE DE COMBUSTIBLE DE PRFV	REACCIÓN DEL ETANOL CON LAS RESINAS DE POLIESTER DE TIPO ORTOFTÁLICAS	CAMBIO DE TANQUE DE COMBUSTIBLE POR UNO EN ACERO INOXIDABLE O PLÁSTICO
	FILTRO DECANTADOR TAPONADO POR RESINA O CAUCHO	REACCIÓN DEL ETANOL CON LAS RESINAS	REEMPLAZAR EL FILTRO S3227 DE RACOR POR EL 90794-46866 DE YAMAHA. CON CAMBIO DE ELMENTO (90794-46868) CADA 100 HORAS DE TRABAJO Y NO A CONDICIÓN.
		REACCIÓN DEL ETANOL CON EL NEOPRENO	CAMBIO DEL EMPAQUE DEL FLANCHE DEL TANQUE POR UNO DE VITÓN
	BOMBA PRIMARIA CONTRAIDA POR TAPONAMIENTO DE LÍNEAS	REACCIÓN DEL ETANOL CON LAS RESINAS	LIMPIEZA DE TANQUE DE COMBUSTIBLE CADA 300 HORAS DE TRABAJO. CAMBIO DE TANQUE SI ES DE PRFV.
	FILTROS DE CABEZA DE FUERZA TAPONADOS POR RESINA		SUSTITUCIÓN DEL SISTEMA DE FILTROS COMPLETO (FILTROS DE CABEZA DE FUERZA – 02, FILTRO DE BOMBA DE COMBUSTIBLE Y FILTRO DE INYECTORES) CADA 500 HORAS DE TRABAJO.
	FILTROS DE INYECTORES TAPONADOS POR RESINA		
	BOMBA DE INYECCIÓN QUEMADA POR TRABAJO EN VACÍO DEBIDO AL TAPONAMIENTO DEL FILTRO POR RESINA		UTILIZAR LA BOMBA DE COMBUSTIBLE DE REFERENCIA 69J-24410-12. CAMBIO DE FILTRO CADA 500 HORAS DE TRABAJO.

Tabla 12 . Modos de falla del sistema de combustible relacionadas con el uso de biogasolina.

6. PLAN DE MANTENIMIENTO DE MOTORES FUERA DE BORDA DE LÍNEA COMERCIAL.

Como es común en el caso de motores, el mantenimiento de los motores fuera de borda tiene como base las horas de trabajo. Y debido a su particular y única construcción y estructura, las actividades de mantenimiento son las mismas en todos los casos, las variaciones, dependiendo del modelo y potencia, tienen que ver con los repuestos que se utilizan en cada una de estas actividades.

El mantenimiento preventivo de los motores fuera de borda se programa cada 100 horas de trabajo, es tan corto este margen, debido a las altas exigencias a las que se ven sometidos estos motores, ya que siempre están operando a altas revoluciones (entre 4500 RPM y 6000 RPM). Esto también por el hecho de que transcurren mucho tiempo en ambiente marino, incluso se considera una medida de seguridad, ya que de esta manera se le da más atención a un equipo cuyo medio de trabajo es el mar y es una forma de evitar incómodas y riesgosas varadas en altamar.

6.1. MANTENIMIENTO MOTORES F/B CADA 100 HORAS.

El mantenimiento de 100 horas de trabajo tiene como tarea fundamental el cambio de los aceites de motor y transmisión. Esto por el deterioro natural del lubricante ante el constante trabajo en los cilindros y las demás partes mecánicas de la cabeza de fuerza, en el caso del aceite de motor, para el que se recomienda el aceite sintético SUPRA 4T marca Eduardoño de denominación SAE 20W50. Este aceite fue aprobado y recomendado por Yamaha para todos sus motores de cuatro tiempos distribuidos en Colombia. Cabe aclarar que siempre que el aceite de motor es cambiado también se debe sustituir el filtro ya que este recoge todas las impurezas que pueda contener el aceite, en caso de no hacerlo, se estaría contaminando de antemano el nuevo aceite.



Figura 42. Aceite de transmisión TransmiLube® (SAE 90) y de motor SUPRA 4T® (SAE 20W50) marca Eduardoño.



Figura 43. Filtro de aceite de motor para motores de FT50 y F100B (Ref. 5GH-13440-00) y para motores F150By F200B (Ref. 69J-13440-01).

