

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Diseño de un Plan de Gestión de Mantenimiento para el sistema de Calderas, Bombas y Tratamiento de agua en la sala de generadores de vapor del departamento de Mantenimiento Físico de una empresa de manufactura de productos farmacéuticos, ubicada en el área metropolitana de Caracas.

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO
Presentado ante la
UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO
Como parte de los requisitos para optar al título de
INGENIERO INDUSTRIAL

REALIZADO POR: Br. Angela S. Sbrizzi Q.

PROF. GUÍA: Ing. Sebastián Ribis

FECHA: NOVIEMBRE 2017

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Diseño de un Plan de Gestión de Mantenimiento para el sistema de Calderas, Bombas y Tratamiento de agua en la sala de generadores de vapor del departamento de Mantenimiento Físico de una empresa de manufactura de productos farmacéuticos, ubicada en el área metropolitana de Caracas.

REALIZADO POR: Br. Angela S. Sbrizzi Q.

PROF. GUÍA: Ing. Sebastián Ribis

FECHA: NOVIEMBRE 2017

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**“DISEÑO DE UN PLAN DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PARA EL SISTEMA DE CALDERAS,
BOMBAS Y TRATAMIENTO DE AGUA EN LA SALA DE GENERADORES DE VAPOR DEL
DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO FÍSICO DE UNA EMPRESA DE MANUFACTURA DE
PRODUCTOS FARMACÉUTICOS, UBICADA EN EL ÁREA METROPOLITANA DE CARACAS”**

Este jurado; una vez realizado el examen del presente trabajo ha evaluado su contenido con el resultado: Diecinueve (19) puntos

JURADO EXAMINADOR

Firma: 	Firma: 	Firma: 
Nombre: <u>Jose Manuel Marino</u>	Nombre: <u>Ramon Ra</u>	Nombre: <u>Sebastian Ribis</u>

REALIZADO POR

Br. Sbrizzi Quilotte, Angela Sofia

PROFESOR GUÍA

Ing. Ribis, Sebastián

ÍNDICE

NDICE DE ILUSTRACIONES	V
ÍNDICE DE TABLAS	VI
INTRODUCCIÓN	1
1. MARCO INTRODUCTORIO.....	3
1.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA.....	3
1.1.1 <i>Reseña histórica – Laboratorio BEHRENS, C.A.</i>	3
1.1.2 <i>Visión – Laboratorio BEHRENS, C.A.</i>	4
1.1.3 <i>Misión de la empresa – Laboratorio BEHRENS, C.A.</i>	4
1.1.4 <i>Estructura Organizacional</i>	4
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	6
1.3 OBJETIVOS DEL ESTUDIO.....	7
1.3.1 <i>Objetivo General</i>	7
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	7
1.3.3 <i>Alcance</i>	8
1.3.4 <i>Limitaciones</i>	8
2. MARCO TEÓRICO.....	9
2.1 CONCEPTOS FUNDAMENTALES.....	9
2.2 BASES TEÓRICAS	10
2.2.1 <i>Mantenimiento</i>	10
2.2.2 <i>Tipos de Mantenimiento</i>	10
2.2.3 <i>Planificación del Mantenimiento</i>	11
2.2.4 <i>Plan de Gestión de Mantenimiento</i>	12
2.2.5 <i>Orden de Trabajo (O/T)</i>	12
2.2.6 <i>Carta Gantt</i>	12
2.2.7 <i>Diagrama Causa-Efecto</i>	13
2.2.8 <i>Diagrama de Pareto</i>	13
2.3 SISTEMAS CRÍTICOS	13
2.3.1 <i>Sistemas de Bombas</i>	13
2.3.2 <i>Calderas</i>	15
2.3.3 <i>Filtro de arena</i>	17

2.3.4	<i>Filtro de carbón</i>	19
2.3.5	<i>Suavizadores</i>	20
2.4	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	21
3.	MARCO METODOLÓGICO	22
3.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN	22
3.2	ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN	23
3.3	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	23
3.4	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	24
3.4.1	<i>Población</i>	24
3.4.2	<i>Muestra</i>	24
3.5	INSTRUMENTOS Y TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	25
3.5.1	<i>Observación directa</i>	25
3.5.2	<i>Entrevistas no estructuradas</i>	26
3.5.3	<i>Encuestas</i>	26
3.6	FASES DE LA INVESTIGACIÓN	26
3.7	DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	28
4.	SITUACIÓN ACTUAL	30
4.1	DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO ACTUAL DE MANTENIMIENTO	30
4.1.1	<i>Mantenimiento con el personal interno del departamento</i>	31
4.1.2	<i>Mantenimiento bajo la subcontratación</i>	31
4.2	APLICACIÓN DE LA NORMA COVENIN 2500-93	32
4.2.1	<i>Resultados de la aplicación de la Norma COVENIN 2500-93</i>	33
4.3	EVALUACIÓN MEDIANTE LAS 10 MEJORES PRÁCTICAS DE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO	34
4.3.1	<i>Resultados de la aplicación de la encuesta de las 10 mejores prácticas de la gestión de mantenimiento</i>	35
5.	LA PROPUESTA	38
5.1	INVENTARIO DE LOS EQUIPOS	38
5.2	ANÁLISIS DE CRITICIDAD PARA LOS EQUIPOS	38
5.3	CLASIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS.....	41
5.4	CODIFICACIÓN	41
5.5	FICHA TÉCNICA DE LOS EQUIPOS.....	43
5.6	FORMATOS DE CONTROL	43

5.6.1	<i>Orden de trabajo (O/T)</i>	43
5.6.2	<i>Informe de trabajo realizado (ITR)</i>	43
5.6.3	<i>Hoja de inspección</i>	44
5.6.4	<i>Hoja de registro de fallas</i>	44
5.7	RUTINAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	44
5.8	PROGRAMACIÓN DE LAS ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO.....	45
5.8.1	<i>Procedimiento Operativo Estandarizado (P.O.E)</i>	45
5.8.2	<i>Materiales y herramientas necesarios para el plan de mantenimiento preventivo propuesto</i>	45
5.8.3	<i>Recursos Humanos</i>	46
5.8.4	<i>Horas-Hombre</i>	46
5.8.5	<i>Horas-Hombre requeridas</i>	47
5.9	CARTA GANTT.....	49
5.10	FLUJO DE MATERIALES E INFORMACIÓN	49
5.10.1	<i>Flujo de materiales e información de actividades no programadas con el personal interno.</i> 50	
5.10.2	<i>Flujo de materiales e información de actividades no programadas con el servicio de contratistas.</i>	51
5.10.3	<i>Flujo de materiales e información de actividades programadas</i>	51
5.11	INDICADORES DE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO	52
5.11.1	<i>Fallas no detectadas con Mantenimiento Preventivo</i>	53
5.11.2	<i>Eficiencia del cumplimiento de las Órdenes de Trabajo (O/T)</i>	53
5.11.3	<i>Reporte de fallas atendidas</i>	53
5.11.4	<i>Índice de Mantenimiento Preventivo (IMP)</i>	53
5.11.5	<i>Repetición de Fallas</i>	54
5.11.6	<i>Tiempo medio entre fallas</i>	54
5.12	ESTUDIO ECONÓMICO.....	54
5.12.1	<i>Costos asociados a la Programación del Mantenimiento</i>	54
5.12.2	<i>Factibilidad económica</i>	56
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	58
	RECOMENDACIONES	60
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61

NDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1. ORGANIGRAMA GENERAL.....	4
ILUSTRACIÓN 2. DIRECCIÓN DE OPERACIONES.....	5
ILUSTRACIÓN 3. PARTES DE UNA BOMBA	14
ILUSTRACIÓN 4. CALDERA PIROTUBULAR CONTINENTAL.....	15
ILUSTRACIÓN 5. FILTRO DE ARENA DE 30 M ³ / HORA.....	18
ILUSTRACIÓN 6. DIAGRAMA DE UBICACIÓN DE LAS VÁLVULAS EN LOS FILTROS DE ARENA	19
ILUSTRACIÓN 7. FILTRO DE CARBÓN DE 20 M ³ / HORA.....	19
ILUSTRACIÓN 8. SUAVIZADOR DE 19 M ³ / HORA.....	20
ILUSTRACIÓN 9. PORCENTAJE OBTENIDO DE CADA ÁREA DE ESTUDIO CON LA APLICACIÓN DE LA NORMA COVENIN 2500-93	34
ILUSTRACIÓN 10. RESULTADOS DE LAS ENCUESTAS APLICADAS DE LAS DIEZ MEJORES PRÁCTICAS DE LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO.....	36

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	21
TABLA 2. POBLACIÓN DE ESTUDIO	24
TABLA 3. FASES DE LA INVESTIGACIÓN.....	27
TABLA 4. DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	28
TABLA 5. TURNOS DE TRABAJO EN LA ORGANIZACIÓN.....	31
TABLA 6. RESULTADOS DE LAS ÁREAS CON MENOR PUNTUACIÓN DE LA APLICACIÓN DE LA NORMA COVENIN 2500-93.....	33
TABLA 7. VALORACIÓN DE LA ENCUESTA APLICADA SOBRE LAS 10 MEJORES PRÁCTICAS DE MANTENIMIENTO.....	35
TABLA 8. CLASIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS MEDIANTE SU CRITICIDAD POR OPERATIVIDAD	39
TABLA 9. CLASIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS MEDIANTE SU CRITICIDAD POR COSTO.....	39
TABLA 10. MATRIZ DE ANÁLISIS DE CRITICIDAD	40
TABLA 11. CRITICIDAD DE LOS EQUIPOS.....	41
TABLA 12. TIEMPO DE HORAS HOMBRE DISPONIBLES EN EL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO FÍSICO.....	47
TABLA 13. TIEMPO DE HORAS HOMBRE NECESARIAS ANUALMENTE Y SEMANALMENTE PARA LAS RUTINAS PROGRAMADAS.....	48
TABLA 14. HORAS-HOMBRE REQUERIDAS SEMANALMENTE.....	48
TABLA 15. COSTO TOTAL DEL PLAN DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO.....	56
TABLA 16. COSTOS MANTENIMIENTO AÑO 2016.....	56
TABLA 17. COSTOS ESTIMADOS PARA EL AÑO 2017	57

SINOPSIS

El presente Trabajo Especial de Grado tiene como objetivo diseñar un plan de Gestión de Mantenimiento para el sistema de Calderas, Bombas y Tratamiento de agua en la sala de generadores de vapor del departamento de Mantenimiento Físico de una empresa de manufactura de productos farmacéuticos, ubicada en el área metropolitana de Caracas.

Laboratorio Behrens C.A, es una empresa dedicada a producir especialidades farmacéuticas con el fin de satisfacer la demanda del mercado hospitalario. Todos sus productos deben pasar por un proceso de esterilización, por lo que la producción de vapor es un punto importante de mantener. Para lograr esto, su infraestructura posee equipos necesarios para la satisfacer la demanda de vapor en las líneas de producción y no existe un plan de gestión de mantenimiento para tales equipos.

Con el fin de diagnosticar la situación actual de la gestión del mantenimiento, se aplicaron las siguientes técnicas. La primera consistió en la aplicación de una ficha descrita en la norma COVENIN 2500-93 y la otra se fundamentó en aplicar una encuesta al personal interno del Departamento acerca de las 10 mejores prácticas de la gestión de mantenimiento en las organizaciones, con el fin de determinar las tres prácticas con menor puntaje y, mediante los diagramas Ishikawa, poder jerarquizar las causas que generan los problemas. Para lograr los objetivos del proyecto, se procedió, en primer lugar, a describir los equipos objeto de estudio y realizar un análisis de criticidad para filtrar aquellos que son los más críticos. Luego, se propusieron los formatos necesarios para la estandarización de los procesos. Y se identificaron, codificaron las rutinas de mantenimiento preventivo, con el fin de generar un cronograma anual (Carta Gantt). Por último, se evaluó la viabilidad económica del plan propuesto.

Palabras claves: Equipos, producción de vapor, gestión, mantenimiento preventivo, planificación, programación, rutinas,

INTRODUCCIÓN

Laboratorio BEHRENS, C.A es una empresa que destina su operación a la fabricación de especialidades farmacéuticas desde hace más de cien años, enfocando su atención en el mercado nacional específicamente al tratamiento del paciente hospitalizado.

Laboratorio BEHRENS, C.A. desea alcanzar el primer lugar como laboratorio hospitalario en Venezuela, ofreciendo la más completa línea de productos farmacéuticos para satisfacer todas las necesidades del paciente hospitalizado.

Las empresas tratan de contar con métodos de trabajo productivos, es decir, buscan mantener todos los puestos de trabajo operativos durante todo el año con la cantidad de fallas menor posible por lo que la gestión del mantenimiento llevada a cabo de manera exitosa, es un punto clave para las operaciones de cualquier organización.

El mantenimiento no puede ser visto como la simple acción de reparar las fallas que ocurran en un momento dado y que provoquen el retraso o parada de algún proceso productivo, es por esta razón, que es vital tener actividades programadas que prevengan dichas fallas sin importar que éstas representen la rotura parcial o total de los equipos.

La calidad juega un papel fundamental en cualquier empresa y al tratarse de la industria farmacéutica, se acentúa más, por lo que el mantenimiento debe ser tomado en cuenta para lograr los objetivos de proporcionar seguridad y constancia en sus servicios al mismo tiempo demostrar eficiencia y eficacia en los mismos.

