



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**ANÁLISIS DE FIABILIDAD DEL SISTEMA DE COMBUSTIBLE DE
LOS MOTORES WARTSILA PARA DISMINUIR LA PROBABILIDAD
DE FALLO EN LA PLANTA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA DE LA
EMPRESA AGIP OIL ECUADOR.**

DARWIN BLADIMIR MAIQUIZA SAQUINGA

Trabajo de Titulación modalidad: Proyectos de Investigación y Desarrollo, presentado
ante el Instituto de Posgrado y Educación Continua de la **ESPOCH**, como requisito
parcial para la obtención del grado de:

MAGÍSTER EN GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

RIOBAMBA – ECUADOR

Junio 2018

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

CERTIFICACIÓN:

EL TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, denominado: ANÁLISIS DE FIABILIDAD DEL SISTEMA DE COMBUSTIBLE DE LOS MOTORES WARTSILA PARA DISMINUIR LA PROBABILIDAD DE FALLO EN LA PLANTA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA DE LA EMPRESA AGIP OIL ECUADOR, de responsabilidad del Sr. DARWIN BLADIMIR MAQUIZA SAQUINGA, ha sido minuciosamente revisado y se autoriza su presentación.

Tribunal:

Ing. Henry Vallejo Vizhuate; M.Sc.
PRESIDENTE (DELEGADO)

Ing. Marco Santillán Gallegos; M.Sc.
DIRECTOR

Ing. Rafael Pérez Pupo PhD.
MIEMBRO

Ing. Jorge Freire Miranda; M.Sc.
MIEMBRO

DOCUMENTALISTA SISBIB ESPOCH

Riobamba, junio de 2018

DERECHOS INTELECTUALES

Yo, Darwin Bladimir Maiquiza Saquina soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación y el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

DARWIN BLADIMIR MAIQUIZA SAQUINGA

No. Cédula:180348816-0

©2016, Darwin Bladimir Maiquiza Saquina

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor

Yo, Darwin Bladimir Maiquiza Saquina, declaro que el presente proyecto de investigación, es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados. Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación de Maestría.

DARWIN BLADIMIR MAIQUIZA SAQUINGA

No. Cédula: 180348816-0

CONTENIDO

CAPÍTULO I.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Problema de investigación.....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	2
1.3 Formulación del problema.....	3
1.4 Sistematización del problema.....	3
1.5 Justificación de la investigación.....	3
1.6 Objetivos.....	4
1.6.1 <i>Objetivo general</i>	4
1.6.2 <i>Objetivos específicos</i>	5
1.7 Hipótesis.....	5
CAPÍTULO II.....	6
2. MARCO DE REFERENCIA.....	6
2.1 Antecedentes investigativos.....	6
2.2 Marco conceptual.....	7
2.2.1 <i>Fiabilidad de sistemas</i>	9
2.2 Sistema de alimentación de combustible.....	20
2.3 Combustible.....	22
2.3.1 <i>Calentamiento</i>	23
2.3.2 <i>Límites máximos para combustibles</i>	24
2.4 Tratamiento de combustible.....	26
2.5 Almacenamiento de combustible.....	28
2.6 Suministro y circulación de combustible.....	28
2.7 Unidad de compresión.....	28
2.8 Unidad de combustible.....	31
2.9 Sistema de lubricación.....	32
2.10 Sistema de agua de refrigeración.....	35

2.11	Sistema de escape	37
2.12	Sistema de aire de arranque.....	38
CAPÍTULO III.....		39
3.	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	39
CAPÍTULO IV		41
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	41
4.1	Cálculo de la tasa de fallos, fiabilidad, disponibilidad de los tanques de almacenamiento de combustible	41
4.1.1	<i>Tanque buffer (TKB)</i>	41
4.1.2	<i>Tanque Diario (TKD)</i>	42
4.2	Cálculo de la tasa de fallos, fiabilidad, disponibilidad de las separadoras de crudo.....	43
4.2.1	<i>Datos separadora # 1</i>	43
4.2.2	<i>Datos separadora 2:</i>	44
4.2.3	<i>Datos separadora 3:</i>	46
4.2.4	<i>Datos separadora # 4:</i>	47
4.2.5	<i>Datos separadora # 5:</i>	49
4.3	Cálculo de la tasa de fallos, fiabilidad, disponibilidad de las unidades booster ..	50
4.3.1	<i>Tasa de fallos booster # 1:</i>	51
4.3.3	<i>Tasa de fallos unidad booster # 3</i>	59
4.4	Cálculo de la tasa de fallos, fiabilidad, disponibilidad de las fuel unit.....	63
4.4.1	<i>Tasa de fuel unit # 1:</i>	63
4.4.2	<i>Tasa de fuel unit # 2:</i>	64
4.4.3	<i>Tasa de fuel unit # 3:</i>	65
4.4.4	<i>Tasa de fuel unit # 4:</i>	66
4.5.5	<i>Tasa de fuel unit # 5:</i>	67
4.6.6	<i>Tasa de fuel unit # 6:</i>	68
4.5	ANÁLISIS DE RESULTADOS	69
4.5.1	<i>Estado técnico actual del sistema de combustible</i>	69
4.5.2	<i>Árbol de fallas del sistema de combustible.</i>	70

4.6	Cálculo de probabilidad de ocurrencia de fallo.....	73
	CONCLUSIONES.....	81
	RECOMENDACIONES.....	83
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2 Orden de encendido motor Wartsila	14
Tabla 2-2 Volumen aproximado de aceite de lubricación en el motor.....	15
Tabla 3-2 Volumen aproximado de agua de refrigeración.....	15
Tabla 4-2 Volumen de aceite lubricante en litros	15
Tabla 5-2 Temperaturas de operación.....	16
Tabla 6-2 Presiones de operación.....	16
Tabla 7-2 . Otras presiones de operación.....	17
Tabla 8-2 . Límites de viscosidad del combustible.....	23
Tabla 9-2 Características del combustible, límites máximos.....	25
Tabla 10-2 Diferencias entre HFO 1 y HFO 2.....	26
Tabla 1-4: Datos tanque buffer.....	43
Tabla 2-4: Datos tanque diario.....	44
Tabla 3-4: Datos separadora # 1.....	45
Tabla 4-4: Datos separadora # 2.....	47
Tabla 5-4: Datos separadora # 3.....	48
Tabla 6-4: Datos separadora # 4.....	50
Tabla 7-4: Datos separadora # 5.....	51
Tabla 8-4: Datos bomba feed # 1.....	53
Tabla 9-4: Datos filtros # 1.....	54
Tabla 10-4: Datos bomba booster # 1.....	55
Tabla 11-4: Datos calentadores # 1.....	56
Tabla 12-4: Datos operación unidad booster # 1.....	57
Tabla 13-4: Datos bomba feed # 2.....	58
Tabla 14-4: Datos filtros # 2.....	59
Tabla 15-4: Datos bomba booster # 2.....	59
Tabla 16-4: Datos calentadores # 2.....	60
Tabla 17-4: Datos operación bombas booster # 2.....	61
Tabla 18-4: Datos bombas feed # 3.....	62
Tabla 19-4: Datos filtros # 3.....	63
Tabla 20-4: Datos bombas booster # 3.....	64
Tabla 22-4: Datos calentadores # 3.....	65
Tabla 22-4: Datos operación booster # 3.....	66
Tabla 23-4: Datos fuel unit # 1.....	67

Tabla 24-4: Datos fuel unit # 2.....	68
Tabla 25-4: Datos fuel unit # 3.....	69
Tabla 26-4: Datos fuel unit # 4.....	70
Tabla 27-4: Datos fuel unit # 5.....	71
Tabla 28-4: Datos fuel unit # 6.....	72
Tabla 29-4: Resultados del sistema de combustible.....	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2: Vista en corte motor Wartsila W32.....	13
Figura 2-2: Sistemas auxiliares motor Wartsila W32.	14
Figura 3-2: Sistema de alimentación de combustible (crudo).	21
Figura 4-2: Sistema de alimentación de combustible (diesel).	22
Figura 5-2: Diagrama de viscosidad-temperatura del combustible	24
Figura 6-2: Tratamiento de combustible.....	26
Figura 7-2: Unidad booster.	29
Figura 8-2: Unidad de combustible.	31
Figura 9-2: Tipos de cárter motor Wartsila.....	33
Figura 10-2: Sistema de lubricación.	35
Figura 11-2: Circuito del sistema de agua de refrigeración AT.....	36
Figura 12-2: Circuito del sistema de agua de refrigeración BT.....	37
Figura 13-2: Sistema de escape, motor en V.	38
Figura 14-2: Sistema de aire de arranque.	38
Figura 1-4: Árbol de fallos tanques de almacenamiento de combustible.	70
Figura 2-4: Árbol de fallos separadoras de crudo.....	71
Figura 3-4: Árbol de fallos unidades booster.....	72
Figura 4-4: Árbol de fallos fuel unit.	73
Figura 5-4: Diagrama de bloques para cálculo de probabilidades.	73
Figura 6-4: Diagrama de bloques para cálculo de probabilidades.	75
Figura 7-4: Diagrama de bloques de fiabilidad del sistema de combustible.	76
Figura 8-4: Diagrama de bloques simplificado de fiabilidad del sistema de combustible.....	77
Figura 9-4: Propuesta de la configuración del sistema de combustible.....	78

RESUMEN

En presente trabajo de titulación tuvo como objetivo disminuir la probabilidad de ocurrencia de fallo del sistema de combustible ya que la planta de generación eléctrica trabaja con un nivel de fiabilidad del 96% establecido por la organización. Se realizó una evaluación integral del sistema con lo que se determinó el estado actual del mismo. Con la elaboración del diagrama de bloques, fiabilidad, árbol del fallos de sistema, cálculo de probabilidad de ocurrencia de fallo se contribuyó a dicho objetivo, de esta manera se optimiza su operación y mantenimiento, con medidas objetivas y cuantificables que permiten abordar los fallos de los equipos en las fases iniciales en las que se producen; de igual manera contribuir a la implementación del sistema de gestión del mantenimiento, sin derrochar capital, ni incurrir en costos extraordinarios. La fiabilidad total del sistema es del 99.98 %, debido a la criticidad del sistema de combustible y su impacto en la generación de energía eléctrica, este valor es aceptable, pero no el ideal por lo cual es necesario elevar este valor y, de esta manera contribuir a mantener y mejorar la fiabilidad establecida por la organización. Para lo cual se realiza una propuesta de reingeniería del sistema de combustible, para equilibrar la carga especialmente en las unidades booster y así disminuir la probabilidad del fallo.

Palabras clave: <TASA DE FALLOS>, <SISTEMA EN SERIE>, <SISTEMA EN PARALELO>, <SISTEMAS COMPLEJOS>, <PANTA DE GENERACIÓN>, <PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE FALLOS>.

ABSTRACT

The objective at the present work degree was to reduce the probability of occurrence of failure in the fuel system because the power generation plant works with a reliability level of 96% established by the organization. An integral evaluation of the system was carried out with which the current state of the system was determined. With the elaboration of the block diagram, reliability, failure tree of the system, calculation of probability of occurrence of failure contributed to this objective, thereby its operation and maintenance are optimized with objective and quantifiable actions that allow to address the failures of the equipment in the initial phases in which they are produced. Similarly contribute to the implementation of the management system of maintenance, without waste capital, or incur extraordinary costs. The total reliability of the system is 99.98%, due to the criticality of the fuel system and its impact on the generation of electric power, this value is acceptable, but not the ideal reason why it is necessary to raise this value and, in this way contribute to maintaining and improving the reliability established by the organization. Therefore, a reengineering of the fuel system is proposal to balance the load especially in the booster units and, thus decrease the probability of the failure.

Key words: <FAILURE RATE>, <SERIAL SYSTEM>, <PARALLEL SYSTEM>, <COMPLEX SYSTEMS>, GENERATION PLANT>, <FAILURE OCCURRENCE PROBABILITY>.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN.

La teoría de la fiabilidad es el conjunto de teorías y métodos, matemáticos y estadísticos, procedimientos y prácticas operativas que, mediante el estudio de las leyes de ocurrencia de fallos, están dirigidos a resolver problemas de previsión, estimación y optimización de la probabilidad de supervivencia, duración de vida media y porcentaje de tiempo de buen funcionamiento de un sistema.

La fiabilidad total de un sistema complejo se obtiene, a partir de la fiabilidad individual de los componentes que la conforman, de tal manera permite afirmar que la fiabilidad total del sistema es siempre inferior a la de sus componentes individuales.

1.1 Problema de investigación

La competitividad entre las empresas para asegurarse el negocio y la actual crisis financiera mundial están obligando a las compañías a buscar métodos de reducción de los costos de producción.

En el caso de Ecuador la baja del precio por barril de crudo sumada la penalización económica por su calidad, es un desafío para las empresas petroleras en mantener la producción con restricciones económicas para su operación. Un método muy empleado es el de reducir gastos en el mantenimiento de los equipos. Sin embargo, esto indica una falta de visión, ya que las inversiones que se aplazan suelen resurgir más adelante y pueden costar entre dos y cinco veces más de lo que habrían presupuestado en fases iniciales del desarrollo y progresión del fallo.

La ejecución del mantenimiento de los equipos a tiempo, con la consiguiente mejora de la fiabilidad reducirá los costos generales. Además, este enfoque mejorará el rendimiento empresarial y proporcionará mayores beneficios, puede generar mayor producción dado el aumento de la capacidad que resulta de un mayor tiempo útil de producción o de disponibilidad.

El aumento de producción compensará los costos de una inversión adicional en los equipos, reduciendo de esa manera el costo de su mantenimiento. (Kessel H, 2009 p -70.)

Para la mayoría, las cifras de fiabilidad, por sí mismas, no tienen un gran significado para realizar mejoras, independientemente de que se presenten como porcentajes, tiempos medios entre fallos (MTBF) o menos órdenes de trabajo urgente. Para las empresas, el aspecto financiero de la fiabilidad significa controlar los costos de la falta de fiabilidad debida a fallos de los equipos y los procesos, que se traducen en pérdidas económicas y repercuten en la capacidad de producción.

Desde el punto de vista técnico, la fiabilidad suele cuantificarse calculando la probabilidad de que se presente un fallo. La medición de la probabilidad implica el empleo de métodos y herramientas de estadística y probabilidad. Un factor clave para el análisis de fiabilidad es la calidad de los datos de la planta.

En concreto, la forma en que se recopilan, se tratan y quién es responsable de su análisis. La mayoría de las instalaciones de la industria petrolera han acumulado datos durante muchos años, pero es raro encontrar a alguien que se ocupe de su análisis y de conseguir información que sirva para resolver los problemas.

Los datos de las plantas son un medio perfecto de mostrar lo que funciona y lo que es posible mejorar. Un buen enfoque para iniciar el análisis es localizar los problemas mediante el examen de la frecuencia con que ocurren. (Kessel H, 2009 p -70.)

1.2 Planteamiento del problema

El sistema de alimentación de combustible para la planta de generación de la empresa Agip Oil Ecuador es crítico por su impacto en todo el sistema de producción de energía eléctrica, como también en la producción total de la empresa.

La planta de generación eléctrica debe trabajar con un nivel de fiabilidad superior al 96% establecido por la organización, ya que la empresa maneja índices de fiabilidad macro se propone el cálculo de fiabilidad por sistemas en este caso del sistema de combustible como también los equipos críticos que lo componen, de esta manera optimizar su operación, sin derrochar capital ni incurrir en costos extraordinarios.

Con este análisis de fiabilidad ayudará a lograr tal fin con la aplicación de medidas objetivas y cuantificables que permitan abordar los fallos de los equipos en las fases iniciales en que se producen, de igual manera contribuir a la implementación del sistema de gestión de mantenimiento que lleva a cabo la empresa.

1.3 Formulación del problema

El análisis de fiabilidad del sistema de combustible permite realizar una evaluación integral del sistema con lo que se podría elaborar un diagrama de bloques y fiabilidad de sistema, cálculo de probabilidad de ocurrencia de fallo y contribuir a la implementación del sistema de gestión de mantenimiento.

1.4 Sistematización del problema.

¿Cuál es la situación actual de fiabilidad del sistema de combustible?

¿Cómo contribuye la fiabilidad del sistema de combustible a la disponibilidad de la planta de generación?

¿Qué análisis se realiza con las fallas recurrentes en el sistema de combustible?

¿Qué método se puede emplear para estimar la ocurrencia del fallo en el sistema tomando en cuenta su fiabilidad?

1.5 Justificación de la investigación.

AGIP OIL ECUADOR B.V. (AOE) es una subsidiaria del Grupo Ente Nazionale Idrocarburi (ENI), el mayor grupo Italiano de Energía que está entre los 6 grupos más grandes del mundo.

ENI tiene operaciones en Europa, África, Medio Oriente, Sudamérica y Australia.

Agip Oil Ecuador B.V. opera el Bloque 10 localizado en la selva de la región amazónica ecuatoriana, desde febrero del año 2000, hasta el año 2023 de acuerdo al contrato firmado con el gobierno del Ecuador.

Por la necesidad de la demanda de energía eléctrica requerida en el bloque 10, para los equipos de producción, se requiere mantener una fiabilidad operacional de los generadores eléctricos sobre el 96%.

La planta de generación eléctrica, cuenta con seis moto-generadores; cinco Wartsila VASA 16V32 L.N. con una potencia nominal de 5300 kW cada uno, y un moto-generador Wartsila W20V32, con una potencia nominal establecida de 8730 kW.

La energía eléctrica es requerida en la operación y producción, durante los 365 días del año, las 24 horas del día, por lo tanto, los generadores eléctricos son muy importantes en la empresa, por lo cual se debe tener una disponibilidad sobre el 98% con una fiabilidad superior del 96% de los moto-generadores.

Debido al manejo de índices macro en este caso de fiabilidad, se propone en el siguiente proyecto el cálculo de fiabilidad del sistema de combustible y su respectivo análisis para contribuir con el objetivo de la empresa en mantener una confiabilidad superior al 96%, cálculo de la probabilidad de ocurrencia de fallo, árbol de fallas que contribuyen a un adecuado plan de mantenimiento y optimización del mismo.

Por lo tanto, es necesario que, para la ejecución de las diferentes actividades de la empresa, y el creciente aumento de la demanda de energía eléctrica las operaciones, se eviten paradas repentinas o no programadas de los generadores eléctricos, este proyecto busca reducir las paradas relacionadas con el sistema de combustible, los cuales inciden en pérdidas económicas debido a la pérdida de producción.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo general

Analizar la fiabilidad del sistema de combustible de los motores Wartsila para disminuir la probabilidad de fallo en la planta de generación eléctrica de la empresa Agip Oil Ecuador

1.6.2 *Objetivos específicos*

- Determinar el estado técnico actual del sistema de combustible y realizar el levantamiento de información en campo.
- Realizar el árbol de fallas y su análisis para el sistema de combustible.
- Aplicar el teorema de Bayes para el cálculo de probabilidad de ocurrencia de fallo de los componentes del sistema de combustible.
- Elaborar los diagramas de bloque del sistema de combustible y los diagramas de bloque de la fiabilidad del sistema.

1.7 *Hipótesis.*

Con el análisis de fiabilidad del sistema de combustible de los motores Wartsila para disminuir la probabilidad de fallo en la planta de generación eléctrica de la empresa Agip Oil Ecuador, se obtiene un incremento de confiabilidad del sistema de generación eléctrica sobre el 96%, la misma que es requerida por la empresa y fabricante.

Variable dependiente:

Fiabilidad de los sistemas en serie y paralelo del sistema de combustible.

Variables independientes:

- Fiabilidad individual de cada componente del sistema de combustible.
- Tasa de fallo individual de cada componente del sistema de combustible.

CAPÍTULO II

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1 Antecedentes investigativos

La teoría matemática de la fiabilidad se desarrolla por las demandas de la tecnología moderna y en particular por las necesidades de los sistemas complejos militares. El área de mantenimiento de máquinas es una de las áreas donde la fiabilidad se aplica con sofisticadas matemáticas. La renovación y los avances de la tecnología se utilizan muy pronto para resolver problemas de reparación e inspección de dispositivos.

En 1939 Walodie Weibull propuso una distribución para describir la duración de materiales. Esta distribución es muy utilizada ya que es muy versátil, pues admite muchas formas de funciones de riesgo. (http://www.resumose TRABALHOS.COM.BR/fiabilidad_1.html)

En 1951 Epstein y Sobel empezaron a trabajar con la distribución exponencial como modelo probabilístico para estudiar el tiempo de vida de dispositivos. Este modelo de probabilidad se basa en el concepto de población de tamaño infinito o no acotado. La distribución exponencial tiene la propiedad de no tener memoria; es decir, en el cálculo de la probabilidad de que falle un dispositivo no influye en el tiempo que hace que funcione. (http://www.resumose TRABALHOS.COM.BR/fiabilidad_1.html)

La investigación de sistemas de fiabilidad en general se inició en 1961 a partir del artículo de Bimbaum, Esary y Saunders.

En los años 70 el análisis de fiabilidad mediante los árboles de fallo FTA (Failure tree análisis) toma fuerza por problemas relacionados con la seguridad de las centrales nucleares. (http://www.resumose TRABALHOS.COM.BR/fiabilidad_1.html)

En los 80 el objetivo principal de los trabajos de fiabilidad está en las redes de comunicaciones. Esto fue motivado por el proyecto ARPAnet del departamento de defensa americano. El

resultado de esto trabajos ha encontrado aplicación en los sistemas web e internet actuales. (http://www.resumosetrabalhos.com.br/fiabilidade_1.html)

En los años 90, la investigación de la fiabilidad toma nuevas direcciones con M.B. Mendel. Los orígenes de su investigación se basan en las hipótesis de que muchas de las representaciones en el espacio muestral que se han considerado en la estadística no correspondan en ingeniería a los espacios euclídeos. Por ello, utiliza la geometría diferencial como base para la aproximación de los problemas de ingeniería estadística. (http://www.resumosetrabalhos.com.br/fiabilidade_1.html)

2.2 Marco conceptual

Las empresas buscan asegurar y mejorar su competitividad por medio de los esfuerzos, acciones y decisiones orientadas a garantizar sistemas y equipos operando de manera eficiente y eficaz, riesgos reducidos, cero incidentes ambientales y costos óptimos. Así los propietarios, la comunidad, los empleados y los clientes se sienten en un entorno “Confiable”.

Para poder demostrar su competitividad y exitoso, es necesario usar mediciones de factores clave como son: la calidad, la productividad, la rentabilidad, la imagen, la seguridad y la integridad ambiental que en su conjunto expresan el desempeño. A estos factores las empresas han agregado otro muy importante como la “Fiabilidad”.

Muchas personas asocian la fiabilidad y la disponibilidad de los equipos en forma directa y exclusiva con las actividades del mantenimiento, sin embargo, la verdadera causa raíz de los problemas de disponibilidad y confiabilidad, normalmente comienzan mucho antes de que el mantenimiento sea requerido.

En estos momentos Fiabilidad es la palabra de moda, la pregunta es ¿Los responsables del mantenimiento conocen conscientemente las mejores prácticas y técnicas para buscar la “Óptima Fiabilidad”? La fiabilidad es concebida durante la etapa de diseño por el equipo o personal de ingeniería, donde aspectos claves como la fiabilidad intrínseca de cada componente y el mantenimiento deben ser considerados, posteriormente la fiabilidad de los equipos será condicionada por las mejores prácticas que se hayan incorporado durante la etapa de construcción, montaje e instalación y finalmente por la operación del equipo reflejado en buenas prácticas de trabajo para su buen funcionamiento. (Ros A, 2013 p-4).

El concepto más conocido para definir fiabilidad es: **“La probabilidad de que un equipo o sistema opere sin fallos durante un tiempo (t) determinado, en condiciones ambientales dadas”**. Más sencillamente, fiabilidad es la probabilidad de que un sistema o producto funcione. (Ros A, 2013 p-4).

$$R(t)=e^{-\lambda t} \qquad \text{Ecuación (1)}$$

Dónde:

R(t)= Fiabilidad.