Para el caso de la transmisión, el aceite actúa como detergente y evita el desgaste entre los elementos mecánicos que la componen como la piñonería y los rodamientos. El cambio de aceite de transmisión es una de las principales actividades no solo de mantenimiento sino de diagnóstico de la transmisión sin

necesidad de desmontar o desarmar la misma, ya que el lubricante arrastra consigo la limalla resultante de un posible contacto metal con metal que se esté presentando internamente, además los tapones son tornillos imantados que también atraen todas estas residuos metálicos que pudieran causar abrasión principalmente en los rodamientos. Es de gran importancia evaluar el estado del aceite de transmisión y su aspecto. Este debe ser de color rojizo entre cambio y cambio, de haber un cambio en este tono (amarillento o tiznes blancos) se entenderá que éste se ha emulsionado lo que supone una entrada de agua, ya sea por los empaques de tapón o por los retenedores del eje de hélice.



Figura 44. Empaques de tapón de la transmisión para todos los motores F/B de cuatro tiempos (Ref. 90430-08020).

Otra actividad que se realiza cada 100 horas tiene como objetivo la protección anticorrosión del motor, principalmente del bloque, se trata del cambio de ánodos de cabeza de fuerza. Estos son unos ánodos de sacrificio de cinc que vienen instalados en el bloque del motor cuya finalidad es proteger de la corrosión todos los elementos del motor a través del principio de corrosión catódica debido a la diferencia de potencial eléctrico entre el cinc y el material del bloque. Estos se instalan con empaques de caucho para prolongar su vida útil y volver más eficiente su tarea. También existen ánodos externos que ayudan a evitar la corrosión, estos son el ánodo de bracket cuya función es proteger el soporte y todo el conjunto del trim (motor eléctrico, bomba, cilindros) y el ánodo de cola o *trim tab*, que va instalado en la transmisión y su función es proteger la carcasa de la transmisión. Como dato adicional, cabe anotar, que en motores pequeño (<50HP) actúa como timón para la embarcación.



Figura 45. Ánodos de cinc para bloque (Ref. 67F-11325-01) con sus empaques (Ref. 67F-11328-00) utilizados en todos los motores F/B cuatro tiempos.



Figura 46. Ánodo de bracket (Ref. 6G5-45251-02) y ánodo de cola (Ref.6E5-45371-01).

El cambio de elemento filtro de combustible se viene incluyendo en el mantenimiento de 100 horas como medida de seguridad desde la introducción de la biogasolina que se discutió en el capítulo 5. Este filtro se considera la principal medida de diagnóstico para evaluar las eventuales fallas del sistema de combustible y/o en el tanque de combustible.



Figura 47. Elemento filtro decantador de combustible (Ref. 90794-46868).

Por último, se realizan cada 100 horas actividades de revisión y verificación de aceite y switches de trim, así como también sistema de dirección hidráulica y cables de control, todos los sistemas cuyos componentes se cambian a condición. Además se realiza una limpieza del motor o petrolizado para conservar las piezas metálicas y sistema eléctrico del motor. En la tabla 13 se puede ver resumido el mantenimiento de cada 100 horas de los motores FT50.

REVISIONES PERIÓDICAS MOTOR FT50C				
HORAS	TAREAS DE MANTENIMIENTO	REPUESTOS	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
100 Horas	Cambio de aceite de motor	LE-FCWCUA01-01	ACEITE SUPRA 4T API SL. SAE 20W-50	5
	Cambio de filtro de aceite	5GH-13440-00	FILTRO DE ACEITE	1
	Cambio de aceite de transmisión	LE-TRLPIN01-01	ACEITE TRANSMILUBE API GL-5 SAE90	2
	Cambio de empaques de transmisión	90430-08020	EMPAQUE DE TRANSMISIÓN	2
	Cambio de empaques de ánodos	67F-11328-00	EMPAQUE DE ÁNODO DE CABEZA DE FUERZA	3
	Cambio de ánodos de cabeza de fuerza	67F-11325-01	ÁNODO DE BLOQUE	3
	Cambio elemento filtro separador	90794-46868	ELEMENTO FILTRO	1
200 Horas	100 Horas			
300 Horas	100 Horas + Puesta Punto Bomba de Refrigeración	663-44322-40	CARTUCHO DE INSERCCIÓN	1
		6H3-44315-A0	ANILLO EN O	1
		6H3-44352-00	IMPELER	1
		90280-03M03	CUÑA DEL IMPELER	1
		6H3-44323-40	PLACA EXTERIOR CROMADA	1
		6H3-44315-A0	EMPAQUE BOMBA DE AGUA	1
400 Horas	100 Horas			
500 Horas	100 Horas + Cambio de bujías	DPR6EA-9	BUJÍA	4
600 Horas	300 Horas			
700 Horas				
800 Horas	100 Horas			
900 Horas	300 Horas			
1000 Horas	500 Horas + Cambio de Correa de tiempo	62Y-46241-00	CORREA DE TIEMPOS	1

Tabla 13. Revisiones periódicas de 100 a 1000 horas de trabajo para el motor FT50C.

