



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE SEPARACIÓN CENTRÍFUGA ENTRE
SEPARADORAS DE MARCAS ALFA LAVAL Y WESTFALIA UTILIZADAS EN
LA PURIFICACIÓN DEL ACEITE LUBRICANTE

Víctor Gustavo Valenzuela Muñoz
Asesorado por David José Noriega Guzzardi

Guatemala, julio de 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE SEPARACIÓN CENTRÍFUGA ENTRE
SEPARADORAS DE MARCAS ALFA LAVAL Y WESTFALIA UTILIZADAS
EN LA PURIFICACIÓN DEL ACEITE LUBRICANTE**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA

FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

VÍCTOR GUSTAVO VALENZUELA MUÑOZ

ASESORADO POR DAVID JOSÉ NORIEGA GUZZARDI

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, JULIO DE 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO:	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Alvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO:	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda
EXAMINADOR	Ing. Fredy Mauricio Monroy Peralta
EXAMINADOR	Ing. Carlos Enrique Sanabria Solchaga
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE SEPARACIÓN CENTRÍFUGA ENTRE
SEPARADORAS DE MARCAS ALFA LAVAL Y WESTFALIA UTILIZADAS
EN LA PURIFICACIÓN DEL ACEITE LUBRICANTE**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 9 de febrero de 2004.

Víctor Gustavo Valenzuela Muñoz

ACTO QUE DEDICO A

Dios

Mis padres

Mi hermano

Mi esposa

Mi hijo

Mi familia

AGRADECIMIENTO A

DIOS	Porque me permitió concluir este trabajo, brindándome paciencia y voluntad.
MIS PADRES	Por su vocación y sacrificio.
MI HERMANO	Por el apoyo brindado.
MI ESPOSA	Por todo el amor y comprensión que me brindó.
MI HIJO	Ya que el fue y será mi combustible para seguir siempre hacia delante.
MI FAMILIA	A mis abuelitas Julita y Hercilia, tíos, tías y primos.
MI ASESOR	David Noriega, por su ayuda y amistad.
LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA	En especial a la Facultad de Ingeniería, por haberme permitido mi formación profesional.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	III
GLOSARIO	V
RESUMEN	VII
OBJETIVOS	IX
INTRODUCCIÓN	XI
1. GENERALIDADES	1
1.1 Descripción de la empresa	1
1.2 Descripción de las áreas en los distintos procesos de las plantas generadoras	2
1.2.1 Área de combustible	2
1.2.2 Área de aceite lubricante	6
1.2.3 Área de agua de enfriamiento	9
1.3 Descripción general del proceso de generación dentro de la empresa	12
2. SEPARADORA CENTRÍFUGA MARCA ALFA LAVAL	13
2.1 Funcionamiento general	13
2.1.1 Densidad	16
2.1.2 Viscosidad	17
2.1.3 Temperatura	18
2.2 Partes y equipo auxiliar	19
2.3 Instalación de la separadora centrífuga en el sistema de lubricación	26
2.4 Cantidad de caudal procesado y capacidad de autolimpieza	27
2.5 Estudio de costos de operación	31

2.6	Análisis de eficiencia y rendimiento	35
2.7	Mantenimiento	37
3.	SEPARADORA CENTRÍFUGA MARCA WESTFALIA	39
3.1	Funcionamiento general	39
3.2	Partes y equipo auxiliar	41
3.3	Instalación de la separadora centrífuga en el sistema de lubricación	50
3.4	Cantidad de caudal procesado y capacidad de autolimpieza	52
3.5	Estudio de costos de operación	55
3.6	Análisis de eficiencia y rendimiento	58
3.7	Mantenimiento	60
4.	COMPARACIÓN ENTRE SEPARADORAS	63
	CONCLUSIONES	69
	RECOMENDACIONES	71
	BIBLIOGRAFÍA	73

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Esquema del circuito del combustible	5
2	Esquema del circuito del lubricante	8
3	Esquema del circuito del agua de enfriamiento	9
4	Sedimentación por gravedad	13
5	Sedimentación en el tazón de la separadora	14
6	Separación centrífuga	15
7	Baja densidad con alta temperatura	16
8	Alta viscosidad con baja temperatura	17
9	Diseño de la separadora	19
10	Transmisión mecánica	21
11	Freno del separador	21
12	Componentes del sistema de centrifugación	22
13	Limpieza del aceite durante el proceso productivo	26
14	Función de separación	28
15	Cuerpo del tazón	29
16	Programa de mantenimiento periódico	38
17	Fuerza centrífuga	39
18	Componentes de la separadora centrífuga	41
19	Tambor	43
20	Hidráulica del tambor	44
21	Rodete centrípeto	45
22	Disco del rodete centrípeto	46

23	Accionamiento	47
24	Bloque de electroválvulas	48
25	Electroválvulas	49
26	Presostato	49
27	Separadora centrífuga para tratamiento de aceite lubricante	50
28	Mantenimiento preventivo y correctivo	60

TABLAS

I	Tiempos de descarga de la separadora alfa laval	29
II	Costos del lubricante de la separadora alfa laval	32
III	Costos de mantenimiento de la separadora alfa laval	33
IV	Costos de la operación total de la separadora alfa laval	34
V	Tiempos de descarga de la separadora westfalia	54
VI	Costos del lubricante de la separadora westfalia	55
VII	Costos de mantenimiento de la separadora westfalia	56
VIII	Costos de la operación total de la separadora westfalia	57
IX	Costos de insumos para la separadora alfa laval	64
X	Costos de insumos para la separadora wesfalia	65

GLOSARIO

Búnker	Combustible muy viscoso o semisólido a temperatura normal.
Caneca	Recipiente que sirve como medida de capacidad para los líquidos, equivalente a 19 lts.
Centrifugación	Es un procedimiento que utiliza la fuerza centrífuga para obtener un fin determinado.
CIP	Es un procedimiento de limpieza que requiere de la utilización de un agente químico. Por sus siglas en ingles <i>Cleaning In Place</i> .
Clarificación	Es el proceso que consiste en limpiar o aclarar el aceite lubricante, el cual está en estado turbio, denso o espeso.
Combustión	Es la combinación del oxígeno con una materia combustible.
Decantación	Es la separación de un líquido y un sólido o de dos líquidos no miscibles aprovechando la gravedad.
Evaporación	Es la transformación de un líquido al estado gaseoso a cualquier temperatura.

Lubricación	Operación que tiene por objeto anular o disminuir la resistencia debida al rozamiento que existe entre dos superficies en contacto.
Purificación	Proceso que consiste en eliminar las impurezas presentes en el aceite lubricante.
Refrigeración	Es la remoción de calor (enfriamiento) de una sustancia, para llevarla y mantenerla a una temperatura relativamente baja.
Sedimentación	Es la separación de los componentes de una suspensión por acción de la gravedad.

RESUMEN

La separación centrífuga del aceite lubricante está basada simplemente en la aceleración del proceso de decantación, sustituyendo la fuerza de la gravedad por la fuerza centrífuga. La fuerza centrífuga provoca una rotación a alta velocidad, logrando separar los sólidos e impurezas del aceite lubricante en unos segundos, lo que se tardaría muchas horas en un tanque bajo la influencia de la gravedad.

La separadora centrífuga puede procesar un elevado caudal de fluido a separar comparado con el propio tamaño de la máquina. Para el proceso de separación, debemos considerar qué tan denso y viscoso es el aceite lubricante, la temperatura tiene un efecto sobre la densidad y viscosidad del aceite y sobre la densidad del agua presente en el mismo; entonces, por calentamiento del aceite podemos reducir su densidad a un límite inferior a la densidad del agua, y así obtener resultados óptimos y requeridos por la máquina.

En el proceso de separación centrífuga se limpia solo una parte del aceite contaminado, este grado de limpieza es suficiente para mantener el total del aceite en el sistema por debajo de los límites de contaminación aceptables, pues además de ser eficiente, resulta totalmente independiente del proceso productivo, por lo que la parada del sistema centrífugo no implica una parada del proceso en sí. La utilización de la separación centrífuga prolonga la vida del aceite lubricante, reduce las paradas por mantenimiento y minimiza los costos de operación.

OBJETIVOS

- **General**

Realizar un estudio para comparar el sistema de separación centrífuga entre separadoras de marcas Alfa Laval y Westfalia utilizadas para la purificación del aceite lubricante de un motor marino utilizado para la generación de energía eléctrica de la planta Generadora del Sur, S.A.

- **Específicos**

1. Obtener la eficiencia y rendimiento de los dos tipos de separadoras centrífugas tanto Alfa Laval como Westfalia.
2. Medir la capacidad de autolimpieza de ambas separadoras centrífugas.
3. Establecer con cual de los dos procedimientos alternativos de limpieza del aceite lubricante (en línea o en *by-pass*), trabajan durante el proceso productivo la separadoras centrífugas.
4. Enumerar los componentes de las separadoras centrífugas Alfa Laval y Westfalia, como también las partes que las conforman.
5. Definir cómo debe instalarse una separadora centrífuga en el sistema para obtener los mejores resultados.
6. Conocer el tipo de mantenimiento utilizado en cada una de las separadoras centrífugas.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la necesidad de mantener limpios los aceites usados en los distintos procesos industriales es algo absolutamente evidente. Las razones para ello son muchas, desde el ahorro en nuevos aceites hasta la minimización de vertidos, con las correspondientes ventajas económicas y medioambientales, sin olvidar los ahorros derivados de las limpiezas de tanques, horas de parada, etc. La pregunta clave es: ¿cuál es la forma más eficiente de limpiar los aceites?. En este trabajo se defiende la utilización de la separación centrífuga, en la que se eliminan continuamente de los aceites tanto las partículas sólidas como el agua presente, gracias a la fuerza centrífuga, y debido a la diferencia de densidades de las tres fases presentes en el fluido.

Consciente tanto de la necesidad de disponer de procesos productivos eficientes como de minimizar residuos y reciclar hasta el máximo posible los aceites usados, se ha desarrollado una gama completa de separadoras centrífugas específicamente diseñadas para el tratamiento de aceites.

Este trabajo pretende hacer una comparación en el funcionamiento de las separadoras centrífugas de marca Alfa Laval y Westfalia, para demostrar las ventajas que brindan en todos los aspectos en que éstas son más funcionales, es como también una comparación de los gastos tanto de operación como de mantenimiento y encontrar la manera más eficiente de purificación del aceite lubricante, el cual es utilizado en un motor marino para la generación de energía eléctrica, en la planta Generadora del Sur, S.A.

1. GENERALIDADES

1.1 Descripción de la empresa

La industria de textiles Liztex S.A., es una empresa que se dedica a la fabricación de tejidos, los cuales son destinados a la venta tanto al mercado guatemalteco como al extranjero. Entre las distintas actividades de la empresa se encuentra la generación de energía eléctrica, la cual tiene como propósito abastecer los procesos de producción así como el abastecimiento de energía eléctrica de fábricas aledañas y está conectada al sistema nacional.

Las distintas actividades desarrolladas dentro de la planta generadora son supervisadas por un grupo de ingenieros y personal de operación y mantenimiento, dedicados a mantener el funcionamiento de los distintos equipos lo más eficiente posible. Además, se cuenta con el apoyo de un grupo de técnicos especializados que prestan asesoría y mantenimiento a las plantas generadoras.

1.2 Descripción de las áreas en los distintos procesos de las plantas generadoras

1.2.1 Área de combustible

Cabe recalcar que para objetivos de este estudio, es importante que el sistema de tratamiento de combustible esté bajo una supervisión continua y sobre todo que el combustible se entregue con las especificaciones de calidad requeridas por el fabricante, para garantizar su óptimo funcionamiento. El combustible utilizado para el funcionamiento de los motores juega un papel muy importante, por tal motivo el debe cumplir las especificaciones de calidad, tales especificaciones son Diesel ISO 8217, el cual es utilizado para obtener un arranque eficaz. Luego, ya puesto en marcha el motor, se utiliza otro combustible por motivo de economía, ya que toda empresa lo que busca es producir más al menor costo, tal combustible es bunker C número 6, por esta razón es absolutamente imprescindible para un servicio económico, el tratamiento óptimo del combustible y una consecuente vigilancia de la instalación.

Para el tratamiento del combustible se debe tener presente que las impurezas presentes son sustancias dañinas para el motor. Las impurezas del combustible son las siguientes:

- a) Agua, la mayoría de combustibles contiene menos de 0.2% de agua, el ISO 8217 contiene menos de 0.5% de agua. El agua puede introducirse en la tubería de suministro de combustible de varias maneras, como por ejemplo, la condensación del tanque, goteo del tanque o contaminación incontrolada.

El agua excesiva representa una pérdida de energía específica y además dañará el equipo de inyección, válvulas y causará corrosión.

- b) El azufre es un elemento natural que se encuentra presente en el combustible y se concentra durante el proceso de destilación del aceite crudo. La cantidad de azufre en el combustible depende principalmente de la fuente del crudo y en menor grado en el proceso de refinamiento. Típicamente, para el combustible la cantidad de azufre está en el orden de 2-4% m/m. , el nivel de azufre tiene un efecto principal en la energía específica del combustible, la presencia de azufre en el combustible puede dar lugar a la corrosión, lo cual puede minimizarse usando un lubricante alcalino para reducir la acidez. Tanto el azufre como el agua son agentes corrosivos y por consiguiente dañan los equipos y las propiedades del aceite lubricante, reduciendo su vida útil.

- c) La ceniza es otro contaminante presente en el combustible que influye en el comportamiento del aceite lubricante, la cantidad de ceniza se relaciona principalmente con el material inorgánico del aceite crudo. El contenido de ceniza depende de tres factores, en primer lugar el material inorgánico natural presente en el crudo, en segundo lugar los procesos de refinación empleados, y en tercer lugar, la contaminación subsecuente debido al grado de arena y de suciedad. El nivel de ceniza de los combustibles producidos en el destilado es básicamente insignificante, la mayor cantidad de componentes formadores de cenizas se concentran principalmente durante el proceso de refinación del crudo. El vanadio y otros materiales tales como silicio, aluminio, níquel, sodio y hierro son los componentes que forman estas cenizas. Típicamente, el contenido de ceniza está en el orden de 0,03-0,07% m/m. El vanadio y sodio combinados a niveles altos de temperatura pueden producir corrosión a válvulas y componentes del turbocargador.

