



Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

**ANÁLISIS DE FALLAS EN BOMBAS PARA DISTRIBUCIÓN DE BUNKER Y SUS CONSECUENCIAS EN LA
PRODUCCIÓN DE VAPOR, PARA LA ESTERILIZACIÓN DE EQUIPO MÉDICO CIRUJANO DEL HOSPITAL
DE GINECO-OBSTETRICIA DEL INSTITUTO GUATEMALTECO DE SEGURIDAD SOCIAL**

Diego Alejandro Nájera Villate

Asesorado por el Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza

Guatemala, agosto de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

ANÁLISIS DE FALLAS EN BOMBAS PARA DISTRIBUCIÓN DE BUNKER Y SUS CONSECUENCIAS EN LA
PRODUCCIÓN DE VAPOR, PARA LA ESTERILIZACIÓN DE EQUIPO MÉDICO CIRUJANO DEL HOSPITAL
DE GINECO-OBSTETRICIA DEL INSTITUTO GUATEMALTECO DE SEGURIDAD SOCIAL

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

DIEGO ALEJANDRO NÁJERA VILLATE
ASESORADO POR EL ING. GILBERTO ENRIQUE MORALES BAIZA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, AGOSTO DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza
EXAMINADOR	Ing. Julio César Molina Zaldaña
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

ANÁLISIS DE FALLAS EN BOMBAS PARA DISTRIBUCIÓN DE BUNKER Y SUS CONSECUENCIAS EN LA PRODUCCIÓN DE VAPOR, PARA LA ESTERILIZACIÓN DE EQUIPO MÉDICO CIRUJANO DEL HOSPITAL DE GINECO-OBSTÉTRICA DEL INSTITUTO GUATEMALTECO DE SEGURIDAD SOCIAL

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, el 8 de mayo de 2014.



Diego Alejandro Nájera Villate

Guatemala 26 de junio de 2014

Ingeniero Mecánico
Julio César Campos Paiz
Director Escuela de Ingeniería Mecánica
Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Señor Director

Por este medio, en mi calidad de asesor de tesis del estudiante Diego Alejandro Nájera Villate, con número de carnet 2006-11405 , con trabajo de graduación titulado: "ANÁLISIS DE FALLAS EN BOMBAS PARA DISTRIBUCIÓN DE BUNKER Y SUS CONSECUENCIAS EN LA PRODUCCIÓN DE VAPOR, PARA LA ESTERILIZACIÓN DE EQUIPO MÉDICO CIRUJANO DEL HOSPITAL DE GINECO-OBSTETRICIA DEL INSTITUTO GUATEMALTECO DE SEGURIDAD SOCIAL."

El trabajo de tesis ha sido revisado y corregido por mi persona, finalizado a mi entera satisfacción, ya que cumple con los requisitos exigidos por la Facultad de Ingeniería y la Escuela de Ingeniería Mecánica, por lo que otorgo mi aprobación para que pueda continuar con los trámites pertinentes.



Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza

Colegiado número 5,190

Gilberto Enrique Morales Baiza
INGENIERO MECANICO
COLEGIADO No. 5,190



USAC

TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.Mecanica.128.2014

El Coordinador del Área de Complementaria, de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado **ANÁLISIS DE FALLAS EN BOMBAS PARA DISTRIBUCIÓN DE BUNKER Y SUS CONSECUENCIAS EN LA PRODUCCIÓN DE VAPOR, PARA LA ESTERILIZACIÓN DE EQUIPO MÉDICO CIRUJANO DEL HOSPITAL DE GINECO-OBSTETRICIA DEL INSTITUTO GUATEMALTECO DE SEGURIDAD SOCIAL** del estudiante **Diego Alejandro Nájera Villate**, recomienda su aprobación.

"Id y Enseñad a Todos"



Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Coordinador del Área de Complementaria
Escuela de Ingeniería Mecánica

Guatemala, julio de 2014.



USAC

TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.Mecanica.158.2014

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, con la aprobación del Coordinador del Área Térmica, del trabajo de graduación **ANÁLISIS DE FALLAS EN BOMBAS PARA DISTRIBUCIÓN DE BUNKER Y SUS CONSECUENCIAS EN LA PRODUCCIÓN DE VAPOR, PARA LA ESTERILIZACIÓN DE EQUIPO MÉDICO CIRUJANO DEL HOSPITAL DE GINECO-OBSTETRICIA DEL INSTITUTO GUATEMALTECO DE SEGURIDAD SOCIAL**, del Estudiante **Diego Alejandro Nájera Villate**, procede a la autorización del mismo.

"Id y Enseñad a Todos"

MA Ing. Julio César Campos Paiz
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica

MA Ing. Julio César Campos Paiz
DIRECTOR
Esc. Ingeniería Mecánica

Guatemala, julio de 2014.



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.368.2014

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado: **ANÁLISIS DE FALLAS EN BOMBAS PARA DISTRIBUCIÓN DE BUNKER Y SUS CONSECUENCIAS EN LA PRODUCCIÓN DE VAPOR, PARA LA ESTERILIZACIÓN DE EQUIPO MÉDICO CIRUJANO DEL HOSPITAL DE GINECO-OBSTETRICIA DEL INSTITUTO GUATEMALTECO DE SEGURIDAD SOCIAL**, presentado por el estudiante universitario: **Diego Alejandro Nájera Villate** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, agosto de 2014

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por darme la oportunidad de alcanzar uno de mis sueños y más grandes anhelos.
Mis padres	Inge María Teresa Villate Villatoro y Augusto Arnoldo Nájera Lemus, por su incondicional apoyo, guía y amor a lo largo de toda mi vida.
Mis hermanos	Guillermo Arnoldo e Inge Maythe Nájera Villate, por su paciencia y cariño a lo largo de muchos años.
Mi familia	Abuelos, tíos, tías y demás familia, por desear que este momento fuese realidad.
Lucía del Rosario Paz Ruiz	Por su incondicional amor, paciencia y apoyo a lo largo de este proceso, siempre deseando lo mejor para mi persona y futuro.
Mis amigos	A todos ellos por ser parte de mi vida.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios

Por ser la fuente y motor de este momento, por permitirme haber alcanzado una meta más en mi camino y ser partícipe en todo momento de alegrías.

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por haberme cobijado durante muchos años y poner en mí las bases de todos los conocimientos en mi ámbito humano y profesional.

**Instituto Guatemalteco
de Seguridad Social**

Por brindarme la oportunidad de realizar el estudio dentro de sus instalaciones y obtener la información necesaria para la realización de este trabajo.

**Ing. Gilberto Enrique
Morales Baiza**

Por haberme brindado su apoyo y conocimiento en el desarrollo de este proyecto.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. Consideraciones.....	2
1.2. Preguntas	2
1.3. Metodología de investigación y contenido del proyecto	3
2. ANTECEDENTES	5
2.1. Hospital de Gineco-Obstetricia del IGSS.....	5
2.2. Falta de bunker dentro del hospital	7
2.3. Servicio de Mantenimiento del Hospital de Gineco- Obstetricia	10
2.4. Procedimientos de esterilización de central de equipos	13
2.5. Procedimientos para la cocción dentro del Servicio de Alimentación	16
3. BOMBAS PARA BUNKER	19
3.1. Bombas para bunker	20
3.1.1. Tipos de bombas en el uso de bunker.....	21
3.1.2. Especificaciones de bombas de bunker	22

3.2.	Tuberías para transporte de bunker	22
3.2.1.	Normas.....	23
3.2.2.	Dimensiones comerciales de tubería	24
3.3.	Tipos de fallas	26
3.3.1.	Alineación.....	26
3.3.2.	Contenido del flujo.....	26
3.3.3.	Causas operativas.....	28
3.4.	Causas de las fallas	29
3.4.1.	Alineación.....	29
3.4.2.	Contenido del flujo.....	30
3.4.3.	Causas operativas.....	32
3.5.	Métodos de corrección de fallas comunes en bombas de bunker	33
3.5.1.	Alineación.....	33
3.5.2.	Contenido del flujo.....	34
3.5.3.	Causas operativas.....	35
3.5.4.	Detección y solución de fallas generales	36
4.	ANÁLISIS DE FALLAS EN LAS BOMBAS DE BUNKER DEL HOSPITAL DE GINECO-OBSTETRICIA DEL INSTITUTO GUATEMALTECO DE SEGURIDAD SOCIAL	41
4.1.	Métodos aplicables para analizar fallas en bombas	41
4.2.	Consecuencias por fallas	42
4.3.	Aplicación del resultado del análisis.....	45
4.4.	Presentación del análisis obtenido de la entidad hospitalaria.....	57
4.5.	Corrección de fallas detectadas	59
4.6.	Mejora continua.....	59

CONCLUSIONES	61
RECOMENDACIONES.....	63
BIBLIOGRAFÍA.....	65
ANEXOS.....	67

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Libro de control de gas propano del Servicio de Mantenimiento.....	7
2.	Ingreso al área del Servicio de Mantenimiento del HGO-IGSS.....	10
3.	Bombas para el bombeo de bunker	12
4.	Manómetros de la caldera que muestran presiones de ingreso y retorno de combustible bunker.....	13
5.	Autoclaves ubicadas en el Servicio de Central de Equipos	14
6.	Autoclave eléctrica utilizada en el Servicio de Central de Equipos del HGO-IGSS	16
7.	Bomba de engranajes para trasiego de combustibles pesados	19
8.	Diagrama de elementos para sistema de bombeo.....	21
9.	Bomba marca Viking en funcionamiento.....	47
10.	Tornillo de calibración de la bomba de bunker (señalado).....	48
11.	Presiones de operación estables al ingreso a la caldera	50
12.	Muestra de alineación correcta en sistema de poleas y bomba de bunker	53
13.	Engranaje de bomba de bunker dañado por alineación incorrecta	57

TABLAS

I.	Consumo promedio mensual de gas GLP y bunker	9
II.	Consumo promedio diario de gas GLP y bunker	9
III.	Tiempo de esterilización y secado	15
IV.	Normas para la construcción y ensayo de materiales.....	24

V.	Dimensiones comerciales de tubería para un espesor determinado ..	25
VI.	Detección y solución de problemas	37
VII.	Consumo promedio mensual del GLP y bunker	42
VIII.	Costo por galón de combustible	43
IX.	Costos en uso de combustible promedio contra costos durante las reparaciones	43

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cm	Centímetro
Gal	Galón
°C	Grados Celsius
°F	Grados Fahrenheit
Hz	Hertz
KW	Kilowatt
m	Metro
Q	Quetzal
BTU	Unidad de calor

GLOSARIO

Abrasión	Acción de quitar o arrancar algo mediante fricción.
ASME	Acrónimo de American Society of Mechanical Engineers. (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos) Es una asociación de profesionales, que ha generado un código de diseño, construcción, inspección y pruebas para equipos, entre otros, calderas y recipientes sujetos a presión.
Autoclave	Aparato para esterilizar por vapor que consiste en un recipiente cilíndrico, de paredes resistentes; metálicas, y con cierre hermético autoclave, en cuyo interior, que contiene un líquido, generalmente agua, el objeto se somete a presiones y temperaturas elevadas sin llegar a hervir.
Bomba	Máquina que se usa para extraer, elevar o impulsar líquidos y gases de un lugar a otro, en este caso bunker.
Bunker	Combustible utilizado por las calderas para la generación de vapor, derivado del petróleo.