6.2. MANTENIMIENTO MOTORES F/B CADA 300 HORAS.

El cambio de la bomba de agua de refrigeración es la actividad representativa del mantenimiento cada 300 horas. El cambio de la bomba de agua se debe al desgaste que se presenta en las piezas que componen la bomba, principalmente el impeler y el cartucho. Como se puede observar en la figura 13, esta bomba es la encargada de succionar agua de mar o el otro medio acuático donde se desempeña el motor y hacerlas fluir a través de las galerías de refrigeración del bloque y las culatas, cuando se presenta el mencionado desgaste, la presión en la bomba es insuficiente para hacer subir el agua de refrigeración. También puede ocurrir abrasión por arena cuando se navega muy cerca de las costas. En la tabla 14 se describen los repuestos requeridos para el mantenimiento de 300 horas del motor F100B.

Se debe realizar inspección y limpieza de la rejilla de refrigeración de la transmisión buscando evitar y/o corregir algún taponamiento por caracolejo (fauna marina) o suciedad en general.



Figura 48. Partes de la bomba de agua de los motores F100B, F150B y F200B.

REVISIONES PERIÓDICAS MOTOR F100BETX				
HORAS	TAREAS DE MANTENIMIENTO	REPUESTOS	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
100 Horas	Cambio de aceite de motor	LE-FCWCUA01-01	ACEITE SUPRA 4T API SL. SAE 20W-50	5
	Cambio de filtro de aceite	5GH-13440-00	FILTRO DE ACEITE	1
	Cambio de aceite de transmisión	LE-TRLPIN01-01	ACEITE TRANSMILUBE API GL-5 SAE90	2
	Cambio de empaques de transmisión	90430-08020	EMPAQUE DE TRANSMISIÓN	2
	Cambio de empaques de ánodos	67F-11328-00	EMPAQUE DE ÁNODO DE CABEZA DE FUERZA	3
	Cambio de ánodos de cabeza de fuerza	67F-11325-01	ÁNODO DE BLOQUE	3
	CAMBIO ELEMENTO FILTRO SEPARADOR	90794-46868	ELEMENTO FILTRO	1
200 Horas	100 Horas			
300 Horas	100 Horas + Puesta Punto Bomba de Refrigeración	6R3-44322-42	CARTUCHO DE INSERCCIÓN	1
		93210-86M38	ANILLO EN O	1
		93210-37M67	ANILLO EN O	1
		6E5-44352-01	IMPELER	1
		90280-04M05	CUÑA DEL IMPELER	1
		60C-44323-40	PLACA EXTERIOR CROMADA	1
		6E5.44315-A0	EMPAQUE BOMBA DE AGUA	1
400 Horas	100 Horas			
500 Horas	100 Horas + Cambio de bujías	LFR5A-11	BUJÍA	4
600 Horas	300 Horas			
700 Horas				
800 Horas	100 Horas			
900 Horas	300 Horas			
1000 Horas	500 Horas + Cambio de Correa de tiempo	67F-46241-00	CORREA DE TIEMPOS	1

Tabla 14. Revisiones periódicas de 100 a 1000 horas de trabajo para el motor F100B.

6.3. MANTENIMIENTO MOTORES F/B CADA 500 HORAS.

El mantenteneimeinto de 500 horas está referenciado por el cambio de bujías. Estas se deben cambiar ya que en la medida del trabajo que realizan, la

intensidad de la chispa que proveen para la combustión va disminuyendo y también son presa de la corrosión. En la tabla 15 podemos observar el tipo de bujías que se requieren para el mantenimiento de 500 horas de los motores F150B, que son las mismas que monta el F200B.



Figura 49. Bujías Ref. LFR5A-11 (Motores FT50 y F100B) y Ref. LFR6A-11 (Motores F150B y F200B).