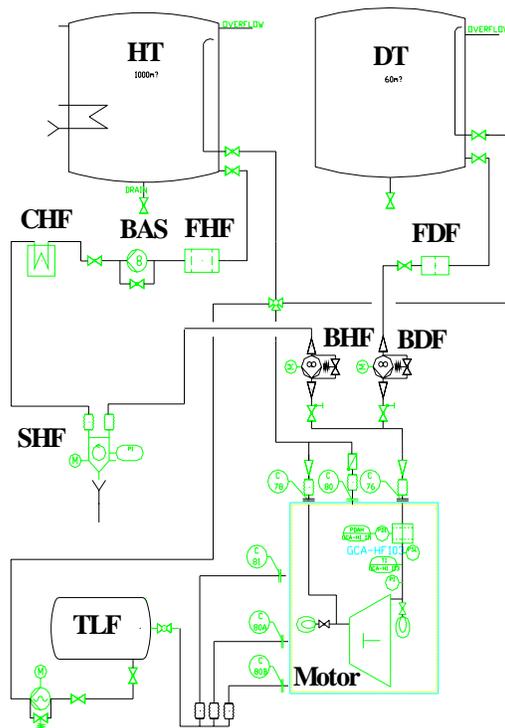
d) El residuo de carbón es otro contaminante presente en el aceite lubricante, ya que el combustible tiene la tendencia a formar depósitos de carbón bajo condiciones de alta temperatura en una atmósfera inerte. La cantidad de residuos de carbón son considerados únicamente para dar una indicación aproximada de la combustibilidad y de la tendencia a la formación de depósitos del combustible. La tendencia a la formación de residuos de carbón de un combustible depende de los procesos de la refinería empleados en su fabricación. Para los combustibles normales, el valor típico es de 10-12% m/m, mientras que para los combustibles derivados de la conversión secundaria del proceso de refinación el valor depende de la severidad del proceso secundario aplicado. Sobre una base global, éste es típicamente 15-16% m/m pero en algunos casos puede ser tan alto como el 20% m/m.

Básicamente el combustible depende de su estabilidad, o sea, el combustible tiene que permanecer en una condición inalterada a pesar de circunstancias que pueden tender a causar el cambio, esto es de suma importancia, ya que si un combustible es inestable, la tendencia a formar depósitos de lodo por el alto contenido de impurezas se incrementaría en función del tiempo y/o temperatura.

El circuito de combustible es el encargado de llevarlo desde los tanques de almacenamiento hasta el motor. Para el combustible liviano (Diesel), la absorción de este tipo de combustible empieza en el tanque (DT), pasando por un filtro de suciedad (FDF) el cual remueve partículas no deseables contenidas en el combustible, llegando hasta la bomba de presión (BDF) donde se le imparte presión para que éste pueda llegar hasta el motor. Cuando el motor ya está en marcha, el combustible pesado que está almacenado en el tanque (HT) es previamente purificado por una separadora centrífuga (SHF), la cual es alimentada por una bomba de presión (BAS), pasando por un filtro de suciedad (FHF) en donde se eliminan cierta cantidad de sólidos, luego el combustible es conducido hacia un calentador (CHF) utilizado para modificar la viscosidad del combustible pesado, facilitando así su fluidez y atomización previa a la combustión.

La fluidez del combustible depende del funcionamiento y eficiencia de la bomba de presión (BHF), la cual conduce el combustible hasta el motor. Durante el trayecto del combustible y está en el motor, se producen pérdidas en la cantidad de combustible por medio de fugas, las cuales son almacenadas en un tanque (TLF) para luego ser conducidas hasta los tanques de almacenamiento de combustible, en donde es aprovechado y utilizado nuevamente por el sistema. El circuito del combustible anteriormente descrito se muestra en la siguiente figura.

Figura 1. Esquema del circuito del combustible



Fuente: MAK/Caterpillar (planos), **Sistema del combustible.** Pag. 1/1

1.2.2 Área de aceite lubricante

Dentro del proceso de generación de energía eléctrica, la utilización de combustibles pesados genera cierta cantidad de contaminantes que afectan al motor, lo cual puede conducir generalmente a fallos del mismo. Por esta razón es importante el cuidado del aceite lubricante en servicio, para conseguir un servicio del motor libre de averías y paros innecesarios. El aceite lubricante utilizado en los motores marinos de la planta Generadora del Sur, viene estipulado por parte de la compañía MAK/Caterpillar, la cual señala que el aceite debe tener una especificación SAE 40, lo que garantiza una operación eficiente y costos reducidos en operación y mantenimiento, y minimiza los paros innecesarios de maquinaria.

El aceite lubricante cumple con una serie de tareas importantes en el servicio del motor como por ejemplo

- Eliminar los rozamientos metálicos y sustituir con la película del lubricante, el rozamiento líquido.
- Proteger las piezas del motor de corrosiones y de los gases de la combustión.
- Eliminar el calor del rozamiento.
- Conseguir una función refrigerante.
- La obturación entre pistón, aros del pistón y camisa limitando las fugas de gases de la combustión.
- Mantener en suspensión los residuos de la combustión y productos envejecedores.

Para el mantenimiento del aceite lubricante se dispone de un dispositivo mecánico llamado separadora centrífuga, el cual tiene como propósito la limpieza del lubricante, ya que de ninguna otra manera se pueden separar los productos presentes como cenizas y residuos de carbón, así como el agua existente en el aceite lubricante.

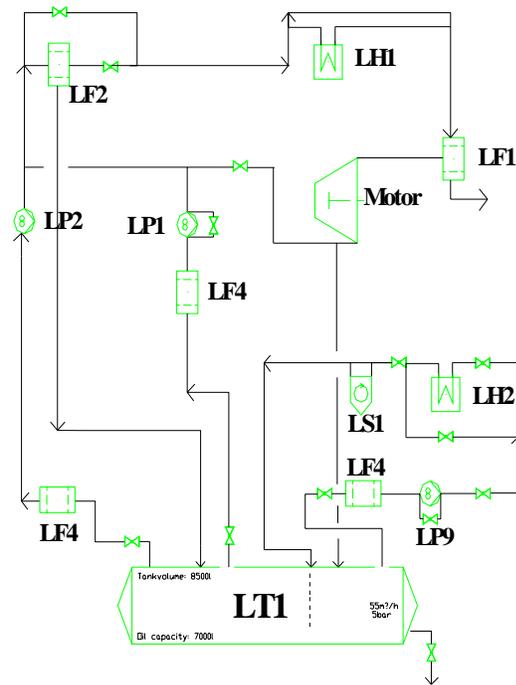
Uno de los parámetros más importantes en la limpieza del aceite lubricante es la contaminación de agua, ya que ésta puede causar problemas de distintos tipos al aceite lubricante. Aunque siempre se asocia directamente a la corrosión, el agua puede reducir la cantidad de lubricación y provocar su degradación.

Otro de los parámetros de estudio es la contaminación de sólidos no disueltos, los cuales vienen principalmente de los productos de la combustión, la ceniza de combustible, el carbono y una contribución pequeña de productos de oxidación del aceite lubricante y del aditivo lubricante gastado, esto afectará al aceite lubricante tanto en la capacidad de mantener en suspensión cierta cantidad de hollín y productos de la combustión así como su grado de neutralización. El circuito de lubricación mostrado en la figura 2, es el encargado de llevar el aceite lubricante del depósito (LT1) hacia el motor.

El aceite lubricante que se encuentra en el depósito, es continuamente purificado por una separadora centrífuga (LS1), la cual absorbe el lubricante por medio de una bomba de alimentación (LP9) a través de un filtro de suciedad o de tamiz (LF4), luego el lubricante es conducido hacia un calentador (LH2), debido a que la separadora centrífuga debe alimentarse con producto a una temperatura alrededor de 90 a 98 °C para incrementar su eficiencia, al reducir la viscosidad del aceite y ayudar a romper las emulsiones, el lubricante retorna hacia el depósito nuevamente y el proceso se repite continuamente.

Este sistema está básicamente constituido por, la bomba de presión (LP1) instalada en el motor, que tiene como función absorber el lubricante del deposito a través de un filtro de suciedad y lo presiona hacia el filtro automático (LF2). A través de la conexión posterior del radiador del lubricante (LH1), es presionado el lubricante hacia el filtro doble del lubricante (LF1) y hacia la válvula de limitación de presión, de allí es dirigido hacia cada punto del motor donde se requiere lubricación.

Figura 2. Esquema del circuito del lubricante



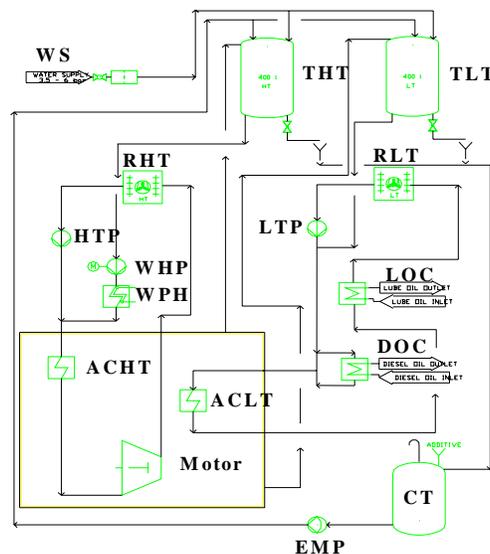
Fuente: MAK/Caterpillar (planos), **Sistema del aceite lubricante**. Pag. 1/1

1.2.3 Área de agua de enfriamiento

El agua de enfriamiento del sistema trabaja en un circuito de agua de refrigeración cerrado con un volumen de circulación que debe de permanecer constante, dependiendo de las pérdidas por evaporación. Existen diferentes clases de aguas en el sistema de enfriamiento, como lo son: agua de enfriamiento del circuito de alta temperatura, agua de enfriamiento del circuito de baja temperatura, agua suave del sistema y agua dura del sistema.

Para el proceso del agua de refrigeración se deberá utilizar siempre agua clara y limpia, o sea, agua natural (pozos, fuentes), condensado y agua totalmente desalinizada (eliminar el contenido de sal). El circuito del agua de enfriamiento mostrado en la figura 3, es el encargado de llevar el agua desde el suministro hacia todas las partes del proceso que requieran enfriamiento.

Figura 3. Esquema del circuito del agua de enfriamiento



Fuente: MAK/Caterpillar (planos), **Sistema del agua de enfriamiento**. Pag. 1/1

El agua es suministrada (WS) hacia los tanques de almacenamiento del circuito de enfriamiento de alta (THT) y de baja temperatura (TLT). El agua del tanque de alta temperatura es absorbida por la bomba del precalentador (WHP) hacia el calentador de agua (WPH), en donde es calentada hasta una temperatura promedio, para que no se produzca un enfriamiento brusco y así evitar alguna falla en la maquinaria. Luego el agua es circulada hacia el enfriador del aire de carga (ACHT), en donde enfría el aire que sale del turbocompresor, el cual es utilizado en el proceso de la combustión.

Toda el agua que está presente en el sistema de alta temperatura es circulada hacia los radiadores (RHT) por la bomba de agua (HTP), estos radiadores enfrían el agua para luego ser llevada nuevamente hacia el tanque de alta temperatura. El agua del circuito de enfriamiento de alta temperatura tiene como función refrigerar las partes críticas del motor en donde se producen las más altas temperaturas, como por ejemplo el turbocompresor.

El agua del tanque de baja temperatura es circulada hacia el enfriador del combustible (DOC), en donde el combustible adquiere la temperatura promedio para su uso posteriormente. Luego el agua es llevada hacia el enfriador del aire de carga de baja temperatura (ACLT), para proporcionar al aire la temperatura requerida por el proceso de combustión. Después, el agua es absorbida por la bomba (LTP), la cual es dirigida hacia el enfriador del aceite lubricante (LOC) y luego hacia los radiadores del agua de baja temperatura (RLT), en donde es enfriada para luego ser recirculada en el sistema, pasando nuevamente por el tanque de baja temperatura.

El agua de enfriamiento de baja temperatura tiene como función enfriar las partes del motor donde la temperatura no es tan alta, como por ejemplo, el enfriador de combustible y el enfriador del aceite lubricante. Durante el proceso de circulación del agua, tanto en el sistema de alta temperatura cómo en el sistema de baja temperatura, se producen sustancias no deseadas, tal es el caso de los lodos, los cuales son purgados y conducidos hacia un tanque colector (CT) donde son almacenados para luego ser desechados fuera de la planta.

1.3 Descripción general del proceso de generación dentro de la empresa

La planta Generadora del Sur, genera energía eléctrica utilizando para ello motores marinos de marca mak/caterpillar acoplados a un generador, el cual está conectado a un transformador. La planta generadora cuenta con tres plantas de generación, la planta 1 consta de 4 motores los cuales individualmente producen hasta 5 MW de potencia y en conjunto tiene una capacidad de producción de 20 MW de potencia. La planta 2 consta de 5 motores, produciendo 2 de ellos hasta 5 MW de potencia y los 3 restantes produciendo individualmente 7.5 MW de potencia, con una producción total de 32.5 MW. Y por último la planta 3 consta de 2 motores produciendo cada uno de ellos 7.5 MW. Por lo tanto, la producción total de energía eléctrica destinada a la distribución y venta es de 67.5 MW de potencia.