El presente trabajo especial de grado, incluye todo lo necesario para diseñar un plan de gestión de mantenimiento en una empresa de manufactura

de productos farmacéuticos, ajustándose a la realidad de la Organización y que promueva la mejora continua de los procesos.

Se plantean seis capítulos y a continuación se presenta una breve descripción de los mismos.

Capítulo I ‘Marco Introdutorio’: En este capítulo se presenta la historia de Laboratorio BEHRENS, C.A. su misión y visión, los objetivos del estudio, el alcance del estudio y sus limitaciones.

En el Capítulo II “Marco Teórico”, se habilita un glosario con los términos correspondientes al caso de estudio que se realizó para el entendimiento de los conceptos básicos del mismo.

Capítulo III “Marco Metodológico”: este capítulo comprende el tipo de investigación, el enfoque y diseño de la misma, así como también las técnicas e instrumentos utilizados para la recolección de la información.

En el Capítulo IV ‘Situación Actual”, se presenta la evaluación y diagnóstico de la gestión de mantenimiento que se lleva actualmente, aplicando la norma COVENIN 2500-93 y las 10 mejores prácticas de la gestión del mantenimiento.

El Capítulo V llamado “La propuesta”, abarca la descripción de todas las etapas necesarias para el diseño del plan de gestión de mantenimiento, como lo son la descripción de los equipos, la programación de las rutinas, la determinación de los recursos materiales, monetarios y humanos así como los formatos de control para el seguimiento de los trabajos realizados.

Finalmente se presenta el capítulo VI “conclusiones y recomendaciones”, en donde se establece si se cumplieron o no los objetivos así como las recomendaciones pertinentes al presente trabajo especial de grado.

CAPÍTULO I

1. MARCO INTRODUCTORIO

1.1 Descripción de la empresa

1.1.1 Reseña histórica – Laboratorio BEHRENS, C.A.

“Laboratorio BEHRENS, C.A. es una empresa con más de cien años de trayectoria en el país. Su función radica en producir especialidades farmacéuticas con el fin de satisfacer la demanda del mercado hospitalario. Al pasar de los años, la empresa se ha ido adaptando a las cambiantes realidades del mercado, pero siempre con el objetivo de elaborar productos que cumplan con las expectativas de los clientes en cuanto a calidad, precio y tiempo de entrega

Con el pasar del tiempo Laboratorio BEHRENS, C.A. ha ido evolucionando en cuanto al tipo de producto que ofrecen. En sus inicios ofertaban medicamentos de la farmacopea original, hoy en día enfocan su producción a satisfacer exclusivamente el mercado hospitalario venezolano.

Para lograr la meta y poder ser competitivo, el laboratorio ha hecho las inversiones oportunas en tecnología e infraestructura que les permiten producir las especialidades que el mercado demanda, éstas especialidades farmacéuticas son: Fluidoterápicos (Soluciones intravenosas), Nutrición parental Soluciones Electrolíticas, Anestésicos intravenosos y Anti infecciosos

El laboratorio no solo oferta ésta gran gama de productos hospitalarios, sino que cuenta con la maquinaria para ofrecer distintas presentaciones de cada producto intravenoso. Éstos pueden ser entregados en ampollas, frascos de vidrio, potes de plástico sólidos y potes de plástico flexibles.” (Laboratorio BEHRENS, 2004)

1.1.2 Visión – Laboratorio BEHRENS, C.A.

“Ser el laboratorio hospitalario líder en la fabricación de productos farmacéuticos especializados de calidad para satisfacer las necesidades de mercado nacional, orientado hacia la organización, el trabajo en equipo y el mejoramiento continuo.” (Misión Visión: BEHRENS C.A., 2004)

1.1.3 Misión de la empresa – Laboratorio BEHRENS, C.A.

“Elaborar y comercializar productos de la más alta calidad y tecnología a todo el sector hospitalario y además busca posicionarse como el primer laboratorio hospitalario del país.” (Misión Visión: BEHRENS C.A., 2004)

1.1.4 Estructura Organizacional

Ilustración 1. Organigrama General

Fuente: Laboratorio BEHRENS, C.A. 2016

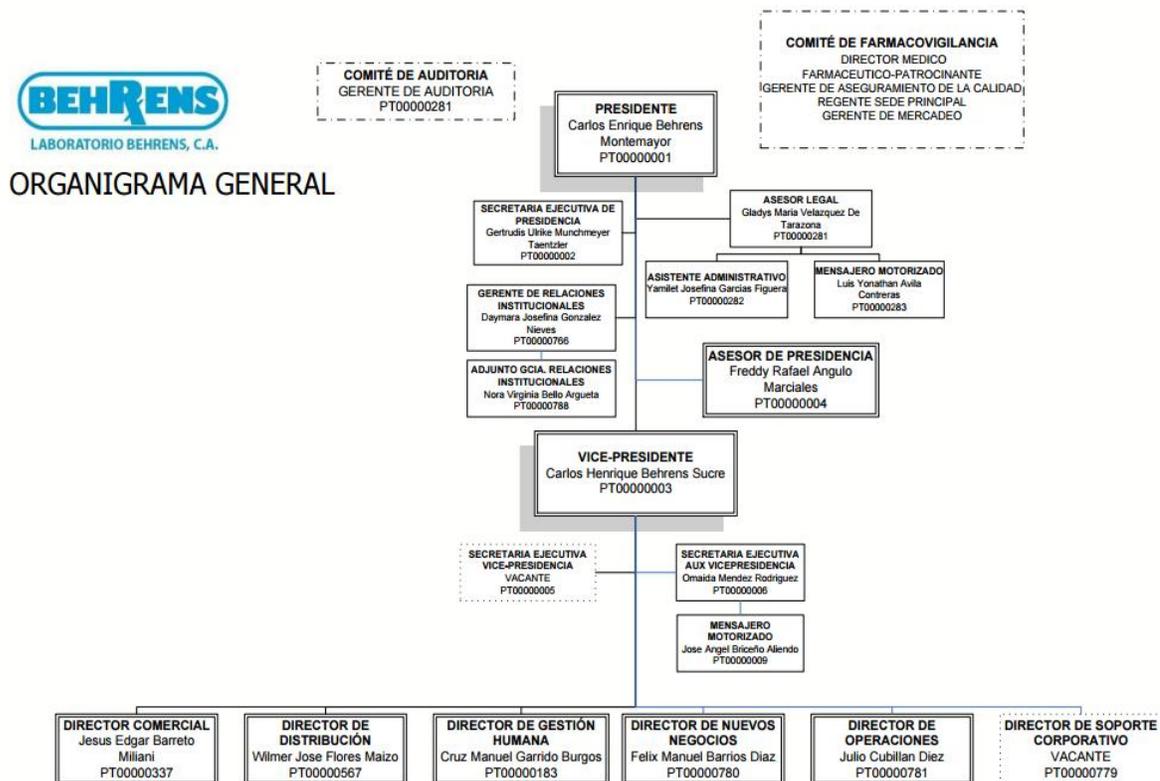
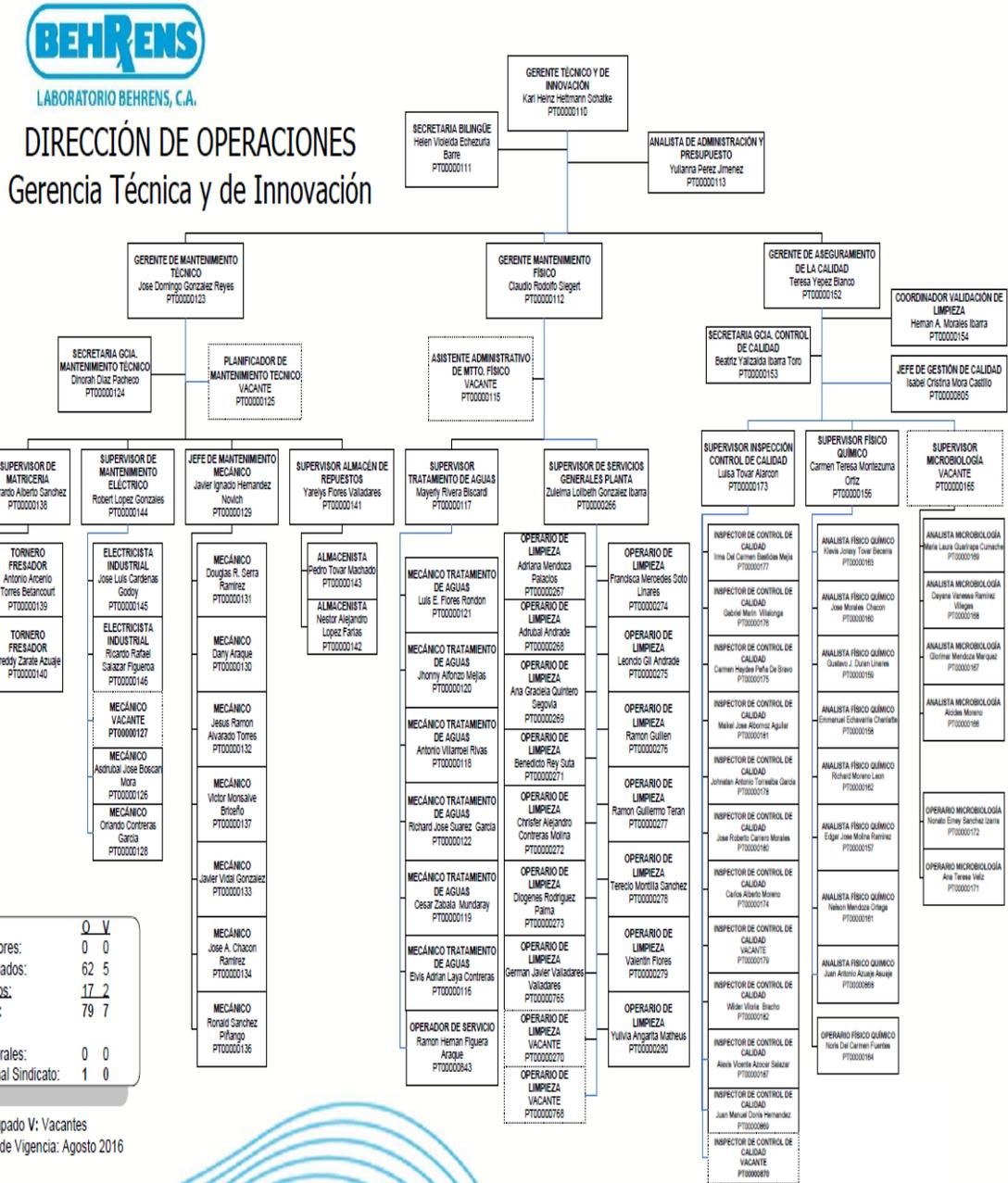


Ilustración 2. Dirección de operaciones

Fuente: Laboratorio Behrens, C.A.



1.2 Planteamiento del problema

En la industria farmacéutica todos los productos deben ser esterilizados y, para llevar a cabo dicho proceso son necesarios equipos mecánicos que permitan cumplir este requisito, por lo tanto, es fundamental tener plan de mantenimiento que posibilite el funcionamiento continuo de éstos equipos.

Laboratorio BEHRENS, C.A es una empresa que destina su operación a la fabricación de especialidades farmacéuticas por lo que dispone de una gran cantidad de equipos mecánicos en su infraestructura. Actualmente en la sala de generadores de vapor, la situación de mantenimiento de sus calderas se basa solamente en acciones de tipo correctiva, debido a que no se cuenta con un programa documentado de mantenimiento preventivo.

Actualmente no se tiene un plan de gestión de mantenimiento donde se mantengan rutinas programadas para prevenir las posibles fallas de los equipos. Como empresa farmacéutica sus productos necesitan pasar por un equipo autoclave, el cual necesita de vapor industrial emitido por las calderas para lograr la esterilización de los productos, por lo que las calderas deben mantenerse constantemente en operación ya que la falla de las mismas provocaría que se detengan las líneas de producción.

A su vez, las calderas necesitan del apoyo de un sistema de bombeo, de alimentación de agua previamente tratada y de un almacenamiento correcto para lograr su funcionamiento de manera óptima. Por lo tanto las fallas en estos equipos deben ser reducidas y esto se puede lograr teniendo un plan de gestión de mantenimiento que abarque todas las rutinas preventivas necesarias para cada unidad objeto de estudio.

En el presente proyecto se espera dar respuesta a la siguiente interrogante:

¿Es factible económica y técnicamente el plan de gestión de mantenimiento que se pretende diseñar para el sistema de Calderas, Bombas y tratamiento de agua del Laboratorio BEHRENS, C.A.?

1.3 Objetivos del estudio

1.3.1 Objetivo General

Diseñar un Plan de Gestión de Mantenimiento para el sistema de Calderas, Bomba y Tratamiento de agua en la sala de generadores de vapor del departamento de Mantenimiento Físico de una empresa de manufactura de productos farmacéuticos, ubicada en el área metropolitana de Caracas.

1.3.2 Objetivos específicos

- Analizar la situación actual del mantenimiento del Sistema de Calderas, Bomba y Tratamiento de agua del Departamento de Mantenimiento Físico de una empresa de manufactura de productos farmacéuticos.
- Describir los equipos objeto de mantenimiento, con base a su nombre, características, año de adquisición y operatividad.
- Diseñar las rutinas y procedimientos de mantenimiento para cada equipo.
- Seleccionar el recurso humano requerido, en términos de especialidad, cantidad y tiempo necesario para el mantenimiento de cada equipo.
- Determinar los repuestos, materiales y consumibles, en términos de sus cantidades y frecuencia de uso, requeridos en el mantenimiento de cada equipo.
- Establecer las cantidades y tipos de herramientas y equipos requeridos en el mantenimiento de cada equipo.
- Valorar la factibilidad técnica y viabilidad económica del plan de gestión de mantenimiento propuesto.