λt = Tasa de fallos.

e= Constante.

La teoría de la fiabilidad es el conjunto de teorías y métodos matemáticos, estadísticos, procedimientos y prácticas operativas que, mediante el estudio de las leyes de ocurrencia de fallos, están dirigidos a resolver problemas de previsión, estimación y optimización de la probabilidad de supervivencia, duración de vida media y porcentaje de tiempo de buen funcionamiento de un sistema.

Para evaluar la fiabilidad se usan dos procedimientos:

- a) Usar datos históricos.- Si se dispone de muchos datos históricos de aparatos iguales durante un largo período no se necesita elaboración estadística. Si son pocos aparatos y poco tiempo hay que estimar el grado de confianza.

- b) Usar la fiabilidad conocida de partes para calcular la fiabilidad del conjunto

En conclusión, la planificación de la fiabilidad exige la comprensión de las definiciones fundamentales.

1. Cuantificación de la fiabilidad en términos de probabilidad.
2. Clara definición de lo que es un buen funcionamiento.
3. Del ambiente en que el equipo ha de funcionar.
4. Del tiempo requerido de funcionamiento entre fallos.

Si no es así, la probabilidad es un número carente de significado para los sistemas y productos destinados a funcionar a lo largo del tiempo. (Ros A, 2013, p-5).

2.2.1 *Fiabilidad de sistemas*

Sistema en serie

Un sistema es una serie de componentes o subsistemas dispuestos de acuerdo a un diseño dado con el propósito de lograr el cumplimiento de unas determinadas funciones con una adecuación y fiabilidad aceptables. El tipo de componentes, su cantidad, su calidad y el modo en que están dispuestos, tiene un efecto directo en la fiabilidad final de todo el sistema. Para su estudio son útiles el uso de diagramas de bloques en el que se representa de forma gráfica los distintos componentes del sistema, y la relación entre cada uno de ellos desde el punto de vista de la fiabilidad.

Existen dos configuraciones de la fiabilidad de sistemas: los sistemas reparables y los de componentes o unidades reemplazables.

En general, el análisis y la modelización de datos de estas dos configuraciones requieren de diferentes estudios de los datos y de diferentes métodos de muestreo para obtenerlos.

Además de la fiabilidad, en el caso de sistemas reparables es de gran interés estimar también los índices claves de desempeño (KPI), de Disponibilidad y Mantenibilidad.

La Disponibilidad es una medida de la relación entre el tiempo operativo y el tiempo de vida considerado. Como este es, a su vez, la suma del tiempo operativo más el tiempo inoperativo, podemos decir que la disponibilidad es: (Fernández N, 2013)

$$D = \frac{TOR}{TOE} \qquad \text{Ecuación (2)}$$

Dónde:

TOR= Tiempo de operación real.

TOE= Tiempo de operación estimada.

Mientras que la mantenibilidad es una medida que estima el tiempo en que un sistema o equipo averiado puede repararse volviendo al estado operacional después de un fallo. Depende de factores intrínsecos al sistema y de factores externos (personal de mantenimiento, repuestos, etc.). (Ros A, 2013 p-6).

La fiabilidad de un sistema depende tanto de la fiabilidad individual de cada uno de los componentes, como del modo lógico en que están conectados dichos componentes en relación con el funcionamiento o no del sistema. Las principales relaciones estructurales entre un dispositivo y sus componentes son en serie o en paralelo.

La disposición en serie es aquella en la que todos los componentes deben funcionar para que funcione el sistema; dicho de otra forma, el fallo de cualquiera de sus componentes implica el fallo del sistema.

$$R_T(t) = R_1(t) \times R_2(t) \dots R_n(t) \quad \text{Ecuación (3)}$$

Dónde:

R_T = Fiabilidad total.

$R_{1,2,3,n}$ = Fiabilidad individual.

La disposición en paralelo basta que funcione un elemento para que funcione todo el sistema, se llaman también sistemas redundantes. En general, cualquier sistema se puede estructurar como combinaciones de series y paralelos. (Fernández N, 2013)

Mientras que para una combinación de n componentes en paralelo se obtendría:

$$R_S = \prod_{i=1}^m [1 - (1 - \lambda_i)^{n_i}] \quad \text{Ecuación (4)}$$

Dónde:

R_S = Fiabilidad resultante.

n_i = Número de equipos que deben colocarse.

λ_i = Fiabilidad de cada equipo.

Para un sistema integrado por un número pequeño de equipos, la fiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad pueden obtenerse a partir de sus valores de MTBF (Tiempo medio entre fallos) y MTTR (Tiempo medio de reparaciones) por cálculos directos. A medida que el sistema se hace más complejo, los cálculos necesarios resultan largos y difíciles.

Una de las alternativas actuales para el estudio de estos sistemas complejos es la simulación de los modelos mediante el uso de técnicas de Montecarlo, el empleo de técnicas de apoyo logístico integrado (ALI), o el uso de la denominada metodología RCM asociada al estudio de

la criticidad de los modos de fallo y su probabilidad de ocurrencia para estimar el riesgo. Estas acciones permiten estimar la fiabilidad del sistema a partir del estudio de los árboles de los elementos que lo configuran. (Fernández N, 2013 p 80)

En la actualidad, el estudio de la fiabilidad de sistemas simples y complejos, agrupa varias técnicas, como es el caso de la confiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad (RAM según sus siglas en inglés). El cual ayuda a mejorar el rendimiento del sistema evitando paradas innecesarias que afectan a los costos directos e indirectos de la empresa al tiempo que reduce el alto costo del mantenimiento no programado. Para la aplicación de la técnica RAM será preciso conocer con detalle los diagramas de los sistemas de fiabilidad. (Fernández N, 2013 p 80).

Fallo: Es toda alteración o interrupción en el cumplimiento de la función requerida.

Tasa de fallos (λ): Está determinada por el número de fallos que ocurren en un equipo dividido por el tiempo transcurrido.

$$\lambda = \frac{\text{Número de fallos}}{\text{Tiempo de operación}} = \frac{1}{\text{MTBF}} \quad \text{Ecuación (5)}$$

Indisponibilidad (I): Es el parámetro que en términos probabilísticos define la no disponibilidad de un equipo en un cierto instante de tiempo.

$$I_S = 1 - D_S \quad \text{Ecuación (6)}$$

Probabilidad de fallo (PF).

$$PF_S = 1 - R_S \quad \dots\dots\dots \text{.Ecuación (7)}$$

Teorema de Bayes

El teorema de Bayes, en la teoría de la probabilidad, es una proposición planteada por el filósofo inglés Thomas Bayes, que expresa la probabilidad condicional de un evento aleatorio A dado B en términos de la distribución de probabilidad condicional del evento B dado A y la distribución de probabilidad marginal de sólo A.

En términos más generales y menos matemáticos, el teorema de Bayes es de enorme relevancia puesto que vincula la probabilidad de A dado B con la probabilidad de B dado A.

$$P(A_i \setminus B) = \frac{P(B \setminus A_i) P(A_i)}{P(B)} \quad \text{Ecuación (8)}$$

Dónde:

$P(A_i)$ son las probabilidades a priori.

$P(B \setminus A_i)$ es la probabilidad de B en la hipótesis A_i .

$P(A_i \setminus B)$ son las probabilidades a posteriori.

La planta de generación eléctrica incluye seis grupos electrógenos con sus respectivos equipos auxiliares necesarios para generar energía. El motor y el generador forman un grupo electrógeno. Los equipos auxiliares están instalados principalmente en unidades modulares.

La planta de generación eléctrica funciona con petróleo crudo como combustible principal y con gasóleo ligero (diesel) como combustible de seguridad. El motor dispone de un sistema de agua de refrigeración de circuito cerrado, con radiadores de refrigeración montados en el exterior de la planta de generación.

La planta generadora comprende un sistema de control y un sistema de distribución de energía. La producción de energía, principalmente, se controla desde el panel de control central y desde la estación de trabajo del operador.

Generador

El motor y el generador están montados en un bastidor base común. El bastidor base está montado de forma flexible en los cimientos con muelles de acero. Un acoplamiento flexible conecta el motor y el generador.

El motor acciona un generador trifásico síncrono.

El generador refrigerado con aire tiene un ventilador de refrigeración montado en el eje y filtros de aire. El generador también está equipado con un calentador anticondensación. La excitación del generador se controla con un regulador de tensión automático, que está montado en el armario de control del grupo electrógeno.

Motor

El motor Wartsila es un motor turboalimentado de cuatro tiempos, con radiador intermedio e inyección directa. Está diseñado para trabajo continuo con combustible pesado y se puede detener temporalmente y volver a poner en marcha con CRO (crudo), siempre que el combustible se caliente a la temperatura operativa. (Wartsila W32 Finland 2011, p. 01-4).

La designación de los cilindros según la norma ISO 1204 y DIN 6265, comienza en el extremo de accionamiento. En el motor en V, los cilindros del banco izquierdo, visto desde el extremo de accionamiento, se denominan A1, A2, etc. y los del banco derecho, B1, B2, etc. Ver figura 1-2. (Wartsila W32. Finland 2011, p. 00-2).

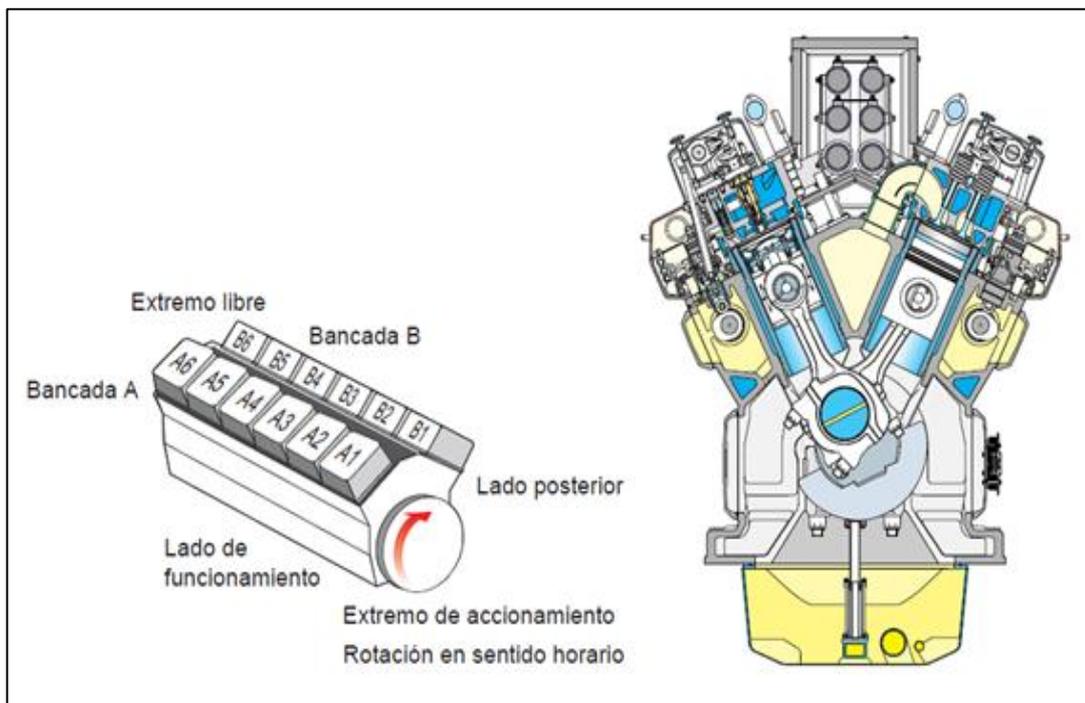


Figura 1-2: Vista en corte motor Wartsila W32.

Fuente: (WARTSILA W32 Manual. de instrucciones 2011).

Los equipos auxiliares son esenciales para el funcionamiento del motor y deben estar a pleno rendimiento cuando el motor está en marcha o en stand by. Los sistemas auxiliares proporcionan al motor combustible, aceite de lubricación, aire comprimido, agua de refrigeración y aire de carga.

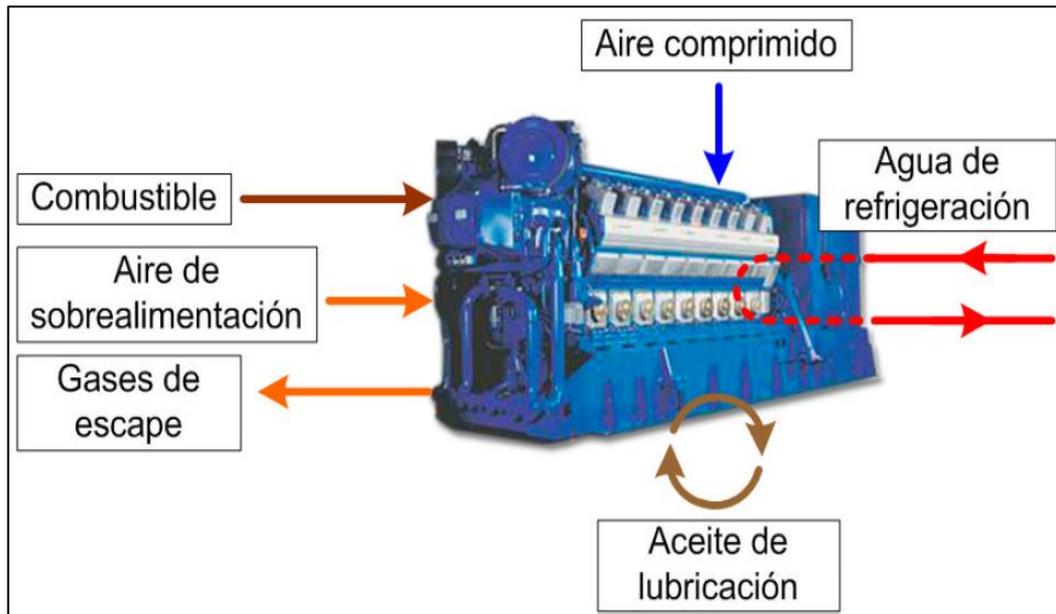


Figura 1-2: Sistemas auxiliares motor Wartsila W32.

Fuente: (WARTSILA W32 Manual. de operación 2011).

Tabla 1-2: Orden de encendido motor Wartsila.

Tipo de motor	Rotación en sentido horario	Rotación en sentido antihorario
12V32	A1-B1-A5-B5-A3-B3-A6-B6-A2-B2-A4-B4	A1-B4-A4-B2-A2-B6-A6-B3-A3-B5-A5-B1
16V32	A1-B1-A3-B3-A7-B7-A4-B4-A8-B8-A6-B6-A2-B2-A5-B5	A1-B5-A5-B2-A2-B6-A6-B8-A8-B4-A4-B7-A7-B3-A3-B1
18V32	A1-B1-A7-B7-A4-B4-A2-B2-A8-B8-A6-B6-A3-B3-A9-B9-A5-B5	A1-B5-A5-B9-A9-B3-A3-B6-A6-B8-A8-B2-A2-B4-A4-B7-A7-B1
20V32 (con resonador)	A1-B1-A4-B4-A3-B3-A2-B2-A6-B6-A10-B10-A7-B7-A8-B8-A9-B9-A5-B5	A1-B5-A5-B9-A9-B8-A8-B7-A7-B10-A10-B6-A6-B2-A2-B3-A3-B4-A4-B1
20V32 (sin resonador)	A1-B1-A7-B7-A3-B3-A9-B9-A5-B5-A10-B10-A4-B4-A8-B8-A2-B2-A6-B6	

Fuente: WARTSILA W32. Manual de instrucciones, 2011.

Realizado por: Darwin Maiquiza 2016

Datos principales del motor Wartsila 32

Diámetro de cilindro 320 mm

Carrera 400 mm

Cilindrada por cada cilindro 32,17 litros

Tabla 2-2: Volumen aproximado de aceite de lubricación en el motor

Tipo de motor	Cárter húmedo [m ³]	Entre las marcas max. y min. (litros/mm)
12V32	3.4	4.2
16V32	4.4	5.5
18V32	4.8	5.9
20V32	5.3	6.6

Fuente: WARTSILA W32. Manual de instrucciones, 2011.

Realizado por: Darwin Maiquiza 2016.

Tabla 3-2: Volumen aproximado de agua de refrigeración

Tipo de motor	Volumen(l)	
	AT	BT
12V32	740	230
16V32	840	270
18V32	890	290
20V32	940	310

Fuente: WARTSILA W32. Manual de instrucciones, 2011.

Realizado por: Darwin Maiquiza 2016.

Tabla 4-2: Volumen de aceite lubricante en litros.

Equipo	Volumen (l)
Virador (LKV132)	8,5 – 9,5
Regulador de velocidad	1,4 – 2,2 ⁽¹⁾

Fuente: WARTSILA W32. Manual de instrucciones, 2011.

Realizado por: Darwin Maiquiza 2016.

⁽¹⁾) El volumen de aceite de lubricación depende del tipo de regulador**Datos de funcionamiento recomendados**

Aplicable al funcionamiento normal a velocidad nominal.

Tabla 5-2: Temperaturas de operación.

Temperaturas, (°C)		
	Valores normales	Límites de alarma (parada)
Carga	100%	0 – 100%
Aceite de lubricación antes del motor	60 - 65	75 (80) ²⁾
Aceite lubricante después del motor	10 – 13 mayor	
Agua AT después del motor	91 – 96 ¹⁾	105 (110) ²⁾³⁾
Agua AT antes del motor	5 - 8 menor	50

Incremento del agua de AT en el turbocompresor ^{xx)}	8 - 12	
Agua BT antes del enfriador de aire de sobrealimentación	28 - 38	45 (60) ⁵⁾
Aire de sobrealimentación en el receptor	50 - 60	75
Gases de escape después del cilindro	Ver registros de pruebas	500 (520) ²⁾
Pre calentamiento de agua AT	50 (MDO) 70 (HFO)	45
Temperatura. de las camisas	130 - 150	160 (180) ²⁾
Temperatura. de los cojinetes principales	90 - 100	110 (120) ²⁾

Fuente: WARTSILA W32. Manual de instrucciones, 2011.

Realizado por: Darwin Maiquiza 2016.

Tabla 6-2: Presiones de operación.

Presiones manométricas (bar)		
	Valores normales	Límites de alarma (parada)
Carga	100%	0 - 100%
Aceite lubricante antes del motor, a una velocidad de 600 rpm (10,0 rps)	4,5	3,0 (2,0)
720 RPM (12,0 rps) - 750 RPM (12,5 rps)	5,0 - 5,5	3,0 (2,0)
Agua de AT/BT antes de la bomba de agua de AT/BT (estática)	0,7 - 1,5	
Agua AT antes del motor	2,5 + pres. estática. ¹⁾	1,5 + pres. estática. (2) ^{2) 4)}
Agua BT antes del enfriador de aire de sobrealimentación.	2,5 + pres. estática. ¹⁾	1,5 + pres. estática.
Combustible antes del motor	7 -8 (HFO/LFO)	4
Combustible antes del motor, "Common Rail"	11 -12 (HFO/LFO)	4
Aire comprimido (arranque y control)	máx. 30	18
Aire de carga (salida del enfr.)	Ver registros de pruebas	3

Fuente: WARTSILA W32. Manual de instrucciones, 2011.

Realizado por: Darwin Maiquiza 2016.

Dónde: (Tabla 6-2)

¹⁾ Dependiendo de la velocidad y de la instalación

²⁾ Reducción de carga, motor principal

³⁾ Parada, motor auxiliar

⁴⁾ Parada, buques clasificados por el GL, motor principal

^{xx)} En caso de que se utilice un turbocompresor refrigerado por agua

⁵⁾ Sólo en condiciones especiales

Tabla 7-2: Otras presiones de operación.

Otras presiones (bar)		
	Valores normales	Límites de alarma (parada)
Carga	100%	0 – 100%
Diferencia de presión en el enfr. de aire de carga		75 mbar
Presión en el cárter		3 mbar
Presión de encendido	Ver registros de pruebas	
Presión de apertura de la válvula de seguridad de la bomba de aceite lubricante	6 – 8	
Diferencia de presión en el filtro de aceite de lubricación	0,8 - 1,8	0,8 (primera) 1,8 (segunda alarma)

Fuente: WARTSILA W32. Manual de instrucciones, 2011.

Realizado por: Darwin Maiquiza 2016.

Condiciones de referencia

Condiciones de referencia según la norma ISO 3046/I (1995):

Presión atmosférica 100 kPa (1,0 bar)

Temperatura ambiente298 K (25 °C)

Humedad relativa del aire.....30%

Temperatura del agua refrigerante del enfriador de aire de carga 298 K (25°C)

En el caso de que la potencia del motor pueda utilizarse en condiciones más difíciles que las descritas anteriormente, se indicará en el contrato de venta. En caso contrario, el fabricante del motor aconseja sobre la reducción de potencia correcta. Como guía, una reducción adicional puede calcularse como sigue:

$$\text{Factor de reducción} = (a + b + c) \% \quad \text{Ecuación (9)}$$

Dónde:

a = 0,5 % por cada °C que la temperatura ambiente supere el valor establecido en el contrato de compra venta.

b = 1 % por cada 100 m de nivel de diferencia por encima del valor establecido en el contrato de compra venta.

c = 0,4 % por cada °C que el agua de refrigeración del enfriador de aire de carga supere el valor establecido en el contrato de compra venta.

Diseño general del motor

Es un motor diésel de 4 tiempos, turboalimentado con post-enfriado, e inyección directa de combustible.

El bloque del motor.- Es de un solo segmento de fundición. El cigüeñal está montado debajo del motor. El sombrerete principal se sujeta con dos tornillos de sombrerete principal tensados hidráulicamente y dos tornillos laterales horizontales. (WARTSILA W32 Manual. de instrucciones 2011, p. 01-4).

El receptor del aire de carga y el calefactor de agua de refrigeración están integrados en el bloque del motor. Las cubiertas de la caja del cigüeñal, hechas de metal ligero, se sellan con el bloque del motor por medio de juntas de goma. (WARTSILA W32 Manual. de instrucciones 2011, p. 01-4).

El cárter de aceite va soldado.

Las camisas de los cilindros. - Son refrigeradas sólo en la parte superior. El efecto de refrigeración está perfeccionado para dar la temperatura correcta de la superficie interior. La camisa cuenta con un anillo anti desgaste para eliminar el riesgo de pulimento o desgaste prematuro de la camisa. (Wartsila W32 2011, p. 01-4).

Los cojinetes principales. - Son cojinetes partidos, tri-metálicos o bi-metálicos, intercambiables totalmente, que pueden desmontarse retirando la tapa del cojinete. (Wartsila W32 2011, p. 01-4).

El cigüeñal. - Está forjado de una sola pieza y se equilibra mediante los contrapesos precisos. (Wartsila W32 2011, p. 01-4).

Las bielas. - Tienen un diseño de tres piezas, conocido como de "biela marina". La biela es fundida y mecanizada en una aleación de acero y partida horizontalmente en tres partes para facilitar el desmontaje de las piezas del pistón y de la biela. Los pernos de la biela están ajustados de forma hidráulica para reducir el movimiento relativo entre las superficies de contacto. (Wartsila W32 2011, p. 01-4).

Los cojinetes de cabeza de biela son cojinetes partidos, tri-metálicos o bi-metálicos, intercambiables totalmente.

Los pistones. - están provistos de un sistema de lubricación de falda patentado por Wärtsilä. Las ranuras de los segmentos superiores están endurecidas. El aceite refrigerante entra en la zona de refrigeración por medio de la biela. Todas las zonas de refrigeración están diseñadas para ofrecer un efecto de "coctelera" óptimo. (Wartsila W32 2011, p. 01-4).

El juego de segmentos (rines) del pistón. – están provistos de dos segmentos (rines) de compresión cromados y un segmento (rines) rascador de aceite cromado y accionado por resorte. (Wartsila W32 2011, p. 01-4).

La culata o cabezote. - Está construida de hierro fundido nodular, está adherida por cuatro tornillos ajustados de forma hidráulica. La culata o cabezote es de diseño de doble cubierta y el agua de refrigeración está forzada a pasar desde la periferia hacia el centro, suministrando una refrigeración eficiente en áreas importantes. (Wartsila W32 2011, p. 01-4).