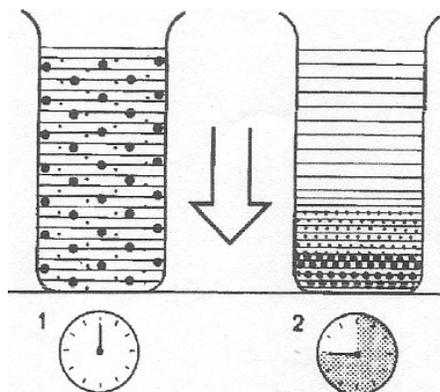
Toda la energía eléctrica generada por la planta Generadora del Sur es de baja tensión por razones de seguridad. Para efectuar una transmisión a larga distancia con pérdidas mínimas y más economía, se hace necesaria la elevación de la tensión. Los transformadores sirven justamente para elevar la tensión de la corriente eléctrica producida en los generadores transmitiéndola económicamente a través de conductores de diámetros pequeños y bajar la tensión en la zona de consumo. La distribución de la corriente eléctrica en la planta generadora se da en dos parámetros, 69 KV y 13.2 KV de potencia generada. Los transformadores utilizados no poseen piezas móviles, están básicamente constituidos por un núcleo de hierros laminados con dos enrollamientos de hilo en forma de bobinas denominados primario y secundario. La corriente eléctrica alterna que circula en el primario genera un campo magnético que induce en el secundario una corriente eléctrica de voltaje transformado. La disminución o elevación de la tensión en los transformadores depende del número de espiras existentes en los núcleos primario y secundario.

2. SEPARADORA CENTRÍFUGA MARCA ALFA LAVAL

2.1 Funcionamiento general

La utilización de la fuerza centrífuga para la separación de dos o tres fases (líquido/líquido, líquido/sólido o líquido/líquido/sólido) está basada simplemente en la aceleración del proceso de decantación, sustituyendo la fuerza de la gravedad por la fuerza centrífuga. En un tanque de decantación se produce por la simple acción de la fuerza de la gravedad la separación entre partículas que tienen distinta densidad. Sin necesidad de filtros, cartuchos, ni ningún otro tipo de elemento, las partículas más pesadas (los sólidos) se depositan en el fondo del tanque. Si además existen dos líquidos no miscibles y de diferentes densidades, el más pesado se sitúa en la parte inferior, mientras que el más ligero tiende hacia la superficie. Lógicamente, el problema de la sedimentación es el tiempo que esto tarda en producirse, por lo que no resulta operativo para procesos continuos.

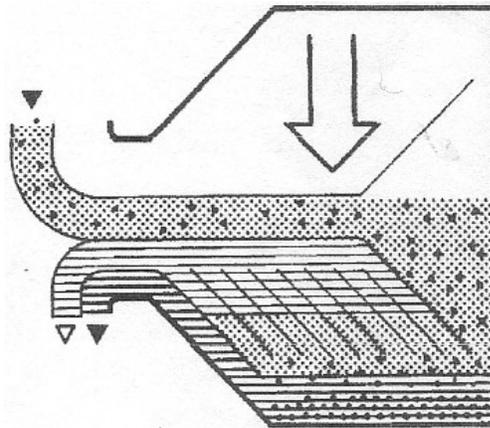
Figura 4. Sedimentación por gravedad



Fuente: Alfa Laval (manual), **Principios básicos de separación**. Pag. 16

Cuando el aceite se encuentra en un recipiente cerrado, como el caso del tazón de la separadora de aceite Alfa Laval, las partículas pesadas del aceite se hunden y se depositan en el fondo del tazón bajo la influencia de la gravedad, estas partículas pesadas formarán una capa de sedimento en el fondo del tanque, por lo que la concentración de sedimento en el fondo de la separadora debe de ser desechada por medio del purgado periódico.

Figura 5. Sedimentación en el tazón de la separadora

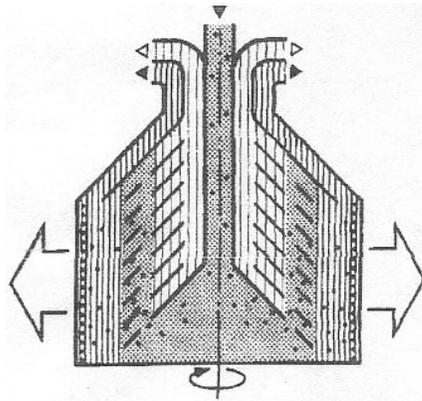


Fuente: Alfa Laval (manual), **Principios básicos de separación**. Pag. 16

Es por tanto necesario acelerar la operación. Para ello, hay una solución sencilla: sustituir la fuerza de la gravedad por la fuerza centrífuga que provoca una rotación a alta velocidad. En la separadora centrífuga, el tazón gira a gran velocidad, lo cual hace que la fuerza de gravedad sea reemplazada por la fuerza centrífuga ya que esta fuerza es mucho mayor que la fuerza de gravedad. La separación y sedimentación es continua y pasa muy rápidamente. La fuerza centrífuga en el tazón de la separadora logra en unos segundos lo que se tardaría muchas horas en un tanque bajo la influencia de la gravedad.

Esta separadora centrífuga consta de un paquete de discos, que es en realidad comparable con un tanque de sedimentación con bandejas intermedias para mejorar el rendimiento, y diseñado para girar alrededor de un eje. Si se compara con un tanque de sedimentación, la distancia de separación se reduce desde más de un metro hasta medio milímetro por el paquete de discos, mientras que la fuerza de separación es aumentada miles de veces por el efecto de la rotación.

Figura 6. Separación centrífuga



Fuente: Alfa Laval (manual), **Principios básicos de separación**. Pag. 16

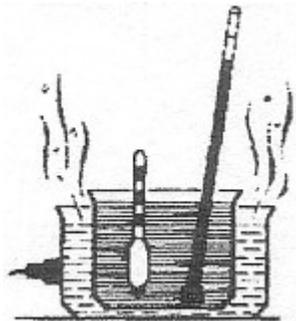
Este doble factor de incremento del rendimiento hace que el tiempo necesario para la separación de las tres fases se reduzca a segundos. Por ello, esta separadora centrífuga puede procesar un elevado caudal de fluido a separar comparada con el propio tamaño de la máquina. Además, es autolimpiante, o sea que, los sólidos se descargan del interior de la máquina a intervalos regulares, sin tener que interrumpir la alimentación, y mejorando por tanto aún más la eficiencia del proceso.

Durante el proceso de separación centrífuga se produce una fase intermedia, la cual separa el contenido de agua con el de aceite. Los parámetros que afectan la posición de la interfase son

2.1.1 Densidad

Si existe una gran diferencia de densidad entre dos líquidos, es más fácil la separación, esta diferencia de densidades puede aumentarse calentando el aceite. Si se considera un incremento en la densidad del aceite lubricante, éste moverá la interfase o fase intermedia hacia fuera en dirección de la tubería de descarga, y por consiguiente no habrá un incremento en el nivel del aceite. Y si ocurriera una disminución en la densidad del aceite lubricante, el aceite se vuelve liviano provocando que la interfase sea desplazada por el peso del agua hacia el paquete de discos, causando un aumento del nivel de aceite.

Figura 7. Baja densidad con alta temperatura

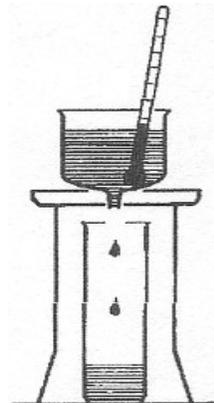


2.1.2 Viscosidad

El paquete de discos está diseñado de tal manera que queden lo más cerca posible (minimizando el recorrido de las partículas del aceite lubricante). Sin embargo, si el aceite lubricante es más espeso o más viscoso, la resistencia para moverse en la dirección requerida será mayor.

Grandes aumentos en la viscosidad pueden provocar cierto empuje sobre la interfase, causando la salida del aceite lubricante más allá del borde exterior del paquete de discos. Entonces el aceite es arrastrado hacia fuera por la toma de salida de agua, se dice entonces que el tazón del separador ha perdido su sello de agua. Recíprocamente una disminución en la viscosidad produce en la interfase, movimiento hacia dentro del paquete de discos, provocando un tipo de bloqueo internamente.

Figura 8. Alta viscosidad con baja temperatura



Fuente: Alfa laval (manual), **Principios básicos de separación**. Pag. 17

2.1.3 Temperatura

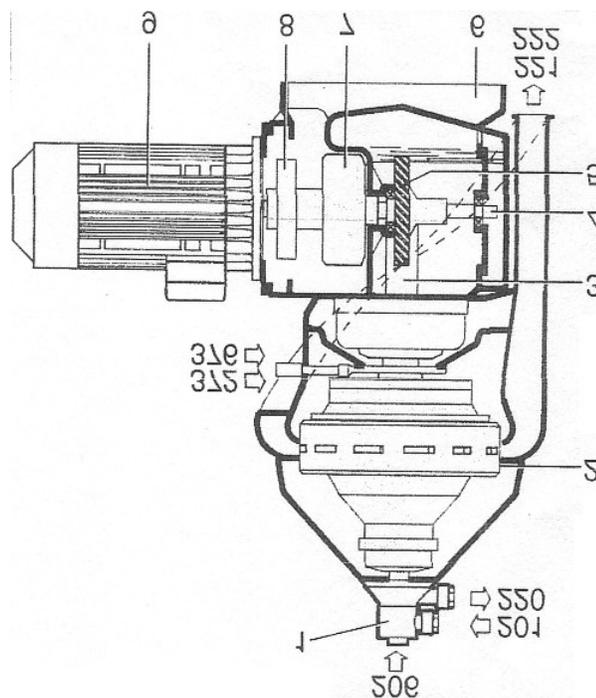
Para el proceso en una separadora centrífuga, se debe de considerar que tan denso y viscoso es el aceite lubricante, la temperatura tiene un efecto sobre la densidad y viscosidad del aceite y sobre la densidad del agua, entonces por calentamiento del aceite se puede reducir su densidad a un límite inferior a la densidad del agua, y así obtener los resultados óptimos y requeridos por la máquina.

En el proceso de separación se requiere que la temperatura del aceite lubricante sea alta, la temperatura promedio de separación se encuentra entre el rango de 90 – 98 °C, esto incrementa la capacidad de separación.

2.2 Partes y equipo auxiliar

El separador básicamente está constituido de una parte dedicada al tratamiento del aceite y otra es la parte motriz. La parte motriz es controlada o manejada por un motor eléctrico (9). Mecánicamente, la estructura de la maquina está delimitada por la parte superior, la cual está compuesta de una tapadera, y por la parte inferior, en la cual reposa la estructura. El motor es acoplado a la estructura como se muestra en la figura 9. Al pie de la estructura se coloca un tipo de aislador, el cual compensa la vibración producida por la máquina.

Figura 9. Diseño de la separadora

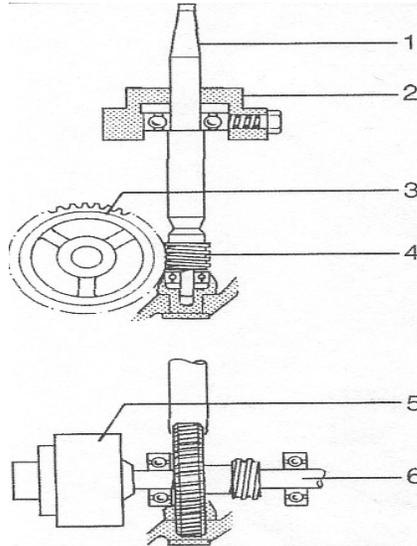


Fuente: Alfa Laval (manual), **Diseño y funcionamiento**. Pag. 18

La parte inferior del separador contiene el dispositivo motriz el cual está colocado horizontalmente (4), el eje motriz está acoplado por medio dos acoples (7.8) a un engranaje (5) y a un eje vertical (3). En la parte inferior reposa aceite, el cual sirve para lubricar el engranaje, el freno y un contador de revoluciones. Entre la estructura superior y la tapadera se encuentra ubicada la parte mecánica, la cual está destinada al proceso principal de la separadora, y a su vez están acopladas las tuberías de entrada y salida del aceite (1). El aceite es despojado de las partículas sólidas o sustancias no deseadas en el tazón del separador (2). Éste se encuentra sobre la parte superior del eje vertical y gira a altas velocidades dentro del espacio formado por la parte superior e inferior de la separadora. La carcasa está dotada de un mecanismo de descarga, el cual vacía el lodo producido dentro del tazón.

En la transmisión mecánica, el acoplamiento de fricción (5) asegura un arranque y una aceleración lenta, esto a su vez previene una sobrecarga por parte del engranaje y el motor. El engranaje aumenta la velocidad del tazón a una razón mayor comparada con la velocidad del motor. Para reducir el desgaste en el cojinete y la transmisión de vibraciones hacia la estructura y el cimiento, el cojinete de la parte superior del eje del tazón está montado en una cubierta provista de resortes (2), el cual aísla dichas vibraciones. El engranaje hace su recorrido en un baño de aceite lubricante. Los cojinetes colocados sobre el eje y el eje del engranaje (6) son lubricados por la salpicadura del aceite producida por la rotación del engranaje en sí. Lo anteriormente descrito se ilustra en la figura 10.

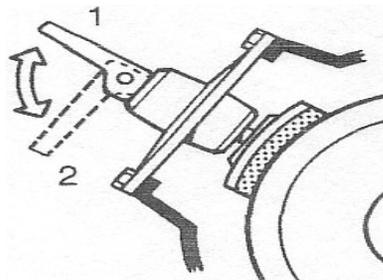
Figura 10. Transmisión mecánica



Fuente: Alfa Laval (manual), **Poder de transmisión mecánica**. Pag. 19

El separador está provisto de un freno el cual es usado para detenerlo. El uso del freno reduce el tiempo de retraso producido por el tazón y las velocidades críticas son reducidas rápidamente por el uso del mismo. El forro del freno actúa en la parte de afuera de la polea de acoplamiento.