1.3.3 Alcance

- El proyecto tendrá lugar en una empresa de manufactura de productos farmacéuticos ubicada en la ciudad Caracas, específicamente en el departamento de Mantenimiento Físico.
- Se diagramará el proceso actual del mantenimiento del sistema de Calderas, Bombas y tratamiento de agua de la empresa
- Para la descripción de los equipos se presentará un formato con las especificaciones técnicas de cada uno, contemplando lo referente a: sistema de calderas y sus bombas asociadas, tanques de gasoil y sistema de filtración.
- Según lo plasmado en la carta Gantt, se procederá a realizar una lista de los recursos necesarios (servicios, materiales, personal)
- Se establecerá el costo de cada una de las actividades a realizar mediante el análisis de precios unitarios (A.P.U.)

1.3.4 Limitaciones

- Inexistencia de algunos manuales de operación e instructivos de trabajo y manejo.
- Falta de información acerca del historial de mantenimiento.
- Los manuales de operación, instructivos de trabajo y manejo se harán bajo un formato establecido por la organización.
- La lista de recursos dependerá de la disponibilidad de los proveedores debido a la escasez de repuestos, consumibles y otros insumos.
- La estimación de costos estará sujeta a los cambios continuos que presenta la tasa de inflación

CAPÍTULO II

2. Marco Teórico

Este capítulo posee las bases teóricas que fundamentaron la realización de estudio, así como también la información previa necesaria para el correcto entendimiento de la investigación.

2.1 Conceptos fundamentales

Glosario de términos

A continuación se muestra una serie de definiciones características de la empresa con el fin de garantizar el entendimiento en relación a los procesos que ahí se realizan.

- **Autoclave:** Equipo automático para obtener esterilizaciones por medio de vapor.
- **Bomba:** Aparato utilizado para impulsar o extraer agua de un lugar a otro a través de tuberías.
- **Caldera:** Aparato dotado de una fuente de calor donde se calienta o se hace hervir el agua y que puede tener varias aplicaciones.
- **Documentación:** archivos de protocolo para equipos, procesos, sistemas y métodos. El estudio de documentación para validación consiste en un protocolo firmado, información obtenida en un formato original y reporte de validación
- **Planta de tratamiento de agua:** estructura construida para tratar el agua residual antes de ser descargada al medio ambiente.
- **Sala de calderas:** Lugar donde se encuentran máquinas especiales para generar vapor saturado o vapor sobre calentado, el cual es empleado en la industria para el proceso de intercambio calórico y proceso de destilación.
- **Tanque:** Depósito utilizado para el almacenamiento de agua.

- **Tratamiento:** proceso físico, químico y biológico que modifica alguna propiedad física, química y biológica del agua residual cruda.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Mantenimiento

Es el conjunto de acciones que permite conservar o restablecer un sistema productivo a un estado específico, para que pueda cumplir un servicio determinado¹.

2.2.2 Tipos de Mantenimiento

De acuerdo a la Norma COVENIN 3049-93 se establecen los siguientes tipos de mantenimiento:

2.2.2.1 Mantenimiento Correctivo

“Comprende las actividades de todo tipo encaminadas a tratar de eliminar la necesidad de mantenimiento, corrigiendo las fallas de una manera integral a mediano plazo. Las acciones más comunes que se realizan son: modificación de elementos de máquinas, modificación de alternativas de proceso, cambios de especificaciones, ampliaciones, revisión de elementos básicos de mantenimiento y conservación. Este tipo de actividades es ejecutado por el personal de la organización de mantenimiento y/o entes foráneos, dependiendo de la magnitud, costos, especialización necesaria u otros.”

2.2.2.2 Mantenimiento rutinario

“Es el que comprende actividades tales como: lubricación, limpieza, protección, ajustes, calibración u otras; su frecuencia de ejecución es hasta períodos semanales, generalmente es ejecutado por los mismos operarios de los sistemas productivos y su objetivo es mantener y alargar la vida útil de dichos sistemas evitando su desgaste.” (Garcia Garrido, 2003)

¹ Norma Venezolana COVENIN 3049-93. Mantenimiento. Definiciones. Caracas

2.2.2.3 Mantenimiento Preventivo

“El mantenimiento preventivo es el que utiliza todos los medios disponibles, incluso los estadísticos, para determinar la frecuencia de las inspecciones, revisiones, sustitución de piezas claves, probabilidad de aparición de averías, vida útil u otras. Su objetivo es adelantarse a la aparición o predecir la presencia de fallas.” (Duffua, 2002)

2.2.2.4 Mantenimiento Programado

“Toma como basamento las instrucciones técnicas recomendadas por los fabricantes, constructores, diseñadores usuarios y experiencias conocidas, para obtener ciclos de revisión y/o sustituciones para los elementos más importantes de un sistema productivo a objeto de determinar la carga de trabajo que es necesaria programar. Su frecuencia de ejecución cubre desde quincenal hasta generalmente períodos de un año.”²

2.2.3 Planificación del Mantenimiento

La planificación o planeación del mantenimiento según “se refiere al proceso mediante el cual se determinan y preparan todos los elementos requeridos para efectuar una tarea antes de iniciar el trabajo. El proceso de planeación comprende todas las funciones relacionadas con la preparación de la orden de trabajo, la lista de materiales, la requisición de compras, los planos y dibujos necesarios...” (Duffuaa, Raouf, & Dixon, 2005)

Para llevar a cabo una correcta planificación del Mantenimiento, según (Duffua, 2002) se recomienda seguir los siguientes pasos:

- Determinar el contenido del trabajo (puede requerir visitas al sitio)
- Desarrollar un plan de trabajo. Este comprende la secuencia de actividades en el trabajo y el establecimiento de los mejores métodos y procedimientos para realizar el trabajo.

² MPT de Sistemas de Mantenimiento, Duffua (2002). Pág. 363

- Establecer el tamaño de la cuadrilla para el trabajo.
- Planear y solicitar las partes y los materiales.
- Verificar si se necesitan equipos y herramientas especiales y obtenerlos.
- Asignar a los trabajadores con destrezas apropiadas.
- Revisar los procedimientos de seguridad.
- Establecer prioridades (de emergencia, urgente, de rutina y programado)
- Asignar cuentas de costos.

2.2.4 Plan de Gestión de Mantenimiento

“Es la efectiva y eficiente utilización de los recursos materiales, estructura organizacional, procedimientos, recursos económicos, recursos humanos y recursos de tiempo para alcanzar los objetivos de mantenimiento con una calidad exigida y a un costo óptimo”³

2.2.5 Orden de Trabajo (O/T)

“Es el medio por el cual se ejecuta cada tipo de trabajo de mantenimiento, tanto si su alcance es principal o secundario. Se utilizan como base para emitir órdenes posteriores cuando se tiene el costo estimado del trabajo de mantenimiento a realizar” (Gestión de Planes de Mantenimiento. Ing. Ribis, Sebastián (2016))

2.2.6 Carta Gantt

³ Norma Venezolana COVENIN 2500-93. Manual para evaluar los sistemas de mantenimiento en la industria. Caracas

“El diagrama de Gantt es una popular herramienta gráfica cuyo objetivo es mostrar el tiempo de dedicación previsto para diferentes tareas o actividades a lo largo de un tiempo total determinado” ⁴

2.2.7 Diagrama Causa-Efecto

Los diagramas de pescado también conocidos como diagramas de causa-efecto, consisten en definir la ocurrencia de un evento o problema, el efecto, como la “cabeza del pescado” y después identificar los factores que contribuyen, es decir las causas, como el “esqueleto del pescado” que sale del hueso posterior de la cabeza. Las causas principales se dividen en cuatro o cinco categorías principales: humanas, máquina, método, materiales y entorno, cada una dividida en subcausas ⁵. (Niebel. & Freivalds, 2004)

2.2.8 Diagrama de Pareto

“Es una técnica desarrollada por el economista Pareto donde explica la concentración de la riqueza o problemas. En el análisis de Pareto, los artículos de interés a estudiar, se identifican y se miden en una escala común y después se acomodan en orden ascendente, creando una distribución acumulada. Por lo común, 20% de los artículos clasificados representan 80% o más de la actividad total” ³

2.3 Sistemas críticos

Las técnicas de Mantenimiento son indispensables para cualquier tipo de industria y al tratarse de la industria farmacéutica no es la excepción, es por esta razón que es imprescindible realizarlas a los sistemas que componen la presente investigación, tales sistemas están constituidos por:

2.3.1 Sistemas de Bombas

⁴ Gestión de Planes de Mantenimiento. Ing. Ribis, Sebastián (2016)

⁵ Niebel, B y Freivalds, A (2004). Ingeniería Industrial. Métodos, Estándares y Diseño del trabajo. Editorial Alfa-Omega. Mexico, D.F

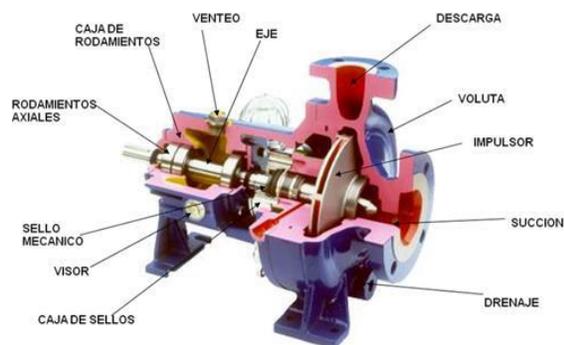
Las bombas son dispositivos que se encargan de transferir energía a la corriente del fluido impulsándolo, desde un estado de baja presión estática a otro de mayor presión.

Están compuestas por un elemento rotatorio denominado impulsor, el cual se encuentra dentro de una carcasa llamada voluta. Inicialmente la energía es transmitida como energía mecánica a través de un eje, para posteriormente convertirse en energía hidráulica.

El fluido entra axialmente a través del ojo del impulsor, pasando por los canales del mismo y éste le suministra energía cinética mediante los álabes que se encuentran en el impulsor para posteriormente descargar el fluido en la voluta, el cual se expande gradualmente, disminuyendo la energía cinética adquirida para convertirse en presión estática. (De las Heras, 2011)

Las bombas centrifugas cumplen con éste principio de funcionamiento y a sus componentes son: eje, venteo, caja de rodamientos, sello mecánico o de grafito, visor, drenaje, succión, impulsor, voluta, descarga y eje.⁶

Ilustración 3. Partes de una bomba



Fuente: Salvador de las Heras. Fluidos, bombas e instalaciones hidráulicas.

Universidad Politécnica de Catalunya. Diciembre (2011) Pág. 163.

⁶ Salvador de las Heras. Fluidos, bombas e instalaciones hidráulicas. Iniciativa digital de la Universidad Politécnica de Catalunya. Diciembre (2011) Pág. 163

2.3.2 Calderas

Las calderas son equipos que utilizan un combustible en cualquier estado para vaporizar el agua. Posteriormente dicho vapor será utilizado en distintas aplicaciones industriales y luego de ser entregado, el vapor se regresa y se condensa (sistema cerrado) y si no se regresa se estaría hablando de un sistema abierto.

Son diseñadas para transmitir el calor procedente de una fuente externa (generalmente combustión de algún combustible), a un fluido contenido dentro de la misma caldera. El vapor o agua caliente, deben ser alimentados en las condiciones deseadas, es decir, de acuerdo con la presión, temperatura y calidad, y en la cantidad que se requiera.⁷

Ilustración 4. Caldera pirotubular Continental



Fuente: Elaboración Propia

⁷ Curso de Instalación, operación, mantenimiento y nuevos aspectos legales sobre los sistemas de vapor. Colegio de Ingenieros de Venezuela. Noviembre 2016

2.3.2.1 Elementos básicos de una caldera

- **Chimenea:** Es el conducto de salida de los gases y humos producto de la combustión. Sus dimensiones van en función del diámetro interno de la chimenea.
- **Combustible:** Es el material capaz de liberar energía cuando se quema para así lograr el funcionamiento de las calderas. Puede ser gas (Se necesita además un tren de gas) o gasoil (es más económico).
- **Hogar de la caldera:** Lugar destinado para efectuarse la combustión por lo que también se le llama cámara de combustión. Es resistente a las altas temperaturas y presiones a las que es sometido y sus dimensiones varían de acuerdo al tipo de combustión que se lleva a cabo. El hogar tiene como fin proporcionar un área donde se logre llevar a cabo una combustión completa.
- **Placa delantera y trasera:** Consiste en grandes discos de acero a los cuales se encuentra adherido el hogar y los tubos de fuego.
- **Quemador:** Es el dispositivo encargado de quemar el combustible sea líquido o gaseoso y producir calor mediante una llama, es decir, mezcla y dirige el flujo del combustible. Produce la llama de la combustión.
- **Tanque de condensado o calderín:** Cumple la función de reponer el agua que se consumió.
- **Válvula de seguridad:** Consiste en un dispositivo diseñado para liberar presión cuando se excede la presión máxima de trabajo aproximadamente un 6%.

2.3.2.2 Tipos de Calderas

Las calderas se pueden clasificar de acuerdo a lo siguientes parámetros: tamaño, uso, contenido de los tubos, presión, materiales de que están construidas, posición del hogar, clase de combustible y forma y posición de los tubos. Tomando en cuenta la clasificación de acuerdo al contenido de los tubos, se encuentran las calderas pirotubulares y acuotubulares.

