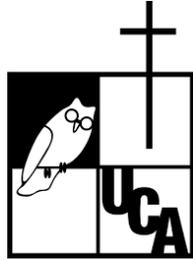


**UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA “JOSÉ SIMEÓN CAÑAS”**  
**UNIVERSIDAD DON BOSCO**



**AUDITORÍA ENERGÉTICA Y SU IMPACTO EN EL  
MANTENIMIENTO EN LA EMPRESA “LABORATORIOS  
BIOGALENIC”**

TRABAJO PREPARADO PARA LA FACULTAD DE POSTGRADOS UCA Y  
FACULTAD DE INGENIERÍAS UDB

PARA OPTAR AL GRADO DE:

**MAESTRO EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

PRESENTADO POR:

**CHACÓN LLANOS, CARLOS JOSUÉ**  
**PEÑA LINARES, HÉCTOR JAIME**  
**TURCIOS BERMÚDEZ, MAX LEONEL**

ASESOR DE TRABAJO:

**LUIS AARÓN MARTÍNEZ**

ANTIGUO CUSCATLÁN, EL SALVADOR C.A.

AGOSTO DE 2020

**UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA “JOSÉ SIMEÓN CAÑAS”**  
**UNIVERSIDAD DON BOSCO**

RECTORES

ANDREU OLIVA DE LA ESPERANZA, S.J.  
MARIO RAFAEL OLMOS ARGUETA, SDB

SECRETARIAS GENERALES

SILVIA ELINOR AZUCENA DE FERNÁNDEZ  
YESENIA XIOMARA MARTÍNEZ OVIEDO

DECANA DE POSTGRADOS UCA

NELLY ARELY CHÉVEZ REYNOSA

VICERRECTOR DE POSTGRADO UDB

MARIO GUILLERMO JUÁREZ PÉREZ

DIRECTORES DE LA MAESTRÍA EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
INDUSTRIAL

LAURA BEATRIZ ORELLANA, UCA  
JOSÉ LUIS MARTÍNEZ, UDB

## AGRADECIMIENTOS

---

*Agradezco profundamente a todas aquellas personas que me han apoyado para llevar a cabo el cumplimiento de esta meta, que es ser Maestro en Gerencia de Mantenimiento Industrial. De igual manera, agradezco especialmente a mis padres, a mi hermana y a mi esposa, que me animaron incondicionalmente desde el día que decidí emprender este viaje de conocimiento.*

*A la empresa para la que laboro, el Hospital Centro Ginecológico, en especial a la Ing. Nelly Rivera de Pacas por brindarme el tiempo y los recursos para culminar esta ardua pero satisfactoria Maestría, siempre dispuestos a estimular mi crecimiento profesional. Asimismo, agradezco a Laboratorios Biogalenic por brindarnos la confianza para poder ejecutar y llevar a cabo un trabajo de investigación como esta Tesis; a la Gerencia, por abrirnos las puertas y escuchar nuestras propuestas.*

*Finalmente, a mis compañeros, amigos de vivencias, sin los cuales la consecución de este sueño no hubiera sido posible, siendo siempre un sostén para la canalización de las fortalezas en los distintos aspectos del estudio de este postgrado, incontables horas detrás de las computadoras, estudiando y analizando diferentes temáticas que fueron expuestas en esta tesis.*

*Como un apartado especial, agradezco infinitamente al Doctor Luis Aarón Martínez, a Hugo y a la Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas” por habernos compartido su conocimiento teórico y práctico, por habernos facilitado las herramientas, los equipos y los salones para discutir y analizar los resultados con los que se sustenta esta Tesis. A la Universidad Don Bosco también le doy las gracias.*

**Carlos**

*Después de dos años de largo aprendizaje, agradezco a Dios por todas sus bendiciones, por brindarme la paciencia y sabiduría necesaria para culminar con éxito mis metas propuestas.*

*A mis padres y hermanos, por ser pilar fundamental en mi formación, apoyado incondicionalmente pese a las adversidades e inconvenientes me acompañaron hasta el final de todo este proceso.*

*A mis compañeros y colegas de tesis, quienes han sido apoyo para la realización de este trabajo que, con su alta capacidad y conocimiento, permitieron desarrollar una tesis excepcional que pueda aportar integralmente al crecimiento de Laboratorios Biogalenic.*

*A mis amigos, principalmente a Gaby Rosales, quien me apoyo incondicional para poder culminar esta investigación.*

*Un agradecimiento especial a nuestro director de tesis, el Dr. Martínez, por haber sido guía en la realización de esta tesis; también a Hugo por aportar con su experiencia en la toma de datos para poder desarrollar una investigación de calidad.*

*Y por supuesto, a la UCA y UDB quienes supieron impartir sus conocimientos con mucho esfuerzo, para hacer posible mi preparación profesional; a Laboratorios Biogalenic, por abrir puertas y permitirnos desarrollar una propuesta de mejora y escuchar nuestras ideas, producto del aprendizaje adquirido en el programa de la Maestría en Gerencia de Mantenimiento Industrial.*

**Héctor**

*Primeramente, agradecerle a Dios, María Auxiliadora, Juan Bosco por ser los pilares de mi crecimiento y formación en valores cristianos y salesianos.*

*A mis hermanos Pablo, Roberto y Marina por ser apoyo en mi vida y en especial a mi mamá Juana por ser la que me forjó como un hombre de bien para la sociedad y demostrándome su apoyo en cada paso de mi vida. A mi papá Roberto que, aún en la distancia, está pendiente de mi superación y en especial a mi Tío-Padre Rafael López quien fue mi motivación desde niño por amar el mantenimiento, con sus conocimientos y enseñanzas sobre el valor de la vida. Saludos hasta el cielo.*

*A mi novia Alejandra, por apoyarme con amor, apoyo y motivación incondicional en este proceso desde su comienzo hasta el final.*

*A a mi jefe, el Ing. David García y al Gerente de Laboratorios Biogalenic, el Ing. Roberto Quiñones por brindarme su confianza y abrir las puertas del laboratorio para poder realizar este trabajo de postgrado.*

*A mis compañeros de grupo, Héctor y Carlos, por ser parte de este gran equipo de trabajo el cual hemos aprendido tanto profesionalmente.*

*Al Dr. Luis Aaron Martínez por acompañarnos e instruirnos en el proceso y desarrollo de nuestro trabajo de graduación. Su conocimiento y experiencia ha sido de mucha ayuda en la elaboración de este y nos ha abierto la mente, a ver el mundo desde la perspectiva de ahorro energético y, de igual manera, agradecer su colaboración en el préstamo de los equipos de medición y análisis de su departamento de estudio de forma gratuita y sin fin de lucro, mas con el único objetivo que nuestro grupo pudiera desarrollar de forma satisfactoria el trabajo de tesis.*

*A las autoridades de la Universidad Centroamericana José Simeón Cañas y la Universidad Don Bosco por fomentar el desarrollo y crecimiento profesional en el país.*