Las válvulas de admisión. - En su construcción están recubiertas de estelita y sus vástagos son cromados. Los asientos de las mismas son de una aleación especial de hierro fundido, y son recambiables. (Wartsila W32 2011, p. 01-4).

Las válvulas de escape. - Están construidas con asientos de Nimonic o estelita y vástagos cromados, cierran contra los asientos directamente refrigerados. (Wartsila W32 2011, p. 01-4).

Los anillos de los asientos. – Están construidos de un material resistente a la corrosión y a las picaduras, y los mimos son intercambiables. (Wartsila W32 2011, p. 01-4).

Los árboles de levas. - Están construidos por tramos individuales para cada cilindro, con las levas integradas en cada tramo. (Wartsila W32 2011, p. 01-5).

El motor está disponible en dos sistemas de inyección de combustible distintos: **inyección de combustible "common rail" e inyección de combustible convencional.**

- **El sistema "common rail"** consta de una bomba de gasóleo de alta presión de gasóleo y un acumulador de combustible para cada dos cilindros. (Wartsila W32 2011, p. 01-5).
- **El sistema de combustible convencional,** esta formado de bombas de inyección que tienen empujadores de rodillos independientes para cada una, y se pueden cambiar ajustando la medida de la base con el tornillo del taqué. Las bombas y tuberías están ubicadas en un

espacio cerrado, aislado térmicamente para trabajar con combustibles pesados. (Wartsila W32 2011, p. 01-5).

El turbocompresor. - Está ubicado regularmente en el lado libre del motor.

El enfriador del aire de carga es de tipo autosoportado.

2.2 Sistema de alimentación de combustible

El motor Wartsila está diseñado para el servicio continuo con combustible ligero, pesado o crudo. Las recomendaciones de ajuste de presión del sistema de alimentación de combustible varían dependiendo de la calidad de combustible y de la instalación.

El objetivo del sistema de combustible es proveer al motor un abastecimiento ininterrumpido y fiable de combustible limpio, con la temperatura y viscosidad correctas.

La planta generadora dispone de dos sistemas de combustible: uno para fuel oil pesado (CRO) y otro para fuel oil liviano (LFO). El sistema HFO es el sistema principal sobre el que opera la planta. El motor se puede poner en marcha, detener y mantener parado con CRO por un periodo que no supere los dos días, siempre que el sistema de control de temperatura del combustible mantenga éste a una temperatura operativa establecida.

El sistema de LFO se utiliza para el mantenimiento y como sistema de reserva. En caso de paradas planificadas para periodos prolongados, el LFO se utiliza para desalojar el CRO del sistema de combustible del motor.

Sistema de CRO.- El combustible se transfiere al depósito intermedio por medio de la unidad de bomba de transferencia de CRO y a través de la válvula de llenado automático de tres vías. El combustible se transfiere desde el depósito intermedio al depósito de uso diario a través de los módulos de bombeo y calentamiento y el separador en donde se purifica el combustible. La capacidad del separador es mucho mayor que el consumo de combustible del moto-generador.

Por lo cual, el separador envía el exceso de combustible al depósito intermedio cuando el depósito de uso diario está repleto. El combustible es absorbido desde el depósito de uso diario a la unidad de sobrealimentación donde, finalmente, se calienta y presuriza. Antes de entrar en el motor, el combustible se filtra en la unidad de fuel oil. Desde el motor, el combustible de retorno regresa a la unidad de sobrealimentación a través de la unidad de fuel oil.

Componentes:

El sistema de CRO está compuesta de las siguientes unidades principales:

Depósito intermedio de CRO.

Unidad separadora.

Depósito de uso diario de CRO.

Unidad de sobrealimentación.

Unidad de fuel oil.

Módulo de bombeo y calentamiento.

Unidad de ventilación.

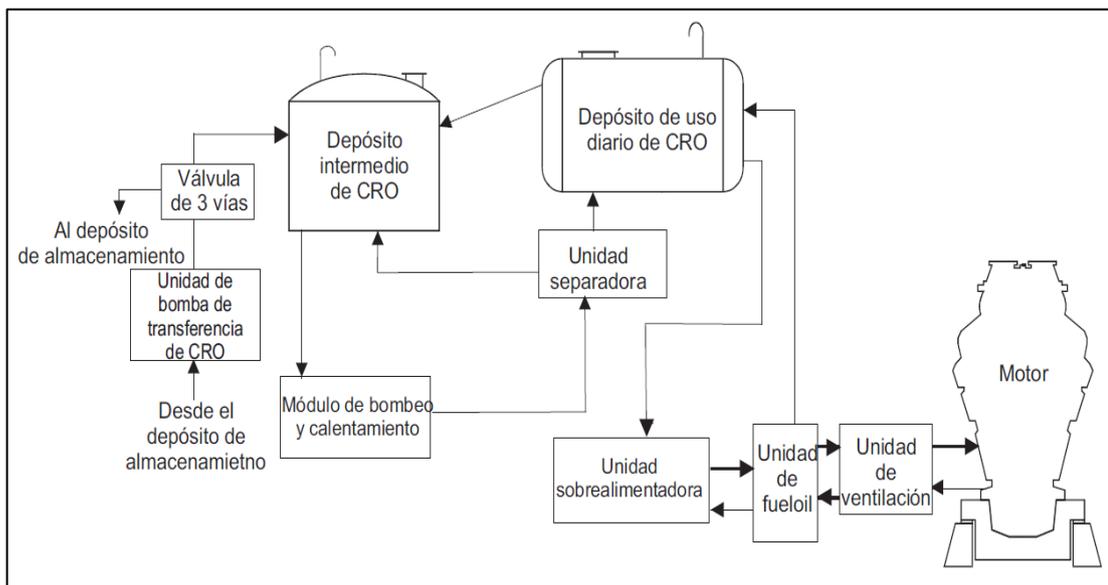


Figura 3-2: Sistema de alimentación de combustible (crudo).

Fuente: WARTSILA W32. Manual de instrucciones 2011.

Sistema de LFO.- El combustible se bombea al tanque de uso diario de LFO mediante la unidad de bomba de transferencia de LFO. El combustible se bombea desde el depósito de uso diario de LFO hacia la unidad de sobrealimentación, donde se presuriza. Finalmente, se filtra en la unidad de fuel oil antes de ingresar al motor. Desde el motor, el combustible de retorno regresa a la unidad de sobrealimentación a través de la unidad de fuel oil.

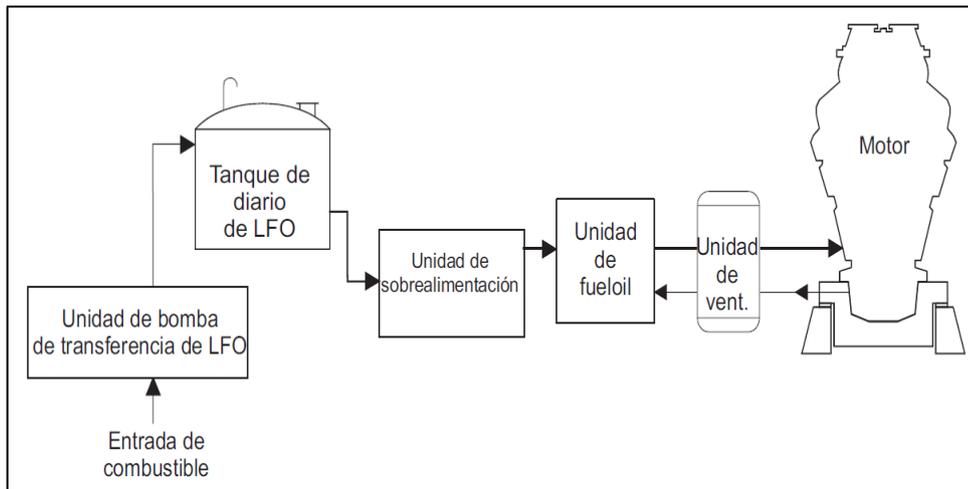


Figura 4-2: Sistema de alimentación de combustible (diesel).

Fuente: WARTSILA W32. Manual de instrucciones 2011.

2.3 Combustible

El motor Wartsila está diseñado para operar con combustible pesado (residual) con una viscosidad máxima de 700 cSt a 50°C (aprox. 55 cSt a 100°C, aprox. 7.200 segundos Redwood nº 1 a 100°F) y opera de forma satisfactoria con combustibles mezclados (intermedios) de viscosidad inferior, así como con combustible destilado. No use combustibles con una viscosidad de inyección inferior o superior a los valores de la tabla 8-2. (Wartsila W32 2011, p. 02-1).

El uso de combustibles con una viscosidad de inyección excesivamente baja puede hacer que se agarrote el émbolo de la bomba de inyección de combustible o la boquilla de inyección y, además, que aumenten las fugas de combustible en la bomba de inyección, lo que hace que aumente el consumo de combustible, que disminuya el rendimiento del motor y que aumente el riesgo de que haya cavitación en el sistema de combustible. (Wartsila W32 2011, p. 02-1).

Se han definido los siguientes tipos de combustibles fósiles para el Wärtsilä 32:

- HFO 1 y 2, ISO 8217:2005(E), ISO-F-RMH 700 y RMK 700
- DO, combustible diesel, o LFO, gasoil.
- CRO, aceite crudo.
- Biocombustible líquido

Tabla 8-2: Límites de viscosidad del combustible

Límites de viscosidad del combustible a la entrada del motor, en condiciones de funcionamiento		
Tipo de motor	Combustible	
	Combustible ligero (LFO), min (cSt)	Combustible pesado (HFO) (cSt)
Wärtsilä Vasa 32 y 32LN Wärtsilä 32	2,0	16 -24

Fuente: WARTSILA W32. Manual de instrucciones, 2011.

Realizado por: Darwin Maiquiza 2016.

Si tuviera dificultades debido a la obstrucción del filtro, se puede comprobar la incompatibilidad del combustible mediante los métodos de ensayo de las normas ASTM D4740-00 ó ISO 10307-1/93 (combustible ligero) o la norma ISO 10307-2/A/93 (combustible pesado).

2.3.1 Calentamiento

Mantenga la temperatura del combustible a unos 10 °C por encima del valor mínimo de la temperatura de almacenamiento indicado en el diagrama Fig.5.2, para disminuir el riesgo de formación de ceras. Conserve la temperatura después del último calentador entre 5 - 10 °C por encima del valor recomendado antes de las bombas de inyección para compensar las pérdidas de calor entre el calentador y el motor. (Wartsila W32 2011, p. 02-3).

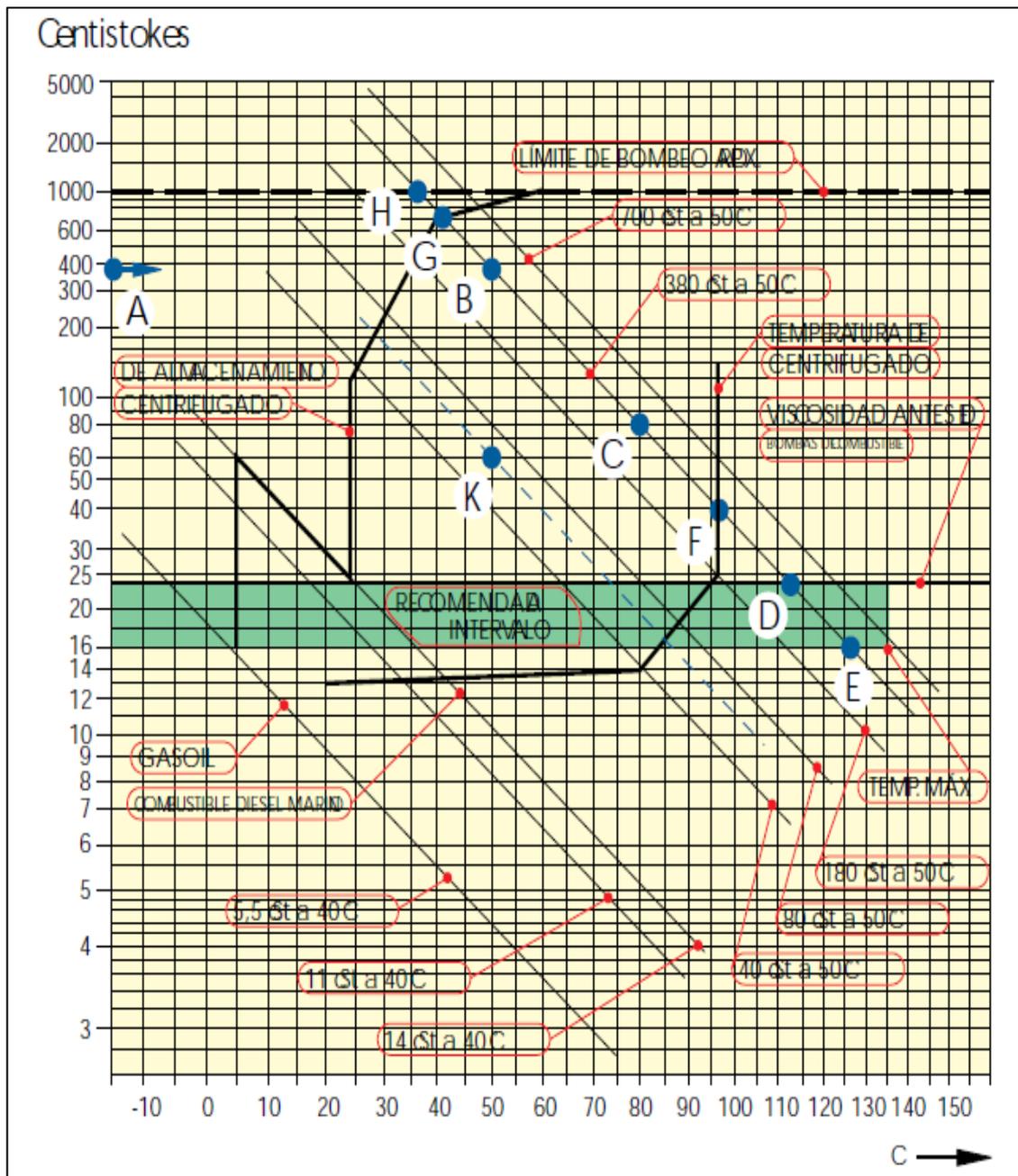


Figura 5-2: Diagrama de viscosidad-temperatura del combustible

Fuente: WARTSILA W32. Manual de instrucciones 2011.

2.3.2 Límites máximos para combustibles

El motor Wartsila, está diseñado y desarrollado para funcionar de forma continua sin reducción de la potencia nominal, con combustibles fósiles con las propiedades siguientes:

Tabla 9-2: Características del combustible, límites máximos.

Características del combustible			
Magnitud	límites máximos		Referencia del método de control
Viscosidad cinemática	cSt a 100 °C	55	ISO 3104
	cSt a 50 °C	700	
	Redwood núm.1 sec. a 100°F	7200	
Densidad	kg/m3 a 15°C	991	ISO 3675 ó 12185
Densidad ¹⁾	kg/m3 a 15°C	1010 ¹⁾	ISO 3675 ó 12185
Agua	% V/V	0.5	ISO 3733
Agua, máx. antes del motor	% V/V	0.3	ISO 3733
Punto de inflamación, mín. (PMCC)	°C	60	ISO 2719
Temperatura de fluidez	°C	30	ISO 3016
El potencial de sedimento total (TSP)	% mm	0.1	ISO 10307-2
Sodio	mg/kg	50	ISO 10478
Sodio, antes del motor	mg/kg	30	ISO 10478
Al + Si antes del motor	mg/kg	15	ISO 10478 o IP 501 o 470

Fuente: WARTSILA W32. Manual de instrucciones, 2011.

Realizado por: Darwin Maiquiza 2016.

Los límites anteriores también corresponden a las exigencias de las normas:

- ISO 8217:2005(E), ISO-F-RMH 700 y RMK 700¹⁾
- BS MA 100:1996, RMH 55 y RMK 551)
- CIMAC 2003, clase H 55 y K 551).

¹⁾ Siempre y cuando el sistema de tratamiento del combustible permita eliminar agua y sólidos.

Los intervalos de mantenimiento se decidirán según las características del combustible utilizado en cada planta de generación eléctrica.

En la tabla 10.2, que aparece a continuación se observan las diferencias entre HFO 1 y HFO2:

Tabla 10-2: Diferencias entre HFO 1 y HFO 2:

Características del combustible, límites máximos				
	Unidad	HFO 1	HFO 2	Referencia del método de control
Azufre	% mm	1.50	1.51 - 4.50	1.51 - 4.50

Cenizas	% mm	0.05 0.	06 - 0.15	ISO 6245
Vanadio	mg/kg	100	101-600	ISO 14597 o IP 501 o 470
Al + Si	mg/kg	30	31-80	ISO 10478 o IP 501 o 470
Carbono Conradson Residuo	% mm	15.0	15.1 - 22.0	ISO 10370
Asfalteno	% mm	8.0	8.1 - 14.0	ASTM D 3279

Fuente: WARTSILA W32. Manual de instrucciones, 2011.
Realizado por: Darwin Maiquiza 2016.

2.4 Tratamiento de combustible

La unidad del separador incluye dos separadores, cada uno de los cuales está equipado con una bomba de alimentación y un calentador. La bomba eléctrica funciona con un caudal constante. Junto con una válvula de tres vías accionada automáticamente, el calentador garantiza que el gasóleo que entra en el separador está a la temperatura correcta. (WARTSILA W32 2011, p. 4-3).

Las impurezas que se eliminan del gasóleo se recogen en un depósito de lodos que hay en la unidad del separador. El depósito de lodos se vacía con una bomba neumática. La unidad del separador dispone de conexiones de aire comprimido y agua de funcionamiento. Una unidad de control supervisa y controla el funcionamiento del sistema de separación. (WARTSILA W32, 2011, p. 4-3).

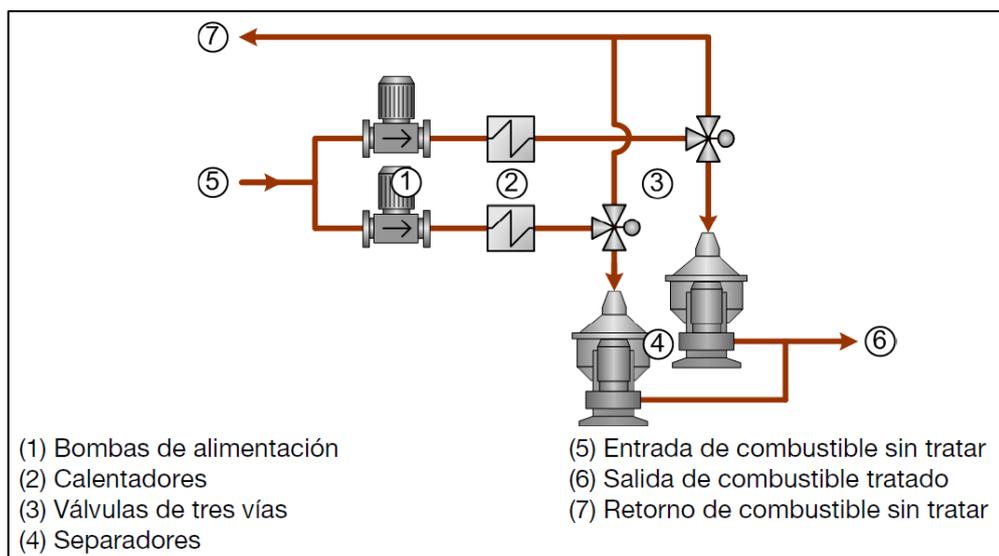


Figura 6-2: Tratamiento de combustible.

Fuente: WARTSILA W20V32. Manual de operación 2011.

Unidad de bombeo y calefacción.- La unidad de bombeo y calefacción suministra combustible con la viscosidad correcta para el proceso de separación de combustible. La unidad está formada por bombas de husillo y calentadores eléctricos. Además de las bombas y los calentadores, la unidad está equipada con coladores para proteger las bombas. (Wartsila W32 2011, p. 4-3).

Separador de combustible.- El separador centrífugo limpia el combustible eliminando el agua y las partículas sólidas. El proceso de separación tiene lugar en la cubeta giratoria, que se acciona con un motor eléctrico. El gasóleo se separa de forma continua del agua y el lodo ya que fluye hacia el centro de la cubeta mientras que las impurezas que son más pesadas que el gasóleo se recogen en el espacio de lodos y se eliminan automáticamente en intervalos regulares. (Wartsila W32, 2011, p. 4-3).

Generador de nitrógeno.- A causa del estado volátil de los gases combustibles que emite el petróleo crudo, se usa un gas inerte (nitrógeno) para mezclar y reducir el oxígeno en las zonas en que se concentra del separador de combustible para evitar que se encienda. El generador de nitrógeno produce nitrógeno para el sistema de combustible de la planta generadora. (Wartsila W32, 2011, p. 4-4).

El nitrógeno se produce haciendo pasar aire comprimido por un depósito que contiene material absorbente. El material absorbente absorbe todos los gases salvo el nitrógeno. La unidad contiene dos depósitos absorbentes. En todo momento, uno de los depósitos produce nitrógeno y el otro se regenera por despresurización a la presión atmosférica. Cuando el depósito absorbente se acerca a la saturación, un grupo de válvulas conmuta rápidamente las funciones de los depósitos. (Wartsila W32 2011, p. 4-4).

Hay un depósito de almacenamiento intermedio aguas abajo del circuito que garantiza que el suministro de nitrógeno se realiza de forma continua. La cantidad de nitrógeno producida depende mucho de la pureza solicitada.

Depósito de nitrógeno.- El depósito de nitrógeno almacena el nitrógeno para el sistema de combustible de la planta. El depósito está equipado con una válvula de seguridad y un indicador de presión. Hay una válvula de drenaje para extraer el agua en el fondo de la botella. (Wartsila W32 2011, p. 02-3).

2.5 Almacenamiento de combustible

El sistema de almacenamiento de combustible está formado básicamente por los depósitos de combustible y las unidades de la bomba. La bomba de trasiego bombea el LFO al depósito de uso diario de LFO.

Una unidad separadora, que también limpia el combustible, se encarga de transferir el CRO del depósito de almacenamiento intermedio al depósito de uso diario de CRO. Si el depósito de uso diario se llena, tiene una tubería de rebose que dirige el combustible de nuevo al depósito de compensación. (Wartsila W32 2011, p. 4-4).

2.6 Suministro y circulación de combustible

Los componentes del sistema de suministro y circulación de combustible purifican, presurizan y calientan el combustible. El sistema incluye una unidad de sobrealimentación y una unidad de gasóleo específicos para el motor. (Wartsila W32 2011, p. 4-4).

La unidad de sobrealimentación bombea combustible del depósito de uso diario de CRO o LFO a la unidad de gasóleo específica del motor. Desde la unidad de gasóleo el combustible pasa por una unidad de ventilación antes de llegar al motor.

2.7 Unidad de compresión

La unidad "booster" aumenta la presión del combustible y mantiene el combustible a la temperatura correcta. El combustible (CRO/ LFO) se selecciona con una válvula de tres vías que está en la entrada de la unidad. El depósito de desaireación recibe CRO o LFO, según la posición en que se encuentre la válvula selectora de combustible. Una bomba de combustible transfiere combustible al depósito de desaireación a través de un filtro y un caudalímetro. (Wartsila W32 2011, p. 4-5).

A la salida del depósito de desaireación hay una bomba de sobrealimentación que eleva la presión del combustible y lo bombea a través de un calentador y de un viscosímetro. La cantidad de combustible que circula por los motores es considerablemente superior al consumo de combustible, y el combustible sobrante vuelve al depósito de desaireación para ser recirculado.