En las calderas acuotubulares por el interior de los tubos pasa agua o vapor y los gases calientes se encuentran en contacto con las caras exteriores de ellos.

En el presente trabajo especial de grado se definirá y trabajará con calderas pirotubulares ya que son las que tienen lugar dentro del laboratorio farmacéutico donde se desarrolla el presente proyecto.

Las calderas pirotubulares están dotadas de tubos rectos, rodeados de agua y a través de cuyo interior pasan los gases de la combustión. Estos tubos se instalan normalmente en la parte inferior de un tambor sencillo o de un casco, abajo del nivel del agua.

Los pasos de fuego son las veces que los productos de la combustión viajan a través de la caldera. Dichos productos de la combustión atraviesan la caldera, chocan con la pared trasera y se retornan por los tubos de fuego, y posteriormente los gases salen por la chimenea.

A mayor pasos de fuego, mayor eficiencia (teóricamente), por lo tanto la caldera de cuatro pasos de fuego sería la más eficiente, sin embargo, las calderas que forman parte de esta investigación son de dos pasos de fuego, tienen hogar central y corrugado, pared trasera seca, y su salida en las chimeneas tienen forma cilíndrica.

El agua de alimentación de las calderas debe cumplir con ciertas condiciones, dentro de las cuales están las siguientes: debe estar exenta de dureza no carbónica, (la dureza total no debe exceder 35ppm), debe contener un bajo contenido de sílice y debe tener una turbidez menor a 10 ppm.⁸

2.3.3 Filtro de arena

⁸Curso de Instalación, Operación mantenimiento y nuevos aspectos legales sobre los sistemas de vapor. Colegio de Ingenieros de Venezuela. Noviembre 2016

Los filtros de arena son los elementos más utilizados para filtración de aguas con cargas bajas o medianas de contaminantes, que requieran una retención de partículas de hasta veinte micras de tamaño. Las partículas en suspensión que lleva el agua son retenidas durante su paso a través de un lecho filtrante de arena. Una vez que el filtro se haya cargado de impurezas, alcanzando una pérdida de carga prefijada, puede ser regenerado por lavado a contra corriente.

La calidad de la filtración depende de varios parámetros, entre otros, la forma del filtro, altura del lecho filtrante, y velocidad de filtración. Estos filtros se pueden fabricar con resinas de poliéster y fibra de vidrio, muy indicados para filtración de aguas de río y de mar por su total resistencia a la corrosión. Sin embargo, los filtros que se utilizan en la institución farmacéutica son filtros de acero inoxidable y acero al carbono ya que poseen mayor resistencia a la presión.⁹

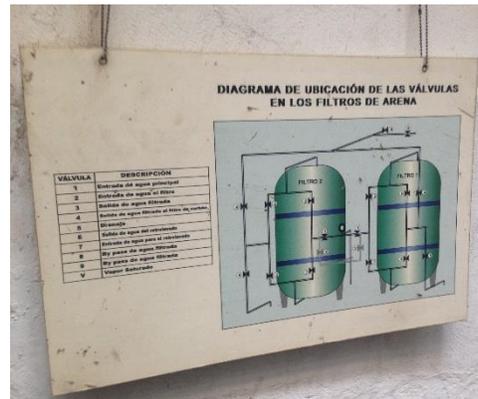
Ilustración 5. Filtro de arena de 30 m³ / hora



Fuente: Propia. Tomada en la empresa

⁹ Información obtenida de: <http://www.sefiltra.com/filtros-de-arena.php>. SEFILTRA, S.A.. 19 de Septiembre de 2017.

Ilustración 6. Diagrama de ubicación de las válvulas en los filtros de arena



Fuente: Elaboración propia

2.3.4 Filtro de carbón

El filtro de carbón se utiliza principalmente para la eliminación de cloro y compuestos orgánicos en el agua. El sistema de funcionamiento es el mismo que el de los filtros de arena, realizándose la retención de contaminantes al pasar el agua por un lecho filtrante compuesto de carbón activo.

Se fabrican en acero inoxidable, acero al carbono y en fibra de vidrio.

Ilustración 7. Filtro de carbón de 20 m³/ hora



Fuente: Elaboración propia

2.3.5 Suavizadores

Los suavizadores también conocidos como ablandadores de agua, son equipos que eliminan la dureza del agua por medio de intercambio iónico. Usualmente se componen de un tanque que contiene resina catiónica, una válvula de control multipuerto y un tanque de salmuera adyacente que contiene sal común.

La dureza del agua es causante de muchos problemas de incrustación y taponamiento de tuberías. A nivel industrial, calderas, torres de enfriamiento, intercambiadores de calor y otros equipos son severamente dañados por incrustación debido a la dureza.

Los suavizadores operan por medio de intercambio iónico. Con resina catiónica se retienen los iones de calcio, magnesio y otros metales, sustituyéndose por sodio. Una vez que el sodio se ha agotado, la resina se regenera con salmuera (solución saturada de cloruro de sodio), desplazando la dureza a drenaje y recargado la resina de sodio.

Ilustración 8. Suavizador de 19 m³ / hora



Fuente: Propia. Tomada en la empresa

2.4 Antecedentes de la investigación

Para el desarrollo de la presente investigación, se consultaron investigaciones académicas (Trabajos Especiales de Grado), con el objetivo de complementar y consumir el desarrollo total de la misma. En la Tabla 1 se indican las investigaciones académicas consultadas y tomadas en cuenta que fueron soporte para ampliar y profundizar sobre el estudio a desarrollar

TÍTULO	AUTORES, ÁREA DE ESTUDIO Y TUTOR	INSTITUCIÓN Y FECHA	OBJETIVO GENERAL	APORTE
Diseño de propuestas para la gestión de mantenimiento para los equipos de una fundación para la formación musical ubicada en Caracas	Área: Ingeniería Industrial. Autor: Kelvin B. Moreno A. Tutor: Ing. Joao de Goiveia	U.C.A.B Febrero 2013	Diseñar una gestión para la Planificación del Mantenimiento de los equipos de estacionamiento de una universidad privada en la ciudad de Caracas	Aplicación y manejo de Norma COVENIN-2500-93
Propuesta de un plan de mantenimiento para los equipos que integran los sistemas vitales de una institución hotelera ubicada en Caracas.	Área: Ingeniería Industrial. Autores: María Fernanda Rodríguez y Alexandra Ferreira. Tutor: Ing. Sebastián Ribis	U.C.A.B Marzo 2011	Proponer un plan de mantenimiento para los equipos que integran los sistemas vitales de una institución hotelera ubicada en Caracas	Bases teóricas Instrumentación
Diseño de un plan de gestión de servicio de mantenimiento para los equipos e instalaciones de un centro de salud privado	Área: Ingeniería Industrial. Autores: Herrera Daniel y Moreno Cesar. Tutor: Cap. Ramón Roa	U.C.A.B Julio 2003	Diseñar un Plan de Mantenimiento Preventivo para la Empresa Corporación Capi C.A.	Marco Metodológico

Tabla 1. Antecedentes de la investigación

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III

3. Marco Metodológico

Este capítulo explica la manera en la que se desarrolla el presente trabajo especial de grado. Dispone el tipo de investigación, el enfoque y diseño de la misma. Así como las técnicas y herramientas para la recolección de la información, que se definen según la naturaleza de las actividades requeridas para el diseño de un plan de gestión de mantenimiento.

3.1 Tipo de investigación

La Universidad Católica Andrés Bello en su instructivo “Trabajo Especial de Grado en la Escuela de Ingeniería Industrial” (UCAB, 2003) en su sección Modalidades del TEG explica que: “El proyecto factible consiste en la elaboración de una propuesta de un modelo operativo viable, o una solución posible a un problema de tipo práctico, para satisfacer las necesidades de una institución o grupo social. La propuesta debe tener apoyo, bien sea en una investigación de campo o en una investigación de tipo documental, y puede referirse a la formulación de políticas, programas, tecnologías, métodos o procesos”.

Según la descripción anterior se plantea a la investigación como proyecto factible ya que dadas las circunstancias y problemáticas en la gerencia de mantenimiento se pretende diseñar un plan de gestión que aporte soluciones viables.

Este estudio se puede definir como un proyecto descriptivo el cual se refiere a: “la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento. Los resultados de este tipo de investigación se ubican en un nivel intermedio en cuanto a la profundidad de los conocimientos...” (Arias, El Proyecto de Investigación, 2006, pág. 24)

3.2 Enfoque de la investigación

Existen tres tipos de enfoque: cualitativo, cuantitativo y mixto. El enfoque cualitativo “utiliza la recolección de datos sin medición numérica para descubrir o afinar preguntas de investigación en el proceso de interpretación” (Hernández, Fernández, & Baptista, 2010)

Por otro lado, el enfoque cuantitativo “usa la recolección de datos para probar hipótesis, con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y comprobar teorías.”¹⁰

Por último, el enfoque mixto establece que se “puede utilizar los dos enfoques –cuantitativo y cualitativo- para poder responder distintas preguntas de investigación de un planteamiento del problema”.¹¹

En el presente Trabajo Especial de Grado se presenta un enfoque mixto porque se establecieron parámetros cuantitativos para valorar las encuestas y datos e información cualitativa para la descripción de los procesos.

3.3 Diseño de la investigación

Como el diseño de una investigación se hace referencia en la forma en la que esta se realiza; Se define por ser una investigación transversal, ya que se recolectó información en un momento dado, directamente del área de estudio y de los trabajadores de ésta.

“Los diseños de investigación transeccional o transversal recolectan datos en un solo momento, en un tiempo único. Su propósito es describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado. Es como tomar una fotografía de algo que sucede” (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2010, pág. 151)

¹⁰ HERNÁNDEZ, Roberto; Fernández, Carlos y baptista, Pilar. “Metodología de la Investigación. Mcgraw Hill Interamericana Editores. México, 2010, 5° Edición. Pág. 5

¹¹ Hernández, Roberto; Fernández, Carlos y BAPTISTA, Pilar. “Metodología de la Investigación. Mcgraw Hill Interamericana Editores. México, 2010, 5° Edición. Pág.

Adicionalmente, Balestrini Acuña describe el diseño no experimental de la siguiente manera: "... se ubican los estudios exploratorios, descriptivos, diagnósticos, evaluativos y los factibles, donde se observan los hechos estudiados tal y como se manifiestan en su ambiente natural y en este sentido no se manipulan de manera intencional las variables". Por lo tanto el diseño en el cual se basará el presente Trabajo Especial de Grado es el de tipo no experimental, puesto a que el investigador observa los fenómenos tal y como ocurren naturalmente, sin intervenir en su desarrollo (Cabrero & Martínez, 2017)

3.4 Población y Muestra

3.4.1 Población

La población para la presente investigación corresponde a aquel personal que tiene relación con los equipos anteriormente mencionados. Para Arias (2006), la población "es un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación. Ésta queda delimitada por el problema y por los objetivos del estudio." (Arias, El Proyecto de investigación, 2012, pág. 81).. Dentro de la población que está bajo estudio en el presente Trabajo Especial de Grado se encuentra todo el personal perteneciente al departamento de Mantenimiento Físico de la planta.

Tabla 2. Población de estudio

Cargo	Cantidad
Mecánicos operarios	7
Supervisor planta de tratamiento de agua	1
Gerente de Mantenimiento Físico	1

Fuente: Elaboración propia

3.4.2 Muestra

Según Hernández Sampieri “la muestra es un subconjunto de elementos que pertenecen a ese conjunto definido en sus características al que se le llama población” (H. Sampieri, citado por Balestrini 2001 Pág. 141). Para este trabajo de investigación la elección de la muestra fue de manera aleatoria y abarca a los mecánicos operarios, al supervisor y gerente del departamento como se muestra en la Tabla N° 2. Se le denomina no probabilístico por “suponer un proceso de selección informal” (Hernández, Fernández, & Baptista, 2010) porque depende de las características que tenga la población y no de valores probabilísticos. Para este caso la muestra será la misma que la población, por ser una población pequeña.

3.5 Instrumentos y Técnicas de recolección de datos

Según (Arias, El Proyecto de Investigación, 2006) “se entenderá por técnica de investigación el procedimiento o forma particular de obtener datos o información”

3.5.1 Observación directa

La presente investigación utilizará la observación directa, técnica en la cual el investigador utiliza sus sentidos para recoger información del medio de trabajo diario poniendo atención en detalle al ambiente y equipo de trabajo sin soporte de documentación.

“La observación directa es técnica que consiste en visualizar o captar mediante la vista, en forma sistemática, cualquier hecho, fenómeno o situación que se produzca en la naturaleza o en la sociedad, en función de unos objetivos de investigación preestablecidos.” (Arias, El Proyecto de investigación, 2012)

3.5.2 Entrevistas no estructuradas

Para Arias, Fidas (Arias, El Proyecto de investigación, 2012, pág. 73) “más que un simple interrogatorio es una técnica basada en un dialogo o conversación “cara a cara”, entre el entrevistador y el entrevistado acerca de un tema previamente determinado, de tal manera que el entrevistador pueda obtener la información requerida. ”

Esta técnica, en la que el investigador tiene un diálogo sin un formato específico con los entrevistados, se utilizará con la muestra de la población descrita en la Tabla N° 2 con la finalidad de obtener la información necesaria acerca de los registros relacionados a las actividades de mantenimiento.

3.5.3 Encuestas

(Arias, El Proyecto de Investigación, 2006) define la encuesta como “una técnica que pretende obtener información que suministra un grupo o muestra de sujetos acerca de si mismos, o en relación con un tema en particular”.