**Max**

## INDICE DE CONTENIDOS

---

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>13</b>
<b>JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>15</b>
<b>OBJETIVO</b> .....	<b>16</b>
<b>ALCANCE</b> .....	<b>16</b>
<b>LIMITACIONES</b> .....	<b>17</b>
<b>DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO Y PROBLEMATIZACIÓN</b> .....	<b>18</b>
<b>CAPITULO 1: MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>22</b>
1.1 Auditoría Integral de Gestión de Activos, Confiabilidad y Mantenimiento denominada “ASSET MANAGEMENT, OPERATIONAL RELIABILITY & MAINTENANCE SURVEY (AMORMS)” .....	26
<b>CAPITULO 2: ANTECEDENTES DE LA EMPRESA</b> .....	<b>28</b>
2.1 Generalidades de la Empresa .....	28
2.2 Flujo Macro del Proceso Productivo .....	30
2.3 Descripción de la Situación Actual .....	35
<b>CAPITULO 3: RECOMENDACIONES GENERALES PARA LOS SISTEMAS ANALIZADOS</b> .....	<b>66</b>
3.1 Sistemas de bombeo.....	66
3.2 Sistemas eléctricos y potencia .....	66
3.3 Sistemas de refrigeración de oficinas y áreas de producción: .....	68
3.4 Sistemas de aire comprimido .....	74
3.5 Sistemas para la generación de vapor .....	77
<b>CAPITULO 4: PROPUESTA DE MEJORA PARA LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO</b> .....	<b>78</b>
4.1 Auditoria Amorms.....	78
4.2 Estructura del Departamento de Mantenimiento.....	80
4.3 Estructura Modelo de Gestión de Mantenimiento .....	85
4.4 Sistema de planificación y control del mantenimiento.....	100
4.5 Estimación de costos asociados al mantenimiento.....	102
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>109</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>111</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>112</b>

## INDICE DE TABLAS

---

Tabla 1. Descripción del Proceso Productivo por Etapas .....	32
Tabla 2. Listado de equipos correspondientes a climatización, Laboratorios Biogalenic ..	38
Tabla 3. Listado de luminarias, Laboratorios Biogalenic .....	41
Tabla 4. Resultados de medición con analizador de gases IMR 1000 .....	43
Tabla 5. Datos técnicos de compresor BSD 60.....	43
Tabla 6. Datos presentados en carga/descarga para prueba de compresor .....	44
Tabla 7. Resultados obtenidos en auditoría de aire .....	45
Tabla 8. Resultados de medición de energía para consumos en sala de máquinas .....	46
Tabla 9. Resultados de la segmentación de la gráfica potencia monótona .....	49
Tabla 10. Características técnicas de cámara Fluke Ti200 .....	53
Tabla 11. Resultados obtenidos en realización de análisis termográfico, Laboratorios Biogalenic .....	54
Tabla 12. Tabulación de datos, energía consumida vs. hora de operación, área administrativa .....	69
Tabla 13. Consumos puntuales de energía (kWh) al momento de finalizar labores .....	70
Tabla 14. Energía consumida vs. hora de operación, en áreas NO producción .....	72
Tabla 15. Resultados puntuales de auditoria AMORMS .....	78
Tabla 16. Matriz de criticidad para sistemas de equipos .....	84
Tabla 17. Propuesta de Formato de Orden de Trabajo para Laboratorios Biogalenic .....	89
Tabla 18. Propuesta de Formato de Historial de Revisiones y Reparaciones para Laboratorios Biogalenic .....	90
Tabla 19. Propuesta de formato de justificación de entrega de maquinaria para Laboratorios Biogalenic .....	91
Tabla 20. Propuesta de Formato para Equipo y Maquinaria bajo mantenimiento para Laboratorios Biogalenic .....	92
Tabla 21. Propuesta de Formato de historial de reemplazo de piezas para Laboratorios Biogalenic .....	93
Tabla 22. Propuesta de Formato de Bitácora de Mantenimiento para Laboratorios Biogalenic .....	95
Tabla 23. Propuesta de Check List para Inspección de Mantenimiento en Sistemas de Climatización y Aires Acondicionados para Laboratorios Biogalenic.....	97
Tabla 24. Propuesta de Check List para Inspección de Mantenimiento en Sistema de Aire Comprimido para Laboratorios Biogalenic .....	98
Tabla 25. Propuesta de Check List para Inspección de Mantenimiento en Sistemas de Bombeo para Laboratorios Biogalenic .....	99
Tabla 28. Costos de consumibles directos e indirectos de mantenimiento y producción, expresados en miles de USD.....	104

## INDICE DE ESQUEMAS

---

Esquema 1. Flujo a nivel macro de proceso productivo, Laboratorios Biogalenic .....	30
Esquema 2. Descripción de proceso productivo por etapas, Laboratorios Biogalenic .....	34
Esquema 3. Propuesta de estructura organizacional en Laboratorios Biogalenic .....	80
Esquema 4. Flujograma para la ejecución de actividades de mantenimiento.....	86
Esquema 5. Flujograma de operación del mantenimiento.....	87

## INDICE DE GRÁFICOS

---

Gráfico 1. Comportamiento de la descarga del sistema neumático del Compresor BSD 60 (presión vrs horas).....	45
Gráfico 2. Curva Monótona del Comportamiento de Potencia Media Total, kW, 30 días..	46
Gráfico 3. Curva Monótona del Comportamiento de Potencia Media Total Seccionada, kW, 30 días.....	47
Gráfico 4. Energía consumida por sección analizada.....	49
Gráfico 5. Comportamiento energético de una semana de producción promedio, en kW, Septiembre-Octubre 2019.....	50
Gráfico 6. Comportamiento eléctrico de la planta en un día promedio .....	51
Gráfico 7. Consumo de potencia, día 25 de octubre de 2019.....	52
Gráfico 8. Consumo de potencia, día 26 de octubre de 2019.....	52
Gráfico 9. Datos de consumo obtenidos por hora de trabajo administrativo, Laboratorios Biogalenic .....	70
Gráfico 10. Comparación de ahorro de equipos inverter versus equipos convencionales.	71
Gráfico 11. Datos de consumo obtenidos por hora de trabajo área de NO producción, Laboratorios Biogalenic .....	73
Gráfico 12. Diagrama radial de resultados obtenidos en auditoria AMORMS .....	79
Gráfico 13. Chart de cumplimiento para plan de mantenimiento propuesto .....	102
Gráfico 14. División porcentual por unidad de bolsas y litros producidos .....	103
Gráfico 15. Contribución porcentual de los costos directos de mantenimiento actuales.	104
Gráfico 16. Representación de Pareto para análisis de costos en el mantenimiento .....	105
Gráfico 17. Tendencia de la productividad del gasto en producción y mantenimiento....	106
Gráfico 18. Relación de consumibles de mantenimiento y productividad del gasto.....	106

## INDICE DE IMÁGENES

---

Imagen 1. Fases Necesarias para la Implementación del Modelo de Gestión Propuesto	23
Imagen 2. Fases necesarias para la implementación del modelo de gestión propuesto ..	27
Imagen 3. Presentación de Lactato de RINGER (bolsa de 1000ml).....	28
Imagen 4. Presentación de diferentes sueros parenterales fabricados por Laboratorios Biogalenic .....	29
Imagen 5. Acreditaciones otorgadas a Laboratorios Biogalenic .....	29
Imagen 6. Sistema de bombeo para llenado de tanques de proceso .....	35
Imagen 7. Instalación de bombas centrífugas para agua de proceso.....	36
Imagen 8. Instalación de bombas de proceso, tipo autocebantes .....	37
Imagen 9. Caldera Cleaver Brooks, Laboratorios Biogalenic .....	42
Imagen 10. Compresores utilizados en la generación de aire de proceso.....	44
Imagen 11. Ejemplo de red neumática de planta estratégicamente diseñada.....	75
Imagen 12. Ejemplo de instalación correcta en el cabezal de entrada para evitar el retorno de condensados .....	75
Imagen 13. Control maestro de red neumática de sistema de aire comprimido a nivel industria 4.0 de KAESER .....	76

## GLOSARIO

---

**Ahorro de energía:** reducción de la cantidad de energía en los usos domésticos e industriales, para disminuir su utilización de forma innecesaria.