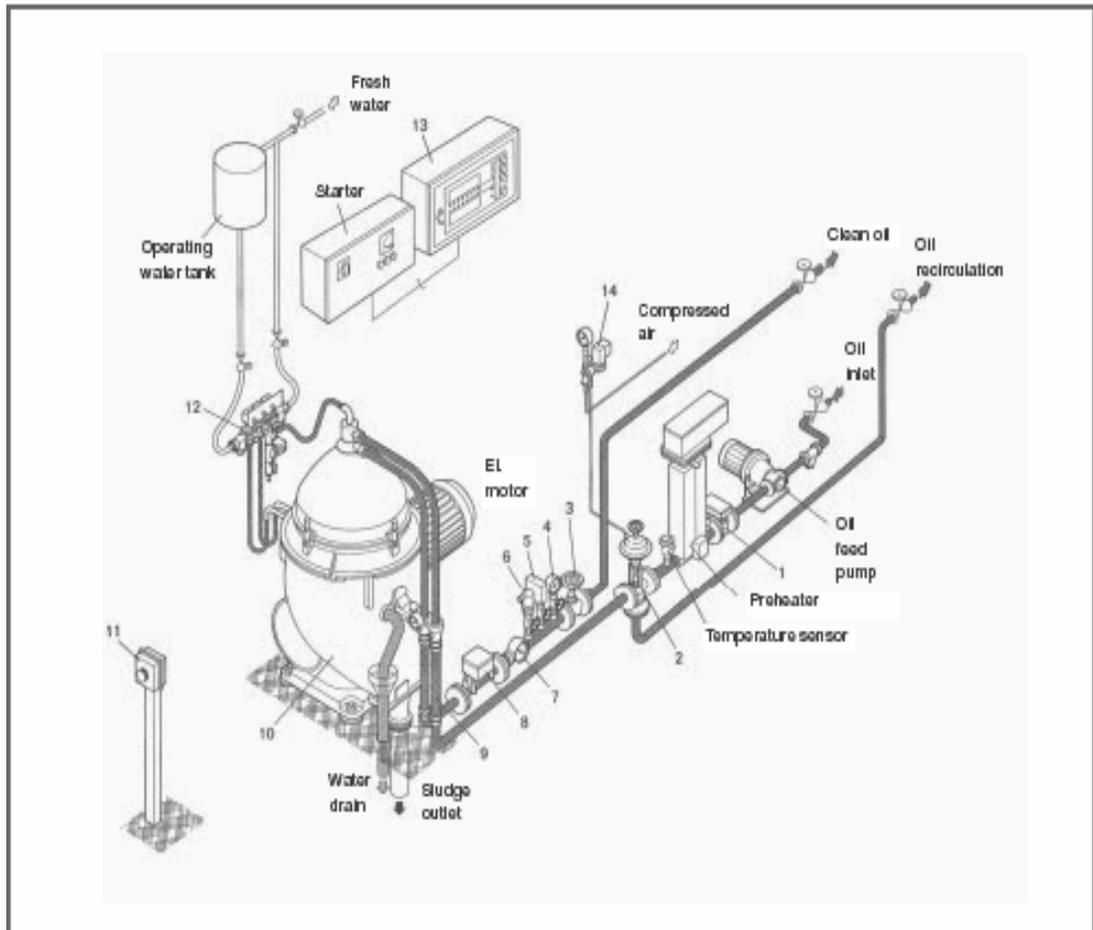
Figura 11. Freno del separador



Fuente: Alfa Laval (manual), **Aplicación del freno**. Pag. 19

El sistema de lubricación utilizado en la purificación del aceite lubricante, requiere de un sistema de separación especializado, este sistema es el separador LOPX (*Lube Oil PX*), el cual está diseñado para un funcionamiento automático. Básicamente los responsables que la purificación se realice automáticamente y lo más eficientemente posible, son sus componentes y el equipo auxiliar utilizado.

Figura 12. Componentes del sistema de centrifugación



Fuente: Fernando Arranz, **Separación industrial**, Alfa Laval, S.A.

Entre los componentes y equipo auxiliar del sistema de centrifugación, mostrado en la figura 12, se tiene:

- Interruptor de flujo (1).

Los interruptores de flujo, protegen al calentador de una disminución en el flujo de aceite. Esto sólo se usa para el calentador eléctrico de la Alfa Laval.

- Válvula de 3-vías (2).

La válvula de 3 vías es activada por aire o bien neumáticamente. Cuando activa, el eje de la válvula y el tapón se mueven hacia abajo, permitiendo el paso del aceite hacia el separador. Una de las funciones principales de esta válvula es recircular el aceite fuera del separador en caso de una situación anormal.

- Válvula reguladora (3).

Esta válvula se usa para regular la presión de la salida de corriente del aceite, facilitando la vigilancia de los interruptores de presión.

- Indicador de presión (4), interruptor de baja presión (5), de alta presión (6).

Bajo condiciones normales, el aceite limpio se bombea hacia afuera del separador por el conjunto de discos, dirigiéndose hacia la toma de salida, la cual se encuentra en la parte superior del separador.

La válvula reguladora de presión es usada para incrementar la presión sobre la presión atmosférica. Los interruptores de baja y alta presión se usan para interrumpir el flujo cuando haya una disminución o incremento en la presión del flujo.

- Indicador de flujo (7).

Es un indicador de flujo y no un metro de flujo. Le da la posibilidad al operador para ajustar y supervisar el flujo de aceite del separador.

- Transductor de agua (8).

Es el componente primario de sensores dentro del sistema de la Alfa Laval. Supervisa los cambios continuamente en el aceite previamente limpiado que deja al separador.

- Conexiones flexibles (9).

- Separador LOPX (10).

- Parada de emergencia (11).

Esta debe usarse en caso de vibraciones altas.

- Válvula solenoide de bloqueo de agua (12).

En la operación y el acondicionamiento del aceite lubricante se proporciona agua desde la válvula de bloqueo. El agua de operación se usa para abrir y cerrar el tazón del separador. Los solenoides son activados por el EPC-400.

- Unidad de control EPC-400 (13).

El EPC-400 es un micro procesador usado básicamente para el control, vigilancia y como una unidad de mando, para el separador. También posee una acción proporcional e integral (P/I), para controlar la temperatura del calentador.

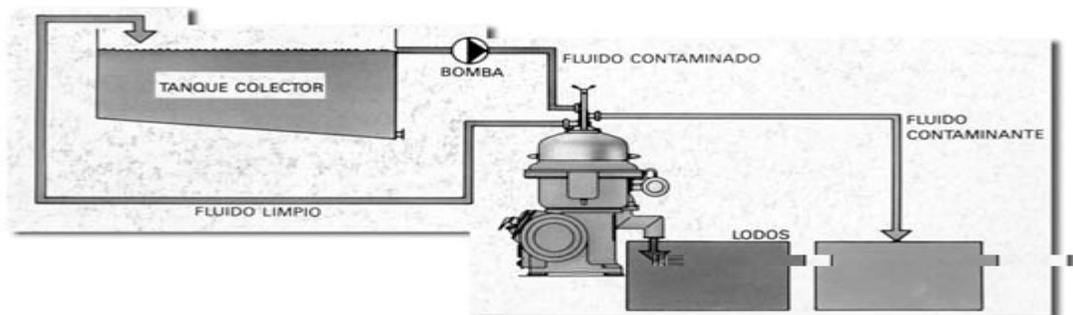
- Válvula solenoide de bloqueo de aire (14).

Estas válvulas cambian la dirección del aire, para activar la válvula de recirculación de aceite y la válvula de drenaje del agua.

2.3 Instalación de la separadora centrífuga en el sistema de lubricación

En el proceso de separación centrífuga existen dos procedimientos alternativos para ejecutar la limpieza del aceite lubricante durante el proceso productivo: el sistema en línea y el sistema en *by-pass*. En el primero de ellos, cada gota de aceite es sometida a limpieza antes de ser recirculada a la máquina a la que sirve. Este método sólo se usa en aplicaciones muy especiales, pues normalmente no es necesario que todas y cada una de las partículas de aceite sean sometidas a centrifugación antes de entrar en el circuito de la máquina. El segundo sistema, el cual es el que se utiliza en el proceso de generación en la planta Generadora del Sur, implica que sólo se limpia una parte del aceite sucio, pero este grado de limpieza es suficiente para mantener el total del aceite en el sistema por debajo de los límites de contaminación aceptables. El sistema en *by-pass* es el más usado pues además de ser eficiente resulta totalmente independiente del proceso productivo, por lo que la parada del sistema centrífugo (para limpieza, mantenimiento, etc.) no implica una parada del proceso en sí.

Figura 13. Limpieza del aceite durante el proceso productivo

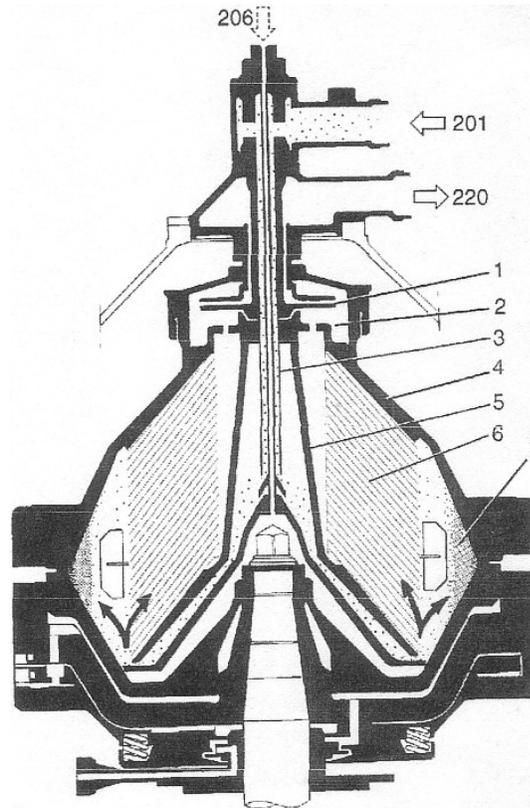


Fuente: Fernando Arranz, **Separación industrial**, Alfa Laval, S.A.

2.4 Cantidad de caudal procesado y capacidad de autolimpieza

La alimentación del aceite en el tazón es a través de la tubería de entrada (3) y se bombea en dirección del distribuidor (5) hacia la periferia del tazón. Cuando el aceite alcanza las ranuras en la base del distribuidor, subirá a través de los canales formados por el conjunto de discos (6) donde es uniformemente distribuido. El aceite se limpia continuamente conforme se desplaza hacia el centro del tazón. Cuando el aceite limpio sale del conjunto de discos, éste sube hacia la parte superior de dichos discos (4) y entra a la cámara que regula el flujo del aceite (2). De último se bombea el aceite hacia el disco regulador (1), el cual dirige el aceite hacia la toma de corriente o tubería de salida (220). El consumo de agua máximo por descarga es de 5 litros (206), el agua es la encargada de forzar los lodos y partículas sólidas hacia la periferia del tazón y son recolectados en el espacio destinado a los lodos (7), el cual está situado por fuera del conjunto de discos.

Figura 14. Función de separación



Fuente: Alfa Laval (manual), **Principio de separación**. Pag. 22

La separadora de aceite lubricante Alfa Laval tiene la designación PX, lo que significa que es una separadora que tiene la capacidad de autolimpieza, o sea, se producen descargas cada hora que duran unas milésimas de segundo. Es conveniente el uso de este tipo de separadoras cuando el contenido de sólidos producido en la alimentación del aceite lubricante excede el 10 % del volumen del caudal procesado, en donde la cantidad de caudal procesado por este tipo de separadora es de 2,350 litros por hora.

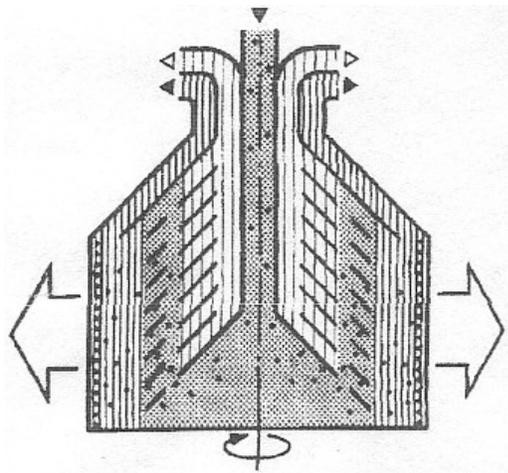
Tabla I. Tiempos de descarga de la separadora alfa laval

Producto	Descarga total	Descarga parcial
Aceite lubricante (LO)	3 h max. 5 h	1 h

Fuente: Fernando Arranz, **Separación industrial**, Alfa Laval, S.A.

La separadora autolimpiante tiene un número de puertos de descarga, los cuales se encuentran en el cuerpo del tazón. La capacidad del recinto de descarga para este tipo de separadora oscila entre 2.5 litros por descarga, en donde el contenido de descarga varía conforme el número de contaminantes presentes en el aceite lubricante.

Figura 15. Cuerpo del tazón



Fuente: Alfa Laval (manual), **Mecanismo de operación**. Pag. 27

Para la determinación por cálculo del contenido de sólidos de centrifugación, se tiene:

Datos

Contenido de sólidos	P= ?
Capacidad del recinto de sólidos	V= 2.5 L
Recinto de sólidos lleno un 75%	V´= 1.88 L
Caudal de alimentación	V*= 2350 l/h
Tiempo de centrifugación	t= 1 h

El contenido de sólidos eliminados se calcula como sigue:

$$P = \frac{V'}{V^* \times t} * 100 = \frac{1.88 \text{ L}}{2350 \text{ l/h} \times 1 \text{ h}} * 100 = 0.08 \%$$

Entonces el contenido de sólidos eliminados por la centrifuga de marca Alfa Laval es de 0.08 % de la capacidad total del recinto de sólidos, lo que quiere decir que se eliminan 2 mililitros por hora (0.002 litros por hora).

2.5 Estudio de costos de operación

En el proceso de actualización de costos de operación para el proceso de separación centrífuga del aceite lubricante en la planta Generadora del Sur, se implementó una metodología de recolección de datos y procesamiento de información de tal manera que se creen las condiciones técnicas que permitan, emitir información de utilidad práctica para la planta generadora.