En el Trabajo Especial de Grado presente, se elabora una encuesta basada en las diez mejores prácticas de mantenimiento, en las cuales se realizan preguntas por cada área para establecer una conclusión precisa, con respecto al mantenimiento de los equipos objeto de estudio del presente trabajo y las posibles mejoras que se pueden aplicar al mismo.

3.6 Fases de la investigación

Para el desarrollo de este trabajo se presenta el siguiente esquema (Ver Tabla 3) con cada una de las etapas de la investigación:

Tabla 3. Fases de la investigación

Fase 1	<ul style="list-style-type: none">•Planteamiento del problema
Fase 2	<ul style="list-style-type: none">•Levantamiento y análisis de la situación actual a través de la norma COVENIN 2500-93 y de las 10 mejores prácticas de mantenimiento.
Fase 3	<ul style="list-style-type: none">•Análisis de los datos obtenidos para el diagnóstico de la situación actual.
Fase 4	<ul style="list-style-type: none">•Elaboración de un plan de gestión de mantenimiento de los equipos asociados al caso.
Fase 5	<ul style="list-style-type: none">•Cálculo de la factibilidad económica para el plan sugerido
Fase 6	<ul style="list-style-type: none">•Conclusiones y recomendaciones

Fuente: Elaboración propia

3.7 Definición y operacionalización de las variables

Tabla 4. Definición y Operacionalización de las variables

Variables	Dimensión	Indicadores	Técnicas
Objetivo específico 1: Analizar la situación actual del Sistema de Calderas, Bomba y Tratamiento de agua del Departamento de Mantenimiento Físico de una empresa de manufactura de productos farmacéuticos			
<ul style="list-style-type: none"> - Procesos de tratamiento del agua. - Personal. - Procesos de mantenimiento. 	Documentación	Procedimientos. Rutinas de mantenimiento.	<ul style="list-style-type: none"> - Diagramas de flujo. - Entrevistas no estructuradas. - Observación directa.
Objetivo específico 2: Describir los equipos objeto de mantenimiento, con base a su nombre, características, año de adquisición y operatividad			
Equipos que generan vapor. Equipos de tratamiento de agua. Equipos de mantenimiento. Personal	Documentación	Manuales del fabricante Características Rutinas de Mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> - Observación directa de las placas de los equipos - .Zonificación - Generación de códigos
Objetivo específico 3: Diseñar las rutinas y procedimientos de mantenimiento para cada equipo			
Rutinas de mantenimiento	Codificación de las rutinas Repuestos e insumos P.O.E.	<ul style="list-style-type: none"> - Tipo de rutina - Codificación del equipo - Planificación - Determinación de las actividades. 	<ul style="list-style-type: none"> - Manuales de los equipos - Ordenes de trabajo
Objetivo específico 4: Seleccionar el recurso humano requerido, en términos de especialidad, cantidad y tiempo necesario para el mantenimiento de cada equipo			
Cantidad de hombres / personal requerido	Horas hombre necesarias Horas hombre disponibles	<ul style="list-style-type: none"> - Tiempo de ejecución para cada actividad. - Nº de mano de obra requerida - Verificación de las rutinas de mantenimiento que estén programadas. 	Entrevistas no estructuradas

Variables	Dimensión	Indicadores	Técnicas
Objetivo específico 5: Determinar los repuestos, materiales y consumibles, en términos de sus cantidades y frecuencia de uso, requeridos en el mantenimiento de cada equipo			
Recursos materiales requeridos	Cantidad de insumos requeridos Cantidad de repuestos requeridos	Verificación de las rutinas de mantenimiento que estén programadas.	- Procedimientos - Manuales de los equipos - Entrevistas no estructuradas
Objetivo específico 6: Establecer las cantidades y tipos de herramientas y equipos requeridos en el mantenimiento de cada equipo			
Recursos de trabajo requeridos	Cantidad de herramientas que se necesiten	Verificación de las rutinas de mantenimiento que estén programadas.	- Manuales de los equipos - Entrevistas no estructuradas
Objetivo específico 7: Valorar la factibilidad técnica y viabilidad económica del plan de gestión de mantenimiento propuesto			
Factibilidad económica del proyecto	Inflación promedio	- Costo por mano de obra. - Costo por materiales y repuestos. - Tasa mínima atractiva de rendimiento. - Costo del plan propuesto	- Estudio de costos - Tasa de inflación promedio calculada - Documentación del Banco Central de Venezuela

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV

4. Situación actual

En el presente capítulo se describen los procesos relacionados al mantenimiento de la sala de generadores de vapor que se maneja actualmente en la empresa, mediante dos diagramas de flujo (ver anexo A.1 Y A.2). Posteriormente, se presenta la evaluación de la situación actual documentada bajo la aplicación de las diez (10) mejores prácticas de la gestión de mantenimiento y de la norma COVENIN 2500-93, donde se analizaron las diferentes áreas por las que se rige la norma. Finalmente se presentará una encuesta de realización propia la cual fue aplicada al personal interno del departamento y a partir de la cual se originó el diagrama de causa – efecto (Ishikawa) donde se aprecian las causas principales y secundarias de las fallas que se manifiestan durante los procesos de mantenimiento. El contenido de estos aspectos presentados, representan la razón de ser de este trabajo especial de grado, ya que los resultados obtenidos evidencian la importancia de un plan de gestión de mantenimiento.

4.1 Descripción del procedimiento actual de mantenimiento

Actualmente la empresa trabaja bajo el esquema de corrección de fallas una vez que ya se hizo notoria la presencia de las mismas, lo que hace evidente que no se lleva una planificación, programación o registros acerca de las actividades de mantenimiento. Además, hay escasez de la información acerca del comportamiento de las fallas y se dificulta el hecho de poder evitarlas, ya que no existe ninguna data que permita diagnosticar cuándo y cómo realizar actividades que determinen el impedimento de las fallas.

La práctica de las acciones de mantenimiento actual se lleva a cabo mediante Personal del departamento de Mantenimiento Físico y también mediante empresas contratistas. Dichas contratistas ejecutan las actividades de

mantenimiento cuando la empresa lo solicita y el costo que representa dicha contratación depende de las actividades que se realicen. Cuando surge alguna falla grave de los equipos que el personal interno no pueda solventar, se solicita la disposición de la contratista para solventar la falla presentada.

Los turnos del personal interno están dividido en tres (3) turnos que ocupan las 24 horas del día, todos los días de la semana dentro de la organización, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 5. Turnos de trabajo en la organización

Turno	Rotativo 1	Rotativo 2	Diurno
Horario	7:00 am – 7:00 pm	7:00 pm – 7:00 am	7:00 am – 3:30 pm

Fuente: Elaboración propia

4.1.1 Mantenimiento con el personal interno del departamento

El departamento de Mantenimiento Físico cuenta con una plantilla de siete (7) mecánicos operarios los cuales cumplen un horario rotativo con las siguientes indicaciones: dos (2) cumplen el horario Rotativo 1 por cuatro (4) días, tienen cuatro (4) días de descanso, luego cumplen el horario Rotativo 2, tienen cuatro (4) días de descanso y vuelve al horario Rotativo 1.

Mientras se cumplen los cuatro (4) días de descanso de dos operarios mecánicos, los otros cuatro mecánicos operarios cumplen horario Rotativo 1 y 2 (2 mecánicos operarios por horario), es decir, dos (2) mecánicos operarios están en Rotativo 1, dos (2) cumplen Rotativo 2 y los otros dos (2) están en sus días de descanso.

4.1.2 Mantenimiento bajo la subcontratación

La empresa subcontratada ejecuta las actividades de mantenimiento preventivo a los equipos objeto de estudio una vez año de manera fija. Adicional a esta actividad, cuando surge alguna falla en los equipos que el personal

interno del departamento no pueda solventar, se solicita la intermediación por parte de la empresa contratista. En el Anexo A.2 se representa mediante un diagrama de flujo el proceso de la realización de las actividades del mantenimiento bajo la subcontratación.

4.2 Aplicación de la Norma COVENIN 2500-93

La norma COVENIN 2500-93 manual para la evaluación de sistemas de mantenimiento en la industria representa “un método cuantitativo para el diagnóstico de los procesos de mantenimiento, en empresas manufactureras, para determinar la capacidad de gestión de la empresa en lo que respecta al mantenimiento mediante el análisis y calificación de los siguientes factores:

- Organización de la empresa
- Organización de la función de mantenimiento.
- Planificación, programación y control de las actividades de mantenimiento.
- Competencia del personal.”¹²

Para la aplicación de la norma se deben tener en cuenta dos criterios: Principio Básico y Deméritos.

- Principio Básico: Es aquel concepto que refleja las normas de la organización y funcionamiento, sistemas y equipos que deben existir y aplicarse en mayor o menos proporción para lograr los objetivos del mantenimiento.
- Deméritos: Se refiere a un principio básico que por omisión o por incidencia negativa origina que la efectividad del principio no sea completamente efectiva. (Norma Venezolana COVENIN 2500-93)

Una vez conocidos los criterios de ponderación, el procedimiento consiste en evaluar los doce principios básicos, donde cada uno puede obtener

¹² (Norma Venezolana COVENIN 2500-93)

una puntuación máxima y los deméritos van ajustando dicha puntuación disminuyéndola con respecto a la puntuación más alta.

La puntuación total obtenida puede llegar hasta 2500 puntos, así que si en la ficha de evaluación se obtiene un puntaje cercano a los 2500, se presume que la organización tendrá una mejor postura con respecto a la gestión del mantenimiento.

4.2.1 Resultados de la aplicación de la Norma COVENIN 2500-93

Los resultados que arrojó la aplicación de la Norma COVENIN 2500-93 se encuentran en el Anexo A.3, donde se puede observar que los resultados más críticos, es decir, los de menor puntaje corresponden a las áreas de Mantenimiento Programado y Planificación del Mantenimiento con un 6,40 % y 9,00 % respectivamente, tal y como lo muestra la tabla N° 6

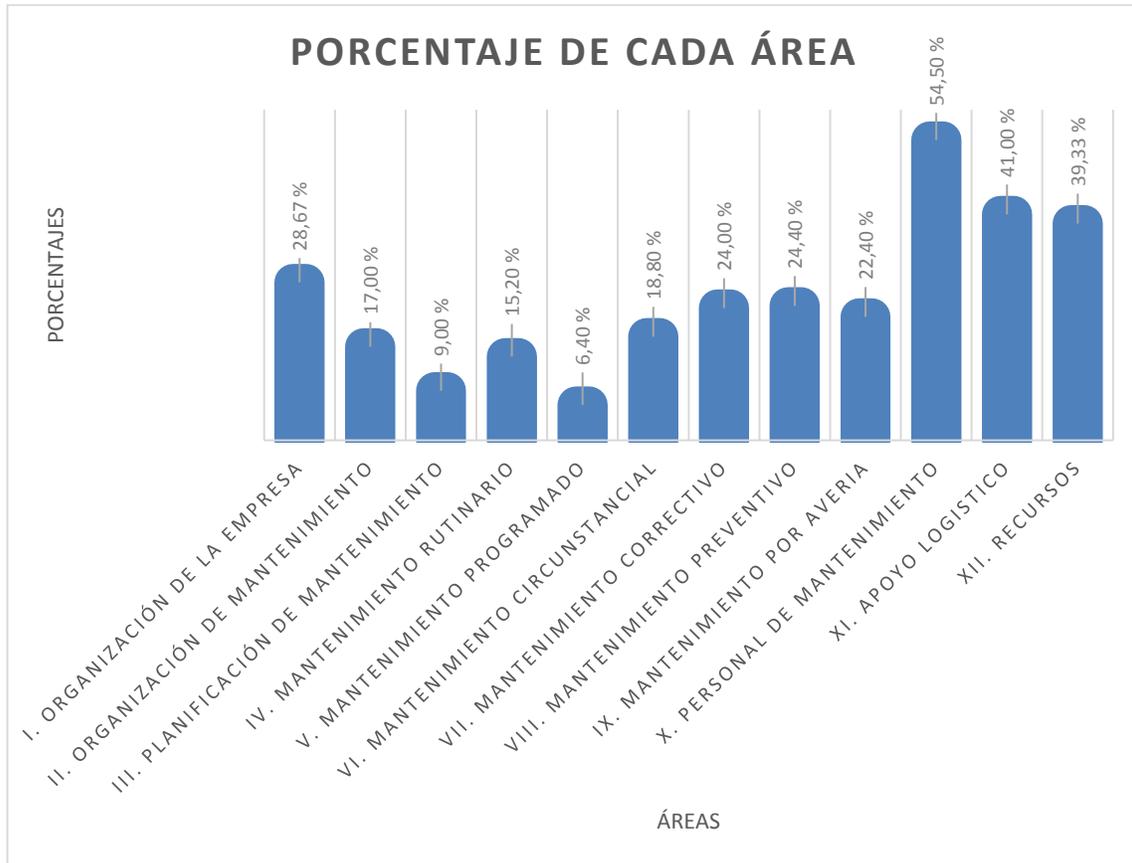
Tabla 6. Resultados de las áreas con menor puntuación de la aplicación de la Norma COVENIN 2500-93

ÁREA	TOTAL DEMÉRITOS	PUNTAJE TOTAL	% EFECTIVIDAD
Mantenimiento Programado (Total: 250 puntos)	234	16	6,40
Planificación de Mantenimiento (Total: 200 puntos)	182	18	9,00

Fuente: Elaboración propia

El gráfico que se presenta a continuación muestra un resumen de los porcentajes obtenidos en la aplicación de la Norma COVENIN 2500-93 para cada área:

Ilustración 9. Porcentaje obtenido de cada área de estudio con la aplicación de la Norma COVENIN 2500-93



Fuente: Elaboración propia

En general la efectividad de la organización generó un 23,28 %, lo que indica que la empresa tiene un problema con la gestión de mantenimiento que se lleva a cabo actualmente.