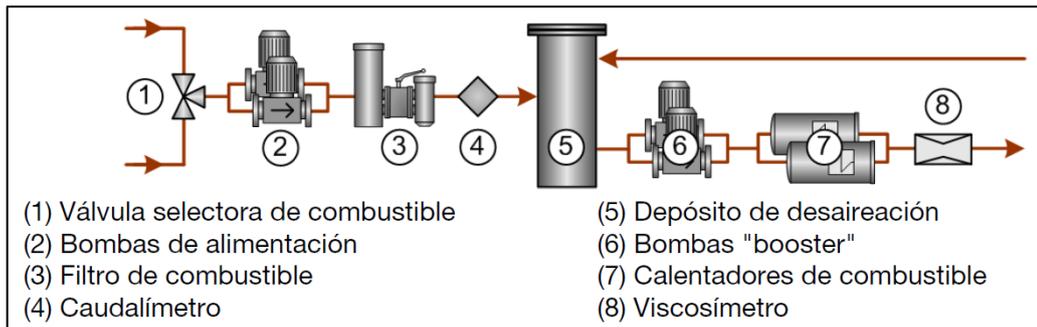


Figura 7-2: Unidad booster.
Fuente: WARTSILA W20V32. Manual de operación. 2011.

Bombas de alimentación.- El alimentador incluye dos bombas conectadas en paralelo. Normalmente, una de las bombas se mantiene en espera activa, mientras que la otra está en funcionamiento. Las bombas tienen una tubería de rebose con una válvula de regulación de presión y un enfriador. (Wartsila W32 2011, p. 4-5).

Las bombas de alimentación son bombas de tornillo accionadas eléctricamente con válvulas de seguridad integradas. Las bombas están protegidas contra la entrada de impurezas por filtros de succión. En la succión y la descarga de las bombas hay válvulas de cierre e indicadores de presión. Un presostato, que se encuentra situado en el lado de salida de las bombas, permite que la bomba que está en espera activa arranque automáticamente, cuando sea necesario.

Filtro automático.- En el filtro automático, el combustible es filtrado mediante discos filtrantes. Los elementos del filtro se limpian automáticamente por retrolavado con aire comprimido. La unidad del filtro dispone de un filtro de derivación y de un indicador de presión diferencial. La cámara de derivación del filtro siempre se mantiene como reserva, y se utiliza como cámara auxiliar para cuando se esté dando mantenimiento al filtro. (Wartsila W32 2011, p. 4-5).

El tiempo que transcurre entre las operaciones de retrolavado se puede ajustar. El retrolavado también se realiza en caso de que haya un gran diferencial de presión en el filtro. El filtro se controla mediante un sistema de control electrónico. Desde la caja de control, se puede controlar el funcionamiento del filtro y ajustar la configuración. El controlador electrónico incluye botones de accionamiento y una pantalla.

Caudalímetro.- El caudalímetro mide el consumo de combustible del motor. El caudalímetro de masa consta de un sensor de flujo y de un transmisor. El caudalímetro está equipado con una pantalla. (Wartsila W32 2011, p. 4-5).

Depósito de mezcla.- El depósito de mezcla sirve como depósito de desareación para eliminar los gases del combustible. También permite cambiar el combustible con suavidad. Un interruptor de nivel que hay en el depósito indica si se requiere ventilación.

Cuando se activa el interruptor, el aire sale por una válvula de desareación automática. El depósito también tiene una válvula de desareación accionada manualmente y una válvula de seguridad. En el fondo del depósito hay una válvula de drenaje. (WARTSILA W32 2011, p. 4-6).

Bombas "booster".- El sistema "booster" está compuesto por dos bombas conectadas en paralelo. Las bombas "booster" son bombas de tornillo accionadas eléctricamente, con válvulas de seguridad integradas. Normalmente, una de las bombas está en espera activa mientras que la otra está en funcionamiento.

Un presostato, que se encuentra situado en el lado de salida de las bombas, permite que la bomba que está en espera activa arranque automáticamente, cuando sea necesario. (WARTSILA W32 2011, p. 4-6).

Calentadores de combustible.- Los calentadores hacen que el combustible alcance la viscosidad correcta para ser inyectado al motor. El sistema de calentamiento está compuesto por dos calefactores eléctricos conectados en paralelo.

Un calentador se mantiene en espera mientras el otro está en funcionamiento. Los calentadores funcionan según el tipo de combustible que haya en el sistema, y según la viscosidad o temperatura que tenga el combustible a la salida de los calentadores. (Wartsila W32 2011, p. 4-6).

Cada calentador está equipado con un termómetro, un termostato de seguridad, una válvula de seguridad y una válvula de drenaje.

Viscosímetro.- El viscosímetro mide la viscosidad y la temperatura, y calcula la viscosidad cinemática del combustible. El viscosímetro digital consta de un sensor de temperatura y un transmisor con dos salidas analógicas y una interfaz RS485 Modbus. El medidor contiene un sistema electrónico de procesamiento integral, que le permite realizar una gran variedad de cálculos. (Wartsila W32 2011, p. 4-6).

El viscosímetro está equipado con válvulas de derivación.

2.8 Unidad de combustible

La unidad de gasóleo realiza un filtrado final antes de que el combustible entre en el motor. También recoge el combustible de fuga para la recirculación. La unidad de gasóleo incluye un filtro para eliminar las impurezas del combustible. El circuito de retorno para el combustible sobrante procedente del motor también pasa por la unidad de gasóleo. (Wartsila W32 2011, p. 4-7).

El combustible de fuga limpio procedente del motor va a un depósito colector que se encuentra en la unidad de combustible. El combustible que viene por la tubería de retorno, procedente del motor, calienta el combustible de fuga que hay en el depósito. Cuando se vacía el depósito, la bomba de combustible se bombea a la tubería de combustible de retorno. (Wartsila W32 2011, p. 4-7).

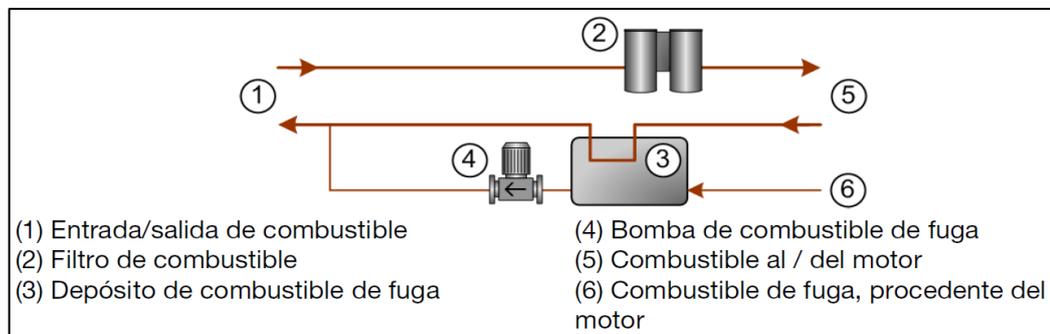


Figura 8-2: Unidad de combustible.

Fuente: WARTSILA W20V32.Manual de operación, 2011.

Filtro de combustible.- El filtro de combustible tiene dos cámaras de filtro conectadas en paralelo. La cámara del filtro se selecciona con una válvula de conmutación que hay en el filtro. El elemento del filtro es una rejilla metálica. Hay un indicador de presión diferencial montado en el filtro que permite controlar el estado de los elementos del filtro. Las cámaras del filtro disponen de válvulas de drenaje. (Wartsila W32 2011, p. 4-7).

Recogida del combustible de fuga.- El depósito del combustible de fuga recoge el combustible de fuga limpio, procedente del motor. El depósito está equipado con interruptores de nivel para controlar la bomba de vaciado. (Wartsila W32 2011, p. 4-8).

El depósito de combustible de fuga se vacía con una bomba de tornillo accionada eléctricamente. La bomba arranca y para automáticamente, en dependencia del nivel de combustible que haya en el depósito. Esta bomba está equipada con un filtro de succión y una válvula de seguridad integrada.

2.9 Sistema de lubricación

El motor está dotado de una bomba de aceite de lubricación (17), accionada directamente por el engranaje de la bomba del extremo libre del motor. Es posible conectar en paralelo una bomba de reserva accionada de forma eléctrica, si es necesario. (Wartsila W32 2011, p. 4-8).

La bomba aspira aceite del cárter de aceite del motor o del depósito de aceite del sistema y lo bombea al enfriador de aceite de lubricación (2). El enfriador está equipado con una válvula termostática (4) para regular la temperatura del aceite.

El aceite pasa por el filtro automático de aceite de lubricación (3) al tubo de distribución principal en el cárter de aceite y, a continuación, pasa por los gatos hidráulicos (en este caso actúan como tubos ordinarios) hasta los cojinetes principales (11). La faldilla del pistón y los conductos de refrigeración del pistón se lubrican a través de los orificios de las bielas a los bulones(13).

El sistema de aceite consiste en:

- Bomba de aceite accionada por motor
- Bomba de aceite de pre lubricación accionada eléctricamente
- Enfriador
- Válvula termostática de aceite
- Filtro automático
- Cárter de aceite (integrado en el motor)

Según la instalación, la bomba de aceite de pre lubricación también se puede instalar en un sistema externo.

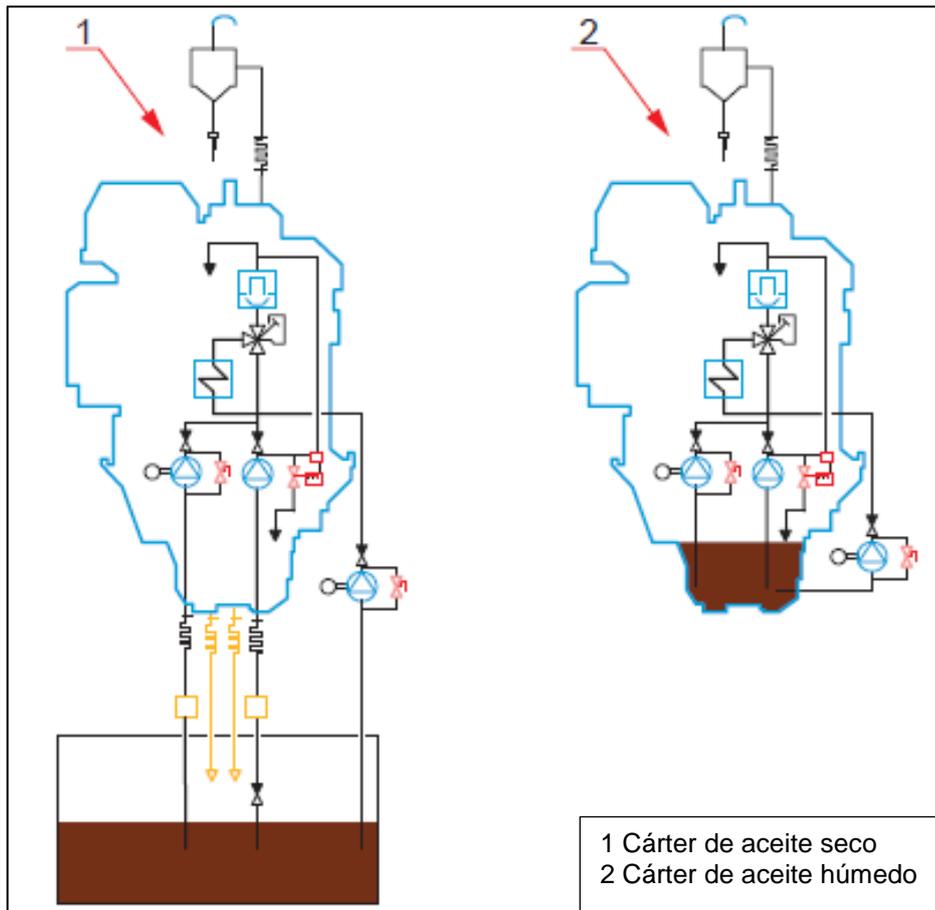


Figura 9-2: Tipos de cárter motor Wartsila.

Fuente: WARTSIAL W20V32, Manual de instrucciones, 2011.

El motor puede estar provisto de un sistema de cárter de aceite húmedo o seco. El sistema de aceite usado depende de la instalación.

El aceite está almacenado en el cárter de aceite situado debajo del motor o del depósito de aceite del sistema. El aceite de retorno procedente del sistema del motor es devuelto al cárter de aceite. El separador de aceite de lubricación (si se utiliza) está conectado directamente al cárter de aceite del motor o al depósito de aceite del sistema. (Wartsila W32 2011, p. 17-6).

El aceite se conduce por los taladros a otros puntos de lubricación como se indica en la figura 10-2, inclusive:

- Cojinetes del engranaje intermedio (5)
- Cojinetes del árbol de levas (10)
- Bomba de inyección (6)
- Taqués (9)
- Balancines (7)

- Empujadores (8)
- Toberas de aceite

El aceite de reflujo procedente del filtro automático (3) fluye a través de tubos hasta el filtro centrífugo (1) y regresa al cárter de aceite. La presión del aceite en la tubería de repartición se regula mediante una válvula reguladora de presión de la bomba. La presión se puede ajustar en el tornillo de ajuste de la válvula de control.

Es esencial mantener una presión correcta para garantizar una lubricación adecuada de los cojinetes y la refrigeración de los pistones. Normalmente, la presión del aceite permanece constante si está ajustada al valor correcto, aunque varía con la temperatura. La presión de aceite puede superar el valor nominal al arrancar con aceite frío, pero regresa al valor normal cuando el aceite se ha calentado.

Para evitar problemas provocados por el aceite frío, antes de arrancar la bomba de aceite de prelubricación, se debe calentar el aceite de motor a 40 - 50°C. La presión del aceite de lubricación antes del motor está indicada en la unidad de visualización local. El sistema incluye tres interruptores de presión o sensores de presión que indican una presión de aceite de lubricación baja, junto con la alarma automática y el sistema de parada.

Según la instalación, la temperatura del aceite se puede comprobar desde el tablero de instrumentos, el termómetro, la unidad de visualización o el sistema de interfaz de usuario.

Un sensor de temperatura para temperatura de aceite de lubricación alta está conectado al sistema de alarma automático. La varilla de medición de nivel de aceite (12) se encuentra en el centro del motor. Conexiones opcionales para un separador de aceite están montadas en el cárter de aceite, en el extremo libre del motor. Hay una válvula para tomar muestras de aceite después del filtro de aceite.

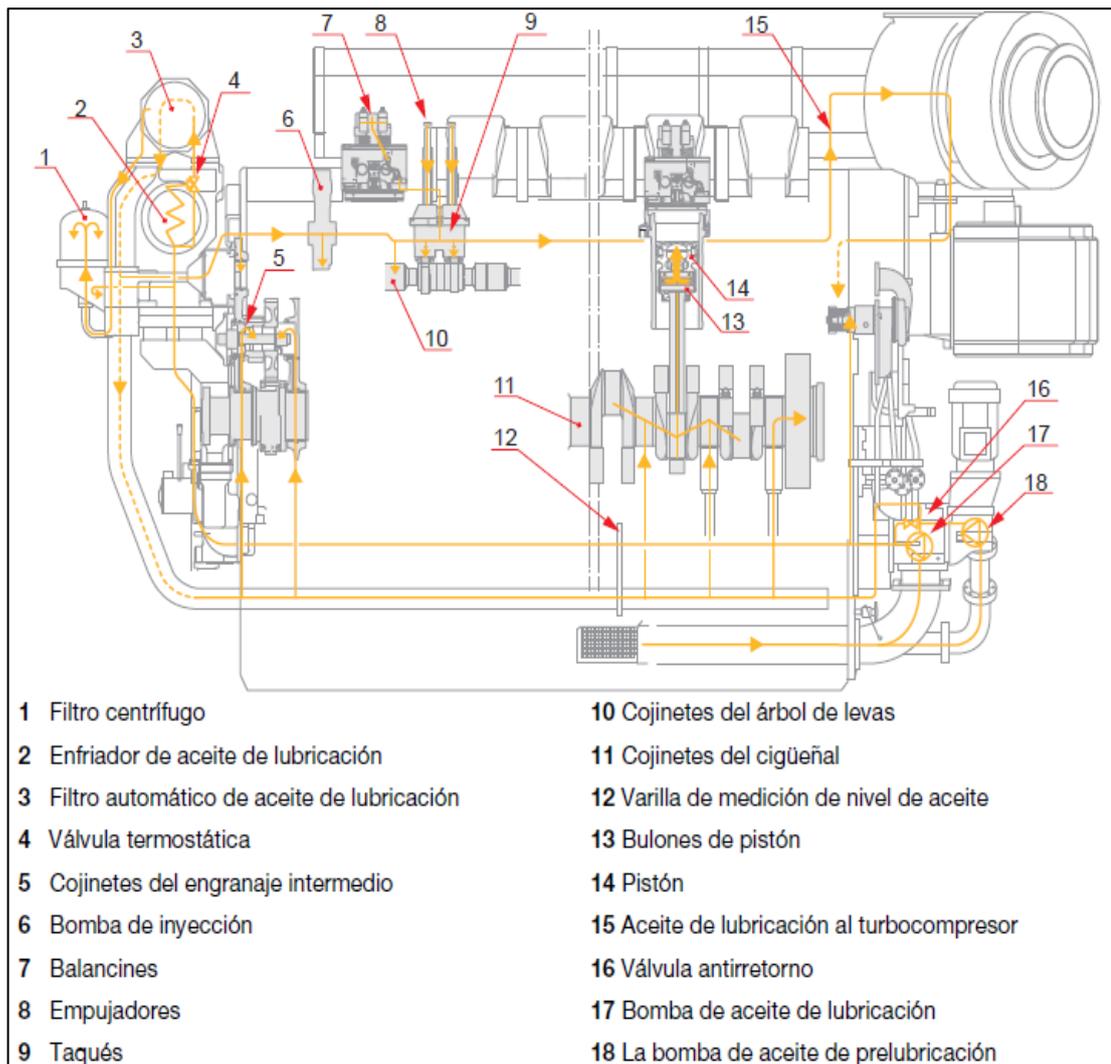


Figura 10-2: Sistema de lubricación.

Fuente: WARTSIAL W20V32, Manual de instrucciones, 2011.

2.10 Sistema de agua de refrigeración

El motor se enfría con un sistema de agua de refrigeración de circuito cerrado, fraccionado en un circuito de alta temperatura (AT) y otro de baja temperatura (BT). El agua de refrigeración se enfría en un enfriador externo. Ambos circuitos están provistos de un motor montado o de válvulas termostáticas montadas externamente. (WARTSILA W32 2011, p. 19-1).

Circuito de AT

El agua del circuito AT enfría los cilindros y las culatas. La bomba de agua AT hace circular el agua por el circuito AT. El agua de refrigeración se conduce primero al conducto de distribución, que forma parte del bloque motor. Desde los conductos de distribución, el agua pasa a los espacios de agua en los cilindros y continúa por las piezas de conexión a las culatas. (Wartsila W32 2011, p. 17-1).

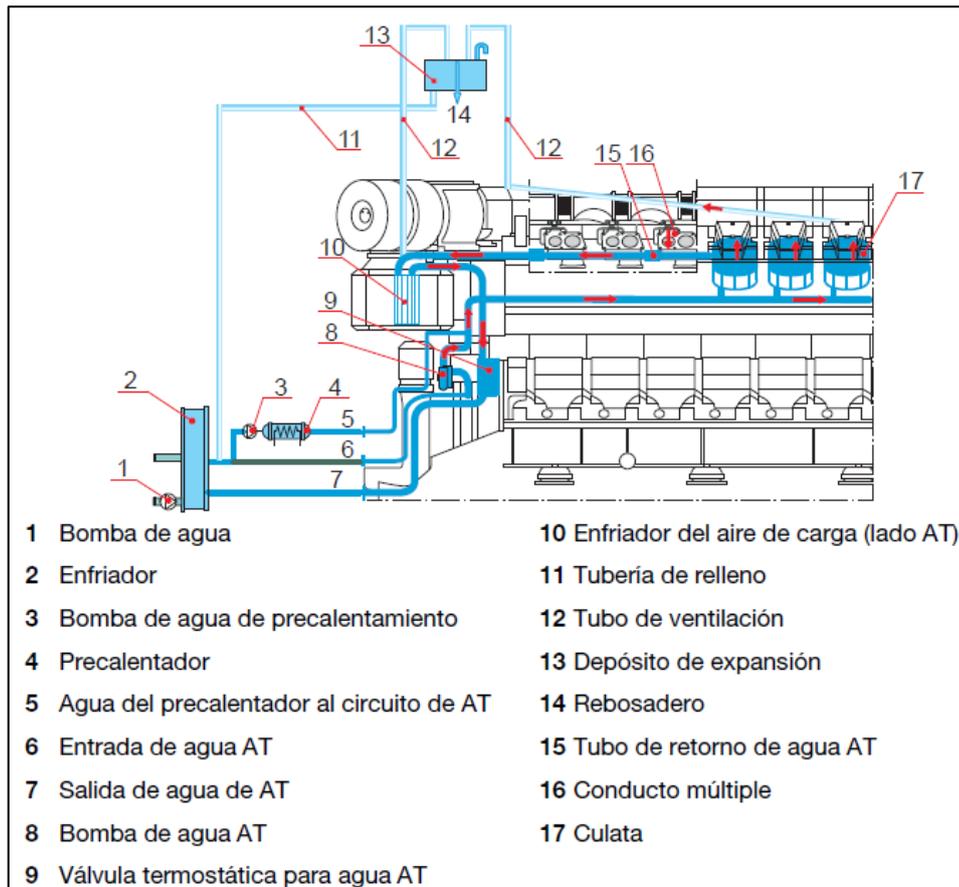


Figura 11-2: Circuito del sistema de agua de refrigeración AT.

Fuente: WARTSILA W20V32. Manual de instrucciones, 2011.

De ahí, el agua se conduce a lo largo de la chapa de fuego, alrededor del manguito central para la válvula de inyección y los asientos de la válvula de escape, enfriando de forma eficiente estos componentes. Ver figura 11-2. Desde la culata, el flujo de agua continúa por el conducto múltiple hasta llegar al conducto colector y, por último, a la válvula de control de temperatura, que mantiene la temperatura del agua en el nivel adecuado.

En instalaciones con enfriadores de aire de carga de dos etapas, el agua AT también se hace circular por el enfriador de aire de carga antes de ser conducida a la válvula termostática. La refrigeración necesaria se obtiene del enfriador. El sistema de alta temperatura (AT) de fuera del motor puede variar de una instalación a la otra de acuerdo a su contexto operacional.

Circuito de BT

El circuito BT enfría el enfriador de aire de carga y el enfriador de aceite de lubricación. La bomba de agua BT que hace circular el agua es de un diseño similar a la bomba AT. La temperatura del circuito se controla y se mantiene al nivel correcto por la válvula termostática. (Wartsila W32 2011, p. 19-3).

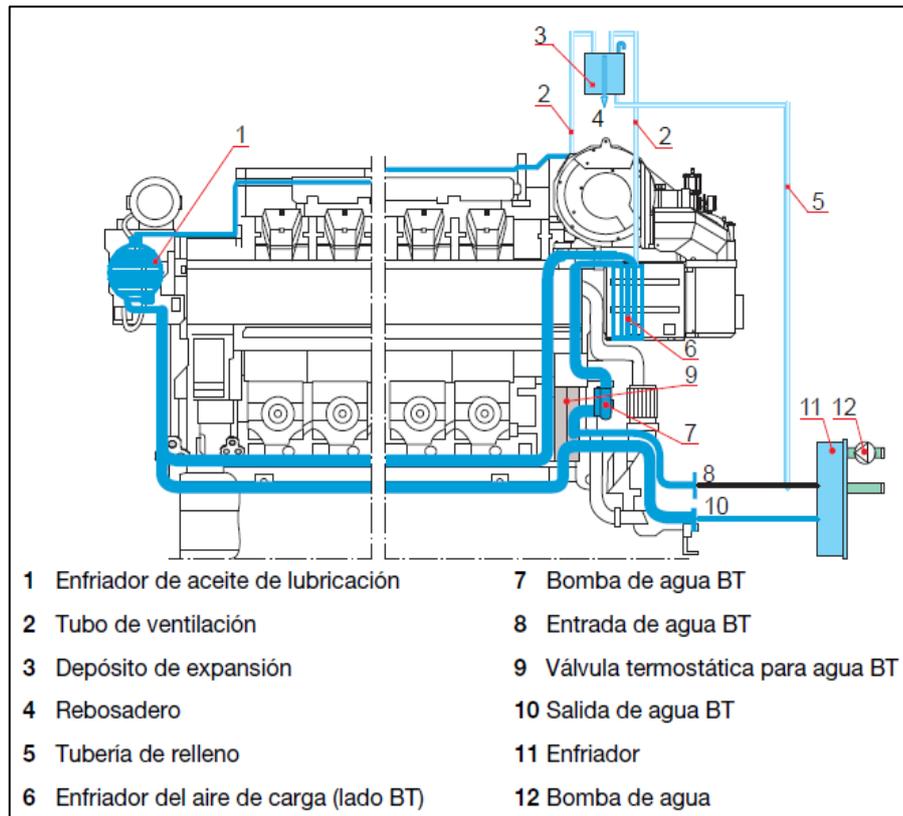


Figura 12-2: Circuito del sistema de agua de refrigeración BT.