Como resultado de la toma de información se recopilaron datos relacionados con los precios de cada uno de los insumos que implican costo durante la operación del sistema de centrifugación Alfa Laval, los cuales se procesan por cada insumo, y obtener así valores representativos, lo que constituye el punto de partida para el cálculo de los indicadores de costo, teniendo en cuenta el rendimiento y los parámetros en operación normal.

En el desarrollo y mantenimiento de la estructura de costos de operación es importante ajustar cuando se requiera los parámetros de medición en las variables que componen la estructura. En esta oportunidad se realizan variantes en dos variables, materiales de operación y mantenimiento o mano de obra. Es importante precisar que estas variantes se realizaron al tener una información disponible y acceso a una cantidad de fuentes.

El costo de operación de la separadora centrífuga Alfa Laval está compuesto principalmente por el costo de aceite lubricante (se obtiene en capacidades de 55 galones), químico de limpieza (se obtiene en canecas de 25 l), el cual se utiliza para hacer un CIP cada 3 semanas, y por el costo de materiales o repuestos de mantenimiento, los cuales pueden ser: Kit de servicios (intermedio, mayor y servicio de 3 años) o bien bloques de válvulas tanto de aire como de agua.

Los costos se muestran en la siguiente tabla.

Tabla II. Costos del lubricante de la separadora alfa laval

Denominación	Capacidad	Costo
Tonel	55 galones	Q 11,512.19
Caneca	25 litros	Q 1,450.00
Cambio de aceite	12 l / cambio	Q 730.00

Fuente: Gesur, **Costos del lubricante**, Alfa Laval, S.A.

El aceite lubricante del motor adquiere una pureza significativa con la adición de un proceso mecánico (separación centrífuga), dicho proceso genera costos de mantenimiento, los cuales son necesarios para la operación de la máquina. En este rubro (costo) se hace énfasis a los mantenimientos mencionados en el inciso 2.7, los costos que éstos generan se muestran en la siguiente tabla.

Tabla III. Costos de mantenimiento de la separadora alfa laval

Denominación	Intervalo de mantenimiento	Costo por intervalo de mantenimiento
Cambio de aceite	1,000-1,500 horas operación	Q 730.00
Kit de servicio intermedio	2,000 horas de operación	Q 2,309.23
Kit de servicio mayor	8,000 horas de operación	Q 9,724.86
Kit de servicio 3 años	Cada 3 años	Q 3,604.59
Bloque de válvula de agua	Cada 3 años	Q 836.90
Kit de válvula solenoide	Cada 3 años	Q 7,330.34
Bloque de válvula de aire	Cada 3 años	Q 214.50

Fuente: Gesur, **Costos de mantenimiento**, Alfa Laval, S.A.

Esta información acerca de los diversos costos y los patrones de comportamiento es vital para una toma de decisiones que sea efectiva. Los elementos de costo del proceso de centrifugado son los materiales y el mantenimiento que este proceso genera. Esta información suministra a la gerencia la información necesaria para la medición del ingreso y la fijación del precio del proceso. Los indicadores de costo constituyen los valores referencia para el cálculo de costo total de operación, en la tabla IV se describen los indicadores de costo que el proceso de la centrifugadora Alfa Laval genera.

Tabla IV. Costos de la operación total de la separadora alfa laval

Componentes de costos	Materiales	Mantenimiento	Costo total de operación
Tonel	Q 11,512.19		Q 11,512.19
Caneca	Q 1,450.00		Q 1,450.00
Cambio de aceite	Q 730.00		Q 730.00
Cambio de aceite		Q 730.00	Q 730.00
Kit de servicio intermedio		Q 2,309.23	Q 2,309.23
Kit de servicio mayor		Q 9,724.86	Q 9,724.86
Kit de servicio 3 años		Q 3,604.59	Q 3,604.59
Bloque de válvula de agua		Q 836.90	Q 836.90
Kit de válvula solenoide		Q 7,330.34	Q 7,330.34
Bloque de válvula de aire		Q 214.50	Q 214.50
TOTAL	Q 13,692.19	Q 24,750.42	Q 38,442.61

Fuente: Gesur, **Costos de operación total**, Alfa Laval, S.A.

Con base en lo anterior, el costo de los materiales sería de Q 13,692.19 / anual, el mantenimiento de Q 24,750.42 / anual, tomando en cuenta el rubro del mantenimiento de 3 años, ya que éste se realizó durante el periodo de estudio, estas cifras representan el costo del proceso de purificación del aceite lubricante. Este proceso tiene un costo total de Q 38,442.61 / anual, el cual representa el costo de operación de la separadora centrífuga Alfa Laval.

2.6 Análisis de eficiencia y rendimiento

El sistema de separación LOPX difiere de un sistema convencional, en que el separador LOPX opera básicamente como un clarificador, pero utiliza la toma de agua para el desplazamiento de aceite y el lodo. El separador es capaz extraer el agua durante el manejo del aceite lubricante. El separador es del tipo de descargas parciales y no se utiliza ningún tipo de disco de gravedad. No existe pérdida alguna de aceite lubricante y no existe ningún residuo de agua en el aceite lubricante previamente purificado, siempre y cuando se tenga la cantidad correcta de agua en el cuenco. El consumo de agua es mínimo, debido a que no existe pérdida alguna. La necesidad de vigilancia manual de operación es mínima y hay menos alarmas debido a la fiabilidad del sistema.

La utilización del sistema de separación LOPX prolonga la vida del aceite lubricante, ya que reduce la cantidad de contaminantes perjudiciales generados por el proceso de la combustión del motor. Además, ayuda a prevenir posibles daños causados por los contaminantes producidos por la combustión del motor, los cuales se hayan presentes en el aceite. Para proteger al motor de partículas sólidas, se instala un filtro como dispositivo de seguridad en el sistema principal. Para obtener un rendimiento y eficiencia del motor, la contaminación del aceite lubricante debe mantenerse en un nivel bajo.

Los beneficios del concepto de LOPX en la limpieza del aceite lubricante, comparado con un sistema de separación convencional son:

- Mejora en seguridad.
- Reducción en el mantenimiento.
- Costos más bajos.
- Adaptable a las demandas de la lubricación moderna.

Los beneficios logrados usando la solución de ALCAP están basados en los aspectos de seguridad, reducción de la mano de obra en mantenimiento y en el costo de operación. Cuando se hable de seguridad, la separadora centrífuga Alfa Laval posee un sistema de parada de emergencia, el cual se utiliza en casos de que existan vibraciones excesivas o funcionamiento inadecuado. Para evitar la transmisión de vibraciones hacia la estructura y el cimiento, el cojinete de la parte superior del eje del tazón está montado en una cubierta provista de resortes, el cual aísla dichas vibraciones.

Las vibraciones pueden ser ocasionadas por una falla mecánica o una falla de fatiga sobre los resortes, lo que a su vez ocasionaría un desacople de las distintas partes que componen a la separadora, por lo que se vería afectado el rendimiento o bien la eficiencia de producción de la máquina. Las vibraciones excesivas no solo afectarían el funcionamiento de la separadora, sino que a su vez generaría la elaboración de un mantenimiento no planeado o un mantenimiento correctivo imprevisto, causando a su vez un incremento en costos por mano de obra y repuestos.

2.7 Mantenimiento

Básicamente las instrucciones o pasos a seguir para un mantenimiento periódico es simplemente llevar un control de las partes a ser limpiadas, verificadas y renovadas a los diferentes intervalos de mantenimiento. Un mantenimiento preventivo correctamente elaborado debe llevar un control de cada intervalo de mantenimiento hecho, en este control se anotan detalladamente todos los puntos que deben chequearse o que fueron chequeados o bien la parte que fue sustituida. Los chequeos diarios consisten en observar que todas las condiciones de funcionamiento sean normales.

a. Cambio de aceite

El intervalo de cambio de aceite es cada 1000-1500 horas o por lo menos una vez cada año si el número total de horas de operación es al menos de 1000-1500 horas. Cuando se está usando un grupo de aceite D, los cambios de aceite puede extenderse de las 1000-1500 horas normales a 2000 horas, ya que el tiempo de operación es distinto.

b. Servicio intermedio (SI)

El servicio intermedio consiste de un mantenimiento del tazón del separador, salida/entrada y del dispositivo de operación, el cual se realiza cada 3 meses o 2000 horas de operación. Se cambian sellos en el tazón y los empaques o juntas en el dispositivo de entrada/salida.

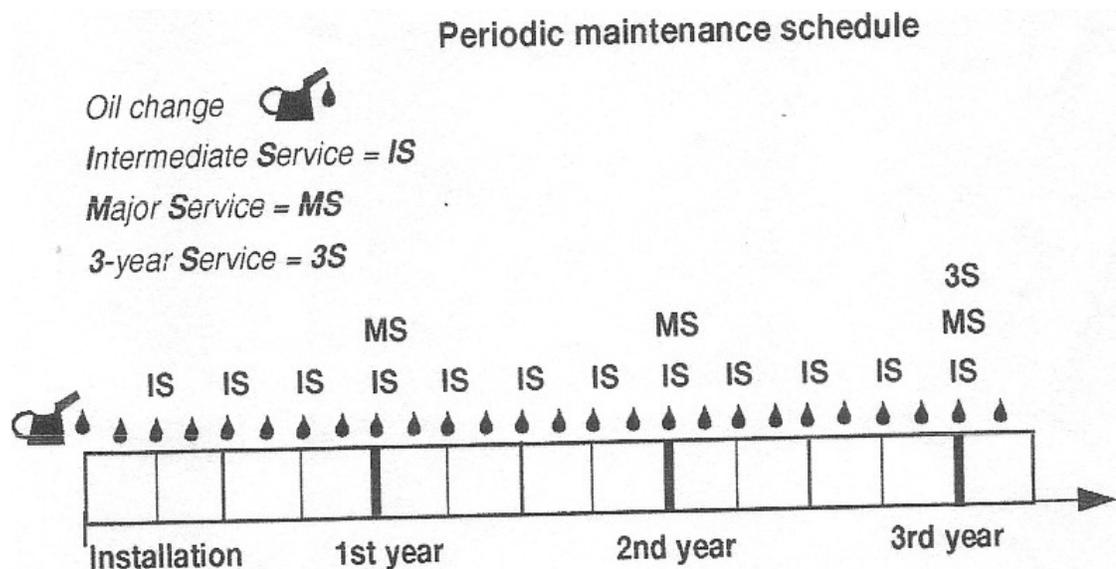
c. Servicio mayor (SM)

El servicio mayor consiste de un mantenimiento completo del separador e incluye un servicio intermedio cada 12 meses u 8000 horas de operación. Se cambian los sellos y cojinetes de la parte inferior.

d. Servicio de 3 años (S3)

El servicio de 3 años consiste en cambiar la base o parte inferior de la estructura. Ya que la parte inferior de la estructura se deteriora conforme transcurre el tiempo de uso.

Figura 16. Programa de mantenimiento periódico



Fuente: Alfal Laval (manual), **Mantenimiento periódico**. Pag. 35

3. SEPARADORA CENTRÍFUGA MARCA WESTFALIA

3.1 Funcionamiento general

Las separadoras centrífugas Westfalia se utilizan para separar mezclas de líquidos o para eliminar sólidos contenidos en suspensión en líquidos o mezclas de líquidos. Al girar el tambor se generan grandes fuerzas centrífugas. Por acción de estas fuerzas centrífugas, se logra en un tiempo muy breve la separación de los líquidos mezclados y/o la eliminación de los sólidos.

Figura 17. Fuerza centrífuga



Fuente: *Westfalia separator* (manual), **Principio de funcionamiento**. Pag. 11

Los componentes de mayor densidad se desplazan hacia la periferia del tambor, mientras que los de menor densidad se dirigen hacia el centro del mismo. Para obtener estas fuerzas centrífugas considerables se imprime gran velocidad al tambor.

Las altas velocidades de rotación permiten obtener una gran eficiencia, pero, además, someten el material de la separadora centrífuga a grandes esfuerzos. La velocidad del tambor es un parámetro importante para el diseño de la separadora centrífuga.

La velocidad de rotación depende de las propiedades químicas y físicas del producto a centrifugar, tales como:

- temperatura,
- densidad de los componentes líquidos y sólidos
- agresividad en cuanto a corrosión y erosión se refiere (condiciona la elección del material del tambor).

Conociendo estos factores, se determina la velocidad de rotación del tambor. La separadora centrífuga Westfalia es una separadora centrífuga de alta velocidad, equipada con un tambor autodeslodante. La purificación consiste en aislar mezclas de líquidos integradas por dos componentes, eliminando al mismo tiempo los sólidos en suspensión.

La clarificación consiste en la eliminación de los sólidos en suspensión en un líquido. Para poder efectuar el tratamiento por centrifugación (centrifugado) se requiere que los componentes del producto:

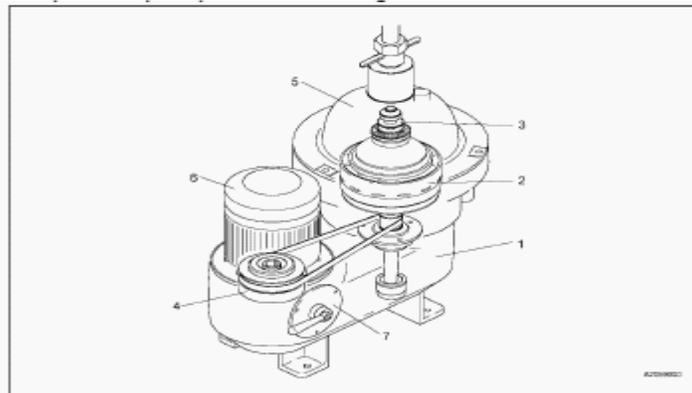
- puedan ser separados por medios mecánicos,
- tengan diferente densidad y
- no estén emulsionados.