Caldera	Aparato dotado de una fuente de calor donde se calienta o se hace hervir el agua y que puede tener varias aplicaciones.
Calderín	Aparato con funcionalidad similar a la caldera pero a una escala mucho menor.
Densidad	Relación entre la masa y el volumen de una sustancia, o entre la masa de una sustancia y la masa de un volumen igual de otra sustancia tomada como patrón.
Desgaste	Consumir una parte de la superficie de una cosa a causa del uso, el roce, la erosión, entre otros.
Esterilización	Eliminación o muerte de todos los microorganismos que contiene un objeto o sustancia, y que se encuentran acondicionados de tal forma que no pueden contaminarse nuevamente.
Excentricidad	Parámetro que determina el grado de desviación de una sección cónica con respecto a una circunferencia.
Fricción	Rozamiento entre dos cuerpos en contacto, uno de los cuales está inmóvil.
GLP	Gas Licuado Petróleo, es el gas que comúnmente se utiliza en los hogares y restaurantes como combustible para generar la llama para la cocción

de alimentos y otros fines.

HGO

Hospital de Gineco-Obstetricia.

IGSS

Instituto Guatemalteco de Seguridad Social.

Lubricación

Poner suave o resbaladiza una cosa, en especial aplicando una sustancia aceitosa o grasa.

Marmita

Olla de metal cubierta con una tapa que queda totalmente ajustada. Se utiliza generalmente a nivel industrial para procesar alimentos nutritivos tales como: mermelada, jalea, chocolate, dulces, salsas carne, bocadillos, confites entre otros y además sirve en las industrias farmacéuticas.

Presión

Fuerza que es ejercida a un gas, un líquido o un sólido sobre una superficie.

Rigidez

Capacidad de resistencia de un cuerpo a doblarse o torcerse por la acción de fuerzas exteriores que actúan sobre su superficie.

Servicio pesado

Es la clase de servicio en la que una máquina es puesta en operación por intervalos largos de servicio en los cuales, su valor de tiempo está muy

cercano al rango superior permisible o este rebasa el mismo.

Tenacidad

Es la energía total que absorbe un material antes de alcanzar la rotura en condiciones de impacto, por acumulación de dislocaciones. Se debe principalmente al grado de cohesión entre moléculas.

Viscosidad

Es la oposición de un fluido a las deformaciones tangenciales, debida a las fuerzas de cohesión moleculares. Todos los fluidos conocidos presentan algo de viscosidad, siendo el modelo de viscosidad nula una aproximación bastante buena para ciertas aplicaciones. Un fluido que no tiene viscosidad se llama fluido ideal.

RESUMEN

En los primeros meses del 2014, el Hospital de Gineco-Obstetricia (HGO) del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social (IGSS), experimentó una desabastecimiento de combustible tipo bunker en el área de caldera. La falta de combustible derivó de las continuas fallas en las bombas que suministraban el combustible a la caldera, encargada de producir el vapor, para los distintos servicios del hospital.

El Servicio de Mantenimiento de la unidad hospitalaria procedió a realizar los ajustes y reparaciones necesarias para reiniciar el funcionamiento del equipo de bombeo. Desafortunadamente, los equipos de bombeo fallaron nuevamente, provocando, que se efectuara un doble trabajo. Generando una vez más, costos innecesarios a la unidad hospitalaria. Motivo por el cual, se desarrolló un análisis para determinar los factores causantes de las fallas.

Los servicios fueron afectados considerablemente, retrasando procesos, limitando el uso de equipo médico quirúrgico, consumiendo otros combustibles para solventar la crisis, lo cual generó costos a la unidad. Las fallas que se produjeron, fueron provocadas por una gran variedad de causas, como: la falta de tecnificación, desalineación, sobrecalentamientos y la falta de mantenimiento a los equipos afectados así como a los dependientes de estos. Producto del análisis, fue posible determinar los factores antes mencionados y solventar su incidencia en la problemática, reduciendo el riesgo, de esta manera, evitando que períodos de emergencia como el acontecido se susciten nuevamente en el referido hospital.

OBJETIVOS

General

Analizar las fallas en bombas para distribución de bunker y sus consecuencias en la producción de vapor para la esterilización de equipo médico cirujano del Hospital de Gineco-Obstetricia del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social.

Específicos

1. Determinar con precisión las causas que han ocasionado fallas en bombas para distribución de bunker.
2. Elaborar un análisis minucioso a cada una de las bombas que han sido objeto de fallas.
3. Presentar el resultado del análisis, como beneficio al centro hospitalario en función de costo, vida útil y función específica.
4. Elaborar las recomendaciones a la entidad hospitalaria y la aplicación del análisis desarrollado.

INTRODUCCIÓN

En el hospital situado en las colinas de la Finca Pamplona, surge la necesidad de mantener el servicio hospitalario durante los eventos suscitados a raíz del terremoto de febrero del 1976. En ese año, la junta directiva del seguro social toma la decisión de trasladar el Hospital de Gineco-Obstetricia, del antiguo edificio Hotel Victoria al área donde actualmente está ubicado. Es necesario mencionar, que dentro de las instalaciones del hospital, se cuenta con un área de mantenimiento la cual tiene como una de sus principales funciones el suministro de vapor a los diferentes equipos del hospital.

Sin embargo, en el proceso del suministro han surgido constantes fallas en las bombas de distribución para bunker, siendo estas importantes dado a que incrementan presión del fluido dentro de la red de distribución, consecuentemente desestabiliza la esterilización del equipo médico cirujano. Dichas fallas complican la producción de vapor, estabilidad y funcionamiento normal de la entidad hospitalaria.

Por tanto, cabe señalar que el presente proyecto de investigación, se enmarca en las líneas de investigación dictadas por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Derivado de la necesidad que presenta el Hospital de Gineco-Obstetricia del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social, en conocer y solucionar las causas, por las que las bombas para distribución de bunker en reiteradas ocasiones fallan, se hace necesario plantear las siguientes interrogantes:

- ¿Cuál es la causa fundamental de las fallas en las bombas de combustible de bunker?
- ¿Las fallas en las bombas de combustible pueden evitarse o minimizarse?
- ¿Las fallas en las bombas de combustible son aleatorias y de carácter aislado?
- ¿Se pudieron prevenir las fallas ya ocurridas a través de buenas prácticas de mantenimiento?

En virtud de las interrogantes anteriores surge esencialmente un cuestionamiento, el cual se plantea como hipótesis del presente estudio.

Las bombas para distribución de bunker del Hospital de Gineco-Obstetricia del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social, han experimentado fallas a causa de baja calidad de los elementos utilizados y malas operaciones de elementos dentro del proceso de distribución de las bombas.

1.1. Consideraciones

Es vital tomar en cuenta ciertos factores elementales y únicos exclusivos para la unidad hospitalaria, así como factores usuales de manejo, distribución y mantenimiento de todo el equipamiento en directa relación con la utilización de bunker.

Se deducen como factores intrínsecos al centro hospitalario, todos aquellos que, derivados de su ubicación geográfica, factores propios de diseño de instalaciones y equipo, y condiciones ambientales, son únicos y por ende exclusivos para el centro hospitalario en específico. Tales factores juegan un papel fundamental en la sustentabilidad del servicio para distribución de bunker.

Aunado a esto, es necesario verificar y controlar otros factores, los cuales por su carácter común es decir, otros consumidores de bunker puede experimentar los problemas suscitados en el hospital, pudiendo ser objeto de estudio, la calidad de bombas, bunker, elementos periféricos y operación del sistema, los cuales en determinado momento puede causar o agravar los problemas en las bombas de distribución de bunker en la unidad hospitalaria.

1.2. Preguntas

Derivado del presente análisis, es inevitable el surgimiento de preguntas que por su carácter inquisitivo, sean puestas en consideración al momento de elaborar el estudio, teniendo especial cuidado en ponerlas, como parte esencial a considerar. Dichos cuestionamientos son de carácter técnico y teórico y responden a los siguientes parámetros: viabilidad, razón social, necesidad del centro hospitalario, costo y beneficio del estudio, de tal forma que quedan enmarcados dentro del análisis hecho, respondiendo a las interrogantes:

- ¿Es viable y razonable realizar un análisis de fallas en bombas de bunker para el centro hospitalario?
- ¿El análisis de fallas puede mejorar la calidad y atención en los pacientes, generando impacto positivo?
- ¿Es necesario realizar un análisis de la importancia de las bombas de bunker dentro del hospital?
- ¿El costo y el beneficio de mantener en buen funcionamiento las bombas de bunker, es considerable en función de otra alternativa?

1.3. Metodología de investigación y contenido del proyecto

- Desarrollo metodológico

El desarrollo metodológico se llevará a cabo en varias etapas, dentro de las cuales se observarán, bombas, bunker, fichas bibliográficas, documentos, imágenes, fotografías, y accesorios a utilizar destinados para tal efecto.

- Proceso de observación

En todo el proceso de observación se consultarán, manuales de equipo, fuentes bibliográficas, así como la observación circunstancial del funcionamiento de las bombas, con el fin de detectar de forma minuciosa las causas que han provocado que las bombas se arruinen y cuales quiera otras causas que se vean involucradas en la consecución de los objetivos de investigación.

- Método analítico

El presente método permite descomponer el todo en partes para estudiar cada una de ellas por separado, con la finalidad de descubrir las causas que han provocado las fallas constantes de las bombas.

- Método inductivo

A través de este método se obtienen propiedades generales a partir de las propiedades singulares, con lo que se pretende establecer los orígenes de las fallas.

- Contenido del proyecto

Dentro del presente proyecto se considera lo siguiente: la evaluación e impacto de la falta de combustible tipo bunker, analizando los archivos y cuadros de control con los que cuenta el referido hospital. Esto con el fin de establecer la correlación entre la falta de bunker y el incremento de otros insumos hospitalarios, así como el deterioro en la calidad de los servicios específicamente de alimentación y esterilización de equipo, a causa de la falta de bunker para producción de vapor.

Además del estudio de las fallas más comunes en bombas así como su diseño, para establecer las principales y más probables causas de falla en las bombas de la unidad hospitalaria.

Por último, el análisis propiamente, el cual dispondrá de elementos recabados de manera descriptiva, con lo cual se comprobará o refutará finalmente la hipótesis de la propuesta.

2. ANTECEDENTES

2.1. Hospital de Gineco-Obstetricia del IGSS

El Hospital de Gineco-Obstetricia del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social cumple con la función esencial de dar tratamiento y asistencia a las pacientes que se encuentran en diferentes puntos del ciclo de gestación. Las pacientes son atendidas desde el momento de su embarazo hasta la conclusión del mismo.

La unidad hospitalaria brinda atención integral a todas las pacientes que así lo requieran. Dentro del hospital se cuentan con diferentes clínicas, tales como: Dental, Oncología, Mediano y Alto Riesgo. Sumado a las clínicas, se encuentra el área de hospitalización y atención a las pacientes, la cual cuenta entre sus servicios los de mantenimiento, ropería y lavandería, central de equipos y alimentación. Cada uno de estos servicios brinda un apoyo esencial al buen funcionamiento del hospital.

Dentro del área del Servicio de Mantenimiento, se encuentran ubicadas dos calderas las cuales funcionan de manera alterna. Las calderas producen vapor a través de la utilización combustible tipo bunker (un derivado del petróleo), el cual es quemado para producir una llama que eleva la temperatura de la cámara interior llena de agua, produciendo vapor para el consumo de los diferentes servicios del hospital.

Los Servicios de Central de Equipos y Alimentación son los que hacen uso de vapor para su funcionamiento. En el caso del servicio de central de equipos,

dentro de éste, se llevan a cabo las tareas de sanitización y esterilización de equipo médico cirujano, utilizado para realizar los procedimientos e intervenciones a las pacientes que lo requieran. Se lleva a cabo gracias al empleo de cuatro autoclaves, operadas con vapor. De los cuales, dos utilizan la generación de vapor por medio de corriente eléctrica, y los otros dos por el vapor generado a través de la caldera del hospital. Los autoclaves utilizan la temperatura del vapor para desinfectar y sanitizar los instrumentos de carácter reutilizable.