REVISIONES PERIÓDICAS MOTOR F150BETX				
HORAS	TAREAS DE MANTENIMIENTO	REPUESTOS	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
100 Horas	Cambio de aceite de motor	LE-FCWCUA01-01	ACEITE SUPRA 4T API SL. SAE 20W-50	5
	Cambio de filtro de aceite	5GH-13440-00	FILTRO DE ACEITE	1
	Cambio de aceite de transmisión	LE-TRLPIN01-01	ACEITE TRANSMILUBE API GL-5 SAE90	2
	Cambio de empaques de transmisión	90430-08020	EMPAQUE DE TRANSMISIÓN	2
	Cambio de empaques de ánodos	67F-11328-00	EMPAQUE DE ÁNODO DE CABEZA DE FUERZA	3
	Cambio de ánodos de cabeza de fuerza	67F-11325-01	ÁNODO DE BLOQUE	3
	CAMBIO ELEMENTO FILTRO SEPARADOR	90794-46868	ELEMENTO FILTRO	1
200 Horas	100 Horas			
300 Horas	100 Horas + Puesta Punto Bomba de Refrigeración	6R3-44322-42	CARTUCHO DE INSERCCIÓN	1
		93210-86M38	ANILLO EN O	1
		93210-37M67	ANILLO EN O	1
		6E5-44352-01	IMPELER	1
		90280-04M05	CUÑA DEL IMPELER	1
		60C-44323-40	PLACA EXTERIOR CROMADA	1
		6E5-44315-A0	EMPAQUE BOMBA DE AGUA	1
400 Horas	100 Horas			
500 Horas	100 Horas + Cambio de bujías	LFR6A-11	BUJÍA	4
600 Horas	300 Horas			
700 Horas				
800 Horas	100 Horas			
900 Horas	300 Horas			
1000 Horas	500 Horas + Cambio de Correa de tiempo	67F-46241-00	CORREA DE TIEMPOS	1

Tabla 15. Revisiones periódicas de 100 a 1000 horas de trabajo para el motor F150B.

6.4. MANTENIMIENTO MOTORES F/B CADA 1000 HORAS.

Teniendo en cuenta que a las 1000 horas el motor ya ha recorrido una parte considerable de su vida útil, es el momento para realizar el cambio de la correa de

repartición o de tiempo. Este vital repuesto se encarga de coordinar los tiempos de giro del motor entre el cigüeñal y los ejes de leva. Todos los fabricantes de correas tienen para las correas de tiempo composiciones y materiales de excelente calidad, sin embargo, es muy importante el cambio de la correa toda vez que de la falla de ésta tiene como consecuencia un desastroso resultado principalmente en las válvulas y los mecanismos de la culata que ayudan a que estas realicen el movimiento de apertura y cerrado.



Figura 50. Correa de tiempos instalada motor F200B (Ref. 69J-46241-00)



figura 51. Correa de tiempo motor F100B (Ref. 67F-46241-00).

En la tabla 16 se encuentra descrito el cambio de correa por 100 horas de trabajo del motor F200B

REVISIONES PERIÓDICAS MOTOR F200BETX				
HORAS	TAREAS DE MANTENIMIENTO	REPUESTOS	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
100 Horas	Cambio de aceite de motor	LE-FCWCUA01-01	ACEITE SUPRA 4T API SL. SAE 20W-50	5
	Cambio de filtro de aceite	69J-13440-00	FILTRO DE ACEITE	1
	Cambio de aceite de transmisión	LE-TRLPIN01-01	ACEITE TRANSMILUBE API GL-5 SAE90	2
	Cambio de empaques de transmisión	90430-08020	EMPAQUE DE TRANSMISIÓN	2
	Cambio de empaques de ánodos	67F-11328-00	EMPAQUE DE ÁNODO DE CABEZA DE FUERZA	3
	Cambio de ánodos de cabeza de fuerza	67F-11325-01	ÁNODO DE BLOQUE	3
	CAMBIO ELEMENTO FILTRO SEPARADOR	90794-46868	ELEMENTO FILTRO	1
200 Horas	100 Horas			
300 Horas	100 Horas + Puesta Punto Bomba de Refrigeración	6R3-44322-42	CARTUCHO DE INSERCCIÓN	1
		93210-86M38	ANILLO EN O	1
		93210-37M67	ANILLO EN O	1
		6E5-44352-01	IMPELER	1
		90280-04M05	CUÑA DEL IMPELER	1
		6G5-44323-40	PLACA EXTERIOR CROMADA	1
		6E5.44315-A0	EMPAQUE BOMBA DE AGUA	1
400 Horas	100 Horas			
500 Horas	100 Horas + Cambio de bujías	LFR5A-11	BUJÍA	4
600 Horas	300 Horas			
700 Horas	100 Horas			
800 Horas	100 Horas			
900 Horas	300 Horas			
1000 Horas	500 Horas + Cambio de Correa de tiempo	67F-46241-00	CORREA DE TIEMPOS	1

Tabla 16. Revisiones periódicas de 100 a 1000 horas de trabajo para el motor F200B.