4.3 Evaluación mediante las 10 mejores prácticas de la gestión de mantenimiento

Se decidió aplicar una evaluación más reciente con la finalidad de completar el desarrollo y diagnóstico de la situación actual, y es por esta razón que se decide emplear una encuesta basada en las “Diez (10) mejores prácticas de la gestión de mantenimiento” que consta con un total de 50

preguntas las cuales se dividieron en cinco (5) preguntas por cada una de las siguientes áreas:

- Organización basada en equipo.
- Apoyo y visión gerencial
- Integración con proveedores de materiales y servicios
- Contratistas orientados a la productividad.
- Planificación y Programación proactiva.
- Mejoramiento continuo.
- Gestión disciplinada de procura de materiales.
- Integración de procesos y sistemas.
- Parada del sistema.
- Producción basada en la confiabilidad

En el apartado de Anexos A.4 se muestra la encuesta con las cincuenta preguntas realizadas al personal interno del departamento de Mantenimiento Físico (7 mecánicos operarios, el supervisor y el gerente), cuya escala de valoración (ver Tabla muestra el grado de aprobación o desacuerdo de las opciones planteadas con respecto a los procesos relacionados al mantenimiento de los equipos objeto de estudio.

Tabla 7. Valoración de la encuesta aplicada sobre las 10 mejores prácticas de mantenimiento

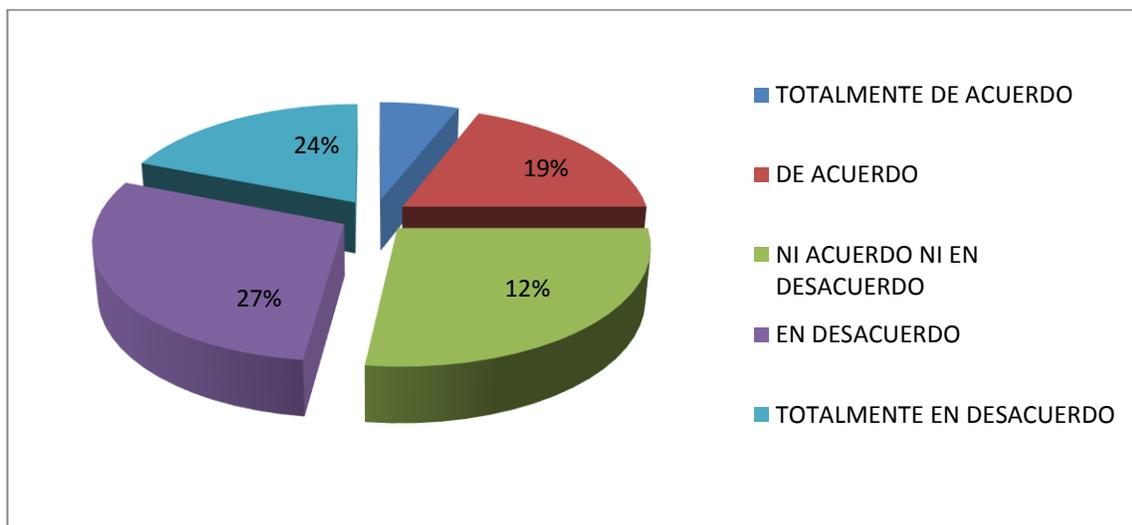
RESPUESTA	PUNTAJE
TOTALMENTE EN DESACUERDO	1
EN DESACUERDO	2
NI ACUERDO NI EN DESACUERDO	3
DE ACUERDO	4
TOTALMENTE DE ACUERDO	5

Fuente: Elaboración propia

4.3.1 Resultados de la aplicación de la encuesta de las 10 mejores prácticas de la gestión de mantenimiento

En la Ilustración 10 se puede observar el resultado de la aplicación de la encuesta, en el cual se representa el 48% de las respuestas como no conformes con las afirmaciones planteadas (totalmente en desacuerdo y en desacuerdo) y el 27% arrojó no estar en desacuerdo ni de acuerdo, lo que demuestra la ausencia de la aplicación de las 10 mejores prácticas de gestión de mantenimiento.

Ilustración 10. Resultados de las encuestas aplicadas de las Diez Mejores prácticas de la Gestión del Mantenimiento



Fuente: Elaboración propia

Para la visualización de los resultados se calcularon los promedios de los resultados de cada pregunta y con ellos se realizó un diagrama de malla (ver anexo A.5), en el cual se puede observar con facilidad las áreas que resultaron críticas y en donde se debe enfatizar para tomar acciones que mejoren dicha situación. El promedio global de la organización es de 2,67 en una escala del 1 al 5, lo que refleja que efectivamente existen fallas en el departamento.

Planificación y programación proactiva se ubicó como la práctica más baja con un promedio de 2,22, mejoramiento continuo obtuvo un promedio de 2,47 y por último apoyo y visión gerencial tuvo un resultado de 2,55. Para identificar cuáles son las causas que originaron éstos resultados, se registraron

las observaciones más repetidas que los encuestados nombraron y se aplicó una encuesta para cada una de éstas tres (3) prácticas, donde se le solicitó al personal interno que priorizara las principales causas de los bajos puntos obtenidos, basándose en las siguientes categorías:

- Método
- Personal / Mano de obra
- Materiales
- Medio ambiente / Entorno
- Documentación / Información de los equipos

Una vez obtenidos los resultados de las encuestas, se calcularon los porcentajes de incidencia de las causas principales y causas secundarias las cuales indican la deficiente gestión de mantenimiento que se desempeña actualmente (Ver Anexo A.6, A.7 y A.8).

Con esta información se elaboraron los diagramas causa – efecto para cada una de las fases críticas, y posteriormente se efectuaron los diagramas de Pareto con el fin de identificar los elementos que originan mayores secuelas negativas en los procesos de mantenimiento. En los Anexos A.8, A.9 y A.10 se pueden observar los diagramas causa – efecto y de Pareto correspondientemente.

CAPÍTULO V

5. La propuesta

En este capítulo se desarrollaran las técnicas necesarias para atacar las fallas detectadas luego de realizarse el diagnóstico de la situación actual y de evaluarla mediante la información recolectada. Para lo antes expuesto, se desarrollarán las fases necesarias para el diseño de este plan, entre las cuales están: inventario de los equipos, análisis de criticidad, codificación, rutinas de mantenimiento, procedimientos de cada rutina, cronograma de actividades anual y estudio de costos y factibilidad económica. Esta reestructuración fue diseñada con el fin de mejorar la gestión de mantenimiento actual para lograr así cumplir con los objetivos del presente trabajo especial de grado.

5.1 Inventario de los equipos

Al conocerse que no existe un inventario de los equipos asociados a la sala de generadores de vapor (calderas) y su tratamiento de agua, se recaudó la información acerca de los mismos mediante la observación directa así como entrevistas no estructuradas al personal interno del departamento.

Algunos equipos poseían las placas de identificación del fabricante, sin embargo, debido al deterioro, ausencia o ubicación de las placas (se encontraban en la parte posterior o interna de los dispositivos y era de difícil acceso y manipulación), no se pudo recolectar todos los datos necesario para el inventario de los equipos.

En el Anexo B.1 se muestra la siguiente información recaudada de los equipos asociados: Nombre, ubicación, marca, modelo, serial y código.

5.2 Análisis de criticidad para los equipos

Es necesario establecer un criterio para seleccionar aquellos equipos cuya falla provoque una parada de algunos procesos de planta, una

disminución de la capacidad productiva o una parada general. Es por esto que en esta etapa del trabajo especial de grado, se procedió a analizar la criticidad mediante los criterios de operatividad y costo de los equipos.

Con el criterio de operatividad se mide el nivel de importancia que tiene el equipo para los procesos de la Planta. Con el costo de los equipos se mide el impacto económico que supondría la reposición de la unidad, éste último mediante un análisis ABC basado en el costo de cada equipo.

Para lograr la clasificación, se realizaron entrevistas no estructuradas al personal del departamento que tienen contacto directo con los equipos, entendiéndose por esto, al supervisor y a los mecánicos operarios tanto de horario rotativo como de horario diurno, así como al Gerente de Mantenimiento Físico.

En la Tabla 8 se estableció la siguiente clasificación para el criterio de operatividad:

Tabla 8. Clasificación de los equipos mediante su criticidad por operatividad

Criticidad por operatividad	Clasificación
Equipos indispensables	I
Equipos importantes	II
Equipos auxiliares	III

Fuente: elaboración propia

Se realizó la tabla 9 para la clasificación de los equipos mediante la criticidad por costo

Tabla 9. Clasificación de los equipos mediante su criticidad por costo

Criticidad por costo de los equipos	Clasificación
Equipos de alto costo (hasta el 68% del porcentaje de costo total)	A

Equipos de mediano costo (hasta el 27 % del porcentaje de costo total)	B
Equipos de bajo costo (hasta el 5% del porcentaje de costo total)	C

Fuente: elaboración propia

En el anexo B.2 se tiene el análisis de criticidad aplicado a los equipos objeto de estudio, en donde se ordenaron las unidades que poseen desde alto costo hasta bajo costo y se clasificaron según su nivel de criticidad por operatividad. A continuación se presenta el esquema de la tabla (Ver tabla 10) en cuestión.

Tabla 10. Matriz de análisis de criticidad

Equipo	Costo en bolívares	Costo en dólares	Clasificación por operatividad	Clasificación por operatividad	% de cada unidad	% acumulado	Calificación obtenida

Fuente: elaboración propia

Posteriormente se priorizó y estableció la categoría de equipos de niveles 1, 2 y 3 tal y como se presentan a continuación en la tabla 11:

Tabla 11. Criticidad de los equipos

CRITICIDAD POR OPERATIVIDAD	CRITICIDAD POR COSTOS		
	A	B	C
I	1	1	2
II	1	2	2
III	3	3	3

Fuente: elaboración propia

De acuerdo a los resultados obtenidos en la criticidad de los equipos, los equipos clasificados como nivel 1 (1), fueron: la caldera N° 1, la caldera N° 2, las bombas correspondientes a cada caldera, filtros de arena, filtros de carbón activado, y el suavizador. Ya que el tanque de gasoil y el resto de los equipos del sistema de bombeo son esenciales para la producción de vapor, se tomarán en cuenta en la programación del plan.

5.3 Clasificación de los equipos

Los equipos a someterse a un plan de mantenimiento, deben ser clasificados apropiadamente para poder conocer el recurso humano y material que se necesita para la ejecución de las actividades indicadas.

Para el presente trabajo especial de grado, los equipos asociados se clasificaron como equipos mecánicos y dentro de esta clasificación como equipos fijos, por lo que fueron discriminados como equipos mecánicos fijos.

5.4 Codificación

La codificación de los equipos debe ser manejada por el personal encargado físicamente del trabajo, por lo que debe ser sencilla y al mismo tiempo brindar la mayor información de las unidades. Consiste en un conjunto de letras y números (alfanuméricos) combinados de manera tal que permiten proporcionar la identificación de las actividades de mantenimiento a realizarse en cualquier equipo. La codificación a utilizar será la que se presenta a

 **Área de ubicación del equipo**

SC: Sala de calderas
PE: Pasillo externo
PI: Pasillo interno
CB: Cuarto de Bombas

 **Zona de la empresa**

01: Área externa 1
02: Área externa 2
PB: Planta Baja
S0: Sótano

continuación:

 **Sistema al que pertenece**

AB: Sistema de bombeo
AP: Sistema de Producción de vapor
AF: Sistema de Filtración
AD: Sistema de Distribución de vapor
AS: Sistema de suavización del agua
AA: Sistema de almacenamiento

 **Tipo de equipo**

CD##: Caldera ##
BC##: Bomba de la caldera ##
SU##: Suavizador ##
FA##: Filtro de arena ##
FC##: Filtro de carbón ##
BD##: Bombas de distribución de agua ##
MF##: Manifold de vapor industrial ##
BG## : Bomba de gasoil ##
HD## : Hidroneumático de agua filtrada
BS##: Bomba dosificadora ##
TQ## : Tanque de almacenamiento ##

 **Tipo de actividad**

IP: Inspección
LM: Limpieza
CP: Cambio de partes
LU: Lubricación
AP: Ajuste de partes
RE: Registro de datos o parámetros

 **Frecuencia de la actividad**

DI: Diaria
SM: Semanal
QN: Quincenal
ME: Mensual
TR: Trimestral
SE: Semestral
AN: Anual
BI: BIANUAL
TA: Cada 3 años

5.5 Ficha técnica de los equipos

Este apartado consta de la recolección de información elemental que caracteriza a cada equipo con el objetivo de permitirle al departamento contar con una base de datos de rápida ubicación para conseguir repuestos según las especificaciones de cada unidad.

La ficha técnica es alimentada por las placas que poseen los equipos y los manuales del fabricante. En los anexos B.3 al B.25 se encuentran las fichas correspondientes a los equipos objeto de estudio.

5.6 Formatos de control

Los formatos de control son utilizados para que las actividades de mantenimiento puedan ser registradas de manera efectiva y se continúe con el proceso iterativo de control del sistema para su mejora y en ahorros de tiempo y costo, por lo que se recomienda utilizar formatos con información precisa para su posterior utilización.