**Bobina:** rollo de hilo o cable conductor con superficie lateral aislada eléctricamente.

**Bomba autocebante:** es un tipo de bomba centrífuga, diseñada con una carcasa externa que “inunda” la bomba interna. La carcasa está llena de líquido (normalmente el mismo líquido que se va a bombear). Cuando el impulsor gira dentro de la carcasa, se forma un área de baja presión en el ojo del impulsor. Debido a que la presión es más baja que la de la atmósfera, el agua es empujada hacia arriba por la presión atmosférica, forzando todo el aire en la línea de succión hacia la bomba.

**Consumo energético:** es el número de kilowatt/hora utilizados por un hogar o negocio durante un tiempo, normalmente mensual o bimensual.

**Contador (medidor de consumo):** es el aparato por el cual se mide la energía que se consume. Puede ser propiedad del cliente o de la empresa suministradora. Mide los consumos en kWh.

**Desmineralización:** se describe como la remoción de todos los cationes (calcio, sodio, magnesio, potasio, hierro, etc.) y aniones (bicarbonato, cloruros, sulfatos, nitratos, sílice, CO<sub>2</sub>, etc.), desde una disolución al intercambiarlos por iones H<sup>+</sup> y OH<sup>-</sup>. Esto reduce la cantidad de sólidos disueltos totales (TDS) de la disolución. El proceso de desmineralización es vital en la operación de calderas de alta presión, aplicaciones alimenticias y farmacéuticas, así como en el sector electrónico.

**Distribuidora:** toda sociedad regional con establecimiento permanente en un país que tenga como función distribuir la energía eléctrica, así como construir, mantener y operar las instalaciones de distribución.

**Economizador (equipo de calderas):** es un intercambiador de calor que captura “el calor perdido o desperdiciado” de los gases de chimenea. Típicamente, el economizador transfiere este calor residual al agua de alimentación de la caldera o al circuito de agua de retorno.

**Eficiencia Energética:** es el conjunto de programas y estrategias para reducir la energía que emplean determinados dispositivos y sistemas sin que se vea afectada la calidad de los servicios suministrados.

**Equipo Inverter:** equipo de tecnología de control proporcional directo que permite alta eficiencia en operaciones de refrigeración o calefacción.

**Impacto ambiental:** cambio, temporal o espacial, provocado en el medio ambiente por la actividad humana.

**Instalación eléctrica:** conjunto de aparatos y de circuitos asociados, para la producción, conversión, transformación, transmisión, distribución o utilización de la energía eléctrica.

**Kilowatt-hora (kWh):** símbolo para el kilowatt-hora, unidad de energía eléctrica en el Sistema Internacional de Unidades, equivalente a 3,6 millones de Julios y que expresa la energía que desarrolla un equipo generador, de 1 kilowatt de potencia durante una hora, o consume un equipo consumidor de la misma potencia durante el mismo tiempo.

**Matriz de criticidad:** es una herramienta que ayuda a las empresas y sus centrales a evaluar el nivel de criticidad de un determinado riesgo. A menudo resulta de una voluntad de controlar los fallos potenciales, anticiparlos y eliminarlos.

**Potencia:** capacidad de los aparatos eléctricos para producir trabajo, la cantidad de energía entregada o absorbida por un aparato en un tiempo determinado. La unidad de medida es el W (watt) o el kW (kilowatt).

**Potencia contratada:** es la potencia que el consumidor contrató con la compañía eléctrica y viene detallada en la póliza, también vendrá especificada en la factura.

**Punto de medida:** es la zona, local o habitación donde se encuentra el o los aparatos de medida de la instalación.

**Potencia máxima:** también llamada potencia de punta. Es el valor de la mayor de las potencias demandados durante un período en el punto del suministro.

**Potencia reactiva:** es la potencia absorbida por un receptor y que no produce trabajo útil.

**Seasonal Energy Efficiency Ratio:** mejor conocido por sus siglas **SEER**, es un estándar que nos ayuda a definir la eficiencia energética de los aires acondicionados u otro tipo de aparatos de refrigeración.

**Subestación:** conjunto de equipos, incluido cualquier recinto necesario para la transformación, conversión o regulación de energía eléctrica.

**Suero parenteral:** es una solución con nutrientes y componentes que son suministrados vía intravenosa en personas, animales.

**Transformador:** aparato que utiliza el acoplamiento magnético entre algunas de sus partes para entregar energía eléctrica con tensión igual o distinta de la que la recibe.

## RESUMEN

---

La temática abordada en la presente tesis es “Auditoría energética y su impacto en la gestión de mantenimiento de Laboratorios Biogalenic”, esto con motivo de investigar a profundidad la problemática de las empresas de carácter industrial que poseen planes de mantenimiento de manera empírica y precisan de una guía detallada de cómo implementar un plan que sea efectivo, además de contar con ahorro energético.

El desarrollo de la investigación contiene cuatro capítulos, en los que se presenta desde la recopilación de la información, análisis de la misma, formulación de recomendaciones y propuesta para ser implementada en la empresa en cuestión.

El primer capítulo, aborda el Marco Teórico, donde es preciso detallar el concepto de mantenimiento y las fases que comprende un Plan de Gestión dentro de una empresa, entre ellas: la definición de objetivos, responsabilidades de cada elemento del equipo de trabajo, la jerarquización de los equipos, análisis de los puntos débiles, diseño del plan de mantenimiento como tal, establecimiento de herramientas de control y, finalmente la implantación del proceso de mejora continua y adopción de nuevas tecnologías.

Además, se establece la importancia que la gestión de mantenimiento ha tomado en la actualidad, el cual funge como un amplio papel en la metodología de dirección de las operaciones en las empresas industriales, ya que tiene la tarea de orientar a la optimización de procesos y el aprovechamiento de los recursos. Todo ello con el propósito de asegurar la conservación de los equipos y máquinas para que cumplan con sus funciones oportunamente.

Los encargados de mantenimiento, sean técnicos especializados o ingenieros, conocen que no es una tarea fácil la creación de un modelo de gestión integral que permita tener un control de los sistemas que conforman un proceso y que esté orientado a buscar la excelencia que involucre métodos prácticos y herramientas de control administrativo con una fácil orientación a la mantenibilidad o fiabilidad de los equipos en planta que dé una continuidad al proceso productivo de una organización.

A lo largo de los capítulos 2 y 3, se presentan antecedentes de la empresa donde se está realizando el estudio para conocer un poco sobre el proceso productivo y algunos datos de interés que brindan un panorama más amplio para poder dimensionar una propuesta de mejora. Seguido de eso, se seleccionó algunos sistemas de interés en la sala de máquinas para analizar cualitativa y cuantitativamente las máquinas y equipos para la emisión de observaciones puntuales, a través de mediciones de energía, análisis de gases de combustión, medición de fugas y un análisis termográfico de algunos equipos críticos para la operación de Laboratorios Biogalenic con el fin de otorgar recomendaciones específicas que pudieran aportar positivamente a la disponibilidad de la planta.

Finalmente, el capítulo 4 desarrolla la propuesta de mejora que contiene la primera aproximación a la gestión de mantenimiento para Laboratorios Biogalenic, enfocándose en las siguientes áreas de estudio:

1. Sistemas de aire comprimido (compresores de aire, secadores, tanques reservorios).
2. Sistemas de bombeo y potencia (bombas de proceso).
3. Sistema de generación de vapor (calderas y periféricos).
4. Climatización e iluminación.

Con el análisis de estas áreas de estudio se propone que dentro del nuevo plan de gestión de mantenimiento se reforme la estructura del departamento de mantenimiento, definiendo las tareas específicas de cada rol dentro del mismo. Luego de concretar dicha estructura, como fase dos, se realizó una jerarquización de los equipos involucrados, tanto en la auditoría realizada como en su influencia para la producción.