CONCLUSIONES

A partir del estudio de las fallas en motores fuera de borda se puede señalar que, al igual que cualquier otro equipo industrial, la mejor manera de obtener el mayor rendimiento y garantizar una larga vida útil es a través de una buena implementación de un plan de mantenimiento. Es de más ayuda si durante la programación y ejecución de dicho plan se identifican de manera clara las funciones de los equipos y sus sistemas, para de ahí deducir qué deseamos y bajo qué parámetros de operación y/o producción queremos que éste trabaje.

Partiendo de la identificación de estas funciones, entonces avanzamos en el estudio y análisis de los modos y efectos de falla que nos permiten conocer las causas de las fallas funcionales y las acciones a tomar para anticiparnos a la falla o para evitar que ocurran nuevamente.

En el estudio de los motores fuera de borda pudimos conocer la importancia de el mercado de estos y la creciente demanda de trabajos de mantenimiento para con los mismos, lo que señala que la conciencia de mantenimiento para este tipo de equipos sigue creciendo en las empresas que los utilizan. Así mismo pudimos mostrar las funciones y principales fallas que sufren los sistemas que componen estos motores, en especial el sistema de combustible y las dañinas consecuencias que en este genera la introducción de la biogasolina al mercado de combustibles de Cartagena.

La biogasolina representa una amenaza para el sistema de combustible debido a su fuerte reacción con distintos tipos de polímeros, elastómeros y resinas, estas últimas son la base principal de la conformación de la fibra de vidrio, material con el que se fabrican la mayoría de los tanques de combustible para botes que operan con motores fuera de borda. Dicha reacción representa a la postre indeseables fallas en el sistema de combustible de los motores fuera de borda. La correcta selección de filtros y un cuidadoso seguimiento y mantenimiento periódico al sistema de combustible coadyuvan en la prevención de las fallas de este importante sistema.

BIBLIOGRAFÍA

1. Moubray, J. Reliability-Centered Maintenance; Industrial Press Inc. New York; Third Edition 2000.
2. Manual Escuela Técnica Yamaha; Ediciones Eduardoño 2009.
3. Wilson, J.D.K.; Documento Técnico de Pesca 383 de la FAO-Medidas de Ahorro de Combustible y Medidas de Costos para Armadores de Embarcaciones Pesqueras; Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma 2005.
4. YAMAHA MOTOR Co. Ltd. Product Guide Information 2012 – Four Stroke Outboards; Yamaha Motor co. Ltd., Agosto 2011.
5. YAMAHA MOTOR Co. Ltd; F100B Parts Catalogue; Yamaha Motor Co. Ltd. First Edition, Julio 2008.
6. YAMAHA MOTOR Co. Ltd. F150BET/FL150BET Parts Catalogue; Yamaha Motor Co. Ltd. First Edition, Agosto 2009.
7. YAMAHA MOTOR Co. Ltd. F200BET/FL200BET Parts Catalogue; Yamaha Motor Co. Ltd. First Edition, Agosto 2009.
8. YAMAHA MOTOR Co. Ltd. FT50C Parts Catalogue; Yamaha Motor Co. Ltd. First Edition, Agosto 2009.
9. Aparicio G., Díaz E, D'Armas H.; Evaluación del Efecto del Ambiente de Exposición en las Propiedades Mecánicas de los Poliéster reforzados; Federación Iberoamericana de Ingeniería Mecánica; Cusco, Octubre 2007.
10. Bendezú, J.H. Los Plásticos Reforzados en Fibra de Vidrio (PRFV), sus Aplicaciones y Desarrollo en la Industria Nacional; Sistema de Bibliotecas y Biblioteca Central, Lima 2007.

ANEXOS

ANEXO A. COMUNICADO DE INTRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES A LA COSTA CARIBE DEL MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA.



AVANZA EL PROGRAMA DE BIOCOMBUSTIBLES EN COLOMBIA

- *El 1º de abril se empezará a distribuir una mezcla de un 8% de biodiesel con el ACPM en Santander, el Sur del Cesar y el Sur del país (Caquetá, Huila, Tolima y Putumayo).*
- *En la misma fecha comienza la distribución de gasolina oxigenada (biogasolina) en la costa Caribe*

MME, Bogotá D.C., Marzo 31 de 2010. A partir del 1º de abril se aumenta en un 1% la mezcla del ACPM con el biodiesel, con una proporción de 92% de diesel y 8% de biodiesel en Santander, el Sur del Cesar y el Sur del país (Caquetá, Huila, Tolima y Putumayo). Cabe recordar que desde noviembre del año pasado en estas zonas se venía distribuyendo una mezcla del 7% de biodiesel con el ACPM.