Fuente: WARTSILA W20V32. Manual de instrucciones, 2011.

La refrigeración necesaria se obtiene del enfriador. El sistema BT de fuera del motor puede variar de una instalación a la otra. Para ventilar el sistema de refrigeración, los tubos de ventilación del enfriador del aire de carga y el enfriador de aceite de lubricación están conectados a los tubos de ventilación que llevan al depósito de expansión.

2.11 Sistema de escape

El sistema de escape "SPEX" es una combinación de sistema de impulsos y sistema de presión constante, que retiene la energía cinética de los gases de escape en un sencillo tubo de escape de presión constante. (Wartsila W32 2011, p. 20-1).

Los gases de escape de los cilindros se conducen al colector de escape común. Existen dos colectores de este tipo en cada bancada que están conectados al turbocompresor. Las secciones de los tubos disponen de fuelles en cada extremo para evitar la deformación térmica. (Wartsila W32 2011, p. 20-1).

Todo el sistema de escape está encerrado por una caja aislante compuesta por láminas de acero superpuestas.

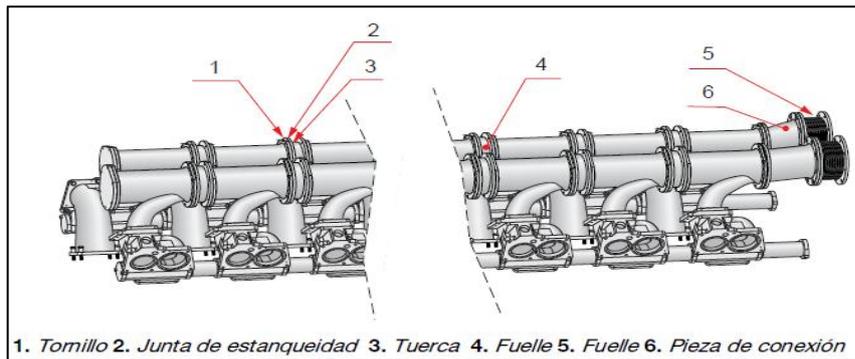


Figura 13-2: Sistema de escape, motor en V.
Fuente: WARTSILA W20V32. Manual de instrucciones, 2011.

2.12 Sistema de aire de arranque

El motor arranca con aire comprimido a un máx. de 30 bar. La presión mínima requerida es de 15 bar. Un manómetro montado en la pantalla local (1) indica la presión antes de la válvula de arranque principal (4).

El tubo de entrada de aire del receptor de aire de arranque incorpora una válvula anti retorno. (2) y una válvula de drenaje (3) antes de la válvula de arranque principal (4). La válvula de arranque principal puede accionarse mediante el pulsador (21) en el arranque manual (vea la figura. 21-2) o neumáticamente por medio de una electroválvula, montada bajo la pantalla local, en el arranque remoto o automático del motor.

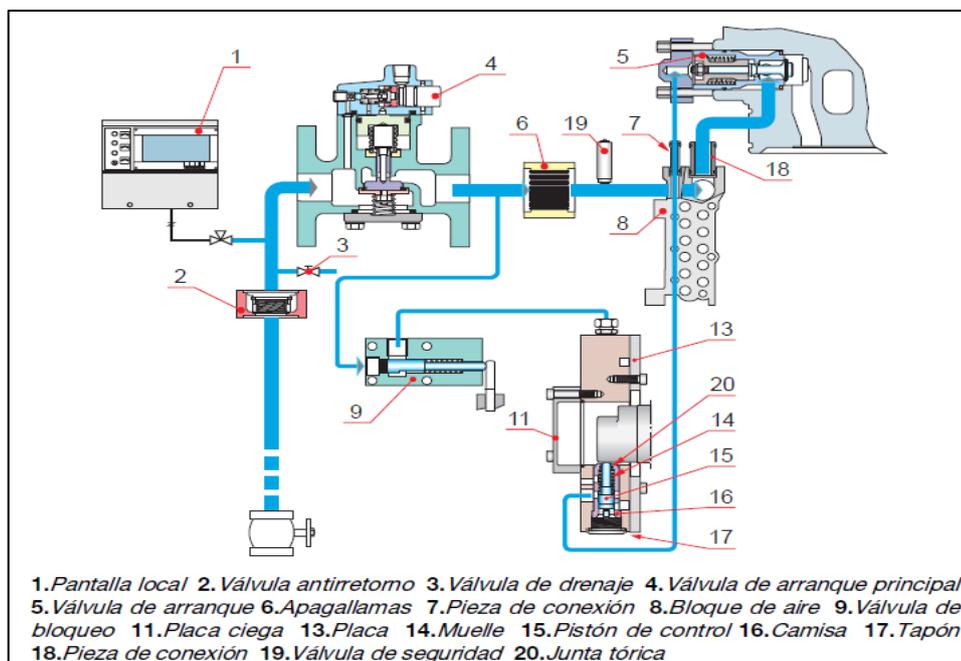


Figura 14-2: Sistema de aire de arranque.
Fuente: WARTSILA W20V32. Manual de instrucciones, 2011.ç

CAPÍTULO III

1. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.

El diseño de investigación constituye al plan general del investigador para obtener respuestas a sus interrogantes o comprobar la hipótesis de investigación. El diseño de investigación desglosa las estrategias básicas que el investigador adopta para generar información exacta e interpretable

El diseño también debe especificar los pasos que habrán de tomarse para controlar las variables extrañas y señala cuándo, en relación con otros acontecimientos, se van a recabar los datos y debe precisar el ambiente en que se realizará el estudio. Esto quiere decir que el investigador debe decir dónde habrán de llevarse a cabo las intervenciones y la recolección de datos, esta puede ser en un ambiente natural (como el hogar o el centro laboral de los sujetos) o en un ambiente de laboratorio (con todas las variables controladas).

Clasificación de los estudios de investigación.

Diseños experimentales. En ellos el investigador desea comprobar los efectos de una intervención específica, en este caso el investigador tiene un papel activo, pues lleva a cabo una intervención.

Diseños no experimentales. En ellos el investigador observa los fenómenos tal y como ocurren naturalmente, sin intervenir en su desarrollo.

Otra dimensión comprende el grado de estructuración impuesta por anticipado al estudio, los estudios cuantitativos tienden a ser altamente estructurados, de modo que el investigador especifica las características principales del diseño antes de obtener un solo dato. Por el contrario, el diseño de los estudios cualitativos es más flexible; permite e incluso estimula la realización de ajustes, a fin de sacar provecho a la información reunida en las fases tempranas de su realización.

La investigación a realizarse con el análisis de fiabilidad del sistema de combustible de los motores Wartsila para disminuir la probabilidad de fallo de la planta de generación eléctrica en

la empresa Agip Oil Ecuador, es de carácter experimental, ya que permite realizar el análisis de fiabilidad de sistemas complejos de combustible, utilizados en la planta de generación eléctrica de la empresa Agip Oil Ecuador, la cual nos ayudará a mantener y mejorar el índice de fiabilidad requerido por la organización.

De acuerdo a lo previsto en este proyecto, los métodos a utilizar en la investigación son: descriptivo y cuantitativo, de tal manera que se obtiene el cálculo de los índices claves de desempeño (KPI, según sus siglas en inglés), respecto a la confiabilidad y disponibilidad, con los datos del tiempo medio entre fallos (MTTB, según sus siglas en inglés), tiempo medio para la reparación (MTTR, según sus siglas en inglés), número de fallos, horas de mantenimiento preventivo programado, horas de mantenimiento correctivo los mismo que serán investigados y tabulados mediante un estudio documental como manuales, fichas técnicas de los equipos del sistema de combustible, datos operacionales, informes técnicos realizadas en la planta de generación, datos de mantenimiento del programa MAXIMO, software utilizado para la gestión del mantenimiento en la empresa.

Mediante el levantamiento de información en campo, se determinara el estado técnico actual del sistema de combustible, lo cual permitirá realizar un análisis de los componentes críticos.

Con la elaboración del árbol de fallas para los componentes del sistema y su respectivo análisis, permite determinar los fallos potenciales que afectan directa e indirectamente al sistema de combustible de la planta de generación eléctrica.

Se determinará la probabilidad de fallo para los componentes del sistema, mediante la aplicación del teorema de Bayes, identificando los equipos con la probabilidad de fallo más alta para su análisis y realizar una propuesta para disminuir dicha probabilidad, minimizando su impacto en el sistema en general.

Mediante la elaboración del diagrama de fiabilidad ayudada por un diagrama de bloques del sistema de combustible, permite evidenciar la fiabilidad individual de los componentes y su impacto en la fiabilidad total del sistema.

El periodo de tiempo para el análisis de fiabilidad del sistema de combustible de los motores Wartsila para disminuir la probabilidad de fallo en la planta de generación eléctrica de la empresa Agip Oil Ecuador, será desde el año 2010 hasta el año 2015, se lo realizara en la planta de generación de la compañía.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos para el cálculo de la tasa de fallos son extraídos de la bitácora diaria de operación y mantenimiento del área de generación, en un periodo de 5 años tomados desde el año 2010 hasta el año 2015.

4.1 Cálculo de la tasa de fallos, fiabilidad, disponibilidad de los tanques de almacenamiento de combustible

Los tanques de combustible se encuentran operativos las 24 horas, los 365 días del año, se considera un periodo de 5 años para el análisis, a continuación se detalla el número de fallas.

4.1.1 Tanque buffer (TKB)

Tabla 1-4: Datos tanque buffer.

DESCRIPCIÓN	NÚMERO DE FALLAS(NF)	TIEMPO MTTO. PREVENTIVO	TIEMPO MTTO CORRECTIVO
Tanque buffer(TKB)	1	0 horas	600 horas
(TOE) Horas operación. estimada 43800 horas			
(TOR) Horas operación. real 43200 horas			

Fuente: Datos operativos planta de generación eléctrica, 2010-2015.

Realizado por: Darwin Maiquiza 2016.

$$\lambda_{TKB} = \frac{NF}{TOE}$$

$$\lambda_{TKB} = \mathbf{0.000022831}$$

$$R_{TKB} = e^{-\lambda_{TKB}}$$

$$R_{TKB} = \mathbf{0.9999}$$

$$D_{TKB} = \frac{(TOR)}{(TOE)}$$

$$D_{TKB} = \mathbf{0.9863}$$

$$I_{TKB} = 1 - D_{TKB}$$

$$I_{TKB} = 0.0137$$

$$PF_{TKB} = 1 - R_{TKB}$$

$$PF_{TKB} = 0.0001$$

4.1.2 Tanque Diario (TKD).

Tabla 2-4: Datos tanque diario.

Descripción	Número de fallas	Tiempo mantenimiento. Preventivo	Tiempo mantenimiento correctivo
Tanque buffer(TKD)	1	0 horas	600 horas
(TOE) Horas operación. estimada 43800 horas			
(TOR) Horas operación. real 43800 horas			

Fuente: Datos operativos planta de generación eléctrica, 2010-2015.

Realizado por: Darwin Maiquiza 2016.

$$\lambda_{TKD} = \frac{NF}{T}$$

$$\lambda_{TKD} = 0.000022831$$

$$R_{TKD} = e^{-\lambda_{TKD}}$$

$$R_{TKD} = 0.9999$$

$$D_{TKD} = \frac{(TOR)}{(TOE)}$$

$$D_{TKD} = 0.9863$$

$$I_{TKD} = 1 - D_{TKD}$$

$$I_{TKD} = 0.0137$$

$$PF_{TKD} = 1 - R_{TKD}$$

$$PF_{TKD} = 0.0001$$

4.2 Cálculo de la tasa de fallos, fiabilidad, disponibilidad de las separadoras de crudo

Para realizar el cálculo de la tasa de fallo, fiabilidad, disponibilidad de las separadoras de crudo se considera un periodo de 5 años, a continuación se detalla el número de fallas de cada una; es necesario indicar que en este sistema están operando siempre dos separadoras de crudo y tres permanecen en stand by.

4.2.1 Datos separadora # 1

Tabla 3-4: Datos separadora # 1.

Descripción	Número de fallos (NF)	Tiempo mantenimiento. Preventivo (h)	Tiempo mantenimiento correctivo (h)
Bowl (B _i)	39	2112	1008
Bomba alimentación (P _i)	2		
Calentadores (C _i)	1		
Total fallos separadora # 1.	42		
(TOE) Horas operación. estimada 34692 horas			
(TOR) Horas operación. real 33684 horas			

Fuente: Datos operativos planta de generación eléctrica, 2010-2015.

Realizado por: Darwin Maiquiza 2016.

$$\lambda_{B1} = \frac{NF}{TOE}$$

$$\lambda_{B1} = \mathbf{0.001124}$$

$$R_{B1} = e^{-\lambda_{B1}}$$

$$R_{B1} = \mathbf{0.9988}$$

$$\lambda_{P1} = \frac{NF}{TOE}$$

$$\lambda_{P1} = \mathbf{0.00005765}$$

$$R_{P1} = e^{-\lambda_{P1}}$$

$$R_{P1} = \mathbf{0.9999.}$$

$$\lambda_{C1} = \frac{NF}{TOE}$$

$$\lambda_{C1} = \mathbf{0.00002882}$$

$$R_{C1} = e^{-\lambda_{C1}}$$

$$R_{C1} = \mathbf{0.9999}$$

Tasa de fallos resultante separadora # 1:

$$\lambda_{Sep\ 1} = \lambda_{B1} + \lambda_{P1} + \lambda_{C1}$$
$$\lambda_{Sep\ 1} = 0.001201 \rightarrow 0.1201\%$$

Fiabilidad resultante separadora # 1:

$$R_{Sep\ 1} = R_{B1} * R_{P1} * R_{C1}$$
$$R_{Sep\ 1} = 0.9977 \rightarrow 99.77\%$$

Disponibilidad separadora # 1:

$$D_{Sep1} = \frac{(TOR)}{(TOE)}$$
$$D_{Sep1} = 0.9679 \rightarrow 96.79\%$$

Indisponibilidad separadora # 1:

$$I_{Sep1} = 1 - D_{Sep\ 1}$$
$$I_{Sep1} = 0.0321 \rightarrow 3\%$$

Infiabilidad separadora # 1:

$$PF_{Sep1} = 1 - R_{Sep\ 1}$$
$$PF_{Sep1} = 0.0023 \rightarrow 0.23\%$$

4.2.2 Datos separadora 2:

Tabla 4-4: Datos separadora # 2.

Descripción	Número de fallos (NF)	Tiempo mantenimiento. Preventivo (h)	Tiempo mantenimiento correctivo (h)
Bowl (B ₂)	29	2112	816
Bomba alimentación (P ₂)	3		
Calentadores (C ₂)	2		
Total fallos separadora # 2.	34		
(TOE) Horas operación. estimada 27425 horas			
(TOR) Horas operación. real 26609 horas			

Fuente: Datos operativos planta de generación eléctrica, 2010-2015.

Realizado por: Darwin Maiquiza 2016.

$$\lambda_{B2} = \frac{NF}{TOE}$$

$$\lambda_{B2} = \mathbf{0.001057}$$

$$R_{B2} = e^{-\lambda_{B2}}$$

$$\mathbf{R_{B2} = 0.9989}$$

$$\lambda_{P2} = \frac{NF}{TOE}$$

$$\lambda_{P2} = \mathbf{0.0001093}$$

$$R_{P2} = e^{-\lambda_{P2}}$$

$$\mathbf{R_{P2} = 0.9998.}$$

$$\lambda_{C2} = \frac{NF}{TOE}$$

$$\lambda_{C2} = \mathbf{0.00007292}$$

$$R_{C2} = e^{-\lambda_{C2}}$$

$$\mathbf{R_{C2} = 0.9999}$$

Tasa de fallos resultante separadora # 2:

$$\lambda_{Sep\ 2} = \lambda_{B2} + \lambda_{P2} + \lambda_{C2}$$

$$\lambda_{Sep\ 2} = \mathbf{0.001239} \rightarrow \mathbf{0.1239\ \%}$$

Fiabilidad resultante separadora # 2:

$$R_{Sep\ 2} = R_{B2} * R_{P2} * R_{C2}$$

$$\mathbf{R_{Sep\ 2} = 0.9986} \rightarrow \mathbf{99.86\ \%}$$

Disponibilidad separadora # 2

$$\mathbf{D_{Sep2}} = \frac{(TOR)}{(TOE)}$$

$$\mathbf{D_{Sep2} = 0.9702} \rightarrow \mathbf{97.02\ \%}$$

Indisponibilidad separadora # 2

$$I_{Sep2} = 1 - D_{Sep2}$$

$$I_{Sep2} = 0.0298 \rightarrow 2.98 \%$$

Infiabilidad separadora # 2

$$PF_{Sep2} = 1 - R_{Sep2}$$

$$PF_{Sep2} = 0.0014 \rightarrow 0.14 \%$$

4.2.3 Datos separadora 3:

Tabla 5-4: Datos separadora # 3.

Descripción	Número de fallos (NF)	Tiempo mantenimiento. Preventivo (h)	Tiempo mantenimiento correctivo (h)
Bowl (B ₃)	43	2112	1032
Bomba alimentación (P ₃)	1		
Calentadores (C ₃)	1		
Total fallos separadora # 3.	45		
(TOE) Horas operación. estimada 17074 horas			
(TOR) Horas operación. real 16042 horas			

Fuente: Datos operativos planta de generación eléctrica, 2010-2015.
Realizado por: Darwin Maiquiza 2016.

$$\lambda_{B3} = \frac{NF}{TOE}$$

$$\lambda_{B3} = 0.002518$$

$$R_{B3} = e^{-\lambda_{B3}}$$

$$R_{B3} = 0.9974$$

$$\lambda_{P3} = \frac{NF}{TOE}$$

$$\lambda_{P3} = 0.00005856$$

$$R_{P3} = e^{-\lambda_{P3}}$$

$$R_{P3} = 0.9999$$

$$\lambda_{C3} = \frac{NF}{TOE}$$

$$\lambda_{C3} = 0.00005856$$

$$R_{C3} = e^{-\lambda_{C3}}$$

$$R_{C3} = 0.9999$$

Tasa de fallos resultante separadora # 3:

$$\lambda_{Sep3} = \lambda_{B3} + \lambda_{P3} + \lambda_{C3}$$

$$\lambda_{Sep3} = 0.002635 \rightarrow 0.2635 \%$$

Fiabilidad resultante separadora # 3:

$$R_{Sep3} = R_{B3} * R_{P3} * R_{C3}$$

$$R_{Sep3} = 0.9972 \rightarrow 99.72 \%$$

Disponibilidad separadora # 3

$$D_{Sep3} = \frac{(TOR)}{(TOE)}$$

$$D_{Sep3} = 0.9395 \rightarrow 93.95 \%$$

Indisponibilidad separadora # 3

$$I_{Sep3} = 1 - D_{Sep3}$$

$$I_{Sep3} = 0.0605 \rightarrow 6.05 \%$$

Infiabilidad separadora # 3

$$PF_{Sep3} = 1 - R_{Sep3}$$

$$PF_{Sep3} = 0.0028 \rightarrow 0.28 \%$$

4.2.4 Datos separadora # 4:

Tabla 6-4: Datos separadora # 4.

Descripción	Número de fallos (NF)	Tiempo mantenimiento. Preventivo (h)	Tiempo mantenimiento correctivo (h)
Bowl (B ₄)	14	2112	336
Bomba alimentación (P ₄)	0		
Calentadores (C ₄)	0		
Total fallos separadora # 4.	14		
(TOE) Horas operación. estimada 14264 horas			
(TOR) Horas operación. real 13928 horas			

Fuente: Datos operativos planta de generación eléctrica, 2010-2015.

Realizado por: Darwin Maiquiza 2016.

$$\lambda_{B4} = \frac{NF}{TOE}$$

$$\lambda_{B4} = \mathbf{0.0009814}$$

$$R_{B4} = e^{-\lambda_{B4}}$$

$$\mathbf{R_{B4} = 0.9990}$$

$$\lambda_{P4} = \frac{NF}{TOE}$$

$$\lambda_{P4} = \mathbf{0.0000}$$

$$R_{P4} = e^{-\lambda_{P4}}$$

$$\mathbf{R_{P4} = 1}$$

$$\lambda_{C4} = \frac{NF}{TOE}$$

$$\lambda_{C4} = \mathbf{0.0000}$$

$$R_{C4} = e^{-\lambda_{C4}}$$

$$\mathbf{R_{C4} = 1}$$

Tasa de fallos resultante separadora # 4:

$$\lambda_{Sep4} = \lambda_{B4} + \lambda_{P4} + \lambda_{C4}$$

$$\lambda_{Sep4} = \mathbf{0.0009814} \rightarrow \mathbf{0.09814 \%}$$

Fiabilidad resultante separadora # 4:

$$R_{Sep4} = R_{B4} * R_{P4} * R_{C4}$$

$$\mathbf{R_{Sep4} = 0.9990} \rightarrow \mathbf{99.90 \%}$$

Disponibilidad separadora # 4:

$$D_{Sep4} = \frac{(TOR)}{(TOE)}$$

$$\mathbf{D_{Sep4} = 0.9764} \rightarrow \mathbf{97.64 \%}$$

Indisponibilidad separadora # 4:

$$\mathbf{I_{Sep4} = 1 - D_{Sep4}}$$

$$I_{Sep4} = 0.0236 \rightarrow 2.36 \%$$

Infiabilidad separadora # 4:

$$PF_{Sep4} = 1 - R_{Sep4}$$

$$PF_{Sep4} = 0.001 \rightarrow 0.1 \%$$

4.2.5 Datos separadora # 5:

Tabla 7-4: Datos separadora # 5.

Descripción	Número de fallos (NF)	Tiempo mantenimiento Preventivo (h)	Tiempo mantenimiento correctivo (h)
Bowl (B ₅)	22	2112	528
Bomba alimentación (P ₅)	0		
Calentadores (C ₅)	0		
Total fallos separadora # 5.	22		
(TOE) Horas operación. estimada 12761 horas			
(TOR) Horas operación. real 12233 horas			

Fuente: Datos operativos planta de generación eléctrica, 2010-2015.