Por otro lado se encuentra el Servicio de Alimentación, el cual es el encargado de preparar las raciones alimenticias para las pacientes internadas dentro de las instalaciones, así como la de los trabajadores suscritos a los turnos rotativos de todo el hospital y todos los servicios. El servicio prepara diariamente tres comidas (desayuno, almuerzo y cena), para cada uno de estos. Para cumplir con la demanda alimenticia, el servicio se vale del equipo industrial como estufas que funcionan con gas y marmitas con vapor. Las cinco marmitas con una capacidad media de cincuenta litros cada una, permiten utilizar la energía calorífica del vapor proveniente de la caldera para cocinar los alimentos en grandes lotes y poco tiempo.

Durante los meses de diciembre de 2013 y enero y febrero de 2014, se produjo un desabastecimiento de combustible tipo bunker, para caldera, provocando que los servicios de alimentación y central de equipos no cumplieran a cabalidad sus funciones. Debido a que durante este periodo se estropearon dos bombas para distribución de bunker, las cuales no solo representan una parte vital para el funcionamiento de la caldera y por ende los servicios asociados a esta. Las bombas, debieron de ser reemplazadas inmediatamente ante la emergencia surgida. Durante este período la capacidad

de esterilización de equipo se vio mermada. Al igual que el Servicio de Alimentación, retardando los procesos para cocción de alimentos.

2.2. Falta de bunker dentro del hospital

Durante el período de casi tres meses, el consumo de bunker para la caldera fue intermitente, no se pudo trabajar con la normalidad acostumbrada. La falta de bunker ocasionó un incremento en otros rubros, dentro de estos se encontró el de gas licuado petróleo (GLP) empleado por las estufas industriales para cocinar los alimentos necesarios para el hospital. La falta de bunker propició que se incrementara la media de consumo anual de 20 hasta 42,7 galones de gas, duplicando así el consumo promedio general. Esto se evidencia al consultar los libros de control de combustibles y sus derivados de la institución.

Figura 1. Libro de control de gas propano del Servicio de Mantenimiento



Fuente: Servicio de Mantenimiento del HGO-IGSS.

El uso de gas no solo incrementó el consumo del mismo, sino los tiempos en la preparación de alimentos, fueron en gran medida más extensos.

Dentro de la central de equipos, la falta de vapor para las autoclaves, causada por la falta de combustible para la caldera, se evidenció, de tal forma que las autoclaves eléctricas fueron puestas en servicio continuo, en turnos de veinticuatro horas, durante el período de la emergencia. El uso continuo y desmedido ocasionó problemas en las autoclaves, causando desperfectos en el sistema, colocando en un impase la esterilización de equipo médico cirujano.

Sumado a esta situación, otra unidad médica de la institución, se dio a la tarea de prestar el servicio, siendo el Hospital Juan José Arévalo Bermejo, ubicado en la zona 6 de la ciudad capital, el encargado de llevar a cabo esta tarea. Sin embargo, el costo de traslado, personal e insumos necesarios corrió por cuenta del Hospital de Gineco-Obstetricia, incrementando aún más los ya elevados costos por la falta de vapor, como consecuencia directa de la inoperancia de las bombas de bunker para la caldera.

Sin embargo, la falta del flujo constante de bunker no evitó que este se siguiese utilizando, producto de las constantes pruebas realizadas durante la etapa de reparaciones de las bombas de bunker y la caldera. Como se evidencia en los libros para el control de la entidad. En las tablas I y II se puede apreciar el consumo promedio mensual y diario respectivamente del gas GLP y el de bunker durante esos meses.

Tabla I. **Consumo promedio mensual de gas GLP y bunker**

MES	Consumo diario promedio (Gal)	Consumo mensual (Gal)
Noviembre	89,27	2 678
Diciembre	87,94	2 726
Enero	88,13	2 732
Febrero	88,71	2 485
Marzo	90,52	2 806

Fuente: libros de control de combustibles del HGO-IGSS.

Tabla II. **Consumo promedio diario de gas GLP y bunker**

MES	Consumo diario promedio (Gal)	Consumo mensual (Gal)
Noviembre	0,63	19
Diciembre	0,63	19,5
Enero	0,89	27,5
Febrero	1,53	42,7
Marzo	0,60	18,5

Fuente: elaboración propia.

2.3. Servicio de Mantenimiento del Hospital de Gineco-Obstetricia

Dentro del Hospital de Gineco-Obstetricia del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social está ubicado el Servicio de Mantenimiento, el cual cuenta entre sus principales funciones: garantizar el flujo estable y constante de vapor a los diferentes servicios que así lo requieran. La ubicación de este servicio se puede observar en la figura 2.

Figura 2. **Ingreso al área del Servicio de Mantenimiento del HGO-IGSS**



Fuente: HGO-IGSS.

Al mismo tiempo, tiene el deber de preservar en la medida de las posibilidades el equipo industrial y médico del hospital. Dentro de los diferentes equipos instalados, se encuentra las bombas para distribución de combustible bunker. Estas bombas son las encargadas de proveer a la caldera del flujo necesario de bunker para el correcto funcionamiento de la caldera. La caldera la obtener un flujo continuo de bunker, puede trabajar para producir el vapor necesario para los servicios, previa a una correcta combustión del bunker dentro del hogar de la caldera.

El Servicio de Mantenimiento, cuenta con operarios para el manejo de la caldera, teniendo esencialmente un mecánico de calderas y personal colaborador, el cual maneja las calderas, bombas de agua, niveles y bombas de bunker.

Las bombas de bunker que se encuentran en el servicio de mantenimiento, utilizan un sistema de doble *bypass*, el cual permite seleccionar la línea de succión a utilizar, la bomba de bunker a trabajar y la línea de descarga de combustible (bombeo para una u otra caldera). En la figura 3, se pueden observar las bombas para bombeo de bunker.

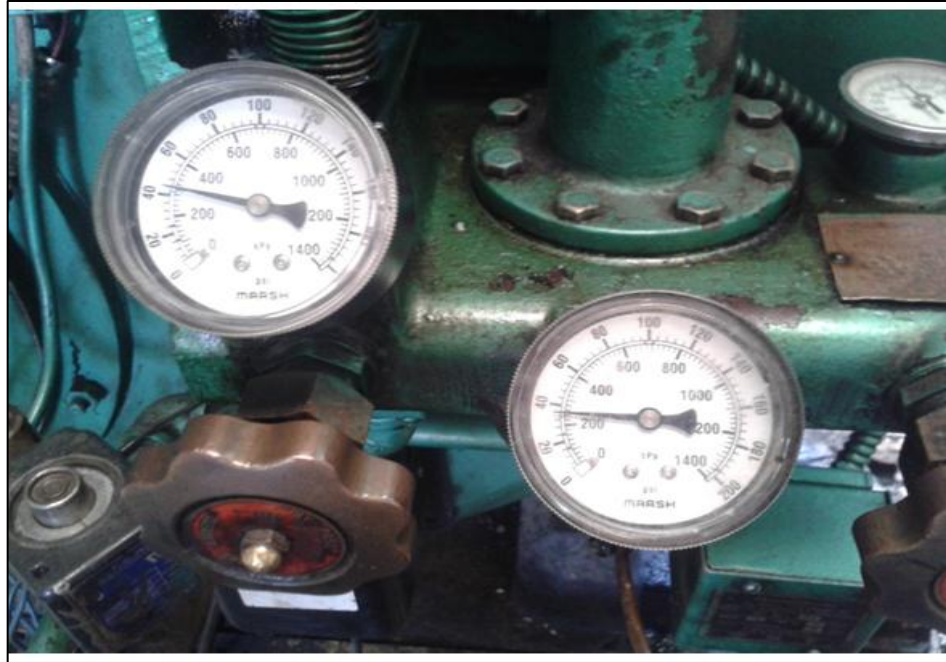
Figura 3. **Bombas para el bombeo de bunker**



Fuente: área de calderas.

Para el correcto funcionamiento de la caldera, es necesario mantener presiones estables tanto de bombeo como de retorno de combustible, cualidades que se obtienen a partir de la correcta operación de los diafragmas de la caldera y las llaves de manejo de la misma. Las presiones se miden en manómetros que se muestran a continuación en la figura 4.

Figura 4. Manómetros de la caldera que muestran presiones de ingreso y retorno de combustible bunker



Fuente: área de Servicio de Mantenimiento del HGO-IGSS.

2.4. Procedimientos de esterilización de central de equipos

El servicio encargado de la manipulación y esterilización del equipo médico cirujano es el de central de equipos, el cual cuenta con autoclaves de capacidades media altas. Posee cuatro equipos (ver figura 5), que funcionan con vapor, de los cuales dos operan con vapor producido por un calderín, ubicado en la parte inferior de la autoclave y una resistencia que eleva la temperatura. El segundo tipo de autoclaves con el que cuenta la unidad, son los alimentados a vapor producido por la caldera.

El procedimiento para la esterilización de equipo en términos generales se da en una serie de sencillos pasos los cuales se detallan a continuación.

- Limpieza de utensilios (desangrado y lavado general)
- Disposición de elementos en pequeños empaques
- Colocación sobre bandeja o contenedor del autoclave
- Apertura de válvulas de vapor
- Cierre de válvula de salida
- Tiempo de esterilización
- Cierre de válvulas de vapor
- Apertura de válvula de salida
- Tiempo de secado
- Extracción
- Almacenamiento

Figura 5. **Autoclaves ubicadas en el Servicio de Central de Equipos**



Fuente: área de la Central de Equipos del HGO-IGSS.

Los tiempos de secado y de esterilización varían de acuerdo a los elementos que se desean esterilizar. En la tabla III se especifican estos tiempos.

Tabla III. **Tiempo de esterilización y secado**

Artículo	Esterilización (minutos)	Secado
Ropa quirófano	45	2 horas
Equipo quirúrgico	35	1 hora 30 minutos
Otros artículos	40	2 horas 25 minutos

Fuente: Servicio de Central de Equipos del HGO-IGSS.

Figura 6. **Autoclave eléctrica utilizada en el Servicio de Central de Equipos del HGO-IGSS**



Fuente: Servicio de Central de Equipos HGO-IGSS.

2.5. Procedimientos para la cocción dentro del Servicio de Alimentación

El Servicio de Alimentación cuenta con marmitas para la cocción de alimentos para las raciones de las pacientes internadas y de los trabajadores que se encuentren bajo el formato de turnos. Las marmitas funcionan a través

del flujo de vapor proveniente de la caldera, todo este vapor es generado a través de la quema de combustible de caldera, en el caso de la unidad hospitalaria, el bunker. En general, se puede decir que una marmita es un intercambiador de calor, la cual entrega calor a los alimentos contenidos en esta, enfriando el vapor en el interior, el cual es expulsado a través de una trampa de vapor.

El proceso general para el cocimiento de alimentos en el interior de las marmitas está dado por una serie de pasos detallados a continuación:

- Lavado de marmita completo, interior y exterior de la misma
- Apertura de la válvula de vapor, para la entrada del mismo a la marmita
- Llenado de marmita con agua potable, con la cual se cocinará
- Purga del sistema, para evacuar agua condensada residual
- Colocación de alimentos a cocinar
- Cerrar la marmita
- Definir tiempo de cocción
- Cerrar válvula de paso de vapor
- Retirar los alimentos cocinados
- Lavar nuevamente la marmita

En caso de que las marmitas presenten desperfectos, o falta de vapor, el procedimiento para cocinar los alimentos varía. Debido a que se hace uso de las estufas industriales las cuales consumen GLP (gas licuado petróleo).

3. BOMBAS PARA BUNKER

Las bombas para bunker son máquinas que incrementan la presión en un sistema, a través de la rotación provista por un motor, para que el combustible dentro de las tuberías para su transporte dentro de una instalación (ver figura 7). Con el objetivo de suministrar flujo constante de combustible a un equipo que así lo requiera.