Como fase tres, se detallan las herramientas para eliminar los puntos débiles en equipos y sistemas de alto impacto, la cual tiene relación directa con la fase cuatro, donde se revisa y mejora el plan de operación; por lo que se indican dos tipos de flujogramas para realizar el mantenimiento de forma efectiva y planificada: flujograma de mantenimiento y flujograma de operación.

Por último, se colocan diversos formatos de control de mantenimiento que se proponen ser utilizados para llevar un mejor control de cada uno de los equipos de toda la planta, como objetivo en conjunto para propiciar a la organización y mejor desempeño en cada una de las operaciones de la empresa, así como también una propuesta en la estructura de costos actuales donde se potencializan algunas áreas para poder implementar proyectos de mejora en un futuro.

## INTRODUCCIÓN

---

El objetivo de un plan o programa de mantenimiento es asegurar la disponibilidad y confiabilidad de las operaciones y cumplimiento de todos los requisitos del sistema de gestión de calidad del proceso, incluyendo las normas de seguridad y medio ambiente.

En dicho plan se debe incluir fases como: reconocimiento de sistemas que componen la planta, identificación de todos los equipos que componen cada sistema, actualización de manuales de operación y mantenimiento de los equipos, aportaciones de los técnicos de planta, asignación de tareas derivadas de la normativa legal y, por último, especificaciones de la especialidad de cada tarea a asignar a todo el equipo.

Una de las problemáticas de las empresas en El Salvador de carácter industrial, es que las fases indicadas como indispensables dentro de un plan de mantenimiento, son aplicadas de manera empírica, reflejando así la falta de capacitación de personal, ausencia de insumos, manejos descoordinados de las actividades y todo ello abonado a cargas productivas que exigen el forzamiento de los equipos más allá del desempeño estándar para el cual fueron diseñados.

A dicha problemática se añade la búsqueda de optimización en cada uno de los procesos de mantenimiento basados en el ahorro energético. En muchas empresas aún se percibe la falta de interés de todas las áreas involucradas en la maximización de los activos, entre ellas: mantenimiento, producción, directivos y altos cargos de la organización.

El poco o nulo involucramiento se debe en gran parte a la falta de opciones o herramientas de evaluación para medir el impacto de las malas condiciones de los equipos y su rendimiento energético.

El trabajo de graduación aborda dos temáticas: eficiencia energética y mantenimiento, ambas íntimamente relacionadas. La investigación se realizará a Laboratorios Biogalenic, dando inicio con una auditoría energética que permite conocer el estado actual de la maquinaria e identificar oportunidades de mejora. Con base a los resultados obtenidos, se aplica la metodología AMORMS, con la finalidad de generar una propuesta plan y sistema de mantenimiento que permita efectuar las mejoras y darles sostenibilidad. Se destaca que las herramientas desarrolladas están a la medida de la empresa, permitiendo así la implementación del programa de mantenimiento propuesto.

Los insumos recopilados buscan proponer una implementación de ahorro energético con la elaboración de planes de mantenimientos estratégicos, cambios de equipos obsoletos, mejoras en los equipos ya existentes, así como abonar al cambio de visión del recurso humano para que se logren resultados como equipo de trabajo.

Con estas aportaciones se busca obtener una mejor respuesta en tema de pérdidas y consumo energético, aumentando el desempeño óptimo en toda la planta y como resultado final, indicadores favorables de mantenimiento.

La metodología de investigación será de carácter cuantitativo como cualitativo, en los que se realizarán: aplicación de auditorías, levantamiento de información sobre los antecedentes de la empresa, captación de datos para visualizar el estado actual de la planta y su comportamiento energético.

Cada uno de los aspectos abordados en los capítulos busca recopilar las recomendaciones de cambio y mejoras a implementar en la creación de herramientas de planes de mantenimiento preventivo y/o programado junto a los costos que cada uno debe tener.

Además, se realizan sugerencias de asignaciones de inversiones mensuales del departamento de mantenimiento, proporcionado según la producción de la planta, mejoras que aporten positivamente al desempeño y operación de equipos, así como la estimación de costos totales de mantenimiento para los equipos de alta criticidad esperada por el impacto energético debido a los cambios de mejoras recomendadas.

Cada una de las sugerencias irán de la mano con políticas propias de la empresa y normativas a las cuales ya se encuentra sujeta por ser un sector poco valorado, laboratorios de productos farmacéuticos.

Finalmente, se formularán conclusiones del impacto positivo de la implementación de mejoras energéticas y de mantenimiento recomendadas para la planta. Todo ello para brindar un impulso a este sector en el país, ya que Laboratorios Biogalenic comparte muchas características con otras empresas de la industria farmacéutica.

## JUSTIFICACIÓN

---

En el ámbito industrial de nuestro país, existe la cultura del mantenimiento con el único objetivo que los equipos funcionen en condiciones propiamente operativas, dejando de lado aspectos importantes, tales como: la sostenibilidad del buen mantenimiento para postergar el mantenimiento preventivo con soporte de predictivo, o el enfoque basado en el consumo energético del activo en cuestión.

Podemos afirmar que, el costo total de los activos incluye factores como el costo de adquisición del equipo, costos operativos y costos de mantenimiento preventivo y correctivo. Sin embargo, se deja de lado los costos originados, primeramente, por la merma o desperdicio de materiales innecesarios por la mala operatividad, seguido por los costos generados de los rendimientos de los equipos que no sean los más idóneos en términos energéticos. De esta manera, se provoca el incremento de los costos totales y, en ocasiones, los costos operativos del activo suelen exceder el costo total de adquisición del equipo y de mantenimiento.

Es por ello que, mantener los equipos con un óptimo nivel de consumo de energía se traduce en ahorros operativos durante su ciclo de vida. Con esto presente, se deben realizar estudios en los activos que se tengan a disposición en el proceso productivo a evaluar, estudiando las repercusiones del mantenimiento para mejorarlos desde su procedimiento como tal; incluyendo los repuestos críticos con los que se cuentan, esto con el fin de alcanzar la máxima eficiencia de estos procesos y disminuir tiempo perdido, materiales, energía, trámites, entre otros.

Basados en un método práctico y completo de análisis, se puede hacer referencia a un RCM (*Reliability Centered Maintenance*, Mantenimiento Centrado en Fiabilidad), el cual se enfoca en buscar y estimar indicadores específicos en el proceso de mantenimiento, como MTBF (*Mean Time Between Failures*, Tiempo Medio Entre Fallas), Disponibilidad, MTTR (*Mean Time Through Repair*, Tiempo Medio Entre Reparaciones), Ratio de disponibilidad de bodega, insumos necesarios, materias primas y energía eléctrica. Por lo consiguiente, se debe de optimizar y mejorar los indicadores claves con el fin de satisfacer las necesidades del modelo de negocio de la industria actual.

La investigación inicial, permitió determinar que la empresa no cuenta con un modelo de gestión que permita obtener los ratios e indicadores específicos del interés del mantenimiento. Es por ello, que el objetivo se encamina en dirigirse hacia un modelo de gestión del mantenimiento que enfatice la cultura, la eficiencia energética, la eficiencia operativa y otros elementos que tengan repercusión positiva versus el modelo actual.

Por todo lo anterior, es necesario proponer diversas soluciones a los actuales problemas, analizando la posibilidad de implementar un modelo de mantenimiento del cual se obtengan beneficios que generen eficiencias altas, retornos económicos y que incluya la prevención de fallas.