Realizado por: Darwin Maiquiza 2016.

$$\lambda_{B5} = \frac{NF}{TOE}$$

$$\lambda_{B5} = 0.001724$$

$$R_{B5} = e^{-\lambda_{B5}}$$

$$R_{B5} = 0.9982$$

$$\lambda_{P5} = \frac{NF}{TOE}$$

$$\lambda_{P5} = 0.0000$$

$$R_{P5} = e^{-\lambda_{P5}}$$

$$R_{P5} = 1$$

$$\lambda_{C5} = \frac{NF}{TOE}$$

$$\lambda_{C5} = 0.0000$$

$$R_{C5} = e^{-\lambda_{C5}}$$

$$R_{C5} = 1$$

Tasa de fallos resultante separadora # 5:

$$\lambda_{Sep5} = \lambda_{B5} + \lambda_{P5} + \lambda_{C5}$$
$$\lambda_{Sep5} = 0.001724 \rightarrow 0.1724\%$$

Fiabilidad resultante separadora # 5:

$$R_{Sep5} = R_{B5} * R_{P5} * R_{C5}$$
$$R_{Sep5} = 0.9982 \rightarrow 99.82 \%$$

Disponibilidad separadora # 5:

$$D_{Sep5} = \frac{(TOR)}{(TOE)}$$
$$D_{Sep5} = 0.9586 \rightarrow 95.86 \%$$

Indisponibilidad separadora # 5:

$$I_{Sep5} = 1 - D_{Sep5}$$
$$I_{Sep5} = 0.0414 \rightarrow 4.14 \%$$

Infiabilidad separadora # 5:

$$PF_{Sep5} = 1 - R_{Sep5}$$
$$PF_{Sep5} = 0.0018 \rightarrow 0.18 \%$$

4.3 Cálculo de la tasa de fallos, fiabilidad, disponibilidad de las unidades booster

Para realizar el cálculo de la tasa de fallo de las unidades booster se considerará un período de cinco años, a continuación, se detallará el número de fallos de cada una; es necesario indicar que estas unidades se encuentran operando de forma continua.

4.3.1 Tasa de fallos booster # 1:

Datos bombas feed # 1:

Tabla 8-4: Datos bomba feed # 1:

Descripción	Número de fallos (NF)	Tiempo mantenimiento Preventivo (h)	Tiempo mantenimiento correctivo (h)
Bomba Feed A (PFA ₁)	3	1056	120
Bomba Feed B (PFB ₁)	2		
(TOE) Horas operación. estimada 43680 horas			
(TOR) Horas operación. real 43560 horas			

Fuente: Datos operativos planta de generación eléctrica, 2010-2015.

Realizado por: Darwin Maiquiza 2016.

$$\lambda_{PFA1} = \frac{NF}{TOE}$$

$$\lambda_{PFA1} = \mathbf{0.00006868}$$

$$R_{PFA1} = e^{-\lambda_{PFA1}}$$

$$R_{PFA1} = \mathbf{0.9999}$$

$$\lambda_{PFB1} = \frac{NF}{T}$$

$$\lambda_{PFB1} = \mathbf{0.00004578}$$

$$R_{PFB1} = e^{-\lambda_{PFB1}}$$

$$R_{PFB1} = \mathbf{0.9999}$$

Tasa de fallos resultante bombas feed # 1:

$$\lambda_{BF1} = \lambda_{PFA1} + \lambda_{PFB1}$$

$$\lambda_{BF1} = \mathbf{0.0001144} \rightarrow \mathbf{0.01144 \%}$$

Fiabilidad resultante bombas feed # 1:

$$R_{BF1} = [1 - (1 - R_{PFA1}) * (1 - R_{PFB1})]$$

$$R_{BF1} = \mathbf{0.9999} \rightarrow \mathbf{99.99 \%}$$

Datos filtros #1:

Tabla 9-4: Datos filtros # 1:

Descripción	Número de fallos (NF)
Filtro automático (FA _i).	26
Filtro manual (FM _i)	5

Fuente: Datos operativos planta de generación eléctrica, 2010-2015.

Realizado por: Darwin Maiquiza 2016.

$$\lambda_{FA1} = \frac{NF}{TOE}$$

$$\lambda_{FA1} = \mathbf{0.0005952}$$

$$R_{FA1} = e^{-\lambda_{FA1}}$$

$$\mathbf{R_{FA1} = 0.9994.}$$

$$\lambda_{FM1} = \frac{NF}{TOE}$$

$$\lambda_{FM1} = \mathbf{0.0001144}$$

$$R_{FM1} = e^{-\lambda_{FM1}}$$

$$\mathbf{R_{FM1} = 0.9998}$$

Tasa de fallos resultante filtros # 1:

$$\lambda_{F1} = \lambda_{FA1} + \lambda_{FM1}$$

$$\lambda_{BF1} = \mathbf{0.0007096 \rightarrow 0.07096 \%}$$

Fiabilidad resultante filtros # 1:

$$R_{F1} = [1 - (1 - R_{FA1}) * (1 - R_{FM1})]$$

$$\mathbf{R_{F1} = 0.9999 \rightarrow 99.99 \%}$$

Datos bombas booster #1:

Tabla 10-4: Datos bomba booster # 1:

Descripción	Número de fallos
Bombas booster A (PBA ₁).	4
Bombas booster B (PBB ₁).	2
Horas de operación = 43800 horas.	

Fuente: Datos operativos planta de generación eléctrica, 2010-2015.

Realizado por: Darwin Maiquiza 2016.

$$\lambda_{PBA1} = \frac{NF}{TOE}$$

$$\lambda_{PBA1} = 0.00009157$$

$$R_{PBA1} = e^{-\lambda_{PBA1}}$$

$$R_{PBA1} = 0.9999$$

$$\lambda_{PBB1} = \frac{NF}{TOE}$$

$$\lambda_{PBB1} = 0.00004591$$

$$R_{PBB1} = e^{-\lambda_{PBB1}}$$

$$R_{PBB1} = 0.9999$$

Tasa de fallos resultante bombas booster # 1:

$$\lambda_{B1} = \lambda_{PBA1} + \lambda_{PBB1}$$

$$\lambda_{B1} = 0.0001374 \rightarrow 0.01374 \%$$

Fiabilidad resultante bombas booster # 1:

$$R_{B1} = [1 - (1 - R_{PBA1}) * (1 - R_{PBB1})]$$

$$R_{B1} = 0.9999$$

Datos calentadores #1:

Tabla 11-4: Datos calentadores # 1:

Descripción	Número de fallos
Calentador A (CA1).	2
Calentador B (CB1).	3

Fuente: Datos operativos planta de generación eléctrica, 2010-2015.

Realizado por: Darwin Maiquiza 2016.

$$\lambda_{CA1} = \frac{NF}{TOE}$$

$$\lambda_{CA1} = 0.00004578$$

$$R_{CA1} = e^{-\lambda_{CA1}}$$

$$R_{CA1} = 0.9999$$

$$\lambda_{CB1} = \frac{NF}{TOE}$$

$$\lambda_{CB1} = 0.00006868$$

$$R_{CB1} = e^{-\lambda_{CB1}}$$

$$R_{CB1} = 0.9999.$$

Tasa de fallos resultante calentador # 1:

$$\lambda_{H1} = \lambda_{CA1} + \lambda_{CB1}$$

$$\lambda_{H1} = 0.0001144 \rightarrow 0.01144 \%$$

Fiabilidad resultante calentador 1:

$$R_{H1} = [1 - (1 - R_{CA1}) * (1 - R_{CB1})]$$

$$R_{H1} = 0.9999 \rightarrow 99.99 \%$$

Tasa de fallos total booster # 1:

$$\lambda_{TB1} = \lambda_{BF1} + \lambda_{F1} + \lambda_{B1} + \lambda_{H1}$$

$$\lambda_{TB1} = 0.0001144 + 0.0007096 + 0.0001374 + 0.0001144$$

$$\lambda_{TB1} = 0.001075 \rightarrow 0.1075 \%$$

Fiabilidad total unidad booster # 1

$$R_{TB1} = R_{BF1} * R_{F1} * R_{B1} * R_{H1}$$

$$R_{TB1} = 0.9999 * 0.9999 * 0.9999 * 0.9999$$

$$R_{TB1} = 0.9996 \rightarrow 99.96 \%$$

Tabla 12-4: Datos operación unidad booster # 1:

BOOSTER # 1	
Tiempo mtto. Preventivo (h)	Tiempo mantenimiento correctivo (h)
1056	120
(TOE) Horas operación. estimada 43680 horas	
(TOR) Horas operación. real 43560 horas	

Fuente: Datos operativos planta de generación eléctrica, 2010-2015.

Realizado por: Darwin Maiquiza 2016.

Disponibilidad unidad booster # 1

$$D_{TB1} = \frac{(TOR)}{(TOE)}$$

$$D_{TB1} = 0.9972 \rightarrow 99.72 \%$$

Indisponibilidad unidad booster # 1

$$I_{TB1} = 1 - D_{TB1}$$

$$I_{TB1} = 0.0028 \rightarrow 0.028 \%$$

Infiabilidad unidad booster # 1

$$PF_{TB1} = 1 - R_{TB1}$$

$$PF_{TB1} = 0.0004 \rightarrow 0.04\%$$

4.3.2 Tasa de fallos booster # 2:

Datos bomba feed # 2:

Tabla 13-4: Datos bomba feed # 2:

Descripción	Número de fallos (NF)
Bomba Feed A (PFA ₂)	1
Bomba Feed B (PFB ₂)	1

Fuente: Datos operativos planta de generación eléctrica, 2010-2015.

Realizado por: Darwin Maiquiza 2016.

$$\lambda_{PFA2} = \frac{(NF)}{(TOE)}$$

$$\lambda_{PFA2} = 0.00002321$$

$$R_{PFA2} = e^{-\lambda_{PFA2}}$$

$$R_{PFA2} = 0.9999$$

$$\lambda_{PFB2} = \frac{(NF)}{(TOE)}$$

$$\lambda_{PFB2} = 0.00002321$$

$$R_{PFB2} = e^{-\lambda_{PFB2}}$$

$$R_{PFB2} = 0.9999$$

Tasa de fallos resultante bombas feed # 2:

$$\lambda_{BF2} = \lambda_{PFA2} + \lambda_{PFB2}$$
$$\lambda_{BF2} = 0.00004642 \rightarrow 0.004642 \%$$

Fiabilidad resultante bombas feed # 2:

$$R_{BF2} = [1 - (1 - R_{PFA2}) * (1 - R_{PFB2})]$$
$$R_{BF2} = 0.9999 \rightarrow 99.99 \%$$

Datos filtros # 2:

Tabla 14-4: Datos filtros # 2:

Descripción	Número de fallos
Filtro automático (FA ₂).	0
Filtro manual (FM ₁)	0

Fuente: Datos operativos planta de generación eléctrica, 2010-2015.
Realizado por: Darwin Maiquiza 2016.

$$\lambda_{FA2} = \frac{NF}{TOE}$$
$$\lambda_{FA2} = 0.0000$$

$$R_{FA2} = e^{-(0.0000)}$$
$$R_{FA2} = 1$$

$$\lambda_{FM2} = \frac{NF}{TOE}$$
$$\lambda_{FM2} = 0.0000$$

$$R_{FM2} = e^{-(0.0000)}$$
$$R_{FM2} = 1$$

Tasa de fallos resultante filtros # 2:

$$\lambda_{F2} = \lambda_{FA2} + \lambda_{FM2}$$
$$\lambda_{F2} = 0.000$$

Fiabilidad resultante filtros # 2:

$$R_{F2} = [1 - (1 - R_{FA2}) * (1 - R_{FM2})]$$

$$R_{F2} = 1$$

Datos bombas booster # 2:

Tabla 15-4: Datos bomba booster # 2:

Descripción	Número de fallos
Bombas booster A (PBA ₂).	0
Bombas booster B (PBB ₂).	0

Fuente: Datos operativos planta de generación eléctrica, 2010-2015.

Realizado por: Darwin Maiquiza 2016.

$$\lambda_{PBA2} = \frac{NF}{TOE}$$

$$\lambda_{PBA2} = 0.000$$

$$R_{PBA2} = e^{-\lambda_{PBA2}}$$

$$R_{PBA2} = 1$$

$$\lambda_{PBB2} = \frac{NF}{TOE}$$

$$\lambda_{PBB2} = 0.0000$$

$$R_{PBB2} = e^{-\lambda_{PBB2}}$$

$$R_{PBB2} = 1$$

Tasa de fallos bombas booster # 2:

$$\lambda_{B2} = \lambda_{PBA2} + \lambda_{PBB2}$$

$$\lambda_{B2} = 0.0000$$

Fiabilidad bombas booster # 2:

$$R_{B2} = [1 - (1 - R_{PBA2}) * (1 - R_{PBB2})]$$

$$R_{B2} = 1$$

Datos calentadores # 2:

Tabla 16-4: Datos calentadores # 2:

Descripción	Número de fallos
Calentador A (CA ₂).	1
Calentador B (CB ₂).	3
Horas de operación = 43200 horas.	

Fuente: Datos operativos planta de generación eléctrica, 2010-2015.

Realizado por: Darwin Maiquiza 2016.

$$\lambda_{CA2} = \frac{NF}{TOE}$$

$$\lambda_{CA2} = 0.00002314$$

$$R_{CA2} = e^{-\lambda_{CA2}}$$

$$R_{CA2} = 0.9999$$

$$\lambda_{CB2} = \frac{NF}{TOE}$$

$$\lambda_{CB2} = 0.00006944$$

$$R_{CB2} = e^{-\lambda_{CB2}}$$

$$R_{CB2} = 0.9999.$$

Tasa de fallos resultante calentador # 2:

$$\lambda_{H2} = \lambda_{CA2} + \lambda_{CB2}$$

$$\lambda_{H2} = 0.00009258$$

Fiabilidad resultante calentador 2:

$$R_{H2} = [1 - (1 - R_{CA2}) * (1 - R_{CB2})]$$

$$R_{H2} = 0.9999$$

Tasa de fallos total booster # 2:

$$\lambda_{TB2} = \lambda_{BF2} + \lambda_{F2} + \lambda_{B2} + \lambda_{H2}$$

$$\lambda_{TB2} = 0.00004642 + 0.000 + 0.000 + 0.00009258$$

$$\lambda_{TB2} = 0.0001390 \rightarrow 0.0139 \%$$

Fiabilidad total booster # 2

$$R_{TB2} = R_{BF2} * R_{F2} * R_{B2} * R_{H2}$$

$$R_{TB2} = 0.9998 \rightarrow 99.98 \%$$

Tabla 17-4: Datos operación bombas booster # 2:

BOOSTER # 2	
Tiempo mnto. Preventivo (h)	Tiempo mnto correctivo (h)
240	120
(TOE) Horas operación. estimada 43200 horas	
(TOR) Horas operación. real 43080 horas	

Fuente: Datos operativos planta de generación eléctrica, 2010-2015.

Realizado por: Darwin Maiquiza 2016.

Disponibilidad unidad booster # 2:

$$D_{TB2} = \frac{(TOR)}{(TOE)}$$

$$D_{TB2} = 0.9972 \rightarrow 99.72 \%$$

Indisponibilidad unidad booster # 2

$$I_{TB2} = 1 - D_{TB2}$$

$$I_{TB2} = 0.0028$$

Infiabilidad unidad booster # 2

$$PF_{TB2} = 1 - R_{TB2}$$

$$PF_{TB2} = 0.0002$$

4.3.3 Tasa de fallos unidad booster # 3:

Datos bombas feed # 3:

Tabla 18-4: Datos bombas feed # 3:

Descripción	Número de fallos
Bomba Feed A (PFA ₃)	0
Bomba Feed B (PFB ₃)	0
Horas de operación = 37440 horas.	

Fuente: Datos operativos planta de generación eléctrica, 2010-2015.
Realizado por: Darwin Maiquiza 2016.

$$\lambda_{PFA3} = 0.000$$

$$R_{PFA3} = 1$$

$$\lambda_{PFB3} = 0.000$$

$$R_{PFB3} = 1$$

Tasa de fallos resultante bombas feed # 3:

$$\lambda_{BF3} = \lambda_{PFA3} + \lambda_{PFB3}$$

$$\lambda_{BF3} = 0.000$$

Fiabilidad resultante bombas Feed # 3:

$$R_{BF3} = [1 - (1 - R_{PFA3}) * (1 - R_{PFB3})]$$

$$R_{BF3} = [1 - (0.00)]$$

$$R_{BF3} = 1$$

Datos filtros # 3:

Tabla 19-4: Datos filtros # 3:

Descripción	Número de fallos
Filtro automático (FA ₃).	0
Filtro manual (FM ₃)	0
Horas de operación = 43800 horas.	

Fuente: Datos operativos planta de generación eléctrica, 2010-2015.

Realizado por: Darwin Maiquiza 2016.

$$\lambda_{FA3} = 0.0000$$

$$R_{FA3} = 1$$

$$\lambda_{FM3} = 0.0000$$

$$R_{FM3} = 1$$

Tasa de fallos resultante filtros # 3:

$$\lambda_{F3} = \lambda_{FA3} + \lambda_{FM3}$$

$$\lambda_{F3} = 0.000$$

Fiabilidad resultante filtros # 3:

$$R_{F3} = [1 - (1 - R_{FA3}) * (1 - R_{FM3})]$$

$$R_{F3} = [1 - (0.000)]$$

$$R_{F3} = 1$$

Datos bombas booster # 3:

Tabla 20-4: Datos bombas booster # 3:

Descripción	Número de fallos
Bombas booster A (PBA ₃).	0
Bombas booster B (PBB ₃).	0
Horas de operación = 43800 horas.	

Fuente: Datos operativos planta de generación eléctrica, 2010-2015.

Realizado por: Darwin Maiquiza 2016.

$$\lambda_{PBA3} = 0.0000$$

$$R_{PBA3} = 1$$

$$\lambda_{PBB3} = 0.0000$$

$$R_{PBB3} = 1$$

Tasa de fallos bombas booster # 3:

$$\lambda_{B3} = \lambda_{PBA3} + \lambda_{PBB3}$$

$$\lambda_{B3} = 0.000$$

Fiabilidad bombas booster # 3:

$$R_{B3} = [1 - (1 - R_{PBA3}) * (1 - R_{PBB3})]$$

$$R_{B3} = [1 - (0.000)]$$

$$R_{B3} = 1$$

Datos Calentadores # 3:

Tabla 22-4: Datos calentadores # 3:

Descripción	Número de fallos
Calentador A (CA ₃).	2
Calentador B (CB ₃).	0
Horas de operación = 37440 horas.	

Fuente: Datos operativos planta de generación eléctrica, 2010-2015.

Realizado por: Darwin Maiquiza 2016.

$$\lambda_{CA3} = \frac{NF}{T}$$

$$\lambda_{CA3} = 0.00005341$$

$$R_{CA3} = e^{-\lambda_{CA3}}$$

$$R_{CA3} = 0.9999$$

$$\lambda_{CB3} = 0.0000$$

$$R_{CB3} = 1$$

Tasa de fallos resultante calentador # 3:

$$\lambda_{H3} = \lambda_{CA3} + \lambda_{CB3}$$

$$\lambda_{H3} = 0.00005341$$

Fiabilidad resultante calentador # 3:

$$R_{H3} = [1 - (1 - R_{CA3}) * (1 - R_{CB3})]$$

$$R_{H3} = 1$$

Tasa de fallos total booster # 3:

$$\lambda_{TB3} = \lambda_{BF3} + \lambda_{F3} + \lambda_{B3} + \lambda_{H3}$$

$$\lambda_{TB3} = 0.000 + 0.000 + 0.000 + 0.00005341$$

$$\lambda_{TB3} = 0.00005341$$

Fiabilidad total unidad booster # 3

$$R_{TB3} = R_{BF3} * R_{F3} * R_{B3} * R_{H3}$$

$$R_{TB3} = 1 * 1 * 1 * 1$$

$$R_{TB3} = 1$$

Tabla 22-4: Datos operación booster # 3:

BOOSTER # 3	
Tiempo mtto. Preventivo (h)	Tiempo mtto correctivo (h)
240	20
(TOE) Horas operación. estimada 43560 horas	
(TOR) Horas operación. real 43540 horas	

Fuente: Datos operativos planta de generación eléctrica, 2010-2015.

Realizado por: Darwin Maiquiza 2016.

Disponibilidad unidad booster # 3

$$D_{TB3} = \frac{(TOR)}{(TOE)}$$

$$D_{TB3} = 0.9358$$

Indisponibilidad unidad booster # 3

$$I_{TB3} = 1 - D_{TB3}$$

$$I_{TB3} = 0.0642$$

Infiabilidad unidad booster # 3

$$PF_{TB3} = 1 - R_{TB3}$$

$$PF_{TB3} = 0.000$$

4.4 Cálculo de la tasa de fallos, fiabilidad, disponibilidad de las fuel unit

Para realizar el cálculo de la tasa de fallo de las fuel unit se considerará un período de cinco años, a continuación se detallará el número de fallos de cada una; es necesario indicar que estas unidades se encuentran operando de forma continua.

4.4.1 Tasa de fuel unit # 1:

Datos fuel unit # 1:

Tabla 23-4: Datos fuel unit # 1:

Descripción	Número de fallos	Tiempo mtto. Preventivo (h)	Tiempo mtto correctivo (h)
Fuel unit # 1 (FU ₁).	11	720	132
(TOE) Horas operación. estimada 37807 horas			
(TOR) Horas operación. real 37675 horas			

Fuente: Datos operativos planta de generación eléctrica, 2010-2015.

Realizado por: Darwin Maiquiza 2016.

Tasa de fallos fuel unit # 1:

$$\lambda_{FU1} = \frac{NF}{TOE}$$

$$\lambda_{FU1} = 0.0002909$$

Fiabilidad fuel unit # 1:

$$R_{FU1} = e^{-\lambda_{FU1}}$$
$$R_{FU1} = 0.9997 \rightarrow 99.97 \%$$

Disponibilidad fuel unit # 1:

$$D_{FU1} = \frac{(TOR)}{(TOE)}$$
$$D_{FU1} = 0.9965 \rightarrow 99.65 \%$$

Indisponibilidad fuel unit # 1:

$$I_{FU1} = 1 - D_{FU1}$$
$$I_{FU1} = 0.0035 \rightarrow 0.35 \%$$

Infiabilidad fuel unit # 1:

$$PF_{FU1} = 1 - R_{FU1}$$
$$PF_{FU1} = 0.0003 \rightarrow 0.03 \%$$

4.4.2 Tasa de fuel unit # 2:

Datos fuel unit # 2:

Tabla 24-4: Datos fuel unit # 2:

Descripción	Número de fallos	Tiempo mtto. Preventivo (h)	Tiempo mtto correctivo (h)
Fuel unit # 2 (FU ₂).	15	720	180
(TOE) Horas operación. estimada 39496 horas			
(TOR) Horas operación. real 39316 horas			

Fuente: Datos operativos planta de generación eléctrica, 2010-2015.

Realizado por: Darwin Maiquiza 2016.

Tasa de fallos fuel unit # 2:

$$\lambda_{FU2} = \frac{NF}{TOE}$$
$$\lambda_{FU2} = 0.0003797 \rightarrow 0.0379 \%$$

Fiabilidad fuel unit # 2:

$$R_{FU2} = e^{-\lambda_{FU2}}$$

$$R_{FU2} = 0.9996 \rightarrow 99.96 \%$$

Disponibilidad fuel unit # 2:

$$D_{FU2} = \frac{(TOR)}{(TOE)}$$

$$D_{FU2} = 0.9954 \rightarrow 99.54 \%$$

Indisponibilidad fuel unit # 2:

$$I_{FU2} = 1 - D_{FU2}$$

$$I_{FU2} = 0.0046 \rightarrow 0.46 \%$$

Infiabilidad fuel unit # 2:

$$PF_{FU2} = 1 - R_{FU2}$$

$$PF_{FU2} = 0.0004 \rightarrow 0.04 \%$$

4.4.3 Tasa de fuel unit # 3:

Datos fuel unit # 3:

Tabla 25-4: Datos fuel unit # 3:

Descripción	Número de fallos	Tiempo mtto. Preventivo (h)	Tiempo mtto correctivo (h)
Fuel unit # 3 (FU ₂).	10	720	120
(TOE) Horas operación. estimada 35956 horas			
(TOR) Horas operación. real 35836 horas			

Fuente: Datos operativos planta de generación eléctrica, 2010-2015.

Realizado por: Darwin Maiquiza 2016.