Figura 7. **Bomba de engranajes para trasiego de combustibles pesados**



Fuente: serteces.com/index.php?option=com_content&view=article&id=68&Itemid=79.

Consulta: 21/06/2014

Las bombas de bunker utilizadas dentro del Hospital de Gineco-Obstetricia son de engranajes, impulsadas por un motor eléctrico de 110 voltios y 3 600 revoluciones por minuto, el cual entrega su potencia con una relación de poleas

paralelas. Las poleas paralelas tienen una tasa de transferencia de 10,3 vueltas a una, es decir, por cada 10,3 vueltas del motor el eje de la bomba habrá recorrido únicamente una vuelta completa. El cálculo de las revoluciones se da utilizando la siguiente fórmula.

$$\text{Relación} = \text{RPM de motor} / \text{RPM de bomba}$$

Del manual de la bomba se obtiene que la bomba para bunker del hospital trabaja a 350 revoluciones por minuto y que el motor eléctrico gira a 3 600 revoluciones por minuto. Por consiguiente se tiene en la ecuación los valores siguientes:

$$\text{Relación} = 3\,600 / 350$$

$$\text{Relación} = 10,3$$

El valor de 10,3 es el usual para este tipo de bombas y se encuentra en los parámetros que dicta el manual del fabricante, en este caso Viking INC.

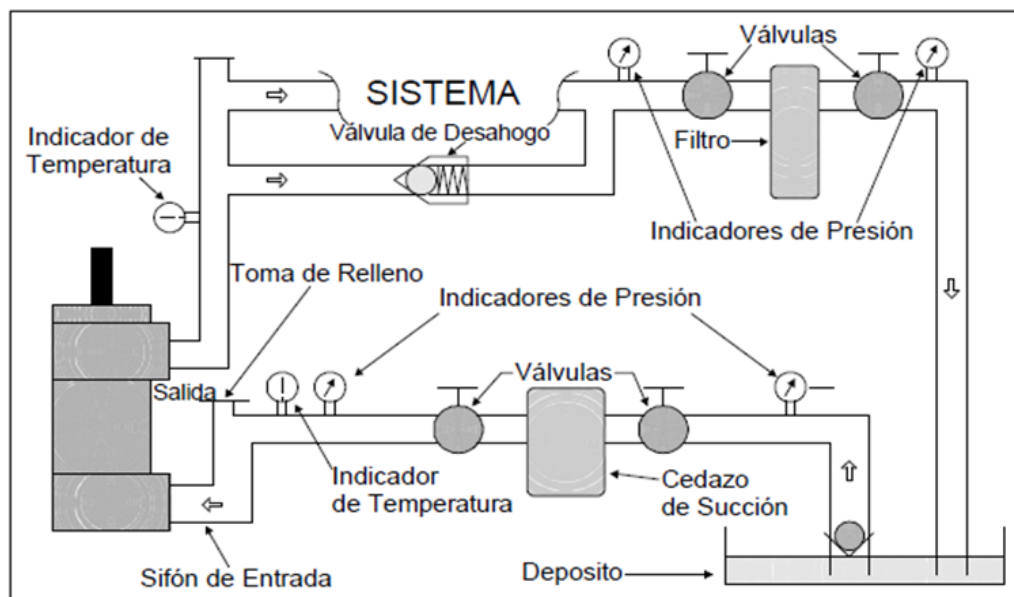
3.1. Bombas para bunker

En relación a las bombas que se utilizan para la distribución de bunker, se debe tomar en cuenta las diversas propiedades del combustible. Por una parte, la temperatura y la viscosidad resultan dos propiedades mutuamente dependientes, las cuales influyen directamente en el funcionamiento del equipo de bombeo. Dado que a mayor temperatura menor viscosidad y viceversa.

En consecuencia una bomba debe de tener las holguras y las capacidades para un fluido particularmente denso, además de soportar temperaturas elevadas usuales para esta clase de equipo. Adicionalmente se debe

considerar un desplazamiento positivo de la bomba. Estas cualidades de las bombas para bunker, le confieren a la misma determinados patrones. En la figura 8 a continuación se pueden observar los elementos de un sistema de bombeo.

Figura 8. **Diagrama de elementos para sistema de bombeo**



Fuente: *Manual IMO Pump, CA-01*. p.11.

3.1.1. Tipos de bombas en el uso de bunker

Dentro de las bombas para combustibles se encuentran de varios tipos, no solo por su mecanismo, sino también por la forma de propulsión.

- Bombas para despacho de combustible con motor de 12 o 24 voltios de corriente directa (DC).
- Bombas para despacho de combustible con motor de 110 voltios de

corriente alterna (AC).

- Bombas para alto flujo de servicio.
- Bombas de engranaje para trasiego de combustibles de servicio pesado, estas bombas son las recomendadas para bombear bunker, debido a su alta resistencia y desplazamiento para líquidos de altas viscosidades.

3.1.2. Especificaciones de bombas de bunker

Una bomba para bunker debe cumplir con los siguientes requerimientos:

- Trabajar a temperaturas superiores a los 90 grados centígrados
- Soportar viscosidades de trabajo muy elevadas
- Turnos de servicio prolongado
- Resistencia al desgaste y la abrasión
- Monturas con medidas y espaciamientos adecuados
- Rigidez en las partes expuestas y tenacidad en el interior de las mismas
- Flujo positivo
- Velocidades de trabajo medias y bajas
- Lubricación con fluido de trabajo

3.2. Tuberías para transporte de bunker

“La tubería conectada a la bomba tiene que sostenerse independientemente, y no puede permitir que imponga deformaciones en el bastidor de la bomba, inclusive permitir la expansión y la contracción debido a cambios en presión y temperatura. Para evitar espuma y arrastramiento de aire, todas las líneas de retorno en sistemas recirculantes deben terminar bastante debajo de la superficie líquida en el depósito.

El líquido de desvío de la presión de desahogo y las válvulas de control de flujo debe regresar a su origen (tanque, depósito, etc.), no a la línea de toma de la bomba. Las válvulas de cierre deben instalarse tanto en las líneas de succión como en las de descarga, para que la bomba se pueda aislar hidráulicamente, para darle servicio o retirarla. Toda tubería nueva debe escurrirse completamente antes de conectarse a la bomba.”¹

En el hospital, la red de tuberías para el suministro de bunker, está conformada por tubería de 2 pulgadas de diámetro, en hierro negro. Dada las especificaciones en cuanto al manejo del combustible que transportan. La tubería de hierro negro es de cédula número cuarenta fabricada bajo las especificaciones que dictan las normas internacionales.

3.2.1. Normas

Existe una diversidad de normas para la construcción y ensayo de tuberías, las cuales indican la forma más eficiente de ensamblar un sistema de acuerdo con las necesidades de cada sistema en particular, tomando como parámetros de diseño, la presión a la que es sometida el ensamble de tuberías. Entre estas normas se encuentran las que se especifican en la tabla IV a continuación.

¹ IMO Pump Co. Manual general de instalación, operación, mantenimiento, detección de problemas para bombas. Manual No. CA-01 (SRM00046-Spanish, 1997). p. 7

Tabla IV. **Normas para la construcción y ensayo de materiales**

Material	Normas de fabricación	Grado	Resistencia a la tracción (PSI)	Esfuerzo máximo permisible (PSI) a 650 °F
Acero	ASTM A53	A	48 000	12 000
Acero	ASTM A53	B	60 000	15 000
Acero	ASTM A-106	A	48 000	12 000
Acero	ASTM A-106	B	60 000	15 000
Acero	ASTM A-106	C	70 000	17 500

Fuente: CHIROY SANTOS, Julio Roberto. *Programa de Mantenimiento Preventivo para el Cuarto de Calderas del Hospital Privado de las Américas*. p. 18.

3.2.2. Dimensiones comerciales de tubería

Comercialmente existe una gran variedad de medidas para tubería, los diámetros son muy variados y dependen de la aplicación y la presión a la cual la tubería será sometida. El espesor de tubería que se encuentra comúnmente en los comercios varía en tres diferentes número. Cada espesor de tubería soporta distintos valores de presión, debido a que el valor monetario, de una tubería del mismo diámetro pero distinto espesor es significativamente mayor, se hace necesario optar por seleccionar los espesores adecuados para cada trabajo.

Partiendo de la premisa anterior, se hace visible la necesidad de manejar espesores diferentes, para presiones baja, media y alta. Estos espesores son conocidos como cédulas, a cada cedula le corresponde un valor numérico que denota su espesor, entre más alto es el número, más presión la tubería soporta. En la tabla V se pueden observar estos datos más detalladamente.

Tabla V. **Dimensiones comerciales de tubería para un espesor determinado**

DIMENSION (PULGADAS)	CEDULA 40	CEDULA 60	CEDULA 80
1/8	X		
1/4	X	X	
1/2	X	X	
3/4	X	X	X
1	X	X	X
1 1/8	X	X	X
1 1/4	X	X	X
1 1/2	X	X	X
2	X	X	X
3	X	X	X
4	X	X	X
5	X	X	X
6	X	X	X
8	X	X	X
10		X	X
12		X	X

Fuente: TuboCobre.

3.3. Tipos de fallas

Las fallas que se pueden presentar en un equipo de bombeo de combustible dependen de varios factores, los cuales pueden ser internos como las características de diseño y resistencia de las piezas; y externos como las ocasionadas por descontrol humano o errores en cuanto a montaje y mantenimiento del equipo.

3.3.1. Alineación

Dentro de las fallas ocasionadas por la falta de alineación de un equipo de bombeo, se encuentran las derivadas de la existencia de fuerzas excéntricas. Las fuerzas excéntricas ocasionadas por la desalineación de las poleas, provocan a su vez esfuerzos flectores. Los esfuerzos flectores, provocan cambios longitudinales en el eje provocando vibraciones en todo su largo.

En un eje, las vibraciones son elementos indeseados en la operación de bombas, debido a que provocan fuerzas ajenas a las diseñadas para cada equipo de bombeo. En ejes que poseen rodamientos o chumaceras, las vibraciones provocan desgastes uniformes radiales, se dicen comúnmente que el desgaste ha provocado una cintura en el eje. Estos desgastes, causan holguras, a una mayor holgura, mayores serán las vibraciones del sistema.

3.3.2. Contenido del flujo

Las fallas ocasionadas por el contenido del flujo, pueden deberse a dos factores fundamentales, el primero es partículas sólidas en suspensión en el líquido y segundo por utilización de la bomba para líquidos y viscosidades distintas a las contempladas por el diseño.

Los sólidos dispersos o en suspensión, pueden dañar el equipo, debido a que estos generan efectos abrasivos en las partes internas de la bomba. El desgaste por abrasión genera fallas en todas las piezas internas de la bomba.

“Líquidos bombeados

Nunca opere una bomba con agua. La bomba está diseñada para líquidos que tengan las características generales del aceite. En sistemas cerrados o recirculantes, examine el nivel del combustible en el tanque antes y después del arranque, para asegurarse de que está dentro de los límites de operación. Si el nivel de líquido inicial es bajo, o si gotea al llenarse el sistema durante el arranque u operaciones de bombeo, añada suficiente líquido limpio al tanque para traer el líquido a su nivel normal de operación. Use solamente líquido recomendado o aprobado para uso con el equipo. Deben hacerse inspecciones regulares de la condición del líquido.

En sistemas cerrados, siga las recomendaciones del fabricante para mantener el líquido y determinar cuándo el líquido debe cambiarse. Asegúrese de que la temperatura esté controlada, para que el líquido no baje de la viscosidad mínima permisible, lo que ocurre a temperatura máxima de operación. Además, asegúrese de que la viscosidad máxima al arrancar en frío no haga que la presión de entrada de la bomba caiga bajo el valor mínimo requerido.”²

² IMO Pump Co. Manual general de instalación, operación, mantenimiento, detección de problemas para bombas. Manual No. CA-01 (SRM00046-Spanish, 1997). p. 14

3.3.3. Causas operativas

Las causas operativas de una falla, son aquellas causadas por negligencia o desconocimiento del operario y/o mecánico. Estas pueden involucrar diferentes fuentes, tales como la falta de mantenimiento, falta de control y mal montaje e instalación del equipo.