3.2 Partes y equipo auxiliar

Los componentes principales de la separadora centrífuga son:

- Bastidor
- Tambor
- Rodete centrípeto
- Accionamiento
- Capó
- Motor
- Freno

Figura 18. Componentes de la separadora centrífuga



Fuente: *Westfalia separator* (manual), **Componentes principales de la centrífuga**. Pag. 37

3.2.1 Bastidor

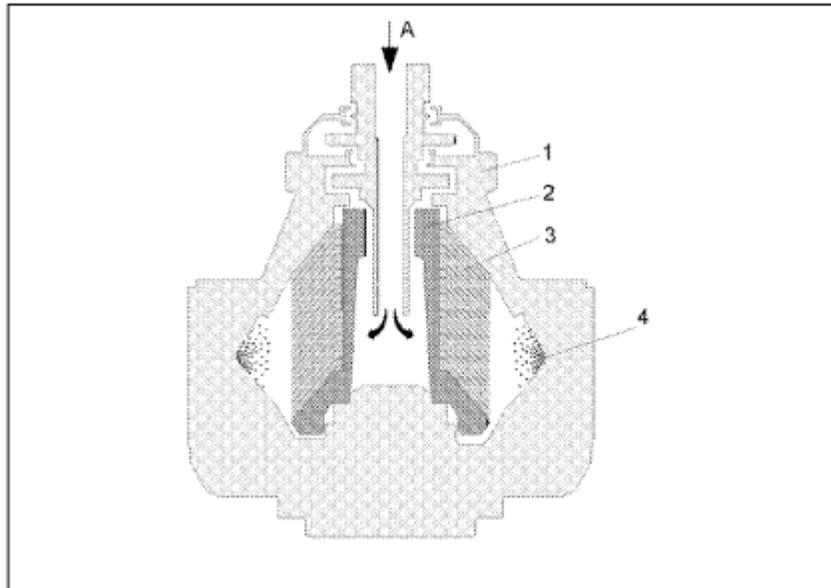
Contiene las piezas motrices y aloja al motor, al tambor y al capó.

3.2.2 Tambor

El tambor (1) genera por rotación grandes fuerzas centrífugas que causan el efecto de purificación y clarificación. El distribuidor (2) acelera el producto, introducido a través de la entrada A, a la velocidad de rotación del tambor y luego conduce dicho producto al juego de platos. El juego de platos (3) descompone una mezcla de líquidos formada por una fase ligera y otra pesada, p. ej. aceite y agua, en sus distintos componentes. El juego de platos consta de gran cantidad de platos troncocónicos superpuestos. Cada plato dispone de unos nervios distanciadores que forman entre los platos contiguos unos intersticios estrechos exactamente definidos.

La superficie lisa de los platos facilita el deslizamiento de los sólidos, favoreciendo la autolimpieza de los platos. El recinto de centrifugación está formado por un conjunto de numerosos espacios paralelos de escasa altura. De ahí resulta para el producto un trayecto de sedimentación radial muy corto. Los sólidos se acumulan en la pared superior de cada uno de los intersticios de los platos y se deslizan fácilmente hacia el recinto de los sólidos. El recinto de sólidos (4) recibe los sólidos centrifugados en el juego de platos.

Figura 19. Tambor

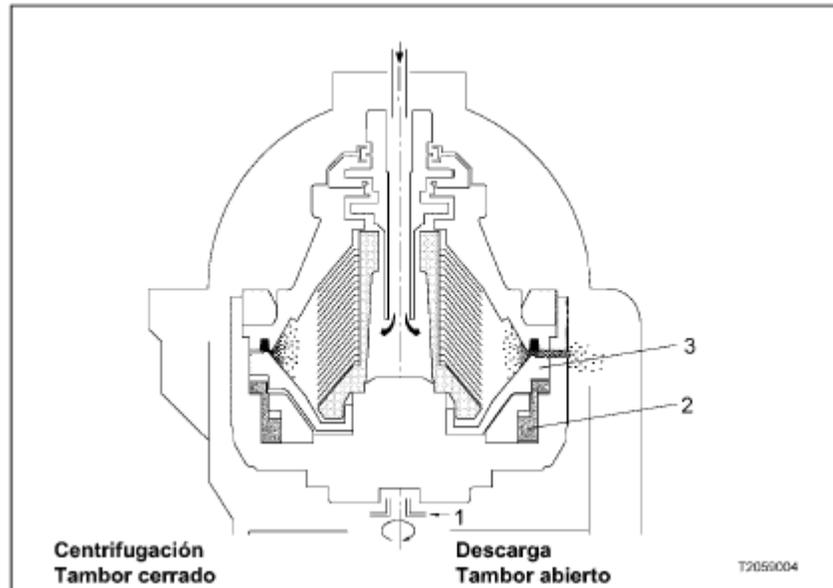


Fuente: *Westfalia separator* (manual), **Componentes principales de la centrífuga**. Pag. 38

3.2.2.1 Hidráulica del tambor

El líquido de maniobra (1) casi siempre agua, alimentado al tambor en rotación gira con él y produce en su interior una elevada presión centrífuga. Dicha presión se aprovecha para accionar el pistón anular y el pistón deslizante, que cierra y abre el tambor. El pistón anular se encuentra dentro de la parte inferior del tambor, gira con la misma velocidad angular que las demás piezas del tambor y puede desplazarse axialmente. El pistón deslizante se encuentra dentro de la parte inferior del tambor, gira con la misma velocidad angular que las demás piezas del tambor y puede desplazarse axialmente.

Figura 20. Hidráulica del tambor

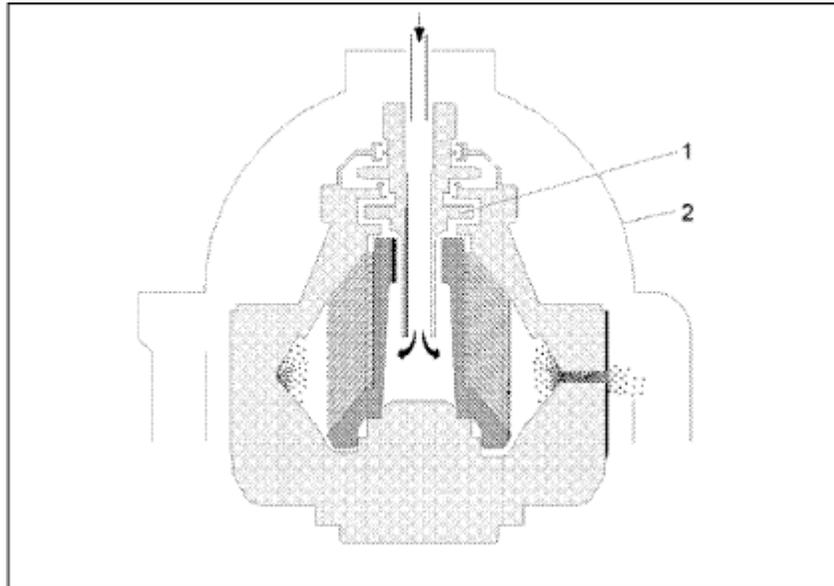


Fuente: *Westfalia separator* (manual), **Componentes principales de la centrífuga**. Pag. 39

3.2.3 Rodete centrípeto

El rodete centrípeto descarga a presión el líquido purificador, éste va unido de manera fija al capó (2) de la centrífuga. El disco del rodete, provisto de canales, se sumerge en el líquido que gira con el tambor. El líquido es recogido por el rodete, recorriendo los canales de este último en forma de espiral, desde la periferia hacia el centro. De esta forma, la energía adquirida por el líquido al girar se convierte en energía de presión que permite descargar el líquido a presión.

Figura 21. Rodete centrípeto



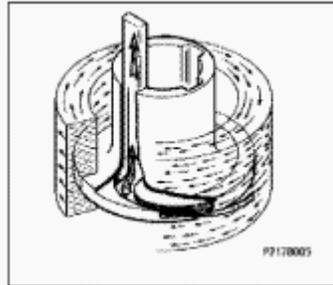
Fuente: *Westfalia separator* (manual), **Componentes principales de la centrífuga**. Pag. 42

La profundidad de inmersión del rodete en el líquido es poca cuando la contrapresión es baja, pero se puede aumentar estrangulando la válvula ubicada en la tubería de descarga. De esta forma se consigue:

- un buen cierre hidráulico,
- una ausencia de aire y espuma satisfactoria y
- un aumento de la contrapresión.

El rodete de líquido de sonda, tiene un principio de funcionamiento similar al del rodete de aceite (1) (ver figura 21). Conduce el líquido de maniobra al sistema de control.

Figura 22. Disco del rodete centrípeto



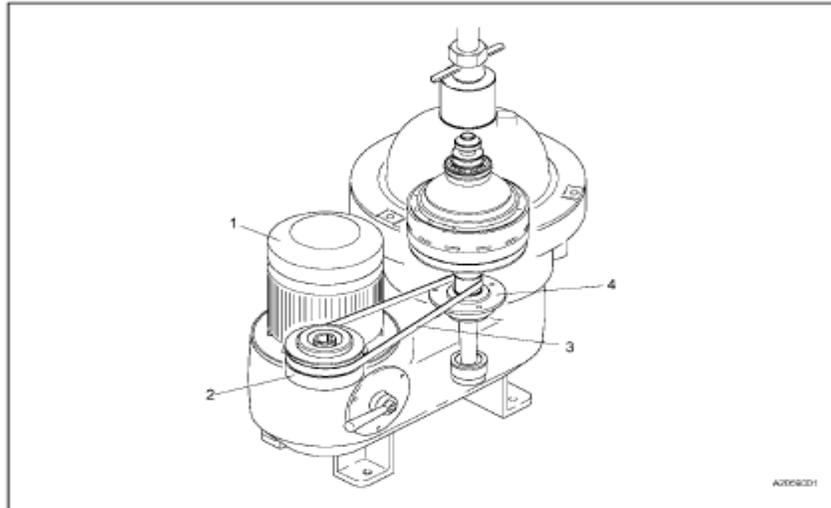
Fuente: *Westfalia separator* (manual), **Componentes principales de la centrífuga**. Pag. 42

3.2.4 Accionamiento

El motor de accionamiento (1), acciona la centrífuga. La potencia se transmite mediante el embrague centrífugo a la polea del motor y mediante la correa de accionamiento al eje vertical del tambor. El embrague centrífugo (2) se encarga de la transmisión de potencia entre el motor, la correa de accionamiento y el eje vertical, lleva al tambor progresivamente al régimen de revoluciones prescrito; protege al máximo la correa de accionamiento y el motor.

La correa de accionamiento (3) transmite la potencia de motor de accionamiento (1) al eje vertical del tambor (4). El asiento y el estado de la correa de accionamiento deberán ser controlados regularmente.

Figura 23. Accionamiento



Fuente: *Westfalia separator* (manual), **Componentes principales de la centrífuga**. Pag. 44

Dentro del equipo auxiliar hay:

a. Bloque de electroválvulas

El bloque de electroválvulas consta de dos válvulas de 2/2 vías con servomando. Las electroválvulas están equipadas con un dispositivo de accionamiento manual para fines de prueba.

Figura 24. Bloque de electroválvulas

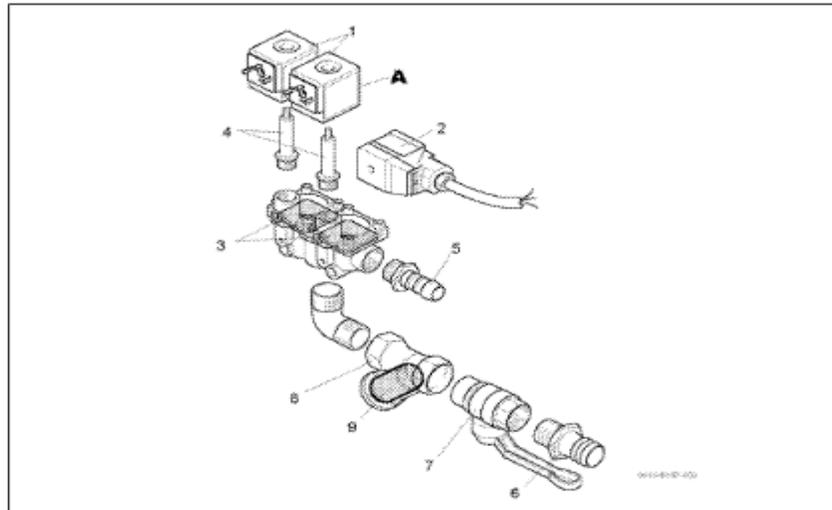


Fig. 232

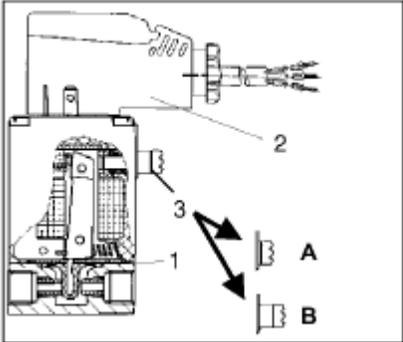
- | | |
|--------------------------|------------------------------------|
| 1 Bobina magnética | 6 Boquilla para manguera |
| 2 Conector hembra | 7 Válvula de bola, unión por rosca |
| 3 Membrana | 8 Filtro |
| 4 Armadura | 9 Cartucho de filtro |
| 5 Boquilla para manguera | |

Fuente: *Westfalia separator* (manual), **Equipo auxiliar**. Pag. 150

b. Electroválvulas

Las electroválvulas son válvulas de paso de membrana de 2/2 vías dotadas de válvula piloto propia. Componentes principales: (1) membrana, (2) conector hembra, (3) accionamiento manual. **A** abierta y **B** cerrada.