Tasa de fallos fuel unit # 3:

$$\lambda_{FU3} = \frac{NF}{TOE}$$

$$\lambda_{FU3} = 0.0002781 \rightarrow 0.0278 \%$$

Fiabilidad fuel unit # 3:

$$R_{FU3} = e^{-\lambda_{FU3}}$$

$$R_{FU3} = 0.9997 \rightarrow 99.97\%$$

Disponibilidad fuel unit # 3:

$$D_{FU3} = \frac{TOR}{TOE}$$

$$D_{FU3} = 0.9966 \rightarrow 99.66\%$$

Indisponibilidad fuel unit # 3:

$$I_{FU3} = 1 - D_{FU3}$$

$$I_{FU3} = 0.0034 \rightarrow 0.34\%$$

Infiabilidad fuel unit # 3:

$$PF_{FU3} = 1 - R_{FU3}$$

$$PF_{FU3} = 0.0003 \rightarrow 0.03\%$$

4.4.4 Tasa de fuel unit # 4:

Datos fuel unit # 4:

Tabla 26-4: Datos fuel unit # 4:

Descripción	Número de fallos	Tiempo mtto. Preventivo (h)	Tiempo mtto correctivo (h)
Fuel unit # 4 (FU4).	13	720	156
(TOE) Horas operación. estimada 39627 horas			
(TOR) Horas operación. real 39471 horas			

Fuente: Datos operativos planta de generación eléctrica, 2010-2015.

Realizado por: Darwin Maiquiza 2016.

Tasa de fallos fuel unit # 4:

$$\lambda_{FU4} = \frac{NF}{TOE}$$

$$\lambda_{FU4} = 0.0003280 \rightarrow 0.03280\%$$

Fiabilidad fuel unit # 4:

$$R_{FU4} = e^{-\lambda_{FU4}}$$

$$R_{FU4} = 0.9996 \rightarrow 99.96 \%$$

Disponibilidad fuel unit # 4:

$$D_{FU4} = \frac{(TOR)}{(TOE)}$$

$$D_{FU4} = 0.9960 \rightarrow 99.60 \%$$

Indisponibilidad fuel unit # 4:

$$I_{FU4} = 1 - D_{FU4}$$

$$I_{FU4} = 0.004 \rightarrow 0.4 \%$$

Infiabilidad fuel unit # 4:

$$PF_{FU4} = 1 - R_{FU4}$$

$$PF_{FU4} = 0.0004 \rightarrow 0.5 \%$$

4.5.5 Tasa de fuel unit # 5:

Datos fuel unit # 5:

Tabla 27-4: Datos fuel unit # 5:

Descripción	Número de fallos	Tiempo mtto. Preventivo (h)	Tiempo mtto correctivo (h)
Fuel unit # 5 (FU ₅).	5	720	60
(TOE) Horas operación. estimada 43272 horas			
(TOR) Horas operación. real 43212 horas			

Fuente: Datos operativos planta de generación eléctrica, 2010-2015.

Realizado por: Darwin Maiquiza 2016.

Tasa de fallos fuel unit # 5:

$$\lambda_{FU5} = \frac{NF}{TOE}$$

$$\lambda_{FU5} = 0.0001155 \rightarrow 0.01155\%$$

Fiabilidad fuel unit # 5:

$$R_{FU5} = e^{-\lambda_{FU5}}$$

$$R_{FU5} = 0.9998 \rightarrow 99.98 \%$$

Disponibilidad fuel unit # 5:

$$D_{FU5} = \frac{(TOR)}{(TOE)}$$

$$D_{FU5} = 0.9986 \rightarrow 99.86 \%$$

Indisponibilidad fuel unit # 5:

$$I_{FU5} = 1 - D_{FU5}$$

$$I_{FU5} = 0.0014 \rightarrow 0.14 \%$$

Infiabilidad fuel unit # 5:

$$PF_{FU5} = 1 - R_{FU5}$$

$$PF_{FU5} = 0.0002 \rightarrow 0.02\%$$

4.6.6 Tasa de fuel unit # 6:

Datos fuel unit # 6:

Tabla 28-4: Datos fuel unit # 6:

Descripción	Número de fallos	Tiempo mtto. Preventivo (h)	Tiempo mtto correctivo (h)
Fuel unit # 6 (FU ₆).	7	720	84
(TOE) Horas operación. estimada 27558 horas			
(TOR) Horas operación. real 27474 horas			

Fuente: Datos operativos planta de generación eléctrica, 2010-2015.

Realizado por: Darwin Maiquiza 2016.

Tasa de fallos fuel unit # 6:

$$\lambda_{FU6} = \frac{NF}{TOE}$$

$$\lambda_{FU6} = 0.0002540 \rightarrow 0.02540 \%$$

Fiabilidad fuel unit # 6:

$$R_{FU6} = e^{-\lambda_{FU6}}$$

$$R_{FU6} = 0.9997 \rightarrow 99.97 \%$$

Disponibilidad fuel unit # 6:

$$D_{FU6} = \frac{(TOR)}{(TOE)}$$

$$D_{FU6} = 0.9969 \rightarrow 99.69 \%$$

Indisponibilidad fuel unit # 6:

$$I_{FU6} = 1 - D_{FU6}$$

$$I_{FU6} = 0.0031 \rightarrow 0.31 \%$$

Infiabilidad fuel unit # 6:

$$PF_{FU6} = 1 - R_{FU6}$$

$$PF_{FU6} = 0.0003 \rightarrow 0.03 \%$$

4.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS**4.5.1 Estado técnico actual del sistema de combustible****Tabla 29-4:** Resultados del sistema de combustible:

SISTEMA DE COMBUSTIBLE						
Descripción	Número de fallas	Tasa de fallo (λ)	Fiabilidad (R)	Disponibilidad (D)	Indisponibilidad (I)	Probabilidad de fallo (PF)
Tanque buffer	1	0.00002283	0.9999	0.9863	0.0137	0.0023
Tanque diario	1	0.00002283	0.9999	0.9863	0.0137	0.0014
Separadora # 1	42	0.001201	0.9977	0.9679	0.0321	0.0023
Separadora # 2	34	0.001239	0.9986	0.9702	0.0298	0.0014
Separadora # 3	45	0.002635	0.9972	0.9395	0.0605	0.0028
Separadora # 4	14	0.0009814	0.9990	0.9764	0.0236	0.001
Separadora # 5	22	0.001724	0.9982	0.9586	0.0414	0.0018
Booster # 1	47	0.1075	0.9996	0.9972	0.0028	0.0004

Booster # 2	6	0.0001390	0.9998	0.9972	0.0028	0.0002
Booster # 3	2	0.00005341	1	0.9358	0.0642	0.00
Fuel unit # 1	11	0.0002909	0.9997	0.9965	0.0035	0.0003
Fuel unit # 2	15	0.0003797	0.9996	0.9954	0.0046	0.0004
Fuel unit # 3	10	0.0002781	0.9997	0.9966	0.0034	0.0003
Fuel unit # 4	13	0.0003280	0.9996	0.9960	0.004	0.0004
Fuel unit # 5	5	0.0001155	0.9998	0.9986	0.0014	0.0002
Fuel unit # 6	7	0.0002540	0.9997	0.9969	0.0031	0.0003

Fuente: Datos operativos planta de generación eléctrica, 2010-2015.

Realizado por: Darwin Maiquiza 2016.

En la tabla 29-4, se muestra un resumen del estado actual del sistema de combustible de la planta de generación eléctrica, resultado del levantamiento de información en campo.

4.5.2 *Árbol de fallas del sistema de combustible.*

Árbol de fallos de los tanques de almacenamiento de combustible buffer y diario.

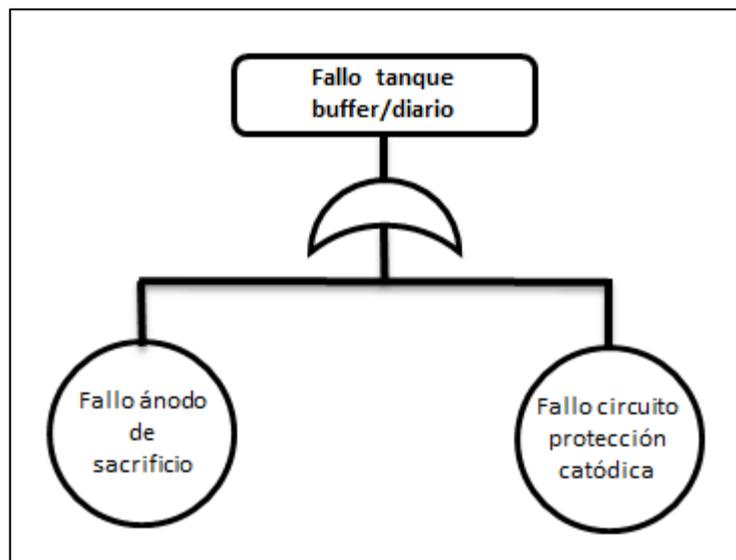


Figura 1-4: Árbol de fallos tanques de almacenamiento de combustible.

Fuente: Datos operativos planta de generación eléctrica, 2010-2015.

Para que se produzca un fallo en los tanques buffer o diario, por falla en la protección catódica, debe fallar en ánodo de sacrificio o el circuito de protección catódica como se indica en el árbol de fallos.

Árbol de fallos para las separadoras de crudo número 1,2,3,4,5,6.

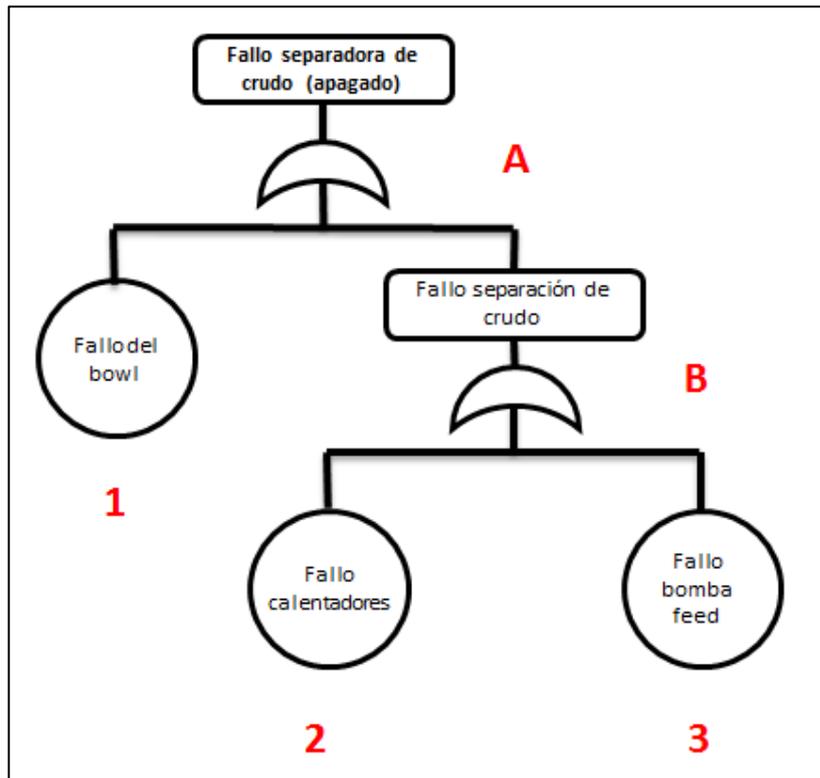


Figura 2-4: Árbol de fallos separadoras de crudo.
Fuente: Datos operativos planta de generación eléctrica, 2010-2015.

Combinación de componentes que causan fallos en el sistema y obtención de conjuntos mínimos de fallos para que ocurra el evento final

Para que se produzca el evento final, fallo separadora de crudo, se originan los siguientes conjuntos mínimos de fallo: (1); (1,2); (1,3).

Causas potenciales de fallo, vías secuenciales de fallos básicos generadores del evento final, fallo de la separadora de crudo. 1-2; 1-23

Árbol de fallos para las unidades booster número 1, 2, 3.

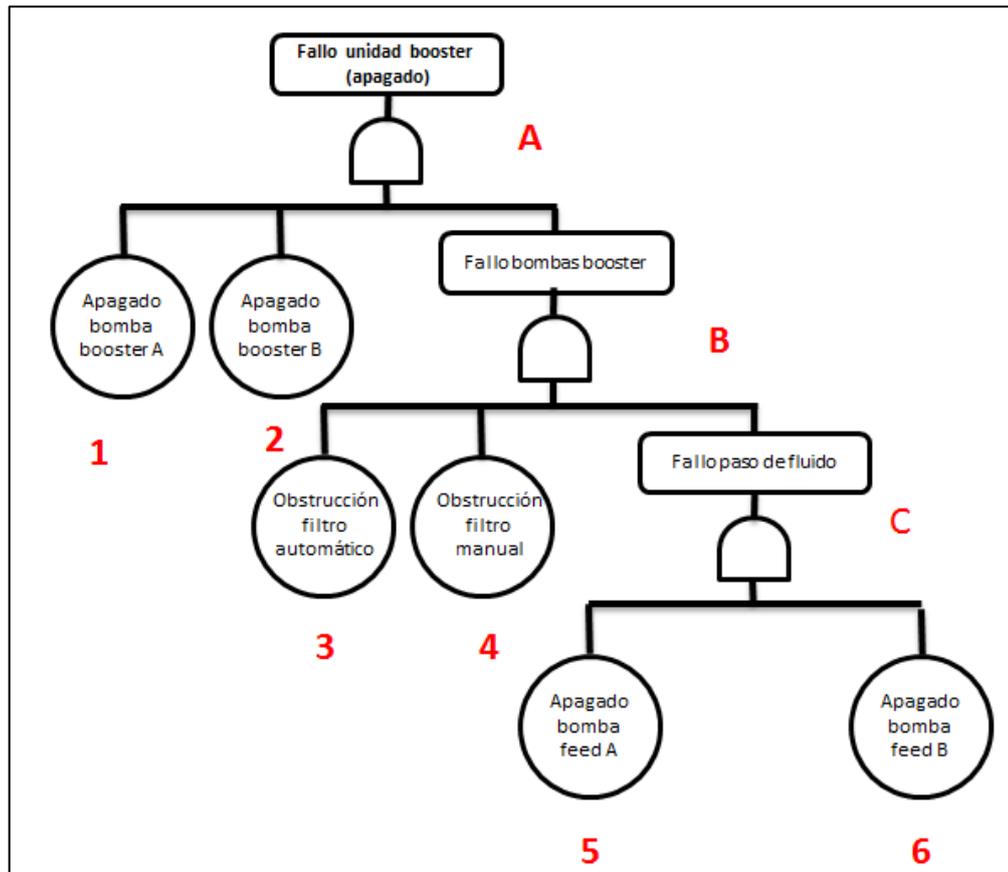


Figura 3-4: Árbol de fallos unidades booster.
Fuente: Datos operativos planta de generación eléctrica, 2010-2015.

Combinación de componentes que causan fallos en el sistema y obtención de conjuntos mínimos de fallos para que ocurra el evento final

Para que se produzca el evento final, fallo de unidad booster, se originan los siguientes conjuntos mínimos de fallo: (1,2); [(1,2)-(3,4)]; [(1,2)-(5,6)].

Causas potenciales de fallo, vías secuenciales de fallos básicos generadores del evento final, fallo de la unidad booster. [(1,2)-(3,4)], [(1,2)-(3,4)(5,6)].

Árbol de fallos para las fuel unit 1,2,3,4,5,6.

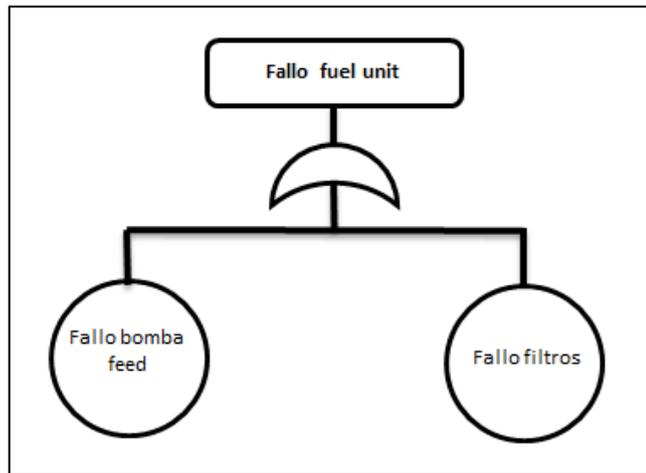


Figura 4-4: Árbol de fallos fuel unit.
Fuente: Datos operativos planta de generación eléctrica, 2010-2015.

Para que se produzca un fallo en las fuel unit, debe fallar la bomba feed o los filtros de combustible como se indica en el árbol de fallos.

4.6 Cálculo de probabilidad de ocurrencia de fallo.

Cálculo de la probabilidad de ocurrencia de fallo, para las separadoras de crudo número 1, 2, 3, 4, 5, mediante el teorema de Bayes.

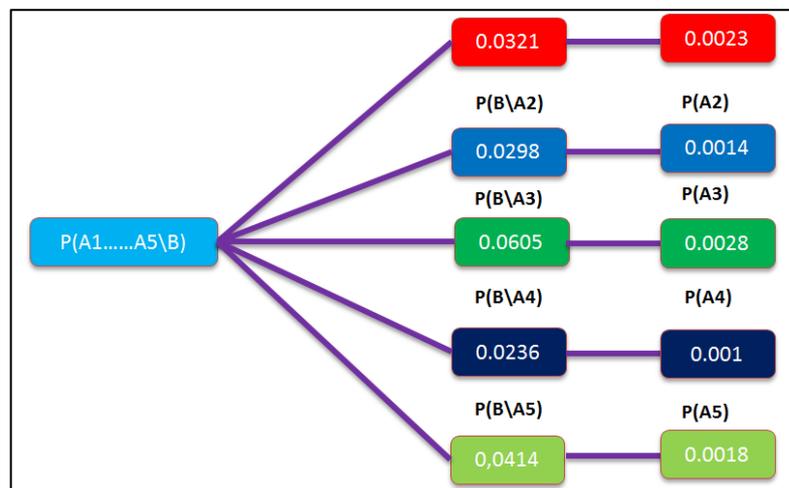


Figura 5-4: Diagrama de bloques para cálculo de probabilidades.
Fuente: Datos operativos planta de generación eléctrica, 2010-2015.

- Cálculo de probabilidad total de las separadoras de crudo.

$$P(B) = \sum P(A_i) \times P(B \setminus A_i)$$

$$P(B) = 0.00007383 + 0.00004172 + 0.0001694 + 0.0000236$$

$$P(B)=0.0003085$$

- Cálculo de la probabilidad de ocurrencia de fallo de la separadora de crudo # 1.

$$P(A1\setminus B) = \frac{P(B\setminus A1) P(A1)}{P(B)}$$

$$P(A1\setminus B) = 0.2393 \rightarrow 23.93 \%$$

La probabilidad de ocurrencia de fallo de la separadora de crudo 1 es de 23.93 %.

- Cálculo de la probabilidad de ocurrencia de fallo de la separadora de crudo # 2.

$$P(A2\setminus B) = \frac{P(B\setminus A2)P(A2)}{P(B)}$$

$$P(A2\setminus B) = 0.1352 \rightarrow 13.52 \%$$

La probabilidad de ocurrencia de fallo de la separadora de crudo 2 es de 13.52 %.

- Cálculo de la probabilidad de ocurrencia de fallo de la separadora de crudo # 3.

$$P(A3\setminus B) = \frac{P(B\setminus A3)P(A3)}{P(B)}$$

$$P(A3\setminus B) = 0.5491 \rightarrow 54.91 \%$$

La probabilidad de ocurrencia de fallo de la separadora de crudo 3 es de 54.91 %.

- Cálculo de la probabilidad de ocurrencia de fallo de la separadora de crudo # 4.

$$P(A4\setminus B) = \frac{P(B\setminus A4)P(A4)}{P(B)}$$

$$P(A4\setminus B) = 0.0764 \rightarrow 7.64 \%$$

La probabilidad de ocurrencia de fallo de la separadora de crudo 4 es de 7.64 %.

- Cálculo de la probabilidad de ocurrencia de fallo de la separadora de crudo # 5.

$$P(A5\setminus B) = \frac{P(B\setminus A5) P(A5)}{P(B)}$$

$$P(A1\setminus B) = 0.2415 \rightarrow 24.15 \%$$

La probabilidad de ocurrencia de fallo de la separadora de crudo 5 es de 24.15 %.

Cálculo de la probabilidad de ocurrencia de fallo, para las unidades booster número 1, 2, 3, mediante el teorema de Bayes.

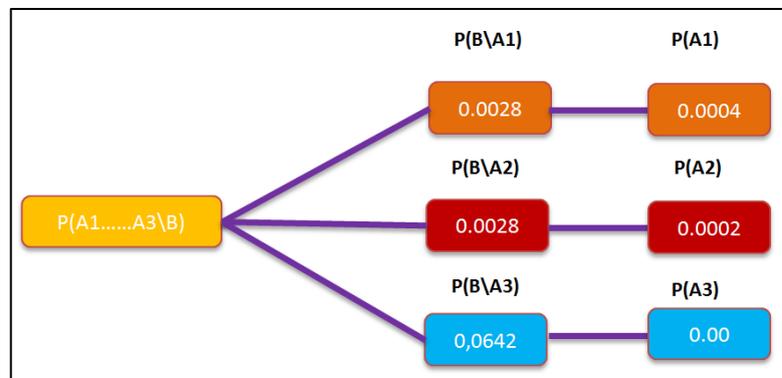


Figura 6-4: Diagrama de bloques para cálculo de probabilidades.
Fuente: Datos operativos planta de generación eléctrica, 2010-2015.

- Cálculo de probabilidad total de las unidades booster.

$$P(B) = \sum P(A_i) \times P(B|A_i)$$

$$P(B) = 0.00000112 + 0.00000056$$

$$P(B) = 0.00000168$$

- Cálculo de la probabilidad de ocurrencia de fallo de la unidad booster # 1.

$$P(A1\setminus B) = \frac{P(B\setminus A1) P(A1)}{P(B)}$$

$$P(A1\setminus B) = 0.6666 \rightarrow 66.66 \%$$

La probabilidad de ocurrencia de fallo de la unidad booster 1 es de 66.66 %.

- Cálculo de la probabilidad de ocurrencia de fallo de la unidad booster # 2.

$$P(A2 \setminus B) = \frac{P(B \setminus A2)P(A2)}{P(B)}$$

$$P(A2 \setminus B) = 0.3333 \rightarrow 33.33 \%$$

La probabilidad de ocurrencia de fallo de la unidad booster es de 33.33 %.

- Cálculo de la probabilidad de ocurrencia de fallo de la unidad booster # 3.

$$P(A3 \setminus B) = \frac{P(B \setminus A3)P(A3)}{P(B)}$$

$$P(A3 \setminus B) = 0.0 \rightarrow 0.0\%$$

La probabilidad de ocurrencia de fallo de la unidad booster 3 es de 0.0 %.

4.7 Diagrama de bloques

En diagrama de bloques se presenta los resultados de la fiabilidad de los componentes del sistema de combustible.

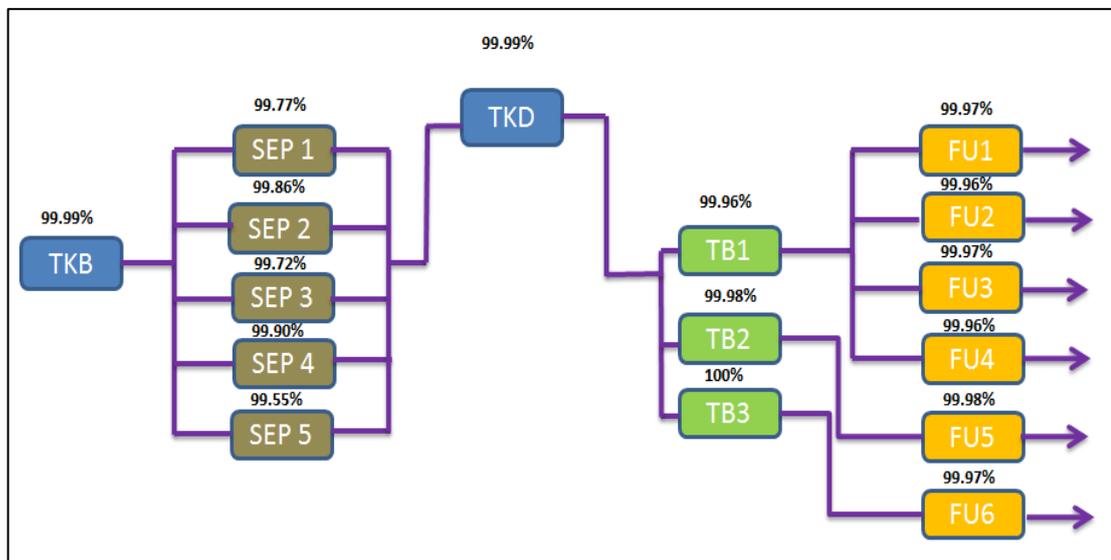


Figura 7-4: Diagrama de bloques de fiabilidad del sistema de combustible.