“Variación térmica y límites de temperatura de operación

Durante el arranque de la bomba, así como durante la operación de la bomba, la bomba no debe sufrir choque térmico mayor de 50 °F (28 °C) del líquido que entra en la bomba. Los cambios rápidos de temperatura más allá de este límite deben evitarse. A menos que los apruebe el fabricante, los líquidos que entren por la toma de la bomba no deben ser más calientes de 225 °F (107 °C) ni más fríos de 0 °F (-18 °C). La mayoría de las bombas también tiene límites de temperaturas de 225 °F a 0 °F. La razón máxima de cambio de temperatura durante el calentamiento o enfriamiento de la bomba debe ser de aproximadamente 1,5 °F/minuto (0,8 °C/minuto). Una bomba caliente o enfriada debe retenerse a su temperatura de arranque por lo menos durante una hora antes del arranque.”³

“Chumaceras

El ambiente de la bomba, las condiciones de operación y los intervalos entre inspecciones de chumaceras, todo afecta la vida de la chumacera. Las

³ IMO Pump Co. Manual general de instalación, operación, mantenimiento, detección de problemas para bombas. Manual No. CA-01 (SRM00046-Spanish, 1997). p. 16

chumaceras tienen uso limitado y deben inspeccionarse a menudo, para aumentos en temperatura y/u operación irregular.”⁴

“Sellos del eje y filtraciones

Inspeccione visualmente el equipo frecuentemente para señales de avería o filtración de los sellos, arandelas o anillos en O del eje. Asegúrese de que todas las conexiones estén apretadas. Si la filtración del sello es mayor de aproximadamente 10 gotas por hora por sello, apague el equipo y repare o reemplace las piezas necesarias. Los sellos del eje tienen vida limitada que depende de las condiciones de operación y el ambiente. Se gastan y con el tiempo fallan.”⁵

3.4. Causas de las fallas

Las fallas, pueden ser causadas por una diversidad de factores. Todas las fallas son comúnmente asociadas a variaciones no contempladas por el uso o por el ambiente de la misma.

3.4.1. Alineación

Las causas de una falla por mala o incorrecta alineación, pueden deberse a varios factores, los cuales pueden incidir en distintas partes de la bomba. Generalmente las fallas por desalineación, ocasionan problemas en el área del eje y las piezas circunscritas a él. Una falla por mala alineación puede notarse en las secciones del eje que están sujetas o castigadas con tornillos o chavetas.

⁴ IMO Pump Co. Manual general de instalación, operación, mantenimiento, detección de problemas para bombas. Manual No. CA-01 (SRM00046-Spanish, 1997). p. 17

⁵ Ibid.

En estas zonas los ejes presentan una disminución en su diámetro, debido a rozamiento y desgaste por una rotación excéntrica.

Las fallas por incorrecta alineación provocan esfuerzos para los cuales la pieza no ha sido diseñada. Generalmente, las fallas por alineación se deben a causas ajenas al funcionamiento de las bombas. Es decir, son provocadas por desatenciones en el proceso de montaje y mantenimiento. Entre las causas más comunes, se encuentran las ocasionadas por un montaje y montura inapropiados. Un montaje inapropiado, es realizado cuando no se toman en cuenta las especificaciones del fabricante en cuanto a las holguras permitidas, para el correcto funcionamiento de un equipo. Una montura inapropiada, ocasiona vibraciones al equipo, provocando que las piezas de sujeción (tornillos, pernos, entre otros), se suelten, derivando en el movimiento del equipo.

3.4.2. Contenido del flujo

Debido a la existencia de diferentes relaciones y holguras para el funcionamiento de un equipo de bombeo, el fluido a desplazar y lo que este contenga son de suma importancia para poder evitar las fallas que puedan ser provocadas por incorrectas formas de trabajo. La viscosidad muy variable, suele ser una de las principales causas de fallas en equipos de bombeo, debido a que al cambiar el índice de viscosidad en el fluido transportado, los elementos internos de la bomba son forzados a mantener el ritmo de trabajo con fluidos más pesados y cambios repentinos a más ligeros y viceversa.

Por otra parte, como ya fue mencionado, una viscosidad inferior a la permisible por las características de diseño provoca un sobre funcionamiento del equipo de bombeo, el exceso de trabajo debido a la sobre producción,

genera que la temperatura interna de la bomba, se incremente de sobremanera, provocando fallas en partes esenciales susceptibles al excesivo calor.

Otra causa que se debe tomar en consideración, son las partículas o fluidos adicionales no deseados en el equipo de bombeo. Dentro de las partículas no deseadas, que se pueden encontrar dentro del bunker, se encuentran sólidos derivados del suelo y del proceso de extracción y refinación como arenas y partículas metálicas. Todos los sólidos suspendidos en el bunker actúan como abrasivo en las partes internas de la bomba, desgastando y acabando con la vida útil de la misma.

El desgaste por abrasión, genera mayores holguras a las permisibles dentro de las piezas del equipo de bombeo de bunker, haciendo imposible alcanzar las presiones de bombeo deseadas. Las partículas de tierra, arena y otros sedimentos se encuentran generalmente en el bunker, en ínfimas proporciones, cuando la proporción de estas excede las del diseño, el transporte de estas conjuntamente con el bunker, más la velocidad impresa por la bomba provocan, que la mezcla actúe como lija, desgastando y deformando el material en su entorno.

Sumado a esto, se encuentran, todos aquellos líquidos no deseados que se mezclan con el bunker ya sea de manera homogénea o heterogénea (liposolubles e hidrosolubles). Los líquidos (ej. aceites) que se pueden diluir en el bunker y mezclarse homogéneamente, pueden causar alteraciones en el comportamiento del mismo al ser bombeado, al igual que aquellas, que no pueden ser mezcladas en el bunker, denominadas hidrosolubles (ej. agua), las alteraciones del comportamiento pueden entenderse por:

- Cambio de la viscosidad
- Cambio de la temperatura de trabajo
- Inestabilidad del fluido
- Zonas distintas de trabajo dentro del equipo (para las tres anteriores)

Además, las distintas variaciones en el fluido, pueden provocar taponamientos en diversas secciones de las tuberías provocando esfuerzos innecesarios y súbitos en el accionar de la bomba de combustible.

3.4.3. Causas operativas

Una causa operativa, se le denomina a todo problema o falla suscitada por la incorrecta manipulación, instalación, traslado, mantenimiento irregular o movimiento del equipo de maneras inadecuadas. En general se puede decir, que son todas las causas que recaen sobre el operario o la mano de obra involucrada. Las causas operativas pueden deberse a diversos factores. Los cuales son detallados a continuación:

- Negligencia: las fallas por negligencia, son todas aquellas, que por la negativa del operario o trabajador, a prestar los servicios de manera efectiva, aduciendo conocimiento y tecnificación en la materia, ocasionan problemas en el equipo de trabajo, en este caso el equipo de bombeo.
- Desconocimiento: este se presenta, cuando los conocimientos científicos y técnicos son limitados o nulos, en la materia a tratar por parte del trabajador u operario. La falta de conocimiento en el manejo de equipo industrial, ocasiona que puedan provocarse fallas o problemas derivados de los malos o ineficientes manejos en un equipo de bombeo. El conocimiento de los estándares y técnicas para el manejo, instalación,

mantenimiento y montaje de un equipo, dotan un servicio eficiente e ininterrumpido de la máquina.

- **Uso de fuerza:** cuando un equipo, por deficiencias en el diseño de su montaje por parte de los operarios o trabajadores, al momento de instalarle o utilizarle, es forzado a trabajar en condiciones más allá de las recomendadas por el fabricante, o es sometido a golpes ajenos a su funcionamiento habitual, generan fallas en los materiales y en el funcionamiento fundamental del equipo, bajo las justificaciones que es por, “poner en funcionamiento” el mismo. Los reiterados golpes y angulos de trabajo no contemplados, son otros ejemplos de el uso de fuerza en cualquier equipo.
- **Elementos insuficientes:** en determinadas instancias, el trabajador u operador, se ve imposibilitado de cumplir su labor. Debido a la mala calidad o inexistencia de insumos y herramientas necesarias para llevar a cabo sus labores asignadas.

3.5. Métodos de corrección de fallas comunes en bombas de bunker

Para considerar una falla corregida, es necesario verificar que una vez reemplazada o reparada la avería el problema ya no persista. Ubicando los parámetros que en primera instancia, ocasionaron los problemas en el equipo.

3.5.1. Alineación

Para realizar y mantener una alineación aceptable dentro de los estándares del fabricante, se hace necesario observar varios parámetros de

consideración. Los parámetros a considerar son de carácter de diseño, periodicidad en el mantenimiento.

“Todas las unidades de bomba y transmisión deben alinearse después de instaladas y a intervalos regulares de mantenimiento. Esto es aplicable a unidades montadas en la fábrica, (nuevas o reconstruidas, porque el alineamiento en la fábrica a menudo se afecta durante el embarque. Han de usarse manguitos flexibles para conectar la bomba a la transmisión (a menos que el fabricante haya especificado lo contrario). El objetivo del procedimiento de alineamiento es alinear los ejes (no alinear los cubos del manguito), mediante métodos que cancelen cualquier irregularidad de la superficie, flotación del extremo del eje, y excentricidad. A temperaturas de funcionamiento sobre 175 °F (65 °C), las bombas requieren “alineamiento caliente”) después que la bomba y la transmisión alcancen temperaturas normales de operación. Además, vuelva a inspeccionar el alineamiento final después de que toda la tubería esté conectada a la bomba.”⁶

3.5.2. Contenido del flujo

Cuando se ha dictaminado que el contenido del flujo presenta anomalías en cuanto a su contenido, forma o propiedades, se debe de realizar una serie de medidas, dependiendo el grado de contaminación del fluido.

⁶ IMO Pump Co. Manual general de instalación, operación, mantenimiento, detección de problemas para bombas. Manual No. CA-01 (SRM00046-Spanish, 1997). p. 4

- Grado bajo de contaminación:
 - Limpiar o reemplazar las mallas de los filtros de bunker para eliminar partículas y taponamientos.
 - Remoción de sustancias no solubles en el bunker, dependiendo de su cantidad.
 - Servicio del equipo de bombeo.

- Grado medio de contaminación:
 - Utilización de químicos dispersantes u otros recomendados por los manuales de trabajo.
 - Reemplazo de sistemas de filtrado, cambio de filtros completos, sellos.
 - Servicio mayor al equipo de bombeo, incluye inspección de holgura y reemplazo de partes.

- Grado alto de contaminación:
 - Dragado de combustible y limpieza del mismo.
 - Sustituciones parciales o totales del combustible.
 - Reemplazo de la bomba en caso de daño mayor.

3.5.3. Causas operativas

Las soluciones de causas operativas son un proceso gradual, que involucra varios esquemas, administrativo, operativo y motivacional. Para la resolución de causas derivadas de esquemas técnicos concernientes a la operación propia de cualquier equipo, se deben tener y programar distintas actividades que permitan la mejora continua por parte de las personas. En cuanto a las partes esquemáticas y administrativas es necesario adoptar

medidas que mejoren el rendimiento del trabajador como se describe a continuación:

- Operativas
 - Diseñar e implementar programas de capacitación que permitan, actualizarse y adoptar nuevos conocimientos para el mantenimiento y mejora de todos los equipos.
 - Evaluar y contratar personal adecuado a las áreas de trabajo.
- Administrativas
 - Agilizar y esquematizar los trámites y procedimientos para mejora continua.
 - Dotar al personal con equipo y herramientas necesarias, para llevar a cabo sus labores con resultados satisfactorios.
- Motivacionales
 - Establecer sistemas de remuneración adecuada.
 - Seminarios de valorización del personal.