Además, es necesario hacer énfasis en el tipo de herramientas eficaces para analizar los mantenimientos oportunos económicamente, resaltando indicadores necesarios para evaluar el desempeño del modelo que se va a proponer.

## **OBJETIVO**

---

Desarrollar una propuesta de gestión basada en la condición actual del área de mantenimiento en Laboratorios Biogalenic, a través de un análisis descriptivo para la generación de estrategias enfocadas en la optimización de recursos, siendo la primera aproximación a un modelo integral de gestión de mantenimiento alineado al perfil de la empresa.

## **ALCANCE**

---

En una empresa donde no existe un modelo de gestión, la investigación pretende orientar al desarrollo de herramientas que optimicen el control y desempeño de las labores de mantenimiento, en vista del impacto energético que genera la operatividad de los equipos. También, permite la creación de un departamento de mantenimiento, con todos los recursos técnicos y administrativos necesarios para aportar a una adecuada gestión.

La investigación enfatiza en analizar la situación actual del mantenimiento en Laboratorios Biogalenic, enfocándose en áreas puntuales de interés y donde se encuentra la mayor cantidad de equipos, por medio de observaciones y recomendaciones generales, que permitan la implementación de ideas innovadoras a largo plazo.

La metodología de investigación implementada en la auditoria comprende estudios complejos tales como mediciones de energía, gases de combustión, termografías y otros; pero se abordan dentro de un análisis sencillo que busca el acercamiento del personal administrativo y de mantenimiento a la búsqueda de diferentes alternativas de gestión y planificación.

Con un panorama amplio de la situación actual en temas de mantenimiento y energía, la propuesta permitirá dar soluciones inmediatas a problemas básicos relacionados con la gestión y planificación que lleven a un modelo efectivo de gestión que será desarrollado posteriormente por personal de Laboratorios Biogalenic.

## LIMITACIONES

---

Las políticas generales de Laboratorios Biogalenic, invalidaron el acceso a la siguiente información:

- Costos anuales de mantenimiento y actividades relacionadas.
- Información de consumos de energía en sectores de planta analizados (se contó únicamente con información muy general).
- Registros y controles de servicios de mantenimiento que proveen empresas externas.

La empresa, respetando su política de confidencialidad, no brinda información relacionada con variables sensitivas del negocio.

La falta de datos técnicos en cuanto al dimensionamiento de equipos y operación no permitió definir costos de inversión en equipos más eficientes y controles automáticos puntuales para las aplicaciones de sala de máquinas.

El involucramiento de la empresa al momento de concebir la idea fue bastante oportuno, más aún al momento de dar seguimiento a ese proyecto con la implementación de mediciones y observaciones relacionadas a la investigación. Sin embargo, no se contó con el apoyo de la alta gerencia por un tema cultural, en cuanto a la gestión de visitas con proveedores para evaluar soluciones tecnológicas que brindarían beneficios en la operación de los equipos actuales.

La situación mencionada evitó la recopilación de información necesaria que serviría para presentar un análisis económico más amplio, especificando datos puntuales de ahorro y retornos de inversión. Al no tener registros completos sobre costos de servicios y operacionales, la propuesta económica de costos en la investigación, se limitó a presentar una estimación de ahorros en los costos directos e indirectos de mantenimiento, a fin que la empresa Laboratorios Biogalenic, definiera a través de la evaluación de la propuesta, el destino de la inversión recomendada.

## DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO Y PROBLEMATIZACIÓN

---

Laboratorios Biogalenic es una empresa fundada en el año 1967 que, desde sus inicios, se ha enfocado en la fabricación de medicamentos para uso humano (soluciones parenterales). Ha dedicado esfuerzos y recursos a la investigación y desarrollo de nuevos productos, capaces de cumplir normativas internacionales del sector farmacéutico y mejorar la calidad de vida del paciente. Es una empresa preocupada por lograr y ofrecer productos que satisfagan las exigencias de los clientes en el sector salud del país.

La fabricación de cualquier producto requiere de sistemas que van desde lo sencillo a lo complejo, y en una industria como en la que Laboratorios Biogalenic participa, máquinas y equipos tienden a tener cierta complejidad y grado de especialización. A la vez, como en la mayoría de las industrias se requieren de cosas en común, como los inputs del sistema que generalmente son los mismos con cierto grado de ajuste dependiendo del proceso que se ejecuta, usualmente llamados *facilities* o suministros, llámese esta energía eléctrica, generación de vapor, sistemas de bombeo, climatización, iluminación y otros.

Como es lógico, todos estos sistemas intervienen directa o indirectamente en las labores de la empresa, en mayor o menor medida, pero inciden de manera directa en la parte productiva de la compañía. Definitivamente tienen un uso, por lo cual es natural pensar que realizan un trabajo, con la capacidad de dotar o ceder energía al proceso principal, para que esta se transforme y logre realizar el proceso productivo, obteniendo como fin un producto de ciertas características intrínsecas. Por tanto, estos sistemas tienen asociada una eficiencia, en específico la capacidad de realizar adecuadamente una función. Un equipo puede ser más o menos eficiente dependiendo de las condiciones constructivas y de operación o por las condiciones externas. Difícilmente se puede interactuar con las condiciones propias de un equipo en cuanto a su naturaleza; pero sí se puede interactuar con sus componentes físicos como cualquier lógica nos indica. Los elementos de la maquinaria en sí tienen un ciclo de trabajo y una vida útil, es aquí donde es necesario el mantenimiento como una respuesta y como una herramienta para lograr dicho objetivo.

Al igual que los métodos de producción han evolucionado con el tiempo, así lo ha hecho el mantenimiento, conservándose a la vanguardia de las necesidades del momento, por lo que ahora es fácil encontrar muchas técnicas de mantenimiento que toman en cuenta los factores antes mencionados como la eficiencia, las necesidades de producción, costos y demás. Este trabajo se centrará en ofrecerle a la empresa una **primera aproximación a un modelo de gestión del mantenimiento**. Para ello, se ha acotado el desarrollo de este estudio, en áreas de interés correspondientes a la sala de máquinas de la planta, debido a que es donde se tiene la mayor cantidad de equipos relacionados con el suministro y mantenibilidad. Estos son:

1. Sistemas de aire comprimido (compresores de aire, secadores y tanques reservorios).
2. Sistemas de bombeo (bombas de proceso).
3. Sistema de generación de vapor (calderas y periféricos).

#### 4. Climatización e iluminación.

Teniendo en cuenta estas áreas, se han realizado los siguientes estudios:

1. Mediciones de energía eléctrica.
2. Mediciones de gases de combustión.
3. Mediciones termográficas.
4. Mediciones de fugas de aire comprimido.

Con una perspectiva más amplia de la situación actual, **se puede** dimensionar propuestas de solución a problemas básicos **relacionados con el mantenimiento** para la productividad de la planta, así como también recomendaciones que permitan un modelo efectivo de gestión de mantenimiento.

Las acciones y políticas que se definan sobre mantenimiento deben estar enfocadas en cumplir los objetivos organizacionales, esto se puede lograr a través de la implementación de diversas estrategias que permitan tener una visión global de la situación de la empresa; pero a su vez permita tener claro cuál es el verdadero propósito de sí mismo, por lo cual es necesario obtener los datos para determinar la situación actual de la empresa frente al mantenimiento.

Para lograr lo mencionado anteriormente, se utilizará la auditoría denominada **AMORMS: Asset Management, Operational Reliability & Maintenance Survey, desarrollada por Parra y Crespo, (2015)**, la cual permite evaluar las fases de un modelo de Gestión de Mantenimiento. Como menciona *Kaplan (1992)*, las auditorías contemplan un amplio conjunto de elementos medibles utilizados para evaluar la aplicación de las mejores prácticas de gestión, donde se identifican las oportunidades de mejora y se conforma la línea base para la implementación de técnicas de soporte sobre el mantenimiento.