Lo anterior, para seguir dando continuidad al programa de biocombustibles en el país; avanzar en el montaje y puesta en operación de las plantas productoras de biodiesel; y tener en combustibles de mejor calidad a un precio similar.

De otro lado, a partir de mañana 1º de abril se empezará a distribuir gasolina oxigenada (biogasolina), mezcla de un 8% de alcohol carburante con la gasolina, en la Costa Caribe. Así, en la totalidad del territorio nacional se tendrá distribución de gasolina oxigenada.

Es importante anotar que los conductores que utilicen la Biogasolina y la mezcla del biodiesel con el diesel fósil deben realizar un mantenimiento previo al vehículo y revisar periódicamente los filtros del combustible, esto durante el primer mes. Igualmente, asegurarse que el tanque del combustible no contenga agua, ya que la fuerte afinidad entre el líquido y los biocombustibles puede generar algún inconveniente.

Hay que recordar que la mezcla de un 8% de alcohol carburante mejora el

octanaje del combustible y como tal la potencia en el motor y en el caso de la mezcla del biodiesel con el ACPM se presenta un comportamiento similar con mejoramiento en el número de cetano del combustible.

Para obtener un mejor desempeño en los vehículos, especialmente en los de carburador, se recomienda sincronizar el motor una vez se haya efectuado la primera tanqueada con Biogasolina y/o con la mezcla de biodiesel con el diesel de origen fósil.

Finalmente, el Ministerio de Minas y Energía invita a todos los residentes en dichas zonas a apoyar la puesta en marcha de los programas en mención, de tal forma que el país siga teniendo en los biocombustibles una fuente importante de desarrollo social y empleo, de diversificación de la canasta energética, de mejoramiento de la calidad de los combustibles fósiles, disminuyendo así la contaminación ambiental y construir un mejor presente que asegure un futuro para las nuevas generaciones.

ANEXO B. INSTRUCTIVO DE FABRICACIÓN DE TANQUES CON RESINA NOVOLAC PARA LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BOTES DE EDUARDOÑO S.A. EN ITAGÜI.

	Pag. 1 de 5	INSTRUCTIVO FABRICACIÓN DE TANQUES		CÓDIGO: SIN
	INSTRUCTIVO	DE COMBUSTIBLE		
	REALIZÓ: JPérez	Revisó:	Aprobó	ÚLTIMA REVISIÓN: Dic/07

PROCESO DE PINTURA Y PREPARACION

PROCESO DE PINTURA Y PREPARACION

1. Se debe garantizar que el tanque esté encerado, 8 capas para moldes nuevos, 1 capa en la pestaña cada cuatro piezas y 1 capa en todo el tanque cada 8 piezas. No usar cinta de enmascarar en el molde del tanque excepto si esa sección va a ser recortada.
2. Sólo los tanques hechos en moldes de madecor tienen proceso de pintura. Los tanques rojos no poseen proceso de pintura. Para moldes de Madecor aplicar 10 mils de gelcoat blanco.

PROCESO DE LAMINACION





1. Preparar resina novolaca con catalizador incoloro. Esta resina puede ser preparada usando la regla de catalización, la catalización nunca puede ser menor a 1% (Día Caliente).
2. Aplicar resina novolaca con brocha sobre la superficie del molde. Se debe vigilar que la brocha este siempre bien humectada porque se corre el riesgo de remover la cera del molde.





3. Asentar velo sobre superficie humectada del molde.
4. Eliminar burbujas de aire con rodillo.
5. Esperar que la resina gele.



6. Mojar la superficie del molde con resina novolaca y brocha



7. Posicionar primera tela de la primera secuencia de laminación M4 ó M6 según sea el caso



9. Eliminar burbujas de aire con rodillo.



10. Aplicar parche de refuerzo de (M4) en la arista ó esquina superior del molde, mojar con brocha humectada con resina novolaca y eliminar burbujas de aire con rodillo.



10. Ubicar la segunda tela de primera secuencia de laminación, para todos los tanques es R6.



11. Humectar con resina novolaca, remover exceso de resina con espátula y eliminar burbujas de aire con rodillo.



12. Aplicar parche de refuerzo de (M4) en la arista ó esquina superior del molde, mojar con brocha humectada con resina novolaca y eliminar burbujas de aire con rodillo.