3.5.4. Detección y solución de fallas generales

La rápida detección de fallas, en un equipo de bombeo provee una fuerte herramienta al usuario del equipo. La cual permite que se puedan solventar los problemas de manera rápida, eficaz y económica.

Tabla VI. **Detección y solución de problemas**

DESPERFECTO	CAUSA POSIBLE	REMEDIO
Pérdida de flujo o baja capacidad	Desperfectos de los componentes del sistema	Inspeccionar todos los componentes del sistema. Corregir los desperfectos. Asegurarse de que las líneas de succión y descarga estén abiertas y que todas las válvulas estén en la posición correcta.
	Bomba sin preparar o desventar	Inspeccionar el nivel de aceite del depósito y llenarlo según sea necesario. Desventar el aire de la bomba.
	Baja velocidad de la bomba	Asegurarse de que la transmisión no esté sobrecargada. Asegurarse de que la correa no patine. Para transmisiones de velocidad variable o dispositivos intermedios de velocidad variable, asegurarse de que se ha fijado la velocidad correcta.
	Rotación incorrecta de la bomba	Corregir la dirección de la rotación de la transmisión.
	Obstrucción en la tubería	Inspeccionar toda la tubería y las válvulas. Remover cualquier obstrucción.
	Desgaste de rotores y/o bastidores	Reemplazar rotores, engranes y/o bastidores desgastados.
	Desvío del sistema	Inspeccionar todas las válvulas de desvío del sistema, inclusive la válvula de desahogo. Reparar o reemplazar, según sea necesario.
	Presión insuficiente de toma	Remover la obstrucción. Limpiar el cedazo de succión o el elemento de filtro.
Pérdida de succión	Línea de succión cerrada, bloqueada o con filtración	Verificar que la válvula de la línea de succión esté abierta. Inspeccione la línea de succión, especialmente las juntas. Remover cualquier obstrucción y repare cualquier filtración. Limpiar el cedazo y reemplace el filtro.
	Viscosidad excesiva	Reducir la viscosidad calentando la bomba y/o líquidos del sistema.
	Cedazo mugriento de succión	Limpiar o reemplazar el cedazo o el elemento del filtro.

Continuación de la tabla VI.

DESPERFECTO	CAUSA POSIBLE	REMEDIO
	Dirección incorrecta de rotación	Corregir la dirección de la rotación de la transmisión.
Presión baja de descarga	Nivel bajo de líquido en el depósito	Inspeccionar el nivel de líquido en el depósito. Llenar si es necesario.
	Aire en el sistema	Asegurarse de que la bomba se desviente y que las líneas de succión estén llenas de líquido.
	Rotores, engranes y/o bastidores desgastados	Reemplazar rotores, engranes y/o bastidores desgastados.
	Cedazo mugriento de succión	Limpiar o reemplazar el cedazo o el elemento del filtro.
	Problema de desvío del sistema	Inspeccionar si hay filtraciones en todas las válvulas de desvío del sistema, inclusive válvulas de desahogo. Reparar o reemplazar según se requiera.
Ruido o Vibración excesivos o extraños	<u>Desalineamiento</u>	Inspeccionar el alineamiento de la bomba y la transmisión y corregir como sea necesario.
	Línea de succión restringida	Inspeccionar la línea de succión y remueva cualquier obstrucción.
	Aire en el sistema	Asegurarse de que la bomba se desviente y que las líneas de succión estén llenas de líquido. Inspeccionar el nivel del depósito. Llenar si es necesario. Inspeccionar si hay filtraciones en todas las líneas, rebordes, juntas y conexiones. Reparar si es necesario.
	Cedazo mugriento de succión	Limpiar o reemplazar el cedazo o el elemento del filtro.
	Ruido o filtración en válvula de desahogo	Inspeccionar el ajuste de presión de la válvula de desahogo de descarga. Reajustar, reparar o reemplazar la válvula de desahogo.
	Frotación pesada interna de las piezas de la bomba	Verificar la bomba y el alineamiento de la transmisión. Inspeccionar las piezas desgastadas de la bomba. Reemplazar según se requiera.
	Problema mecánico	Verificar si ha manguitos sueltos o mal puestos, ejes torcidos o quebrados, o chumaceras desgastadas. Reparar o reemplazar según sea necesario.
Desgaste rápido de la bomba	El fluido contiene material abrasivo ajeno	Recoger muestras de líquido y probar si hay material ajeno. Reducir la clasificación de filtro de aguas abajo en sistemas de recirculación. Si es necesario, reemplazar el líquido en los sistemas <u>recirculantes</u> .
	El fluido contiene agua	Remover el agua del depósito. Hallar la fuente y prevenir ingestión futura.
	<u>Desalineamiento</u>	Inspeccionar el <u>desalineamiento</u> de la bomba y la transmisión. Corregir como sea necesario.

Continuación de la tabla VI.

DESPERFECTO	CAUSA POSIBLE	REMEDIO
	Líquido insuficiente	Inspeccionar el nivel de líquido en el depósito y corrija según sea necesario. Remover cualquier obstrucción de la línea de succión. Limpiar o reemplazar el cedazo o elemento de filtro.
Uso excesivo de energía	El fluido es más viscoso de lo especificado.	Calentar el fluido a la viscosidad apropiada y/o temperatura de diseño.
	Las líneas de succión y/o descarga de la bomba cerradas o bloqueadas	Asegurarse de que las líneas de succión y descarga estén abiertas, y remover obstrucciones si las hay.
	Frotación pesada interna de las piezas de la bomba	Verificar el alineamiento de la bomba y la transmisión. Inspeccionar piezas desgastadas. Reemplazar según sea necesario.
	Velocidad excesiva de la bomba	Reducir la velocidad de la bomba a los límites de diseño.
	Problemas mecánicos	Buscar si está torcido el eje, si ha colocación apretada del eje, o tensión de la tubería. Reparar o reemplazar según se requiera

Fuente: *IMO Pump Co.* p. 19

4. ANÁLISIS DE FALLAS EN LAS BOMBAS DE BUNKER DEL HOSPITAL DE GINECO-OBSTETRICIA DEL INSTITUTO GUATEMALTECO DE SEGURIDAD SOCIAL

El presente es un análisis efectuado dentro del Hospital de Gineco-Obstetricia del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social, con el fin de establecer los causales de las falles en el sistema de bombeo de bunker del hospital.

4.1. Métodos aplicables para analizar fallas en bombas

Dentro de los métodos que se pueden usar para dictaminar, los problemas y fallas que acontecieron en el Hospital de Gineco-Obstetricia del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social, se debe contemplar los factores no solo mecánicos sino también ambientales del lugar, específicamente la situación administrativa local y las disposiciones de carácter obligatorio que debe acatar la institución.

En primera instancia se tiene la observación de los procesos y el entorno, para ser capaz de dictaminar variables que pudieron influir en las fallas ocurridas durante enero y febrero del 2014. A través de la observación, se puede deducir si las bombas se operaron de una manera incorrecta, acondicionaron de mal manera o si existió alguna otra causa que pudo ocasionar las fallas.

Seguidamente se debe contemplar las características de las bombas, con el fin de decidir si estas cumplen con los estándares necesarios para el bombeo

de combustibles pesados con estándares antes mencionados. Además de esto, se realiza un sondeo visual de la calidad de las piezas internas de la bomba.

Consulta de antecedentes dentro del centro hospitalario, se hace para determinar la frecuencia con la que estas fallas acontecen, y las posibles causas que el servicio de mantenimiento a determinado.

4.2. Consecuencias por fallas

Dentro del servicio de alimentación del HGO, se pudo observar un incremento en función de la cantidad de galones de gas, GLP, el cual excedió en más del doble del consumo medio esperado. Además de las pruebas y ensayos realizados en la caldera que debido a la falta de un suministro eficiente de combustible los tiempos de operación de la caldera se incrementaron. Por consiguiente no se encontró un ahorro en la cantidad de bunker utilizada.

Tabla VII. **Consumo promedio mensual del GLP y bunker**

Combustible	Consumo promedio mensual	Consumo durante el periodo de inactividad
Gas GLP Galón	19,5	42,7
Combustible bunker galón	2 711,8	2 484

Fuente: Mantenimiento HGO-IGSS.

Tabla VIII. **Costo por galón de combustible**

Combustible	Costo por galón en quetzales
Gas GLP	22,00
Bunker	23,53

Fuente: factura de compra de combustibles HGO-IGSS.

Tomando estos costos unitarios de los combustibles se deduce lo siguiente:

Costo mensual = costo unitario * consumo mensual

De la ecuación anterior se deducen los siguientes costos totales, previo y durante el período de fallas en las bombas:

Tabla IX. **Costos en uso de combustible promedio contra costos durante las reparaciones**

Combustible	Costo promedio por galón promedio (quetzales)	Costo por galón durante reparaciones (quetzales)
Gas GLP	429,00	934,40
Bunker	71 944,05	65 900,52

Fuente: elaboración propia.

El consumo de gas licuado petróleo se incrementó en Q 505,40, lo que corresponde un excedente de 118 % respecto del promedio general de los últimos 5 meses.

El consumo de bunker, presentó una disminución de Q 6 043,53, correspondiente a 8,40 % respecto de su promedio general mensual. Se puede observar que pese a la inactividad de la caldera, los constantes ensayos y pruebas de funcionamiento mantuvieron significativamente la demanda de combustible bunker en la caldera, pese a mantener la demanda de vapor casi nula por la mala operación de la caldera.

En cuanto al servicio de central de equipos, se registraron descensos en el número de elementos procesados. Y un incremento subsiguiente en los meses siguientes debido a la cantidad de trabajo retrasado. Mensualmente, el servicio trabaja con un aproximado de 22 000 paquetes para esterilización, los cuales se desglosan en varios tipos, como: material de labor y partos, de sala de operaciones, cirugía, vestimentas, elementos plásticos e insumos de laboratorio. Durante el período de reparaciones a las bombas de bunker, todos estos procesos sufrieron un retraso obligado, y en consecuencia también los procedimientos que se realizaron con estos equipos.

Para suplir la demanda de equipo estéril, el servicio se vio en la necesidad de hacer uso de las autoclaves en otras unidades hospitalarias. El hospital que brindó el apoyo ante la falta de equipo fue otra unidad del IGSS, ubicado en la zona seis de esta ciudad capital. El hospital Juan José Arévalo Bermejo, dio la oportunidad de realizar ciclos de descontaminación y esterilización a los elementos del HGO. Con lo cual pudo descontaminar alrededor de 13 234 paquetes durante febrero, mes en el cual se incrementó la problemática por la falta del bunker para accionar la caldera. Durante marzo, con la falta de

producción de vapor controlada, el producto final de esterilización fue de 28 536 paquetes. Lo que supone un incremento mensual de 29,7 %, respecto del consumo medio habitual.

Sumado a esta problemática, el tiempo de esterilización se incrementó en 2 horas es decir del habitual tiempo de dos horas subió a cuatro, debido a el transporte de los elementos, el cual no solo debía cubrir una distancia considerable sino debía proporcionar su servicio a otras actividades del hospital. Se estableció una ruta para poder optimizar el uso del transporte, debido a que este debía cubrir puntos en otras unidades del IGSS.

4.3. Aplicación del resultado del análisis

El análisis efectuado a las bombas de bunker del Hospital de Gineco-Obstetricia del IGSS, fue efectuado durante el período de reparaciones. El procedimiento de obtención de resultados se llevó a cabo siguiendo distintas metodologías. Se llevaron a cabo dos procesos de observación (primaria y secundaria), con los cuales se determinaron posibles causas de fallas en el equipo de bombeo de la unidad. Seguidamente se procedió a una inspección de las condiciones de trabajo del Servicio de Mantenimiento y por último se establecieron testimonios del jefe del Servicio, el señor Bayron Humberto Aguilar López y del mecánico de calderas encargado, el señor, José León Loarca, asimismo se contó con testimonios adicionales del resto del personal del servicio.