Figura 25. Electroválvulas

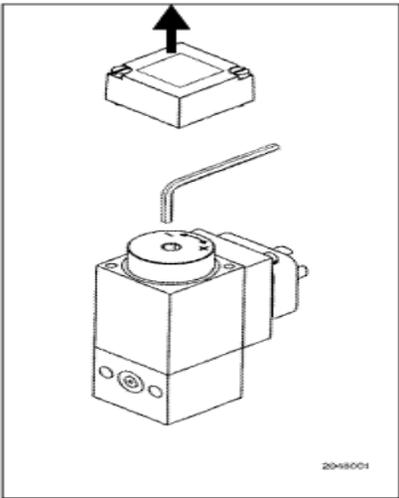


Fuente: *Westfalia separator* (manual), **Equipo auxiliar**. Pag. 152

c. Presostato

El presostato se preajusta a 1 bar. Cambio de ajuste 0.5 bar/giro

Figura 26. Presostato



Fuente: *Westfalia separator* (manual), **Equipo auxiliar**. Pag. 153

3.3 Instalación de la separadora centrífuga en el sistema de lubricación

El control simultaneo del contenido de agua y del recinto de lodos (WMS/SMS) para aceite lubricante se utiliza para la purificación continua de aceite lubricante de motores Diesel.

Figura 27. Separadora centrífuga para tratamiento de aceite lubricante

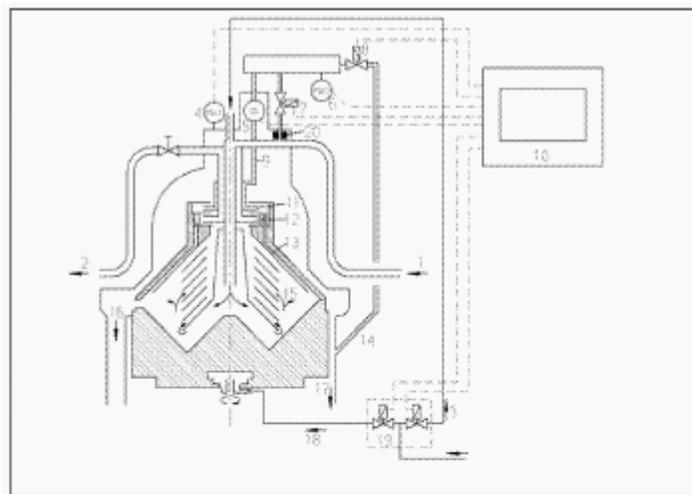


Fig. 44

- | | |
|---|--------------------------------|
| 1 Alimentación de aceite sucio | 11 Rodete de líquido sonda |
| 2 Salida de aceite limpio | 12 Rodete (aceite limpio) |
| 3 Agua de desplazamiento | 13 Plato separador |
| 4 Presostato (aceite limpio) | 14 Salida de agua sucia |
| 5 Sensor de conductancia
(sin función en el SMS) | 15 Recinto de sólidos |
| 6 Presostato | 16 Salida de sólidos |
| 7 Electroválvula recirculación | 17 Salida de agua de maniobra |
| 8 Electroválvula descarga de agua | 18 Entrada de agua de maniobra |
| 9 Flujo secundario | 19 Bloque de electroválvulas |
| 10 Programador | 20 Válvula reguladora |

Fuente: *Westfalia separator* (manual), **Generalidades**. Pag. 35

El aceite lubricante se envía a la separadora centrífuga con una bomba independiente. El producto (1) se alimenta por un sistema de tubería cerrada. Antes de iniciar la centrifugación se llena de agua (3) el recinto para sólidos (15). El aceite limpio clarificado se descarga a presión con el rodete (12) a través de la salida (2). La apertura y el cierre del tambor durante las descargas se efectúan de forma automática y a pleno régimen de revoluciones, mediante una electroválvula teledirigida (19), incorporada en la conducción de agua de maniobra. El tiempo máximo de apertura de la electroválvula es de 3 segundos. Durante la centrifugación se separan los sólidos y el agua del aceite (WMS); el rodete del líquido sonda (11) desvía el agua a través de salida de agua sucia (14).

El recinto de sólidos (15) se vigila periódicamente (SMS). Si los sólidos acumulados provocan una obstrucción, no se registra el impulso de presión del presostato (6), iniciando el programador (10) un programa automático de descarga. La instalación de mando y de control (10) asegura el funcionamiento desatendido de la máquina.

Como se mencionó en el capítulo anterior, en el proceso de separación existen dos procedimientos alternativos para ejecutar la limpieza del aceite lubricante durante el proceso productivo: el sistema en línea y el sistema en *by-pass*. Las separadoras centrífugas Westfalia, se instalan en el sistema de lubricación en *by-pass*, lo cual, implica que sólo se limpia una parte del aceite sucio, pero este grado de limpieza es suficiente para mantener el total del aceite en el sistema por debajo de los límites de contaminación aceptables. El sistema en *by-pass* es el más usado, pues además de ser eficiente, resulta totalmente independiente del proceso productivo, por lo que la parada del sistema centrífugo (para limpieza, mantenimiento, etc.) no implica una parada del proceso en sí. (Ver figura 13.)

3.4 Cantidad de caudal procesado y capacidad de autolimpieza

El caudal de la separadora centrífuga esta en función:

- de la viscosidad,
- de la temperatura,
- de la densidad,
- de la carga de la suciedad,
- del contenido de humedad y
- del grado de pureza deseado para el producto.

La descarga del tambor se produce en el curso del ciclo del programa de forma automática y al máximo régimen de revoluciones. El momento idóneo para la descarga se determina: según el tiempo de centrifugación ajustado o bien, en función del nivel de llenado del tambor y cuando:

- se haya preseleccionado en el programador,
- se haya alcanzado el nivel de llenado del tambor antes de que termine el tiempo de centrifugación.

Por ejemplo, en el ciclo de una descarga ocurre lo siguiente:

- a. Termina el tiempo de centrifugación.
- b. Se cierra la válvula de alimentación del producto (aceite lubricante).
- c. El agua de desplazamiento desplaza el aceite lubricante hacia el lado de aceite limpio.

- d. El agua de maniobra abre y cierra hidráulicamente el tambor al régimen máximo.
- e. Tiene lugar un tiempo de espera para que el tambor recupere la velocidad.
- f. Se abre la válvula de aceite lubricante.
- g. Comienza de nuevo el tiempo de centrifugación.

La pérdida de aceite lubricante ocasionada por las descargas durante la centrifugación puede reducirse a un mínimo desplazando con agua el aceite lubricante del tambor, antes de iniciar la expulsión de los sólidos. Si el desplazamiento es demasiado largo, saldrá agua por la salida del líquido ligero, en cambio si el desplazamiento es demasiado breve, parte del aceite lubricante permanecerá en el tambor y se perderá con la descarga. En la descarga de lavado, no es posible expulsar completamente los sólidos porque se adhieren demasiado a las paredes del recinto de sólidos, bien sea porque han permanecido mucho tiempo en el tambor o a causa de su propia naturaleza:

- deberá reducirse el tiempo de centrifugación o bien
- deberá practicarse una descarga de lavado con posterioridad a la descarga total, llenando para ello el tambor con agua o aceite y volviendo a vaciarlo.

El ajuste exacto del tiempo de centrifugación (intervalo entre las descargas) sólo es posible cuando permanecen constantes el caudal de paso y el contenido de sólidos del aceite lubricante enviado a la centrifuga. Si no se dan estas circunstancias, deberá corregirse, eventualmente, el ajuste del tiempo durante el servicio. El tiempo de centrifugación depende:

- del modo de trabajo preseleccionado (modo de descarga parcial o de descarga total),
- del contenido de sólidos del aceite enviado a la centrifuga,
- de la consistencia de los sólidos,
- del volumen útil del recinto de sólidos del tambor,
- del caudal de alimentación de la separadora centrífuga.

Los tiempos siguientes han dado buenos resultados en la práctica:

Tabla V. Tiempos de descarga separadora westfalia

Producto	Descarga total	Descarga parcial
Aceite Lubricante (LO)	2 h max. 4 h	1 h

Fuente: *Westfalia separator* (manual), **Ajuste del tiempo de centrifugación**. Pag. 52

Para la determinación por cálculo del contenido de sólidos de centrifugación, se tiene:

Datos

Contenido de sólidos P= ?
Capacidad del recinto de sólidos V= 1. 5 L
Recinto de sólidos lleno un 75% V'= 1.13 L

Caudal de alimentación V*= 2000 l/h
Tiempo de centrifugación t= 1 h

El contenido de sólidos eliminados se calcula como sigue:

$$P = \frac{V'}{V^* \times t} * 100 = \frac{1.13 \text{ L}}{2000 \text{ l/h} \times 1 \text{ h}} * 100 = 0.0565 \%$$

Entonces el contenido de sólidos eliminados por la separadora centrífuga de marca Westfalia es de 0.0565 % de la capacidad total del recinto de sólidos, lo que quiere decir que se eliminan 0.85 mililitros por hora (0.00085 litros por hora).

3.5 Estudio de costos de operación

Al igual como en el caso de la separadora centrífuga Alfa Laval, para la separadora centrífuga Westfalia, se tomo como válido la toma de información o recopilación de datos relacionados con los precios de cada uno de los insumos que implican costo durante la operación del sistema de centrifugación; los cuales se procesaron por cada insumo, y así obtener valores representativos, lo que constituye el punto de partida para el cálculo de los indicadores de costo, teniendo en cuenta el rendimiento y los parámetros en operación normal.

De nuevo en esta oportunidad se realizan variantes en dos variables, materiales de operación y mantenimiento o mano de obra. Es importante precisar que estas variantes se realizaron al tener una información disponible y acceso a una cantidad de fuentes. El costo de operación de la separadora centrífuga Westfalia está compuesto principalmente por el costo de, aceite lubricante (se obtiene en capacidades de 55 galones), y por el costo de materiales o repuestos de mantenimiento, los cuales pueden ser: Kit de servicios (intermedio, mayor y servicio de 6 años) o bien Kit de válvula solenoide.

Los costos se muestran en la siguiente tabla.

Tabla VI. Costos del lubricante de la separadora westfalia

Denominación	Capacidad	Costo
Tonel	55 galones	Q 11,512.19
Cambio de aceite	12 l / cambio	Q 730.00

Fuente: Gesur. **Costos del lubricante**, Westfalia, S.A.

El proceso mecánico realizado por este tipo de separadora, produce costos de mantenimiento necesarios para la operación de dicha máquina. En este rubro se hace énfasis a los mantenimientos mencionados en el inciso 3.7 y los costos que éstos generan, los cuales se muestran en la siguiente tabla.

Tabla VII. Costos de mantenimiento de la separadora westfalia

Denominación	Intervalo de mantenimiento	Costo por intervalo de mantenimiento
Cambio de aceite	4,000 horas operación	Q 730.00
Kit de servicio intermedio	8,000 horas de operación	Q 2,309.23
Kit de servicio mayor	16,000 horas de operación	Q 9,724.86
Kit de servicio 6 años	24,000 horas de operación	Q 3,960.00
Kit de válvula solenoide	Cada 3 años	Q 7,533.00

Fuente: Gesur. **Costos de mantenimiento**, Westfalia, S.A.

Los elementos de costo del proceso de centrifugado son los materiales y el mantenimiento que este proceso genera. Esta información suministra a la gerencia la información necesaria para la medición del ingreso y la fijación del precio del proceso. Los indicadores de costo constituyen los valores de referencia para el cálculo de costo total de operación, en la tabla VII se describen los indicadores de costo que el proceso de la centrifugadora Westfalia genera.

Tabla VIII. Costos de operación total de la separadora westfalia

Componentes de costos	Materiales	Mantenimiento	Costo total de operación
Tonel	Q 11,512.19		Q 11,512.19
Cambio de aceite	Q 730.00		Q 730.00
Cambio de aceite		Q 730.00	Q 730.00
Kit de servicio intermedio		Q 2,592.00	Q 2,592.00
Kit de servicio mayor		Q 8,829.00	Q 8,829.00
Kit servicio 6 años		Q 3,960.00	Q 3,960.00
Kit de válvula solenoide		Q 7,533.00	Q 7,533.00
TOTAL	Q 12,242.19	Q 23,644.00	Q 35,886.19

Fuente: Gesur. **Costos de operación total**, Westfalia, S.A.

Con base en lo anterior, el costo de los materiales sería de Q 12,242.19 / anual, el mantenimiento de Q 23,644.00 / anual, tomando en cuenta el rubro del mantenimiento de 6 años, asumiendo que éste se realizó durante el periodo de estudio, estas cifras representan el costo del proceso de purificación del aceite lubricante. Este proceso tiene un costo total de Q 35,886.19 / anual, el cual representa el costo de operación anual de la separadora centrífuga Westfalia.

3.6 Análisis de eficiencia y rendimiento

La separadora centrífuga Westfalia con sistema unitrol, está dotada de tambor de platos autodeslodante, se emplean para la clarificación y purificación del aceite lubricante del motor. No existe ningún residuo de agua en el aceite lubricante previamente purificado. Esta centrifuga obtiene el mejor efecto de centrifugación cuando la viscosidad del producto a centrifugar es mínima, además las altas velocidades de rotación permiten obtener una gran eficiencia. La separadora centrífuga trabaja rentablemente si se respetan los caudales y temperaturas de centrifugación.

Las separadoras centrífugas con sistema unitrol disponen de dos funciones de control:

- Sistema de control de contenido de agua WMS (*water content monitoring system*)
- Sistema de control de recinto de lodos SMS (*sluge space monitoring system*)

Las separadoras centrífugas utilizadas en la planta para el tratamiento del aceite lubricante son centrífugas con sistema WMS/SMS. El control simultaneo del contenido de agua y del recinto de lodos (WMS/SMS) para aceite lubricante son dos sistemas que hacen eficiente la purificación continua del aceite lubricante. Esta separadora centrífuga tiene el sistema de descargas parciales y al igual que la separadora Alfa Laval no utiliza ningún tipo de disco de gravedad. La pérdida de aceite lubricante ocasionada por las descargas durante la centrifugación puede reducirse a un mínimo desplazando con agua el aceite lubricante del tambor, antes de iniciar la expulsión de los sólidos, esto beneficia tanto en la economía de la empresa como también a la eficiencia de la misma., siempre y cuando se tenga la cantidad correcta de agua en el cuenco.