ANEXO C. INFORME DE RESISTENCIA QUÍMICA DE RESINAS ANTE GASOLINA .

Medellín 21 de junio de 2006.

INFORME.

RESISTENCIA QUÍMICA DE RESINAS ANTE GASOLINA.

ELABORADO POR:

Juan Esteban Pérez Zapata

PARA:

Clara María Atehortúa.

OBJETIVO

- Verificar información técnica sobre resistencia química de sistemas de almacenamiento de GRP para gasolina 95 Octanos apta para motores cuatro tiempos.
- Concluir sobre la mejor alternativa técnica del material a ser usado como barrera química en los tanques de combustible.

Descripción.

La resistencia química es un factor a tener en cuenta para la selección de resinas termoestables. El caso de los tanques de combustible es de vital importancia para la compañía porque estos accesorios comprometen la seguridad de los ocupantes de las embarcaciones.

En la selección de resinas resistentes a el ataque químico de combustibles existe dificultad. Esta dificultad se presenta porque la mayoría de guías de resistencia a corrosión comerciales guardan reservas en el caso de gasolina, gasohol o combustibles aptos para motores de combustión de cuatro tiempos. En estas guías se recomienda consultar siempre al proveedor autorizado de la marca para recibir recomendaciones sobre el almacenamiento de combustibles.

En el pasado, esta ambigüedad en la selección de resinas resistentes a ataque químico del agente gasolina, trajo como consecuencia la aplicación sobre tanques, de una resina con excelente comportamiento químico, pero no recomendada para trabajo ante combustibles.

La resina P650 ISO NPG de SUIN fue aplicada en los tanques de combustible durante finales del año 2004, el año 2005, y hasta marzo del año 2006. Las resinas ISO NPG no son recomendadas para aplicaciones de resistencia química ante gasolina pese a tener un buen comportamiento químico y una excelente resistencia a la ósmosis.

Debido a este antecedente se decidió correr en el laboratorio de la Fábrica de Botes EDUARDOÑO una adaptación de la prueba ASTM C581-74 para tener valores de referencia sobre ataque químico de combustibles a sistemas GRP.

Las modificaciones a la norma ASTM tienen que ver como se detallará posteriormente con respecto al tamaño de las probetas, la falta de temperatura controlada durante la duración de la prueba y a la ausencia de ensayos de flexión para determinar la pérdida de resistencia mecánica ante el compuesto químico.

El objetivo de esta prueba consiste en tener valores de referencia comparativos sobre el comportamiento de diferentes familias químicas tras la exposición controlada a gasolina extra 95 octanos.

La norma que se está aplicando es la que utilizan las guías de resistencia a la corrosión comerciales.

FECHA 11/04/2006

FECHA 11/152006

Muestra	BISFENOL			ORTO			DCPD			ISO			Q 7022 T 08		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
W [gr]	33,71	30,79	27,63	32,15	39,19	35,05	24,37	28,17	28,73	24,81	25,74	24,13	32,93	34,15	29,08
t [mm]	2,2	2,3	2,3	2,7	2,65	2,6	1,9	1,9	2,00	1,95	1,9	1,8	2,2	2,2	2,35
OBSERVACIONES	Ace, C 2c	SV, P 1Cc, C	C, SV, P	Mii, P, SV	MI	SV, MI	Mix	mP	mP	Mix	Mle	Mle	C1c, MI	MI, D1b	Mix, C1c
W [gr]	33,97					35,2	24,55			24,73			33,14		
t [mm]	2,2					2,6	1,9			1,95			2,2		
OBSERVACIONES	*					*	*			*			*		

- SV surcos de vacío
- P poros
- 1C una cara
- C calcado
- MI mala impregnación
- D deslaminado
- C centro
- E extremos
- I interior
- X esquina
- MI micro
- 1b un borde

Tabla 1. Cambio en el peso de los especímenes de prueba de GRP antes y después de 40 días de inmersión en gasolina.

ABSORCIÓN					
HORAS	BISFENOL	DCPD	Q7022 T08	ISO	ORTO
0	33,71	24,37	32,93	24,81	35,05
960	33,97	24,55	33,14	24,73	35,2
% DE ABSORCIÓN	0,77%	0,74%	0,64%	0,49%	0,43%

Tabla 2. Aumento porcentual en el peso de los especímenes de prueba.