Durante el proceso investigativo, se determinaron una gran variedad de fuentes de problemas, en los equipos de bombeo, así como equipos y dispositivos auxiliares y aledaños a estos. Las diferentes variables dieron a considerar la hipótesis planteada al inicio de este documento.

Las bombas para distribución de bunker del Hospital de Gineco-Obstetricia del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social, han experimentado fallas a causa de baja calidad de los elementos utilizados y malas operaciones de elementos dentro del proceso de distribución de las bombas.

Dentro de la observación primaria, la cual consistió en la observación de los parámetros ambientales, capacidades, estado y tipo de equipo, manejo del equipo, operarios y funcionalidad regular del equipo, se determinaron parámetros para dar inicio a un proceso investigativo. La observación primaria arrojó las siguientes observaciones:

- Ambiente

El ambiente dentro de las instalaciones del HGO, presenta los parámetros usuales de trabajo en cualquier taller o industria que se haga uso de sistemas de bombeo para bunker. Las bombas se encuentran a resguardo del clima en un ambiente techado y lejos de cualquier exposición a inclemencias climáticas. Sin embargo se deja entrever que existen residuos de bunker en las partes exteriores y aledañas a las tuberías, producto de fugas y reparaciones realizadas.

- Equipo

El equipo de bombeo con el que se cuenta es de la marca Viking, muy similar al descrito en características y operación a los productos IMO, el cual trabaja con normalidad y de manera continua.

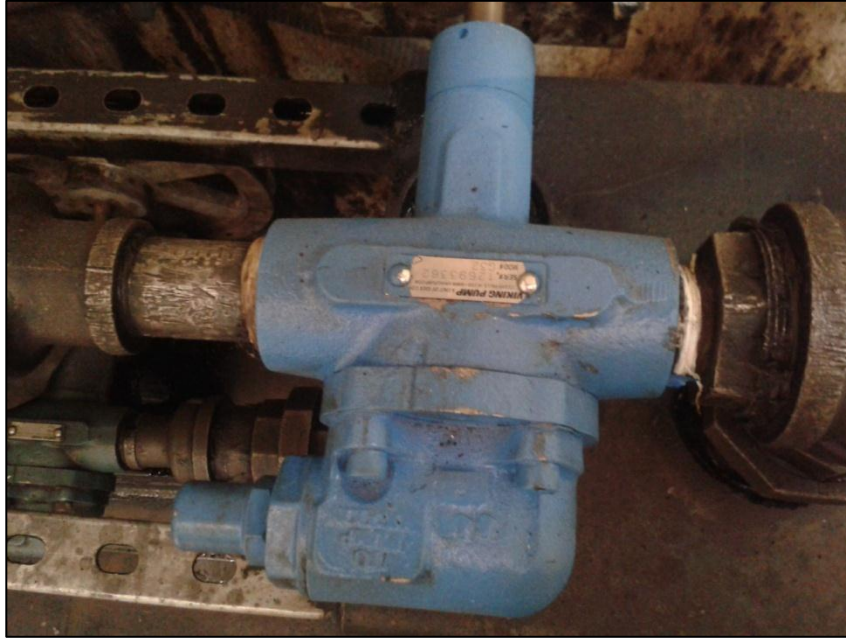
Figura 9. **Bomba marca Viking en funcionamiento**



Fuente: Servicio de Mantenimiento HGO.

En esencia la bomba presenta como función adicional la del control de la presión. En la imagen anterior está ubicada en el extremo opuesto del eje en rotación.

Figura 10. **Tornillo de calibración de la bomba de bunker (señalado)**



Fuente: Servicio de Mantenimiento HGO-IGSS.

- **Capacidad**
La bomba de bunker cumple con las capacidades recomendadas para el trabajo del equipo, esto se puede apreciar a través del chequeo de las presiones de trabajo las cuales resultan ser óptimas en condiciones ideales de trabajo, sin embargo, muy deficientes al momento de alcanzar rangos de operación fuera de los recomendados por los fabricantes.
- **Estado**
La bomba de bunker, presenta ciertos daños en las zonas de los acoplamientos, debido al empleo incorrecto de herramientas y malos manejos al momento de montar e instalar el equipo. En el

otro caso se puede deducir que la bomba presentaba ciertos niveles de desgaste en ejes y partes externas, producto de un servicio por largos periodos sin mantenimiento de la misma.

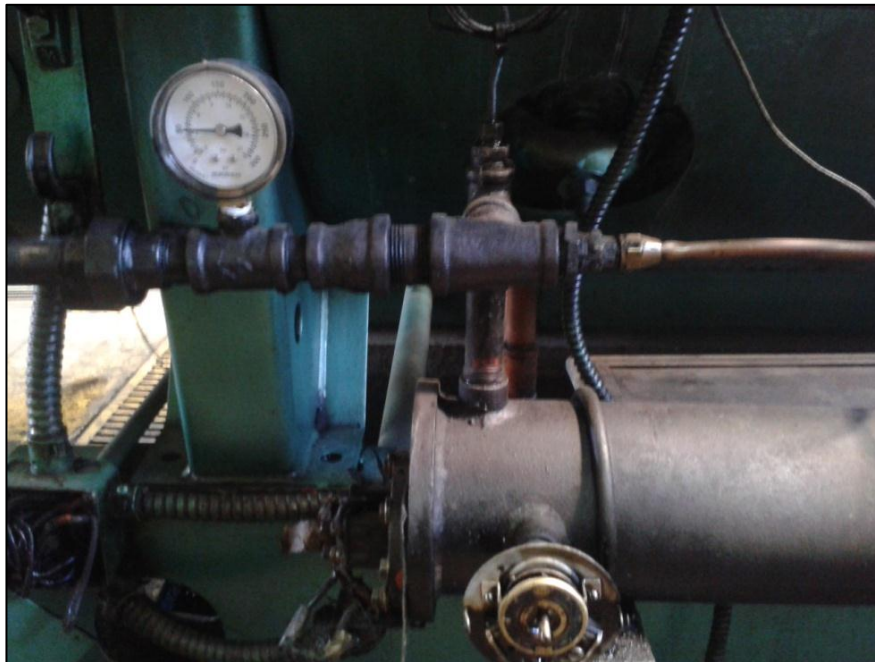
- Tipo

Las bombas del Hospital de Gineco-Obstetricia son del tipo engranajes, el cual es el recomendado para el transporte y trasiego de aceites pesados como es el caso del bunker.

- Operación

La operación de las bombas del hospital es producida por motores de 110 voltios, a través de un juego de poleas y faja, localizado en los extremos de ambos ejes, es decir el de la bomba y el del motor eléctrico. Ambos motores trabajan con circuitos distintos ubicados en un tablero contiguo a las bombas y las tuberías de succión. La operación normal no presenta ruido alguno, sin embargo en lapsos de trabajo deficiente presenta ciertos sonidos producto de algunas vibraciones a lo largo de todo el equipo. Presenta una temperatura de trabajo elevada, medida con multímetro, con función de temperatura, la cual corresponde a 95 grados centígrados, ubicándose en el extremo superior del rango permisible.

Figura 11. **Presiones de operación estables al ingreso a la caldera**



Fuente: Mantenimiento HGO-IGSS.

- **Funcionalidad general**

Se deduce que las bombas sin fallar cumplen a cabalidad el objetivo para el que son utilizadas, el cual es el transporte de combustibles pesados desde un tanque hasta un punto de consumo como lo es la caldera del hospital.

La observación secundaria se enfoca en analizar con mayor detenimiento los valores de campo contrastándolos con los valores de referencia. Dentro de este contraste se toma en consideración todos aquellos parámetros que la observación primaria detectó como posibles fuentes de daño. En la observación

primaria se pudieron detectar los siguientes parámetros los cuales deben de ser objeto de estudios más detallados. Con lo cual las apreciaciones se colocan a continuación.

- Problemas por temperatura

Las temperaturas que se observaron externamente en el funcionamiento del equipo de bombeo, se encontraban en el rango establecido, sin embargo se observó que la temperatura se mantenía muy cerca del límite superior, con lo que cualquier incremento en la temperatura, el valor excedería el rango permitido, y funcionaría en zonas donde la integridad de los componentes de la bomba podrían fallar a causa de expansiones y alteraciones a la tenacidad de los engranajes internos.

Para establecer los valores de la temperatura la caldera posee un calderín o intercambiador de calor, el cual eleva la temperatura a través de una resistencia eléctrica, funcionando a intervalos regidos por termo contactores, los cuales poseen rangos de temperaturas preestablecidos de trabajo, uno para accionarlo al identificar una temperatura baja de operación y el segundo para desactivarlo al llegar a una temperatura alta para su operación. El bunker recirculante llega nuevamente a bomba por contrapresión y retornos sobre la misma tubería. Lo que podría ocasionar sobrecalentamiento en la bomba y podría dañar la misma. Al mismo tiempo el sobrecalentamiento podría dañar los empaques y sellos de las bombas debido a la diferencia de presiones. .

Es de considerar al mismo tiempo, que el cambio constante y rápido, en la viscosidad del bunker podría ocasionar intervalos intensos de trabajo de la bomba forzando las partes internas de los engranajes de la bomba.

Debido a que la bomba utiliza engranajes duros para su funcionamiento, la tenacidad en el interior de estos podría no resultar suficiente para la capacidad necesitada por los cambios de viscosidad.

- Problemas por mal funcionamiento

El mal funcionamiento que las bombas presentan en determinados instantes, puede deberse a una diversidad de situaciones enmarcando como las más probables las fallas por interrupciones eléctricas y por bunker con presencia de otros fluidos o partículas.

Las fallas por cortes o suspensión del fluido eléctrico, pueden derivar en mal funcionamiento del motor que impulsa la bomba perdiendo la fuerza que este necesita para desplazar la bomba y el bunker dentro de ella.

- Problemas por vibraciones

Los problemas ocasionados por vibraciones en las partes rotativas de las bombas pueden detectarse de varias maneras, usualmente, las excentricidades y las holguras razonablemente amplias pueden corregirse a simple vista, auxiliándose con herramientas como guarda niveles u otros métodos al alcance del operario. Una manera de detectar vibraciones es a través del oído, donde los sonidos producidos por los rozamientos de los ejes se producen a intervalos no regulares de tiempo. Generalmente las vibraciones, son producto de deficientes ensambles o instalaciones y montajes no adecuados. Las vibraciones y los sonidos característicos de estas, por lo regular están concentrados en los extremos de ejes, donde la fijación de estos a través de cojinetes, sellos o bujes experimentan dicha fuerza y producen los recurrentes sonidos.

Figura 12. **Muestra de alineación correcta en sistema de poleas y bomba de bunker**



Fuente: Mantenimiento HGO-IGSS.

Condiciones de trabajo para el servicio de mantenimiento:

Este análisis es tomado en consideración, para establecer la forma en la que opera el Servicio de Mantenimiento, no solo en el ámbito operativo sino también en el ámbito administrativo.

Dentro de las pautas a tomar dentro del análisis operativo se encuentra el operario encargado de funcionamiento de la caldera, los materiales y herramientas con las que cuenta el servicio y el proceso que debe seguir cada solicitud para dar cumplimiento a los trabajos necesarios no solo de reparaciones sino como mantenimientos preventivos de los equipos.

A continuación se dan los distintos puntos a considerar, los cuales pueden incidir directa o indirectamente en el desempeño de los equipos analizados.