Fuente: Datos operativos planta de generación eléctrica, 2010-2015.

Luego de obtener la fiabilidad de cada uno de los equipos del sistema del sistema de combustible para los motores Wartsila, se procede a simplificar a un diagrama en serie para facilidad del cálculo matemático y de esta manera determinar la fiabilidad de total del sistema de combustible.

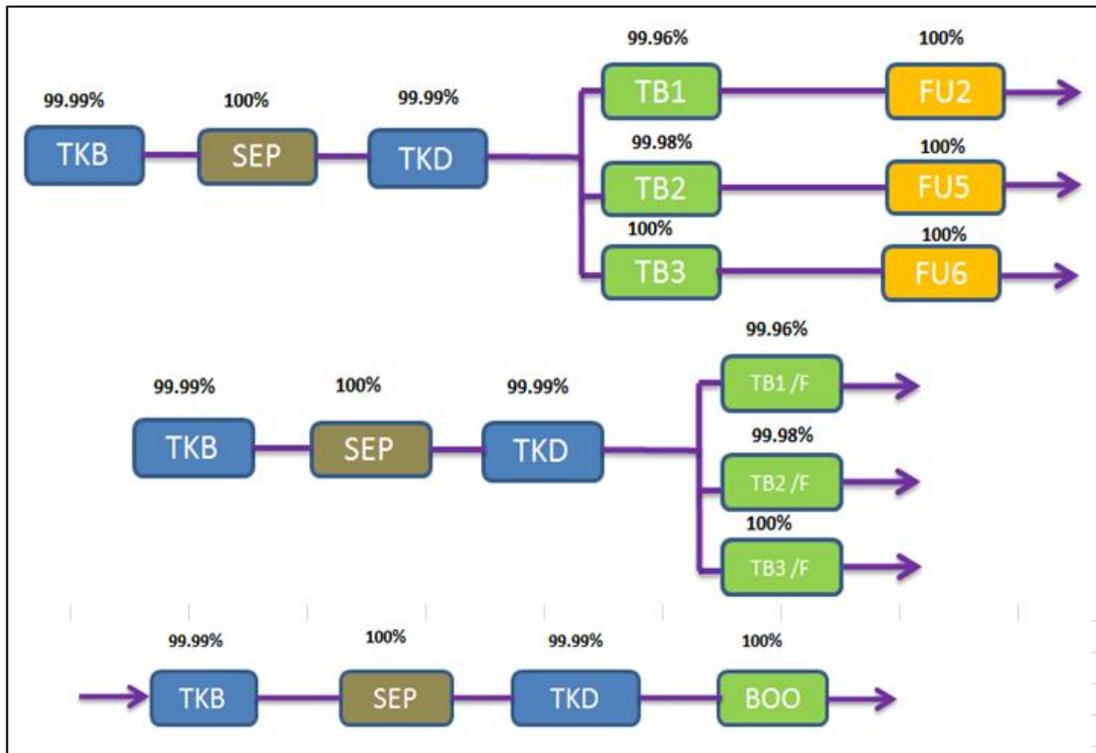


Figura 8-4: Diagrama de bloques simplificado de fiabilidad del sistema de combustible.
Fuente: Datos operativos planta de generación eléctrica, 2010-2015.

Fiabilidad total del sistema:

$$R_{Sistema.} = R_{TKB} * R_{SEP} * R_{TKD} * R_{BOO}$$

$$R_{Sistema.} = 99.98 \%$$

4.8 Propuesta para disminuir la probabilidad de fallo.

Para disminuir la probabilidad de fallo en el sistema de combustible se propone actualizar los intervalos de mantenimiento programado de acuerdo a las condiciones actuales de los equipos.

Aplicar de manera más efectiva el mantenimiento predictivo, mejorando y estableciendo rutas de inspección adecuadas de acuerdo a las condiciones operativas y contexto operacional de los equipos.

Realizar una reingeniería en la configuración operativa del sistema de combustible, ya que la unidad booster número uno alimenta a cuatro unidades de alimentación de combustible (fuel unit), compartiendo la carga con la unidad booster número dos como se indica en la figura 9-4, de esta manera se disminuye la probabilidad de fallo y su impacto en el sistema de combustible por causa de la unidad booster número uno.

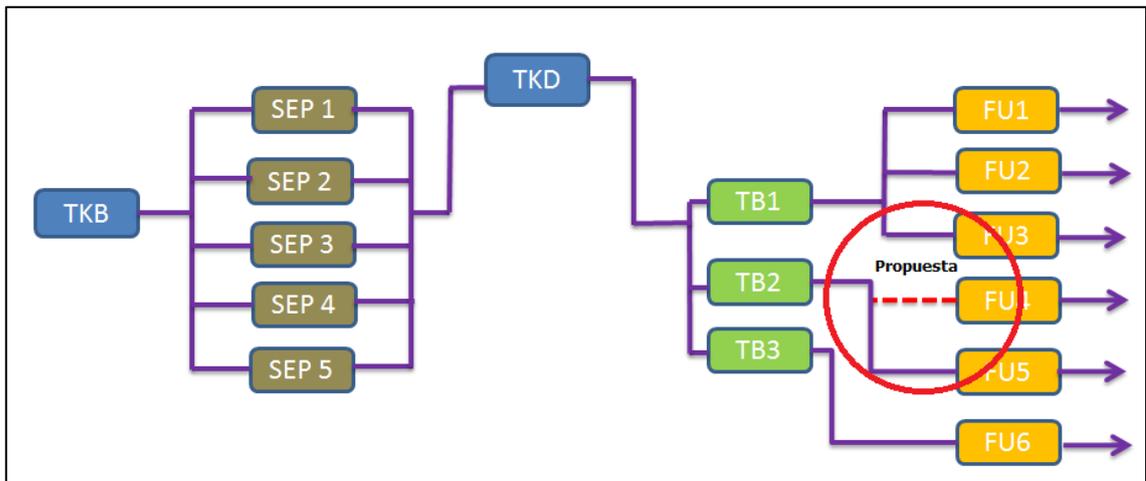


Figura 9-4: Propuesta de la configuración del sistema de combustible.
Fuente: Datos operativos planta de generación eléctrica, 2010-2015.

Conclusiones

1. El análisis del árbol de fallos de los componentes del sistema de combustible, permite obtener las potenciales causas de fallo del sistema, y la secuencia de los mismos de igual manera las combinaciones de los diferentes fallos para que ocurra el evento final o fallo del sistema.
2. Con la aplicación del teorema de Bayes se determinó la probabilidad de ocurrencia de fallo para los componentes del sistema de combustible, en especial las separadora de crudo número uno, tres y cinco porque existe alta probabilidad de ocurrencia de fallo, a pesar de que el sistema de separación tiene redundancias.
3. En la unidad booster número uno la probabilidad de ocurrencia de fallo es del 66.66 %, y de acuerdo a su configuración, el sistema se encuentra con sobrecarga, por lo que el fallo podrá ocasionar una parada total del sistema de Generación Eléctrica, incurriendo en pérdidas económicas no deseadas.
4. La fiabilidad total del sistema de combustible, es del 99.98 %; debido a la criticidad del sistema, su impacto en la generación de energía eléctrica es aceptable, pero no la ideal, por lo que, es necesario elevar este valor y de esta manera contribuir a mantener y mejorar la fiabilidad establecida por la organización en la Planta de Generación Eléctrica del 96 %.

Recomendaciones

1. Aplicar de manera efectiva el mantenimiento predictivo para contrarrestar los fallos potenciales, y su consecuente impacto en el sistema.
2. Realizar una reingeniería del sistema de combustible, de esta manera equilibrar la carga especialmente en las unidades booster de esta manera disminuir la probabilidad del fallo.
3. Viabilizar la propuesta para disminuir la probabilidad de fallo, presentada en el proyecto, para de esta manera garantizar y mejorar los índices de fiabilidad de la planta de generación establecida por la organización.

BIBLIOGRAFÍA.

SEXTO, L.F. (2014). *Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)*. Riobamba Ecuador: Radical management.

SEXTO, L.F. (2015). *Ingeniería de la fiabilidad*. Riobamba Ecuador: Radical management.

ROS, A. (2013). *Análisis de fiabilidad de equipos*, Cartagena.

YÁÑEZ, M & GÓMEZ, V. (2003). *Ingeniería de confiabilidad y análisis probabilístico de riesgo*.

ENI, (2011). *Management system guideline maintenance*. Ecuador.

WARTSILA, (1998). *Manual de instrucciones 18V32LN*. Vaasa Finlandia : Wartsila Finlandia OY.

SANCHEZ, R. P. (1998). *Fiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad*. Habana.

SEXTO, L. F. (2014). *Auditoria para evaluar la gestión del mantenimiento en la empresa*. Riobamba Ecuador: Radical management.

SEXTO, L. F. (2015). *Estrategias de mantenimiento y TPM*. Riobamba Ecuador: Radical-management.

FERNÁNDEZ, M. (2011). *Análisis de confiabilidad de una planta de fuerza*. México.

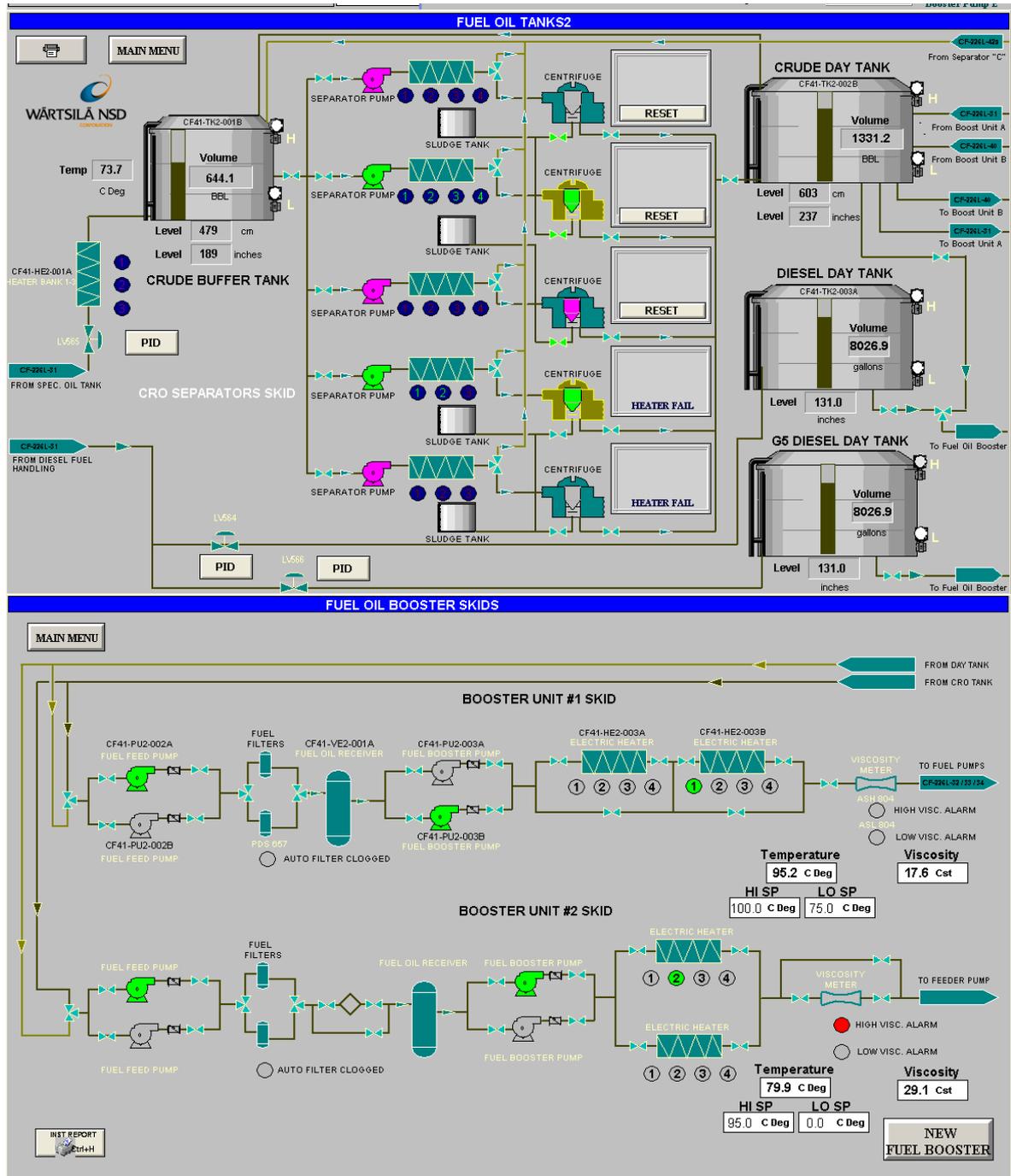
PARRA, P. & CRESPO, A. (2012). *Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada en la gestión de activos. Desarrollo y aplicación práctica de un modelo de gestión del mantenimiento*. España.

GARCÍA, S. (2014). *Ingeniería de mantenimiento*. España. Manual práctico para la gestión eficaz del mantenimiento. Tomo 1.

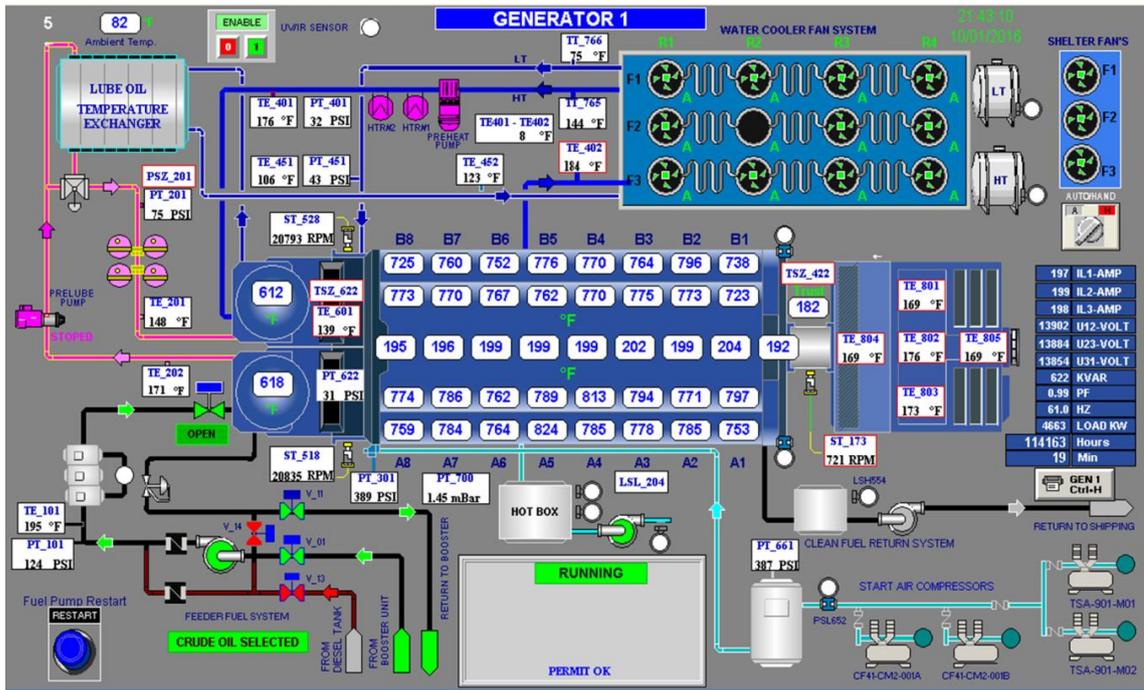
TORRES, L. (2010). *Mantenimiento su implementación y gestión*. 3° ed. Argentina.

ANEXOS

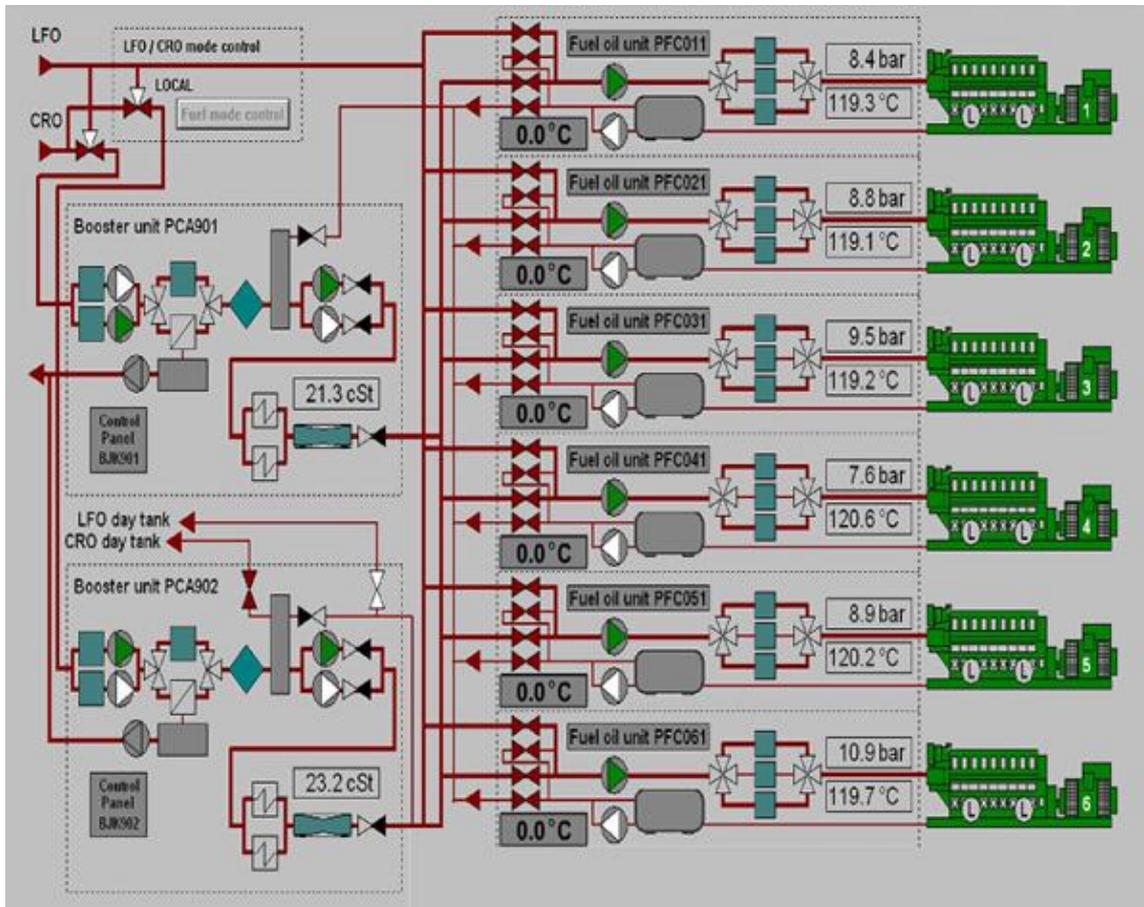
Anexo A: Sistema de combustible, en estudio.



Anexo B: Datos operativos.



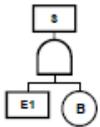
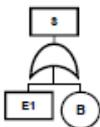
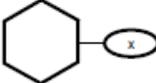
Anexo C: Sistema de generación Wartsila.



Anexo D: Motor Wartsila .



Anexo E: Árbol de fallas.

	SUCESO BÁSICO. No requiere de posterior desarrollo por considerarse un suceso de fallo o error básico.
	SUCESO NO DESARROLLADO. No se considera básico, pero no se desarrolla por falta de información o poco interés.
	SUCESO INTERMEDIO. Resultante de la combinación de sucesos más elementales por medio de puertas lógicas. También sirve para representar el suceso no deseado que se analiza.
	 PUERTA "AND" (Y). El suceso de salida (S) ocurrirá si, y sólo si, ocurren todos los sucesos de entrada (E1-B).
	 PUERTA "OR" (O). El suceso de salida S ocurrirá si ocurre uno o más de los sucesos de entrada (E1-B).
	TRANSFERENCIA. Indica que el árbol continúa en otro lugar.
	PUERTA "AND" PRIORITARIA. El suceso de salida (S) ocurrirá si, y sólo si, todas las entradas ocurren en una secuencia determinada, que normalmente se especifica en una elipse dibujada a la derecha de la puerta.
	PUERTA "OR" EXCLUSIVA. El suceso de salida ocurrirá si lo hace una de las entradas, pero no dos o más de ellas.
	PUERTA DE INHIBICIÓN. El suceso de salida (S) ocurrirá si, y sólo si, lo hace su entrada y además se satisface una condición X.



PLAN DE MEJORAMIENTO PARA EL SISTEMA DE COMBUSTIBLE DE LOS MOTORES WARTSILA EN LA PLANTA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA DE LA EMPRESA AGIP OIL ECUADOR.



Versión: 001

Código:

Página: 1 DE 1

Fecha: 23 junio del 2016

NOMBRE DE LA EMPRESA: AGIP OIL ECUADOR.

TIEMPO ESTIMADO DE EJECUCIÓN:

FECHA DE INICIO:

ÁREA DE EJECUCIÓN: PLANTA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA.

EQUIPO: SISTEMA DE COMBUSTIBLE

OBJETIVO GENERAL

REDUCIR LA PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE FALLO DEL SISTEMA DE COMBUSTIBLE DE LOS MOTORES WARTSILA EN LA PLANTA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA DE LA EMPRESA AGIP OIL ECUADOR.

OBJETIVO ESPECIFICO

Desarrollar la propuesta de reingeniería presentada en la tesis titulada “ANÁLISIS DE FIABILIDAD DEL SISTEMA DE COMBUSTIBLE DE LOS MOTORES WARTSILA PARA DISMINUIR LA PROBABILIDAD DE FALLO EN LA PLANTA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA DE LA EMPRESA AGIP OIL ECUADOR.”

PLAN DE MEJORAMIENTO PARA EL SISTEMA DE COMBUSTIBLE DE LOS MOTORES WARTSILA EN LA PLANTA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA DE LA EMPRESA AGIP OIL ECUADOR.

AREA	HALLAZGO	ACTIVIDAD A REALIZAR	TIEMPO DE EJECUCION	RESPONSABLE	OBSERVACIONES
Planta de generación eléctrica.	Probabilidad de ocurrencia de fallo separadora de crudo número uno 23.93%.	Aplicar de manera efectiva el mantenimiento predictivo realizando nuevas rutas y frecuencia de toma de medición.	Por establecer.		
	Probabilidad de ocurrencia de fallo separadora de crudo número tres 54.91%.	Aplicar de manera efectiva el mantenimiento predictivo realizando nuevas rutas y frecuencia de toma de medición.	Por establecer.		
	Probabilidad de ocurrencia de fallo separadora de crudo número uno 24.15%.	Aplicar de manera efectiva el mantenimiento predictivo realizando nuevas rutas y frecuencia de toma de medición.	Por establecer.		
	Probabilidad de ocurrencia de fallo unidad booster numero uno 66.66%.	Realizar la reingeniería del sistema de combustible, para equilibrar la carga en las unidades booster.	Por establecer.		
	Probabilidad de ocurrencia de fallo unidad booster numero dos 33.33%.	Aplicar de manera efectiva el mantenimiento predictivo realizando nuevas rutas y frecuencia de toma de medición.	Por establecer.		

Anexo F: Plan de mejoramiento para el sistema de combustible de los motores wartsila en la planta de generación eléctrica de la empresa Agip Oil Ecuador.