A continuación se presentan los siguientes formatos de control:

5.6.1 Orden de trabajo (O/T)

Es la vía por la cual se ejecuta cada tipo de trabajo de mantenimiento ya que suministra la información necesaria a quien va a realizar la actividad de mantenimiento, es decir, provee detalladamente la actividad a realizar así como las herramientas y materiales para llevar a cabo la misma. Permite al departamento tener un registro de las actividades y sirve como medio de comunicación entre la gerencia y los mecánicos. (Ver anexo B.26)

5.6.2 Informe de trabajo realizado (ITR)

El ITR debe registrar el trabajo realizado detallando los materiales, herramientas y mano de obra usada así como el tiempo empleado en esa actividad. En él también deben plasmarse las recomendaciones necesarias

para mejorar la operación de las actividades así como la requisición de repuestos, partes o piezas que se requieran para futuros trabajos. Debe colocarse la firma del responsable de su ejecución y del supervisor respectivo que avale la información entregada.

En el anexo B.27 se encuentra el modelo del informe de trabajo realizado propuesto

5.6.3 Hoja de inspección

La hoja de inspección es formulario en el cual se registran los parámetros que el operador del equipo realizó mediante la observación directa del mismo, permitiendo así llevar un control de las observaciones y notar cualquier variación que se presente en las unidades.

Los modelos de hoja de inspección propuestos se encuentran en los anexos B.28 al B.33

5.6.4 Hoja de registro de fallas

En la hoja de registro de fallas se recopila toda la información acerca de las averías de los equipos, lo cual permite documentar y registrar datos acerca de los equipos que más fallan y la cantidad de fallas que ocurren con más frecuencia. La hoja de registro de fallas se ubica en el anexo B.41, la cual describe la falla y la fecha y hora en la que se reportó la misma.

5.7 Rutinas de Mantenimiento Preventivo

Previo a la programación del mantenimiento es necesario que se alcance el conocimiento de las condiciones de los equipos así como el horario de uso de los mismos. En la empresa manufacturera de productos farmacéuticos los equipos deben estar operando las 24 horas del día, por lo que conocer las tareas a realizar y su frecuencia es sumamente necesario.

La información recaudada fue extraída de manuales de equipos similares a los equipos objeto de estudio ya que no se poseen los pertenecientes a ellos, además de la información proveniente de la opinión de expertos en la materia.

En los anexos al B.34 al B.40 se encuentran las rutinas de mantenimiento preventivo para los equipos.

5.8 Programación de las actividades de Mantenimiento

Para conocer la programación de las actividades de mantenimiento, es necesario primero saber detalladamente en qué consiste cada actividad y la frecuencia con la que se debe realizar, por tal razón, se describirán los Procedimientos Operativos Estandarizados de cada actividad.

5.8.1 Procedimiento Operativo Estandarizado (P.O.E)

Una vez identificadas las actividades de mantenimiento para cada equipo, se llevaron a cabo los procedimientos a seguir para su ejecución y se describieron los recursos necesarios para realizarlas: herramientas, materiales, personal e insumos. Con esto se busca alcanzar la estandarización de los procesos con el fin de obtener mejores resultados de la gestión de mantenimiento.

Para lograr la elaboración de los P.O.E. fue necesario usar las técnicas de observación directa así como realizar entrevistas no estructuradas a personas expertas en el área. En los anexos B.42 al B.80 se encuentran los P.O.E. de cada actividad.

5.8.2 Materiales y herramientas necesarios para el plan de mantenimiento preventivo propuesto

En esta etapa del plan de mantenimiento diseñado, se procede a recopilar información acerca de las especificaciones de los insumos, herramientas y repuestos necesarios para la ejecución de las actividades de mantenimiento programadas. Esta información sirve de base, tanto para el

control del inventario técnico como para el estudio de costos de esta propuesta.
(Ver la sección de B.81 y B.82)

5.8.3 Recursos Humanos

El personal encargado de ejecutar las rutinas de mantenimiento preventivas debe contar con el siguiente perfil:

- Tener experiencia en mantenimiento de equipos mecánicos.
- Conocimientos de sistemas hidráulicos y neumáticos.
- Conocimientos eléctricos.
- Práctica en el uso de herramientas para la ejecución de las rutinas planificadas.
- Responsabilidad en el cumplimiento de sus labores.
- Buenas condiciones físicas.
- Capacidad de discernir.
- Habilidades de observación para detectar fallas que se puedan presentar en los equipos.
- Capacidad de redacción para los informes de los trabajos realizados.

5.8.4 Horas-Hombre

Tomando en cuenta el tamaño de la plantilla laboral que se posee en el departamento de Mantenimiento Físico, se calcularon las horas hombre que se tienen disponible para llevar a cabo la ejecución de las actividades planificadas. El propósito de este cálculo es conocer si la plantilla laboral que se posee es suficiente o no para llevar a cabo la propuesta, una vez que se conozcan las horas hombre que se necesitan. Es importante resaltar que hay un mecánico operario que se dedica exclusivamente a los procesos que abarcan la sala de generadores de vapor, sin embargo, el resto de la plantilla (6) dividen su trabajo 4 horas en la sala de generadores de vapor y el resto de su jornada en otras

actividades del Departamento, las cuales no están dentro del alcance del presente trabajo de grado.

En la tabla 12 se pueden observar las horas-hombre disponibles en el Departamento de Mantenimiento Físico la cual muestra que se dispone de 96 horas hombre a la semana para realizar la programación del mantenimiento.

Tabla 12. Tiempo de horas hombre disponibles en el Departamento de Mantenimiento Físico

DIA	Cantidad de hombres			TOTAL HORAS-HOMBRE DEL DEPARTAMENTO
	ROTATIVO 1	ROTATIVO 2	DIURNO	
Lunes	2	2	1	16
Martes	2	2	1	16
Miércoles	2	2	1	16
Jueves	2	2	1	16
Viernes	2	2	1	16
Sábado	2	2	0	8
Domingo	2	2	0	8
TOTAL HORAS-HOMBRE EN UNA SEMANA				96 horas
TOTAL HORAS-HOMBRE ANUALES				4608 horas

Fuente: Elaboración propia

5.8.5 Horas-Hombre requeridas

Para calcular las horas-hombre que se necesitan en la realización de las actividades de mantenimiento propuestas, se tomó en cuenta el número de operarios que se necesitan para cada actividad y el tiempo de duración de la misma, dicha información se especifica en los Procedimientos Operativos Estándares. En la tabla 13 se muestra el tiempo requerido por equipo para las rutinas planificadas en un año y en la Tabla 14 se muestran las horas-hombre requeridas semanalmente

Tabla 13. Tiempo de horas hombre necesarias anualmente y semanalmente

Equipo	Horas-hombre anuales requeridas para cada equipo	Cantidad de equipos	Total Horas-Hombre requeridas anualmente
CALDERA	685,1	4	2740,2
BOMBA	74,0	9	666
FILTRO DE ARENA	135,9	2	267,8
FILTRO DE CARBÓN	133,9	2	263,8
SUAVIZADOR	144,4	2	284,8
HIDRONEUMÁTICO	7,3	1	7,3
TANQUE DE GASOIL	58,3	2	116,6
TOTAL HORAS-HOMBRE REQUERIDAS EN UN AÑO			4347,0

para las rutinas programadas

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14. Horas-Hombre requeridas semanalmente

TOTAL DE HORAS HOMBRE REQUERIDAS ANUAL	4347
SEMANAS EN UN AÑO	48
TOTAL HORAS-HOMBRE REQUERIDAS SEMANAL	91

Fuente: Elaboración propia

Para conocer el personal que se necesita para las rutinas programadas se calculó (Ver Ec. 1) la mano de obra con base a una semana (7 días de trabajo) y 6 horas de trabajo diarias.

$$\text{Personal que se necesita} = \frac{90,6 \text{ horas-hombre}}{\text{semana}} * \frac{1 \text{ semana}}{5 \text{ días}} * \frac{1 \text{ día}}{6 \text{ horas}} = 3,02 \cong 4 \text{ (Ec. 1)}$$

La cantidad de horas-hombre que se necesitan son 91 horas y se dispone de 96 horas-hombre, adicionalmente, se puede observar que la fuerza laboral calculada arrojó un resultado de 4 hombres y actualmente se tiene una plantilla de 7 mecánicos operarios, por lo que el departamento actualmente puede realizar las actividades programadas con el personal interno.

5.9 Carta Gantt

Para el programa de mantenimiento preventivo se utilizó la carta Gantt ya que es una herramienta que permite realizar un seguimiento y control del progreso en cada una de las etapas y permite planificar y programar tareas a lo largo de un período determinado de tiempo. El calendario anual que contiene esta herramienta comienza en enero del 2018 y culmina en diciembre del mismo año. Para formar esta programación se hizo una lista con las rutinas, equipos asociados y sus respectivos códigos. Cabe destacar que se programaron en la carta Gantt la mayor cantidad de rutinas de los equipos, ya que al tener rutinas establecidas cada 3 años, algunos años se tienen menos actividades que en los otros.

En el anexo B.83 se muestra la programación anual, en donde se dejó una holgura por si surgen mantenimientos de tipo correctivo ya que es necesario tener presente que pueden surgir fallas y las mismas deben contemplarse para su posible solución.

5.10 Flujo de Materiales e Información

En este apartado se presentará el recorrido que se debe seguir para llevar a cabo el presente plan de gestión de mantenimiento, con el objetivo de estandarizar el proceso y que se solventen los inconvenientes de una manera más rápida. Sin embargo, esto no garantiza que no se presenten fallas o averías repentinamente, por lo que se deben tener en cuenta estas situaciones

para que queden registradas y documentadas. Este tipo de actividades se ubicaron como actividades no programadas.

5.10.1 Flujo de materiales e información de actividades no programadas con el personal interno.

1. El mecánico operario detecta una falla inusual y se comunica con el supervisor de departamento.
2. El supervisor decide que el personal interno puede solventar la falla, procede a llenar la O/T con todas las especificaciones y le saca una copia junto al P.O.E.
3. La copia se archiva en la carpeta del mecánico operario la cual está habilitada para guardar todas las copias.
4. La secretaria del departamento archiva la O/T original en la carpeta destinada para ello, asegurándose de que este firmada.
5. El mecánico-operario se dirige al almacén de repuestos con su carpeta de O/T para solicitar el repuesto a usarse, el cual no está garantizado que este en stock.
 - 5.1 En caso de no encontrarse el repuesto en el almacén, el supervisor debe solicitar al departamento de Compras la reposición del mismo indicando todas las especificaciones.
 - 5.2 Una vez el departamento de compras aprueba la cotización del proveedor elegido, se le notifica al supervisor y éste debe estar atento para recibir al proveedor con el repuesto requerido y entregarlo al personal interno encargado de la falla.
6. Se realiza el trabajo de mantenimiento correctivo.
7. Se guarda la carpeta con las copias de las O/T
8. Se llena el ITR y la Hoja de Registros de Fallas indicando específicamente lo ocurrido y se entregan al supervisor del departamento.

9. El supervisor saca una copia del ITR y de la Hoja de Registros de Fallas y se archiva en la carpeta del personal que hizo el mantenimiento.
10. Los documentos originales se entregan a la secretaria para que se archiven y se registren digitalmente.

5.10.2 Flujo de materiales e información de actividades no programadas con el servicio de contratistas.

1. El mecánico operario detecta una falla inusual y se comunica con el supervisor de departamento.
2. El supervisor decide que el personal interno no puede solventar la falla, por lo que procede a llenar la O/T y solicitar el servicio de una contratista.
3. Se saca una copia de la O/T y se le entrega a la contratista.
4. El supervisor solicita al departamento de Compras la aprobación del servicio contratado y una vez se confirma, se dirige al personal contratado al área del equipo que presenta la falla.
5. La contratista realiza el trabajo de mantenimiento correctivo correspondiente.
6. Al finalizar, se archiva la O/T en la carpeta de la contratista destinada para sus trabajos dentro de la empresa.
7. Se llena el ITR y la Hoja de Registros de Fallas indicando específicamente lo ocurrido.
8. El supervisor saca una copia del ITR y de la Hoja de Registros de Fallas y se archiva en la carpeta de la contratista destinada para sus trabajos dentro de la empresa.
9. Los documentos originales se entregan a la secretaria para que se archiven y se registren digitalmente.

5.10.3 Flujo de materiales e información de actividades programadas

1. El supervisor del departamento llena la O/T con todas sus especificaciones, basándose en la programación anual establecida y le saca una copia junto al POE que se realizará.
2. La copia se archiva en la carpeta del mecánico operario la cual está habilitada para guardar todas las copias.
3. La secretaria del departamento archiva la O/T original en la carpeta destinada para ello, asegurándose de que este firmada
 - 3.1 Si el trabajo a realizar es una inspección, se debe agregar la Hoja de Inspección
4. El mecánico-operario se dirige al almacén de repuestos con su carpeta de O/T para solicitar el repuesto a usarse, el cual está garantizado que este en stock ya que la actividad se encuentra bajo la programación anual.
5. Se realiza el trabajo de mantenimiento correctivo.
6. Se guarda la carpeta con las copias de las O/T
7. Se llena el ITR indicando específicamente el trabajo realizado y se entregan al supervisor del departamento.
 - 7.1 Si el trabajo realizado era de inspección, no se realiza TIR, únicamente se llena la Hoja de Inspección.
8. El supervisor saca dos copia del ITR y de la Hoja de Inspección
 - 8.1 Una copia se archiva en la carpeta del personal que hizo el mantenimiento.
 - 8.2 La otra copia se archiva en la carpeta de la vida del equipo a la cual se le practicó la actividad.
9. Los documentos originales se entregan a la secretaria para que se archiven y se registren digitalmente

5.11 Indicadores de la Gestión de Mantenimiento

Posterior a la programación del mantenimiento, se procedió a desarrollar unos indicadores que tienen como objetivo detectar dónde se producen los

mayores aciertos y fallas durante todo el proceso. A continuación, se presentan los indicadores de gestión propuestos.