- Operario: Al evaluar al operario de manera cualitativa, se deducen algunos desaciertos por parte del operario, los cuales con el correr del tiempo se traducen en fallas del equipo que este supervisa. Se dictamina que el operario no cuenta con el conocimiento suficiente para operar y mantener ciertos equipos debido a que técnicamente no reúne los requisitos que el puesto amerita. El desconocimiento técnico, puede provocar errores en el montaje e instalación del equipo de bombeo como se mencionó con anterioridad.
- Insumos: Los insumos con los que cuenta el servicio de mantenimiento, son muy limitado debido a su carácter semiprivado y cuentadante, el cual es supervisado por la Contraloría General de Cuentas del estado de Guatemala. Por consiguiente el trámite para mantener o dotar de insumos para las reparaciones y el servicio de los elementos, es largo y tedioso. El no poseer los repuestos o insumos necesarios para la atención a los diversos equipos de la unidad hospitalaria, someten a dichos equipos a fatigas y otras fallas derivadas de la falta de atención.
- Herramientas: Las herramientas con las que cuenta el servicio de mantenimiento del hospital son, las estrictamente necesarias para

realizar las reparaciones, herramientas adicionales no son objeto de compra debido a su naturaleza, con lo cual un porcentaje de las reparaciones se debe de obtener por cuenta de terceros.

- Proceso administrativo: El proceso administrativo dentro del IGSS tiene un tiempo medio de duración de 10 a 12 semanas. Lo cual retarda las reparaciones y la compra de materiales para las mismas, en consecuencia los equipos son puestos a trabajar de manera forzada. Provocando mayor cantidad de daños y problemas posteriores al arribo de los materiales contratados.

Durante el proceso de análisis se determinaron factores que deben ser estudiados con mayor detenimiento. Para poder entender las causas de los fallos en los equipos de bombeo. Sumado a esto se agregan las razones obtenidas por parte del personal del HGO, dentro del servicio de mantenimiento. En primera instancia se tienen los comentarios del jefe de servicio, el señor Bayron Humberto Aguilar López y seguidamente del mecánico de calderas, el señor José León Loarca. De ambos análisis se enmarcan las siguientes observaciones realizadas.

- Bayron Humberto Aguilar López
 - Falta de mantenimiento a las bombas pudo provocar fatigas.
 - Flujo de bunker inestable, se bombeaba parcialmente bunker, agua y aire, pudo dañar internamente la bomba
 - Sobrecalentamiento del equipo, pudo ocasionar problemas en el bombeo.
 - Falta de control de regulación.
- José León Loarca

- Ruidos anómalos en la bomba, pudo ser causa de problemas internos.
- Fallas en el sistema de pre calentamiento del bunker.
- No se llenaron las líneas adecuadamente.

La incidencia en estos factores permitirán deducir las causas que con toda seguridad provocaron los fallos en los equipos. Para esto se hace necesario dividir y analizar por separado ambas bombas. La primera, que mantenía características de servicio regular y tenía largo tiempo de servicio y la segunda, la cual se dañó en el transcurso de la emergencia es decir aproximadamente 10 días.

Las observaciones presentadas en este análisis se detallan a continuación:

- Bomba número 1
 - Los sellos de la bomba fallaron, provocando pérdidas de presión y funcionamiento anómalo. Los sellos fallaron a causa de sobrecalentamiento y vibraciones excesivas, provocando su rotura y posterior fallo general.
- Bomba número 2
 - El interior de la bomba se encuentra muy dañado, los sellos presentan fracturas al igual que los bujes. Al mismo tiempo, se observaron daños en las chumaceras que mantenían al eje de la bomba en su sitio, provocando daños. La mayor parte del tiempo la bomba trabajo con agua y una mezcla de fluido de agua y bunker, provocando esfuerzos innecesarios.

Figura 13. Engranaje de bomba de bunker dañado por alineación incorrecta



Fuente: Bodega de Mantenimiento HGO-IGSS.

4.4. Presentación del análisis obtenido de la entidad hospitalaria

A través de la observación y detección de malos parámetros de manejo de los equipos de bombeo del Hospital de Gineco-Obstetricia del IGSS, se determinaron varios factores los cuales en conjunto, provocaron las fallas en los equipos de bombeo, siendo estos muy similares entre sí, mas sin embargo con factores determinantes diferentes. En el primer caso, en el cual la bomba, fallo luego de un largo tiempo de servicio, se pueden deducir los siguientes causantes.

- Vaciado de la línea por falta de sellos en las tuberías, provocando que esta operará sin combustible, sino con aire proveniente del ambiente, lo cual al tener una escasa lubricación y funcionar de manera forzada para retornar el equipo a su normalidad, causó que el mismo se sobrecalentara, desgastando las holguras normales de diseño, sumado a un fluido con marcada cantidad de sólidos, los cuales empeoraron la situación debido a que estos ocasionaron fallas en la tubería en las zonas de succión y desgaste de tipo abrasivo en el interior de la bomba.
- Otra causa fundamental en la falla de esta bomba, es el largo período de servicio, durante el cual no se llevaron a cabo, los intervalos de mantenimiento necesarios para corregir y advertir los problemas.

En el caso de la segunda bomba dañada, las fallas se debieron a factores similares como el sobrecalentamiento del equipo, el cual se suscribe como factor fundamental en las fallas de ambas bombas, aunado a esto, se pueden considerar las siguientes fallas como otros factores determinantes:

- Mala instalación de la bomba, la bomba presentaba, daños superficiales y las poleas y la faja, con cierto grado de desviación entre sí, provocando vibraciones a lo largo de todo el equipo, focalizándose especialmente en los extremos de los ejes. Provocando la rotura de los sellos y bujes de la bomba. Dañando gravemente los mecanismos de la misma.
- Llenado incorrecto de líneas de combustible con agua, para la puesta en marcha.

4.5. Corrección de fallas detectadas

Las correcciones necesarias para evitar que se den este tipo de fallas, fueron adoptadas por el HGO, a raíz del presente análisis. En primera instancia, se desistió de usar agua para llenar las líneas de succión y contar con un respaldo de bunker accesible en caso de ser necesario el llenado de las líneas. Asimismo se optó por modificar la tubería para que esta encaje de manera adecuada en las uniones de la bomba y tubería.

Se corrige, la mala alineación de la bomba, el motor y sus poleas, con el auxilio de un guarda nivel y una colocación más precisa de las mismas, con monturas y tornillos que permiten un mejor ajuste.

4.6. Mejora continua

El Servicio de Mantenimiento adoptó, un régimen de mantenimiento preventivo para sus equipos de bombeo, así como elementos periféricos de la tubería como válvulas, filtros y sellos.

El mantenimiento preventivo del equipo de bombeo consiste en:

- Limpieza de mallas y filtros.
- Desmontaje y mantenimiento preventivo de las bombas en alternancia.
- Chequeo periódico de sistema eléctrico de las bombas.
- Chequeo periódico de sistemas de precalentamiento de combustible bunker.
- Reemplazo planificado de sellos en bomba y filtros, y accesorios de tuberías.

CONCLUSIONES

1. Las fallas fueron ocasionadas por malas prácticas en el manejo de las bombas y la falta de mantenimiento en dichos equipos. Es necesario mencionar que la localización de los problemas no solo fue de carácter exclusivo de las bombas de combustible, sino también, en segmentos de la red de tuberías para la distribución de bunker, debido a que estos sufrieron colapsos, por falta de limpieza y manejo deficiente por parte de los operarios.
2. Se produjeron fallas graves en el funcionamiento de los equipos para el bombeo, específicamente en las bombas; al no mantener un flujo constante de bunker, que alimenta la caldera, en consecuencia, la producción de vapor de la misma se vio mermada, siendo casi inexistente la misma. La falta grave en el suministro de vapor, produjo un retraso sensible, en la esterilización de equipo médico quirúrgico, ocasionando problemas en toda la operación quirúrgica de la unidad hospitalaria.
3. Las fallas en los equipos de bombeo ocurrieron por dos factores fundamentales: el incremento excesivo de temperatura, el cual provocó alteraciones en la operación normal del equipo, las vibraciones a lo largo del eje de la bomba; vibraciones con las cuales, el equipo no está diseñado, para soportarlas, provocando falla general en los componentes internos de la misma.

4. Ambos equipos de bombeo fueron objeto de análisis minucioso, con el objetivo de determinar las causas, que provocaron las fallas; esfuerzos no admisibles, que los equipos para bombeo, fueron objeto, como se detalla en los apartados finales del cuarto capítulo del presente trabajo de investigación.
5. Los resultados del análisis fueron expuestos a la unidad hospitalaria, en particular al Servicio de Mantenimiento del Hospital de Gineco-Obstetricia del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social, en virtud de la constancia extendida por el mismo, copia que podrá ubicarse, en los anexos del presente trabajo.

RECOMENDACIONES

1. Implementar un plan de mantenimiento preventivo, para los equipos de bombeo, así como sus periféricos, los cuales incluyen precalentadores, resistencias eléctricas, circuitos eléctricos, fusibles, controles de temperatura y bombas.
2. Capacitar al personal encargado del área de calderas, con el objeto de tecnificarlos, con el fin de maximizar la eficiencia durante las labores correspondientes a los equipos.
3. Formular controles y normas para procedimientos en el manejo de los precalentadores, filtros y sellos, para mantener un flujo eficiente de bunker en la caldera.
4. Como resultado de los análisis es necesario contar con un plan de contingencia para afrontar, inconvenientes similares en los servicios de central de equipo y alimentación.
5. Mejorar el manejo y eficiencia de los equipos de esterilización, para solventar en tiempos óptimos la limpieza, desinfección y esterilización de los equipos.

BIBLIOGRAFÍA

1. BALDIZÓN BARQUÍN, Mario Rafael. *Análisis de fallas de bombas centrífugas en una refinería de petróleo Texaco Escuintla*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánico Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2003. 123 p.
2. BAXI S. P. A. Fourtech. *Caldera mural de gas de alto rendimiento*. España: Baxi, 2013. 33 p.
3. CHIROY SANTOS, Julio Roberto. *Programa de mantenimiento preventivo para el cuarto de calderas del Hospital Privado de las Américas*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánico. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2006. 271 p.
4. GREENE, Richard W. *Válvulas, selección, uso y mantenimiento*. México: McGraw-Hill, 2008. 285 p.
5. IMO Pump. *Manual general de instalación, operación, mantenimiento y detección de problemas para bombas de serie de tres tornillos y Cig, SRM00046-Spanish*. USA: IMO Pump, 1997. 24 p.
6. JARAMILLO, A. O. *Intercambiadores de calor*. México: Centro de Investigaciones en Energía. Universidad Nacional Autónoma de México, 2007. 33 p.

7. JUNTA DE CASTILLA Y LEÓN. *Manual técnico de diseño y cálculo de redes de vapor, eficiencia energética en redes de vapor*. España 2010. 134 p.
8. LIGNA PADILLA, Daniel Ricardo. *Estudio de factibilidad rediseño del sistema de combustión para el generador de vapor de la empresa "Interquimex Akzonobel"*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánico. Escuela Politécnica Nacional. Ecuador 2011. 121 p.
9. MARKS. *Standars handbook for mechanical engineers*. 10th ed. USA: McGraw-Hill, 1996. 1683 p.
10. PALACIOS MARTÍNEZ, Henry Marot. *Estudio para el rediseño de la red de vapor y retorno del condensado para el Hospital General San Juan de Dios*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánico. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2007. 98 p.
11. TUBOCOBRE, Boletín Técnico. Normas ASTM para cañerías y tubos. 2013. 135 p.
12. VIEJO ZUBICARAY, Manuel. *Bombas*. 2a. ed., México: Limusa, 1975. 207 p.

ANEXOS

Anexo 1: unidad controladora de la caldera Cleaver Brooks CB600-125



Fuente: Mantenimiento HGO-IGSS.