Los resultados de la auditoría brindarán una imagen clara de la situación actual de la empresa desde un punto de vista mucho más riguroso, lo que permitirá una valoración objetiva de la misma y de las necesidades que ésta posee; así como dar líneas para la posible implementación de modelos de gestión y políticas de mantenimiento.

El modelo de gestión del mantenimiento que se propone utilizar es el descrito por Crespo y Parra (2015), el cual consiste en una serie de fases que buscan ayudar a controlar, optimizar y mejorar los procesos, aumentar la disponibilidad de los equipos, y aumento de la rentabilidad. Las fases del modelo son las siguientes:

Fase 1: definición de objetivos, estrategias y responsabilidades de mantenimiento, fase 2: jerarquización de los equipos de acuerdo con la importancia de su función, fase 3: análisis de puntos débiles en equipos de alto impacto, fase 4: diseño de planes de mantenimiento preventivo y de los recursos necesarios, fase 5: programación del mantenimiento y optimización en la asignación de recursos, fase 6: evaluación y control de la ejecución del mantenimiento, fase 7: análisis del ciclo de vida y de la posible renovación de los equipos,

fase 8: implantación del proceso de mejora continua y adopción de nuevas tecnologías, Crespo (2007).

Partiendo del análisis de resultados de las auditorías para el departamento de mantenimiento y de las acciones que le corresponden al mismo, es evidente la falta de un sistema de gestión propiamente dicho, el cual genera que las acciones de mantenimiento correctivas sean superiores a las preventivas. Es evidente que en la ejecución de mantenimientos correctivos se incurren en costos y gastos que pudieran haberse evitado; con la segmentación y programación con base a las necesidades propias del equipo para que el impacto económico de la falla o la falla misma se minimizará, a tal punto que la repercusión en los costos fuera la menor posible. La problemática de no haber una programación y supervisión de las actividades diarias de mantenimiento, hace que todos los actores se centren en la reparación de las fallas que afectan al final el negocio global.

La pasividad ante la realidad que aqueja las operaciones de los equipos, la falta de instrumentación para el monitoreo de condiciones básicas (como ejemplo la presión a la que se bombea el agua y las fugas de aire comprimido), en un sistema vital para la operación, son señales claras de una nula gestión de mantenimiento.

Cuando no existe la supervisión y un seguimiento adecuado de las acciones, difícilmente podrá llegarse al éxito en cualquier tipo de gestión. En Laboratorios Biogalenic, **se evidencia que no existe una gestión adecuada del mantenimiento.**

El crecimiento de la empresa y su necesidad de expansión, ha traído como consecuencia que las adaptaciones requeridas en las diferentes instalaciones se fueran realizando desordenadamente según la demanda de los equipos a instalar. Muchas de las instalaciones no poseen sus diagramas esquemáticos y la respectiva información técnica que necesitan para aplicar acciones correctivas y de alguna clase de mantenimiento. Esto a la larga, impide que las actividades se desarrollen óptimamente y se aproveche el tiempo correctamente, pudiendo afectar de forma directa la disponibilidad de la planta con la poca ejecución de actividades de mantenimiento (preventivas, correctivas y predictivas). Incluso, esto logra afectar la aplicación de medidas de seguridad y protección ante los riesgos que puedan traer la manipulación de estos equipos.

En el proceso de **realización de la auditoria** eran evidentes los pocos recursos con los que se cuenta para desempeñar las tareas de mantenimiento; la falta de herramientas básicas para el desarrollo de acciones correctivas de mantenimiento, se presenta como una necesidad inmediata de resolver. También es notable, una baja inversión en el abastecimiento de repuestos fundamentales para algunos sistemas principales tales como válvulas manuales, manómetros, accesorios eléctricos de fuerza e instrumentación, a pesar de que se observa con claridad la necesidad de tenerlos en bodega a disposición por cualquier tipo de eventualidad que existiera en el funcionamiento de los equipos, no se distingue esta tarea como una prioridad.

La dirección asigna un presupuesto bajo a los mantenedores, y esto tiene como consecuencia que los equipos periféricos no operen adecuadamente provocando pérdidas energéticas a los diferentes sistemas catalogados como fundamentales para las operaciones de Laboratorios Biogalenic.

La operatividad de muchos equipos está bajo la cultura de ***“si funciona, no lo toques”*** ya que fue evidente la poca mantenibilidad en los sistemas de bombeo, calderas y sistemas de generación de aire comprimido. La carencia de instrumentación adecuada provoca un monitoreo deficiente de la operación de los equipos, en general, nunca ha existido un plan de acción que permita evaluar proactivamente el funcionamiento de los equipos y periféricos en sala de máquinas con el fin de generar ideas que dirijan al uso eficiente de la energía (no sólo eléctrica) y su ahorro e impacto a nivel financiero.

## CAPITULO 1: MARCO TEÓRICO

---

Una primera aproximación al concepto de mantenimiento, es que surge como una respuesta para mantener equipos funcionando y que la producción consiguiera sus metas, ya que se creía que la producción era el elemento más importante y de más peso en la empresa –y es que en cierto sentido lo es-, puesto que es lo que genera rentabilidad de manera efectiva, mientras que el mantenimiento era considerado un generador de gastos, y en el fondo un mal necesario dentro del marco de la producción, puesto que como es evidente, el mantenimiento no puede traducir sus acciones a rentabilidad directa y eso conlleva a que sea visto con una mirada crítica. Esto no debe de ser así, el mantenimiento debe ser visto como un aliado estratégico para conseguir los objetivos organizacionales.

El mantenimiento no puede ser tomado con ligereza, ya que la falta del mismo o una mala gestión dan resultados casi que equivalentes, debido a las implicaciones en costos, tiempos y demás acciones que afecten en el costo de oportunidad de la compañía. Por lo tanto, el mantenimiento debe de abordarse en una manera formal e integral, de tal forma que se obtengan los mayores beneficios de este. Laboratorios Biogalenic actualmente no posee una estructura bien definida sobre el abordaje del mantenimiento, debido a ello y con base a la importancia del mantenimiento en la construcción del negocio de la empresa, se propone crear una primera aproximación a la implementación de un *modelo de gestión del mantenimiento*.