El consumo de agua es mínimo, debido a que no existe pérdida alguna. Estos sistemas (WMS/SMS) reducen la necesidad de vigilancia de operación y al mismo tiempo reducen las alarmas debido a la fiabilidad de los sistemas.

Al igual que con la separadora centrífuga Alfa Laval los beneficios logrados usando la centrífuga Westfalia están basados en los aspectos de seguridad, reducción de mantenimientos y en el costo de operación. Esta separadora centrífuga también posee un sistema de parada de emergencia, el cual se utiliza en casos de que existan altas vibraciones o bien el funcionamiento de la misma sea inadecuado.

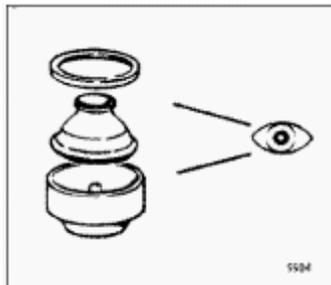
3.7 Mantenimiento

Las condiciones de servicio desfavorables pueden exigir intervalos de mantenimientos más breves. Los factores citados a continuación son desfavorables ya que atacan directamente el material de la separadora centrífuga o bien perjudican la lubricación y/o la refrigeración.

- Productos agresivos (química o físicamente).
- Elevada temperatura del aceite lubricante.
- Ambiente: temperatura, polvo, vapores.

Las piezas de la separadora centrífuga sometidas a esfuerzos particularmente grandes, tales como: el anillo de cierre, la parte inferior del tambor y la tapa del tambor, así como las demás piezas del tambor de diámetro exterior grande, deberán de revisarse periódicamente, a fin de mantener un seguro y eficaz funcionamiento.

Figura 28. Mantenimiento preventivo y correctivo



Fuente: *Westfalia separator* (manual), **Seguridad**. Pag. 20

El mantenimiento de la separadora centrífuga y el cambio de las piezas desgastadas o defectuosas efectuados en el momento oportuno, son requisito indispensable para la seguridad de servicio de la centrífuga. Antes de los trabajos de mantenimiento preventivo y correctivo: desconectar la tensión, mediante el interruptor principal, de todos los componentes eléctricos.

a. Cambio de aceite

El intervalo de cambio de aceite es cada 4,000 horas de servicio o a más tardar cada 6 meses (aceite mineral), o bien cada 8,000 horas de servicio o más tardar una vez al año (aceite sintético), para cada cambio de aceite es recomendable la limpieza de la mirilla.

b. Mantenimiento de 4,000 horas de operación

Para garantizar el funcionamiento y la seguridad de servicio se debe prestar atención a los siguientes puntos al efectuar las rondas de control: nivel del aceite, temperaturas, presiones, fugas, vibraciones, consumo de corriente, tiempo de arranque, mangueras y tuberías flexible, revisión del tambor, cambio de las juntas (tambor y capo), cambio de aceite y limpieza a fondo de la cámara de accionamiento, limpieza del tamiz y del tubo de la pieza de alimentación del agua de maniobra de la centrífuga, limpieza del tamiz del reductor de presión de agua, limpieza del filtro de la tubería de aspiración de la bomba de aceite, limpieza cuidadosa del sensor de conductancia, limpieza de la mirilla del bastidor para la observación de la correa de accionamiento y comprobación de mangueras y tuberías flexibles, cambiándolas en caso necesario.

c. Mantenimiento de 8,000 horas de operación

El servicio de mantenimiento de 8000 horas o 1 año consiste de revisión del tambor, cambio de juntas (tambor y capo), limpieza del interior de la parte superior del bastidor, cambio de juntas y clip de sujeción, cambio de la correa de accionamiento, cambio de los rodamientos del eje vertical, cambio del casquillo ultra, verificación del espesor de las zapatas del embrague (mínimo 18 mm), comprobación del espesor del forro del freno, cambio de aceite y limpieza a fondo de la cámara de accionamiento, verificación de la altura del tambor, verificación de la velocidad del eje vertical (con corriente continua), verificación del tiempo de arranque, limpieza del tamiz y del tubo de la pieza de alimentación del agua de maniobra de la centrifuga, limpieza del tamiz del reductor de presión de agua, limpieza del filtro de la tubería de aspiración de la bomba de aceite, limpieza cuidadosa del sensor de conductancia, limpieza de la mirilla del bastidor para la observación de la correa de accionamiento y comprobación de mangueras y tuberías flexibles, cambiándolas en caso necesario.

d. Mantenimiento de 16,000 horas

El servicio de mantenimiento de 16,000 horas o 2 años consiste de un mantenimiento completo de un año u 8,000 horas de operación, además se cambian los rodamientos del embrague centrífugo, comprobación del espesor del forro del freno (cambiándolo de ser necesario), verificación de la velocidad del eje vertical (con corriente trifásica).

e. Mantenimiento de 6 años

Este tipo de mantenimiento consiste en equipar las máquinas con amortiguadores de vibraciones y cambio de base o parte inferior de la estructura. Ya que la parte inferior de la estructura se deteriora conforme transcurre el tiempo de operación.

4. COMPARACIÓN ENTRE SEPARADORAS CENTRÍFUGAS

La competitividad de la industria de la generación de energía eléctrica está determinada por el costo y la calidad del producto, la eficiencia industrial y la estrategia comercial. En la generación de energía eléctrica, como en cualquier tipo de producción, los gastos en materia prima y mantenimiento o mano de obra (aceite lubricante, personal de mantenimiento y repuestos) son considerados con alto grado de importancia. Cuando se trata de mejorar significativamente la eficiencia productiva del sistema de lubricación a través de una intensificación (vía insumos) de la demanda de aceite lubricante, se incrementa la participación de esos gastos.

Una proporción significativa de las generadoras eléctricas del país utilizan prácticamente los mismos recursos, lo cuales al mismo tiempo generan costos, éstos pueden sintetizarse (respecto a la purificación del aceite lubricante) en: aceite lubricante y mantenimiento o mano de obra.

Para la purificación del aceite lubricante, se ha demostrado el efecto de la aplicación de tecnología (manejo, sistemas de control, y sistemas de emergencia) sobre la productividad o rendimiento del proceso de lubricación. Las alternativas en estudio fueron básicamente dos, las cuales generan insumos de producción de una misma secuencia para cada una de ellas, estos dos insumos se ven reflejados en la eficiencia del proceso de purificación, lo que viene a beneficiar la vida de las partes internas del motor de combustión interna. La secuencia de insumos adoptada fue la siguiente.

Tabla IX. Costos de insumos para la separadora alfa laval

Componentes de costos	Materiales	Mantenimiento	Costo total de operación
Tonel	Q 11,512.19		Q 11,512.19
Caneca	Q 1,450.00		Q 1,450.00
Cambio de aceite	Q 730.00		Q 730.00
Cambio de aceite		Q 730.00	Q 730.00
Kit de servicio intermedio		Q 2,309.23	Q 2,309.23
Kit de servicio mayor		Q 9,724.86	Q 9,724.86
Kit de servicio 3 años		Q 3,604.59	Q 3,604.59
Bloque de la válvula de agua		Q 836.90	Q 836.90
Kit de la válvula solenoide		Q 7,330.34	Q 7,330.34
Bloque de la válvula de aire		Q 214.50	Q 214.50
TOTAL	Q 13,692.19	Q 24,750.42	Q 38,442.61

Fuente: Gesur. **Costos de operación total**, Alfa Laval, S.A.

Tabla X. Costos de insumos para la separadora westfalia

Componentes de costos	Materiales	Mantenimiento	Costo total de operación
Tonel	Q 11,512.19		Q 11,512.19
Cambio de aceite	Q 730.00		Q 730.00
Cambio de aceite		Q 730.00	Q 730.00
Kit de servicio intermedio		Q 2,592.00	Q 2,592.00
Kit de servicio mayor		Q 8,829.00	Q 8,829.00
Kit servicio 6 años		Q 3,960.00	Q 3,960.00
Kit de válvula solenoide		Q 7,533.00	Q 7,533.00
TOTAL	Q 12,242.19	Q 23,644.00	Q 35,886.19

Fuente: Gesur. **Costos de operación total**, Westfalia, S.A.

Sobre esta secuencia, los dos niveles de insumos fueron: 38,442.61 Quetzales/año (costo de la separadora Alfa Laval) y 35,886.19 Quetzales/año (costo de la separadora Westfalia). Cada uno de estos niveles de insumos surgieron del costo de cada proceso de separación centrífuga.

Las diferencias de rendimiento por nivel productivo surgieron como consecuencia de la capacidad de autolimpieza que cada separadora brinda, dentro de dicha capacidad se considera el principio de accionamiento y la cantidad de sólidos eliminados por la separadora.

Cuando se habla del principio de accionamiento, se refiere a que la separadora Alfa Laval funciona mediante un dispositivo motriz el cual está acoplado a un engranaje y a un eje vertical, esto provoca pérdida de eficiencia por la fricción existente en los dientes del engranaje. En cambio, con la separadora Westfalia la potencia se transmite mediante el embrague centrífugo a la polea del motor y mediante la correa de accionamiento al eje vertical del tambor, en donde el embrague centrífugo, se encarga de la transmisión de potencia entre el motor, la correa de accionamiento y el eje vertical. En este caso la pérdida de eficiencia por la fricción existente es mínima, ya que el contacto entre las dos partes friccionantes (metal y polea) genera una menor fricción.

Otro aspecto relacionado con el rendimiento fue la capacidad de sólidos eliminados, en el caso de la separadora Alfa Laval la capacidad del recinto de sólidos es de 2.5 litros, en donde la cantidad de caudal procesado por este tipo de separadora, es de 2,350 litros por hora, al tomar un 75 % de llenado en el recinto de sólidos y un tiempo de centrifugado o bien de descarga parcial de una hora, da como resultado que la cantidad de sólidos eliminados por la centrifuga es de 0.08 % de la capacidad total del recinto de sólidos, lo que quiere decir que se eliminan 2 mililitros por hora (0.002 litros por hora) de contaminantes. Con la separadora Westfalia la capacidad del recinto de sólidos es de 1.5 litros, en donde la cantidad de caudal procesado es de 2,000 litros por hora, tomando un 75 % de llenado en el recinto de sólidos y un tiempo de centrifugado de una hora, obteniendo como resultado que la cantidad de sólidos eliminados por la centrifuga es de 0.0565 % de la capacidad total del recinto de sólidos, lo que quiere decir que se eliminan 0.85 mililitros por hora (0.00085 litros por hora) de contaminantes.

Los dos niveles de eficiencia basados en la cantidad de sólidos eliminados fueron:

- 0.08%, valor correspondiente a la cantidad de contaminantes eliminados presentes en el aceite lubricante, por la separadora centrífuga Alfa Laval.
- 0.0565%, valor correspondiente a la cantidad de contaminantes eliminados presentes, por la separadora centrífuga Westfalia.

Es evidente que la capacidad de autolimpieza de la separadora Alfa Laval es mayor, aproximadamente en un 42% mayor del total de sólidos eliminados por la separadora Westfalia. Con lo referente al costo de operación, se obtiene un ahorro de 6.5 % equivalente a 2,600 Quetzales / año aproximadamente, utilizando la separadora Westfalia.

CONCLUSIONES

1. En este proceso productivo la cantidad de sólidos contaminantes es un valor relativamente constante en el tiempo. Sin embargo, en el caso del agua es muy distinto, ya que siempre entrará cierta cantidad en el sistema por efecto de las condensaciones.
2. La separación centrífuga es la solución para el tratamiento del aceite lubricante, ya que es necesario eliminar del mismo los residuos sólidos y el agua existente, dejando un aceite limpio que se pueda emplear en el sistema de lubricación del motor.
3. El cálculo del contenido de sólidos eliminados por la centrifugadora, es un factor fundamental para la determinación de la eficiencia de la separadora centrífuga, se utiliza el método detallado de cálculo, ya que el resultado es preciso.
4. La separadora centrífuga aplicada a la limpieza del aceite lubricante consigue realizar la misma de forma rápida, eficaz y totalmente independiente del proceso productivo, si es instalada en el sistema de lubricación por el procedimiento *bypass*.
5. La separadora centrífuga Alfa Laval demostró que tiene una capacidad de autolimpieza mayor a la de la separadora Westfalia, y que la variación entre ambas del costo de operación no es muy significativa. El uso de la separadora centrífuga Alfa Laval para instalaciones futuras es una buena opción.

RECOMENDACIONES

1. Utilizar desde el principio de operación del motor la separación centrífuga, de manera que vaya eliminando la contaminación prácticamente al mismo tiempo que se vaya produciendo. De este modo, se alargará la vida del aceite lubricante.
2. Instalar el mínimo de accesorios posible en el sistema de lubricación en *by-pass*, para minimizar la caída de presión del medio. Al aumentar la caída de presión, es necesario aumentar el diámetro de tubería, lo cual incrementa los costos de instalación del sistema.
3. Realizar el mantenimiento correspondiente, ya que esto no generará incremento alguno en los costos de operación.
4. Evitar en lo posible que el aceite lubricante se vaya contaminando durante su vida útil, alargando considerablemente ésta. Es también importante una recuperación eficaz, minimizando costos de vertido, además de contribuir decisivamente a la protección medioambiental.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALFA Laval. *Alfa Laval training*. Alfa Laval Corporation. Estados Unidos de América, 1996.
2. FABOZZ, Frank J. y otros. **Contabilidad de costos**. 3ª. Edición: s.e., 1994.
3. GEA. *Westfalia separator mineraloil system*. Westfalia corporation. Estados Unidos de América. 2003.
4. MAK/CATERPILLAR. *Instruccions manual*. Caterpillar International Power System. Estados Unidos de América, 2000.
5. SEVERNS, W. H. **La producción de energía mediante el vapor de agua, el aire y los gases**. 5ª. Edición. México: Editorial Reverté, 1992.