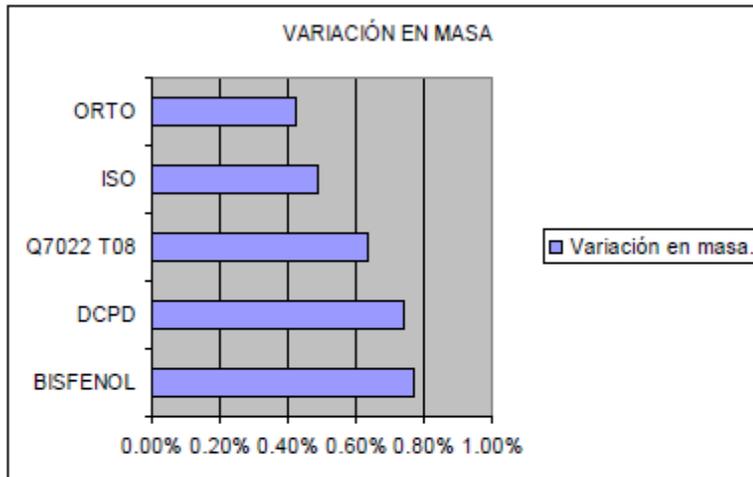


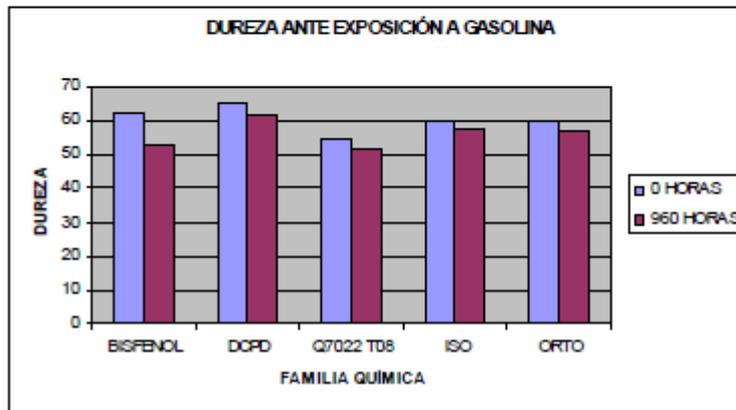
Gráfico 1. Variación en la masa de las probetas tras la exposición.

Medidas de Pérdida de Dureza Superficial (Tabla 3). El ataque químico tiene consecuencias sobre la estabilidad estructural del material que afecta. Superficialmente esta degradación implica que la zona mas exterior del material está en transición (degradación lenta), como consecuencia la dureza superficial del polímero decae.

	FECHA 11/04/2006					FECHA 11/05/2006				
	DUREZA BARCOL									
	BISFENOL	DCPD	Q 7022 T 08	ISO	ORTO					
1	56	44	62	55	60	60	57	60	62	66
2	60	49	65	56	48	56	54	63	62	55
3	60	50	70	61	48	60	66	56	65	66
4	56	46	71	61	52	52	57	65	57	48
5	64	57	60	64	55	53	65	55	62	55
6	59	58	60	68	55	51	63	57	62	50
7	67	54	65	58	53	46	59	50	55	60
8	67	50	60	61	65	42	64	60	67	45
9	73	55	70	64	57	47	55	56	50	60
10	60	65	67	65	54	50	56	55	54	65

DUREZA TRAS EXPOSICIÓN A GASOLINA					
HORAS	BISFENOL	DCPD	Q7022 T08	ISO	ORTO
0	62,2	65	54,7	59,8	59,8
960	52,8	61,3	51,7	57,7	57
% DE PERDIDA	15,11%	5,89%	5,48%	3,19%	4,36%

Tabla 4. Síntesis de mediciones de pérdida de dureza.



ANÁLISIS.

- La resina que experimentó menos pérdida en su dureza superficial fue la ISO.
- La resina que experimentó menos porcentaje de variación en la masa fue la resina ORTO.
- La resina Bisfenol fue la resina con mas pobre desempeño tanto de dureza como de absorción.
- El comportamiento de la resina recomendada para tanques esta en el lugar del medio con respecto al desempeño de los sistemas analizados.

CONCLUSIONES.

- La resina Isofáltica Crisalan 32870 es la que presenta mejor combinación de desempeño dureza absorción contra exposición y por lo tanto debe continuarse su uso en la fabricación de tanques de combustible.
- Las resinas Bisfenol A no son recomendadas para el uso en tanques de combustible.

Juan Esteban Pérez Zapata
Ingeniero de Proyectos

Clara María Atehortúa
Superintendente de Ingeniería