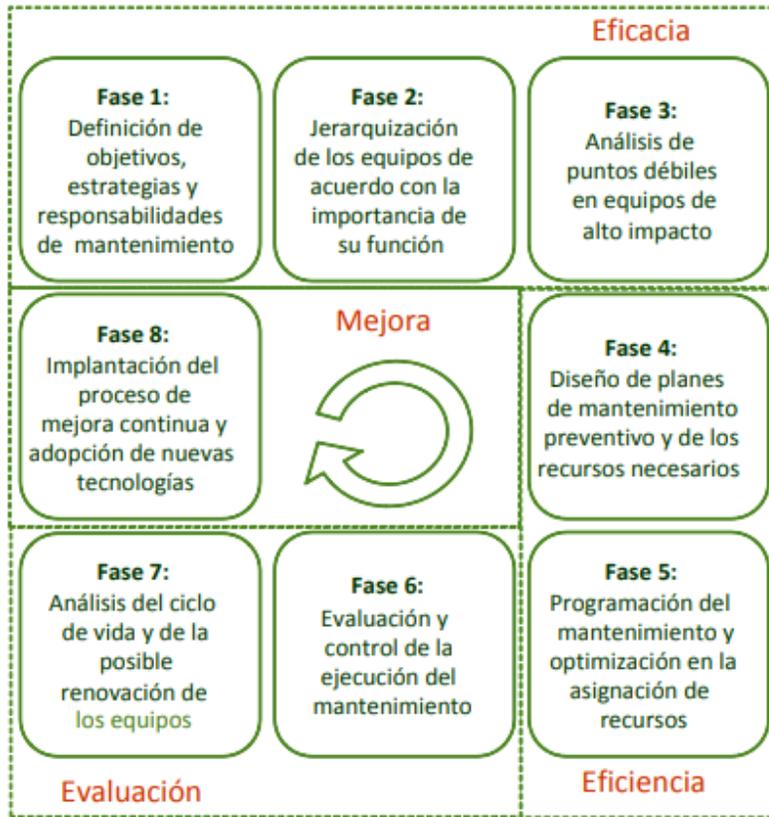
Este modelo debe ser capaz de abordar las necesidades de Laboratorios Biogalenic, inicialmente en el área delimitada que sirve tanto como caso de estudio y área piloto, de tal manera que esta pueda servir como una unidad de control que permita medir el impacto de estrategias de mantenimiento bien estructuradas y que posteriormente puedan expedirse a todas las áreas de la empresa.

Crear un modelo de gestión no es una tarea fácil, debido a que no hay reglas fijas para diseñar un modelo de gestión del mantenimiento integral y que responda adecuadamente a las necesidades del negocio. Por lo cual, se ha decidido tomar el modelo de gestión del mantenimiento creado por Carlos Alberto Parra Márquez y Adolfo Crespo Márquez.

El modelo de gestión del mantenimiento (MGM) propuesto está compuesto por ocho fases que distinguen y caracterizan acciones concretas a seguir en los diferentes pasos del proceso de gestión de mantenimiento. Es un modelo dinámico, secuencial y en bucle cerrado que intenta caracterizar de forma precisa el curso de acciones a llevar a cabo en este proceso de gestión para asegurar la eficiencia, eficacia y mejora continua del mismo.

La imagen 1 muestra las fases del modelo de gestión de mantenimiento propuesto. Estas fases están distribuidas en TÉRMINOS de eficacia, eficiencia, evaluación y mejora. Es preciso definir en qué consiste cada fase, con el fin de sentar las bases para la implementación del modelo de gestión.

**Imagen 1. Fases Necesarias para la Implementación del Modelo de Gestión Propuesto**



Fuente: Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos (Parra & Márquez, 2015)

### **Fase 1: Definición de objetivos, estrategias y responsabilidades de mantenimiento**

En esta fase es preciso tener claro, cuál es el objetivo del negocio, saber cuáles son los objetivos organizacionales, ya que en base a éstos deben generarse los objetivos propios del departamento de mantenimiento; es necesario que estos objetivos estén alineados con los de la empresa, para que no haya desviaciones y que los esfuerzos puestos sobre la ejecución causen un impacto real y positivo. También, se hace énfasis en la creación de un cuadro de mando o jerarquización del departamento de mantenimiento debido a que debe haber responsables en la conducción, ejecución y supervisión de las estrategias de mantenimiento. Se debe observar el desempeño de las estrategias de mantenimiento, por lo cual es indispensable crear Indicadores de Desempeño o KPIS, y debe asignarse una meta a cada indicador. Parra (2015) menciona que las metas para los indicadores seleccionados se establecen siguiendo un proceso participativo que requiere de la involucración de agentes interiores y exteriores a la organización de mantenimiento, la participación de la dirección de la empresa y del personal considerado clave en las unidades operativas de la función mantenimiento.

## **Fase 2: Jerarquización de equipos (Método de Análisis de Criticidad)**

Se deben definir cuáles son los equipos que por su peso específico pueden causar la mayor pérdida de oportunidad para el negocio de la empresa, con el fin de centrar esfuerzos en evitar daños al negocio.

Para realizar esto, existen diversas técnicas que permiten de una u otra forma llegar a una jerarquía de equipos. Se debe de tomar en cuenta el impacto en factores como la seguridad, producción, costo económico, costo de oportunidad, medio ambiente, etc. A su vez, hay que considerar como un indicador la frecuencia de las fallas del sistema en cuestión. Si no se cuenta con una serie de datos en la empresa, el análisis inicial podría hacerse de forma cualitativa, de tal forma que se garantice la efectividad de las acciones sobre estos. Una vez generada la criticidad, se podría generar alguna estrategia de mantenimiento adecuada al sistema crítico elegido que definitivamente debe seguirse perfeccionando a lo largo del proceso de implementación.

## **Fase 3: Análisis de puntos débiles (Análisis Causa Raíz - RCA)**

En activos críticos, antes de pasar a desarrollar las acciones a incluir en el plan de mantenimiento, es muy conveniente analizar posibles fallos repetitivos, crónicos, cuya frecuencia de aparición pueda incluso ser excesiva. Si se es capaz de encontrar y eliminar, si es posible, las causas de estos fallos se podrá ofrecer un alto retorno inicial a la inversión en el programa de gestión de mantenimiento (Parra, 2015).

Uno de los métodos más conocidos para la determinación de puntos débiles o situaciones adversas es el análisis de causa raíz (RCA); el método consiste en determinar las causas de la razón por la que ocurre un fallo y también expresa la forma en cómo corregirla. Existen diferentes causas para que ocurra un fallo: razón física, esta es la razón por la que el sistema ha fallado; la razón técnica, es la explicación del porqué del suceso; la razón humana puede ser por acción u omisión y las razones latentes como lo menciona Parra (2015), son todas aquellas deficiencias organizacionales y de gestión que hacen posible que aparezcan errores humanos y que no se corrijan con el paso del tiempo (fallos en sistemas y procedimientos).

## **Fase 4: Revisión y mejoras de planes de operación y mantenimiento (RCM y RBI)**

Es necesario crear planes de mantenimiento acorde a las necesidades del negocio de la empresa, alineados con los objetivos de mantenimiento, y que a su vez estén en sintonía con los de la compañía. Estos planes deben de crearse por un equipo multidisciplinario, que evalúe las diferentes necesidades de los departamentos involucrados, de tal manera que los planes sean funcionales e integrales y medibles en su implementación e impacto. Un método formal para la consecución de este objetivo es el Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad (Reliability Centered Maintenance - RCM).

### **Fase 5: Análisis Probabilístico Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad (RAM)**

Los planes que se han creado antes deben ser capaces de mutar con el fin de mejorar, por lo que es necesario hacer uso de técnicas que permitan que los planes puedan obtener beneficios en torno a eficiencia y eficacia. La decisión de utilizar una técnica u otra de optimización radica en la elección de un periodo de tiempo elegido para el análisis, es decir, por ejemplo, técnicas a largo plazo ideadas para mejorar los tiempos del mantenimiento y mejoras en el stock de repuestos.

Los modelos de optimización a mediano plazo pueden ocuparse, por ejemplo, para mejorar la secuencia de las actividades a realizar en una ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada en la gestión de activos, mientras que los modelos de mantenimiento cuyo horizonte temporal es de más corto plazo, se centran en la mejora de la asignación de recursos y en su control (Duffuaa, 2000).

### **Fase 6: Optimización Costo -Riesgo - Beneficio (CRBA)**

Luego que los planes han sido creados, es necesario garantizar que éstos se ejecuten adecuadamente. Los indicadores dispuestos anteriormente deben ser supervisados de tal manera que pueda verificarse si éstos continúan siendo adecuados para medir el desempeño del mantenimiento, así también como para analizar la eficacia de los planes de mantenimiento. Los planes deben de supervisarse objetivamente de tal manera que éstos sigan alineados con los objetivos del negocio. Importante es recalcar que los datos de los KPI's deben de capturarse adecuadamente, ya que éstos ahora son el input para la toma de decisiones en cuestiones técnicas y económicas.