5.11.1 Fallas no detectadas con Mantenimiento Preventivo

$$FNDCMP = \frac{O/T \text{ decretadas URGENTE}}{O/T \text{ generadas totales}}$$

Si el resultado obtenido al aplicar este indicador es mayor al 10%, supone deficiencia en el proceso de la planificación de las actividades de mantenimiento por lo que deben ser revisadas y planificadas nuevamente.

5.11.2 Eficiencia del cumplimiento de las Órdenes de Trabajo (O/T)

$$ECOT = \frac{O/T \text{ acabadas en la fecha pautada}}{O/T \text{ planificadas}} * 100$$

Se desarrolló este indicador para conocer el manejo de la Gerencia hacia el cumplimiento de las rutinas programadas en la planificación del mantenimiento. Se puede aceptar un valor hasta de 80% para considerarlo eficiente.

5.11.3 Reporte de fallas atendidas

$$RFA = \frac{\# \text{ de fallas atendidas}}{\# \text{ fallas reportadas}}$$

Un resultado aceptable se posiciona en el rango comprendido entre el 90%-100%, dentro del cual se puede evaluar el nivel de respuesta de la gerencia en cuanto a las fallas reportadas.

5.11.4 Índice de Mantenimiento Preventivo (IMP)

$$IMP = \frac{\text{Horas dedicadas al MP}}{\text{Horas totales dedicadas al mantenimiento}}$$

Con este indicador se mide el porcentaje de horas invertidas en el cumplimiento del mantenimiento programado sobre el total de horas dedicadas al mantenimiento.

5.11.5 Repetición de Fallas

$$RF = \frac{\text{Número de fallas repetidas}}{\text{Total de fallas}}$$

El número permitido para este indicador es únicamente cero (0) ya que las fallas repetidas deben ser nulas.

5.11.6 Tiempo medio entre fallas

$$TMEF = \frac{N^{\circ} \text{ horas totales del periodo de tiempo analizado}}{N^{\circ} \text{ averias}}$$

El tiempo medio entre fallas nos indica el intervalo de tiempo más probable entre un arranque y la aparición de una falla.

5.12 Estudio económico

5.12.1 Costos asociados a la Programación del Mantenimiento

Para el análisis de la factibilidad económica de la programación del mantenimiento, se calcularon los costos correspondientes a la mano de obra, las herramientas y los materiales necesarios para la ejecución del plan. Es necesario destacar, que con materiales se hace referencia a los insumos y repuestos necesarios para llevar a cabo las rutinas planteadas.

Los cálculos arrojaron la necesidad de tener una fuerza laboral de 4 hombres y la plantilla actual del departamento dispone de 7 hombres, por lo que el análisis de los costos se realizó tomando en cuenta únicamente al personal interno, sin hacer uso de la subcontratación para la realización de las actividades.

5.12.1.1 Costos correspondientes a las herramientas

En los costos correspondientes a las herramientas a usarse en la programación del plan, se trabajó suponiendo 48 semanas al año, con 5 días de trabajo semanalmente y 6 horas cada día. Dichos costos se calcularon usando el método temporal lineal, tomando en cuenta el costo inicial de la herramienta al adquirirla y su vida útil asumiendo un valor cero como salvamento, dando como resultado una depreciación anual de **100.894,99 Bs/año**. En el anexo B.81 se muestra la tabla con los costos asociados a cada herramienta.

5.12.1.2 Costos correspondientes a materiales

Con Respecto al estudio económico de los materiales, se analizaron tanto los precios de los insumos como los de los repuestos a adquirir para cada rutina programada en el plan. La información referente a la cantidad de insumos y repuestos utilizados se obtuvo de datos históricos de la empresa, arrojando la cantidad de **438.583.962,56 Bs/ año**. En el anexo B.82 se puede observar detalladamente los materiales y el costo asociado a cada rutina de mantenimiento.

5.12.1.3 Costos de mano de obra

Los costos asociados a la mano de obra se calcularon tomando como base el salario diario de un técnico categorizado como especializado tipo 3, con 5 a 6 años de experiencia, según el Colegio de Ingenieros de Venezuela (Valores FCAS actualizados al 1 de septiembre de 2017). Adicionalmente, se tomaron en cuenta los costos del bono de alimentación y los beneficios que brinda la empresa a los trabajadores con respecto a la Ley del trabajo, así como también las obligaciones laborales que se deben pagar por cada trabajador, arrojando de esta manera un total de **49.335.363,49 Bs/ año**. (Ver anexo B.81.a)

En la tabla 15 se muestra el costo total del plan de gestión de mantenimiento propuesto, el cual arrojó un valor de: 488.020.221,04 Bs. / año

Tabla 15. Costo total del plan de gestión de mantenimiento

Costos del plan propuesto	
Depreciación anual de las herramientas (Bs./año)	100.894,99
Costo total de materiales (Bs. año)	438.583.962,56
Costo total de la mano de obra (Bs./año)	49.335.363,49
COSTO TOTAL ANUAL (Bs./año)	488.020.221,04

5.12.2 Factibilidad económica

La empresa proporcionó los costos asociados al mantenimiento correctivo y mantenimiento preventivo correspondientes al año 2016, los cuales se muestran en la tabla 16. Con base a esto, se puede calcular los costos actuales del año 2017 y realizar una comparación versus los costos propuestos para las rutinas de mantenimiento, tomando como referencia la inflación estimada por el Fondo Monetario Internacional (FMI)

Tabla 16. Costos mantenimiento año 2016

Tipo de mantenimiento	Costo 2016 (Bs./año)
Correctivo	87.541.228,54
Preventivo	84.221.683,23

Cabe destacar que el plan de mantenimiento que solo se toma en cuenta el mantenimiento preventivo y que el mismo tiene rutinas con frecuencia de cada 3 años, por lo que se toma el caso donde se considera para el año en curso, realizar todas las rutinas programadas, lo que indicaría el costo máximo de las actividades anuales.

Por lo tanto si se compara con el costo total del mantenimiento preventivo del año 2016, donde la empresa realizó todas las actividades de

mantenimiento programadas (incluidas las de frecuencia de cada 3 años), dará como respuesta si el plan de mantenimiento propuesto es factible económicamente o no.

$$\text{Mantenimiento preventivo 2017} = \text{Costo}(1 + t_{\text{anual}}) \text{ (Ecuación 2)}$$

$$\text{Mantenimiento preventivo 2017} = 84221683,23(1 + 6,527) \text{ (Ecuación 3)}$$

En la tabla 17 se observa el costo estimado para el año 2017

Tabla 17. Costos estimados para el año 2017

Tipo de mantenimiento	Costo 2016 (Bs./año)	Inflación según FMI	Costo estimado año 2017 (Bs./año)
Correctivo	87.541.228,54	652,7 %	658.922.827,20
Preventivo	84.221.683,23	652,7 %	633.936.609,70
Costo actividades programas anuales			488.020.221,04

El costo estimado para el año 2017 (ver ecuación 2) con una tasa de inflación de 652,7% es de 633.936.609,70 Bs. tal y como se muestra en la tabla 13, y el costo total de la programación anual diseñada fue de 488.020.221,04 lo que indica que la programación anual diseñada es económicamente factible y se maneja una diferencia de **145.916.388,70 bs.**

$$\text{Costo actividades programadas} < \text{Costo estimado para el año 2017}$$

CAPÍTULO VI

6. Conclusiones y Recomendaciones

- Se pudo evidenciar al aplicar la NORMA COVENIN 2500-93 que las dos áreas más críticas en el departamento fueron las siguientes: mantenimiento programado con 6,40% de efectividad y planificación de mantenimiento con un 9,00% de efectividad, obteniéndose una efectividad global de 23,28%.
- Mediante el empleo de las 10 mejores prácticas de la gestión del mantenimiento, se pudo obtener las tres prácticas con menores puntajes, las cuales fueron: planificación y programación proactiva con un promedio de 2,22 puntos, mejoramiento continuo con 2,46 puntos y apoyo y visión gerencial con un promedio de 2,55 puntos.
- Con el análisis de la aplicación de la NORMA COVENIN 2500-93 y la encuesta de las 10 mejores prácticas de mantenimiento al departamento de Mantenimiento Físico, se concluyó que los principales problemas de gestión que se padecen, están directamente vinculadas a la programación de las rutinas de mantenimiento.
- Se describieron siete (7) equipos de la sala de generadores de vapor, los cuales representan el sistema crítico para la producción de vapor, obteniendo así un inventario técnico detallado de todas las unidades así como su ubicación y codificación, lo cual representa un punto importante para la descripción de los mismos.
- Los equipos se sometieron a un análisis de criticidad y se determinó que siete (7) equipos son de alta criticidad, ocho (8) de criticidad media y cuatro (4) de baja criticidad.
- Se codificaron las rutinas de mantenimiento para los sistemas de bombeo, sistema de producción de vapor, sistema de tratamiento del agua y sistema de almacenamiento del gasoil.

- Se establecieron los materiales (repuestos y consumibles), herramientas y mano de obra para las 41 rutinas programadas.
- Se calculó que la empresa dispone de 96 horas horas-hombre semanalmente y se requieren 91 horas-hombre por semana para la ejecución de la programación de las actividades.
- La fuerza laboral calculada arrojó un resultado de 4 hombres y actualmente se tiene una plantilla de 7 mecánicos operarios, por lo que se pueden realizar las actividades programadas con el personal interno del departamento.
- Se determinaron los indicadores de gestión que permitan hacer un seguimiento evaluativo en la gestión del mantenimiento de la empresa
- Se calcularon los costos asociados a las rutinas planteadas, en el orden de cumplir con los materiales, herramientas y mano de obra necesaria, resultando éste ser de un valor de 490.000.000 Bs/año
- Resultó ser económicamente factible la programación de las rutinas anuales, ya que el valor del costo estimado es mayor al costo de las actividades programadas, siendo la diferencia de 145.916.388,70 bs

Recomendaciones

Finalizado el presente Trabajo Especial de Grado, se recomienda:

- Implementar el diseño del plan de gestión de mantenimiento propuesto.
- Aplicar técnicas de TPM para atacar la deficiencia gerencial.
- Involucrar al personal interno del departamento de Mantenimiento Físico en la toma de decisiones de las rutinas programadas.
- Proveer un ambiente de trabajo en equipo y de buena comunicación entre gerente, supervisor y mecánicos operarios.
- Establecer planes de formación al personal.
- Hacer uso de los formatos de control diseñados para este trabajo.
- Diseñar un plan de mantenimiento preventivo para el resto de los equipos del departamento, que no estaban dentro del alcance de este trabajo.
- Actualizar constantemente las rutinas y los Procedimientos operativos estándar, para la mejora continua del sistema.
- Solicitar la renovación de las placas de identificación de los equipos para así completar las fichas técnicas de los equipos y mantenerlas actualizadas.
- Colocar señalización de equipos de seguridad y de riesgo en el entorno de las máquinas.
- Disminuir el uso de empresas contratistas para las rutinas de mantenimiento y de esta manera minimizar el costo de mano de obra.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arias, F. (2006). *El Proyecto de Investigación*. Caracas: Episteme.
- Arias, F. (2012). *El Proyecto de investigación*. Caracas: Episteme.
- Arismendi, E. (2013). *Planificación de Proyectos*. Obtenido de http://planificaciondeproyectosemirarismendi.blogspot.com/2013/04/tipos-y-diseno-de-la-investigacion_21.html
- Cabrero, J., & Martinez, M. (20 de Septiembre de 2017). *Metodología de la Investigación I*. Obtenido de http://www.aniortenic.net/apunt_metod_investigac4_4.htm
- De las Heras, S. (2011). *Fluidos, bombas e instalaciones hidráulicas. Iniciativa digital de la Universidad de Catalunya*. Catalunya.
- Duffua. (2002). MPT de sistemas de Mantenimiento.
- Duffuaa, Raouf, & Dixon. (2005). *Sistemas de mantenimiento, planeación y control*. Ediciones Limusa Wiley.
- Garcia Garrido, S. (2003). *Organización y Gestión integral de mantenimiento*. Diaz de Santos, S.A.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2010). *Metodología de la investigación*. México D.F.: McGRAW-HILL.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2010). *Metodología de la investigación*. Mexico : Mc Graw - Hill Interamericana Editores.
- Laboratorio BEHRENS, C. (2004). *¿Quiénes somos? BEHRENS C.A.* Obtenido de <http://www.labbehrens.net/quienes.htm>
- Misión Visión: BEHRENS C.A.* (2004). Obtenido de <http://www.labbehrens.net/misionvision.htm>

Niebel., B., & Freivalds, A. (2004). *Ingeniería Industrial. Métodos, Estándares y Diseño del trabajo*. Mexico D.F: Alfa-Omega.

Norma Venezolana COVENIN 2500-93. (s.f.).

UCAB. (2003). *Trabajo Especial de Grado en la Escuela de Ingeniería Industrial*. Caracas.