### **Fase 7: Análisis del ciclo de vida y de la posible renovación de los equipos**

El Análisis de Ciclo de Vida es una herramienta de gestión muy importante, ya que la determinación del ciclo de vida es una decisión económica y es la forma más efectiva para determinar la estrategia de mantenimiento asociada a un sistema.

Hay varios costos asociados a la vida de un activo. El análisis de un sistema típico podría incluir costos de planificación, investigación y desarrollo, producción, operación, mantenimiento y retirada del equipo. Uno de los costos más variables y complejos de calcular es el *costo de mantenimiento*; cuando se realiza la sumatoria de los costos de mantenimiento es posible expresarlo como una ratio de costos, y cuando éste sea lo menor posible es entonces el punto óptimo de mantenimiento. Usualmente los costos de mantenimiento tienden a incrementar a medida que la máquina se vuelve obsolescente y podría requerir una renovación o un reemplazo.

### **Fase 8: Implantación del proceso de mejora continua y adopción de nuevas tecnologías**

Parra (2015) menciona que la mejora continua de la gestión de mantenimiento será posible utilizando técnicas y tecnologías emergentes en áreas que se consideren de alto impacto

como resultado de los estudios realizados en fases anteriores de nuestro proceso de gestión. Se deben de buscar nuevas tecnologías para la ejecución del mantenimiento de tal forma que se maximicen los beneficios.

Muchas de las situaciones expuestas requieren de un análisis muy amplio y pueden generar beneficios a mediano plazo, pero otras pueden generar resultados inmediatos dependiendo si las medidas creadas son acordes al sistema de negocio de la organización, y que, a su vez, tenga la flexibilidad de poder hacer cambios que logren el nivel más alto de desempeño.

### **1.1 Auditoría Integral de Gestión de Activos, Confiabilidad y Mantenimiento denominada “ASSET MANAGEMENT, OPERATIONAL RELIABILITY & MAINTENANCE SURVEY (AMORMS)”.**

Esta auditoría desarrollada por Parra y Crespo, (2015), permite evaluar las 8 fases del modelo de Gestión de Mantenimiento anteriormente descrita, la cual será utilizada para hacer una evaluación generalizada para la situación actual de Laboratorios Biogalenic. Las áreas a ser auditadas con la herramienta AMORMS son:

1. Gestión de Activos, Objetivos del Negocios (KPI's) y organización de soporte.
2. Modelos de Jerarquización basados en Riesgo (criticidad de equipos).
3. Análisis de problemas (manejo de fallas).
4. Procesos de programación y planificación.
5. Procesos de asignación de recursos, soporte informático y logístico.
6. Procesos de control y análisis de indicadores técnicos RAM.
7. Proceso de análisis de costos de ciclo de vida.
8. Procesos de revisión y mejora continua.

El proceso de aplicación de esta auditoría debe hacerse a partir de una línea de supervisión hacia arriba (nivel de supervisores, ingenieros, superintendentes y gerentes), mínimo de 8 personas.

El proceso de análisis de las 8 áreas a diagnosticar se realiza a partir de un cuestionario guía de 150 preguntas. Cada participante evaluará las preguntas propuestas, asignando puntuaciones que irán desde el 1 hasta el 5, en función de la siguiente escala:

1. Proceso muy deficiente.
2. Proceso debajo del promedio.
3. Proceso estándar promedio.
4. Proceso con muy buenas prácticas.
5. Proceso a nivel de Clase Mundial.

Los resultados de la auditoría se presentan en un diagrama del tipo radar, tal como puede verse en la imagen 2.

Las auditorías son sin duda una herramienta formidable para evaluar la gestión del mantenimiento, ya que es una radiografía del estado actual de este proceso en la organización. La información que contiene tiene múltiples propósitos tanto como para ver el estado actual, así como para proponer mejoras que fortalezcan el sistema de gestión implementado haciendo énfasis en sus debilidades.

No se debe limitar la justificación de aplicación de las auditorías de mantenimiento a simples modas pasajeras, la organización debe convertir estas técnicas de control en prácticas normales de trabajo, es decir, en un proceso de mejora continua que ayude a optimizar la toma de decisiones dentro del proceso de gestión del mantenimiento.

**Imagen 2. Fases necesarias para la implementación del modelo de gestión propuesto**



Fuente: Material de Clase "Análisis de Confiabilidad en el Mantenimiento" (2018)

## CAPITULO 2: ANTECEDENTES DE LA EMPRESA

Para conocer un poco más de la empresa Laboratorios Biogalenic, es necesario detallar algunas generalidades de la operación de la empresa. Así mismo, puede conocerse la influencia del mantenimiento en cada una de estas etapas y definir el escenario de aportación que puede dársele con una correcta gestión del departamento de mantenimiento y producción.

### 2.1 Generalidades de la Empresa

Laboratorios Biogalenic posee dos fábricas a nivel latinoamericano, una en El Salvador (inició operaciones en 1967) que se encarga de abastecer a Centro América y la otra en Argentina (inició operaciones en 2016). Las operaciones de estas fábricas incluyen procesos con tecnologías de punta y líneas completamente automatizadas capaces de generar una alta capacidad productiva.

Biogalenic, ha dedicado esfuerzos en la creación de soluciones convenientes para el cuidado del ser humano, así como también es una empresa socialmente responsable preocupada en contribuir activa y voluntariamente a equilibrar y mejorar el entorno social económico y ambiental para dar así un mayor valor agregado a la sociedad.

Se mencionan a continuación algunos de sus productos principales:

#### a) LACTATO DE RINGER & 5% DEXTROSA:

**Imagen 3. Presentación de Lactato de RINGER (bolsa de 1000ml)**



Esta solución es utilizada generalmente para reponer fluidos, y generalmente se opta por esta solución antes que, por solución salina, ya que la solución salina tiene una mayor tendencia a generar acidosis. Se fabrica en bolsas de empaque PVC y libres de PVC con cantidades de 1000ml y 3000ml.

#### b) HARTMAN'S SOLUTION:

Es un líquido estéril e isotónico, con pH de 6 a 7.5, que contiene diversas sales que proporcionan varios de los electrolitos esenciales para el organismo. Cada 100 ml de la solución contiene 20 mg de cloruro de calcio, 30 mg de cloruro de potasio, 600 mg de cloruro de sodio y 310 mg de lactato de sodio. Así, cada litro de esta solución proporciona 130 meq de sodio, 4 meq de potasio, 3 meq de calcio, 109 meq de cloruro y 28 meq de lactato. Con frecuencia se añade dextrosa a 5 o 10% para suministrar las calorías requeridas en la alimentación parenteral.

Se fabrica en bolsas de 500ml, 1000ml, 3000ml y 5000ml, siempre en material de PVC o libres de PVC.

Fuente: Biogalenic (2020)

**Imagen 4. Presentación de diferentes sueros parenterales fabricados por Laboratorios Biogalenic**



Fuente: Biogalenic (2020)

Éstos y muchos productos son fabricados en las instalaciones de Biogalenic. Así mismo, la empresa siempre se ha preocupado por implementar tecnologías de vanguardias con procesos bajo normativas internacionales, permitiendo que sus productos parenterales sean elaborados bajo altos estándares de calidad.

Laboratorios Biogalenic, posee los siguientes reconocimientos internacionales:

**Imagen 5. Acreditaciones otorgadas a Laboratorios Biogalenic**



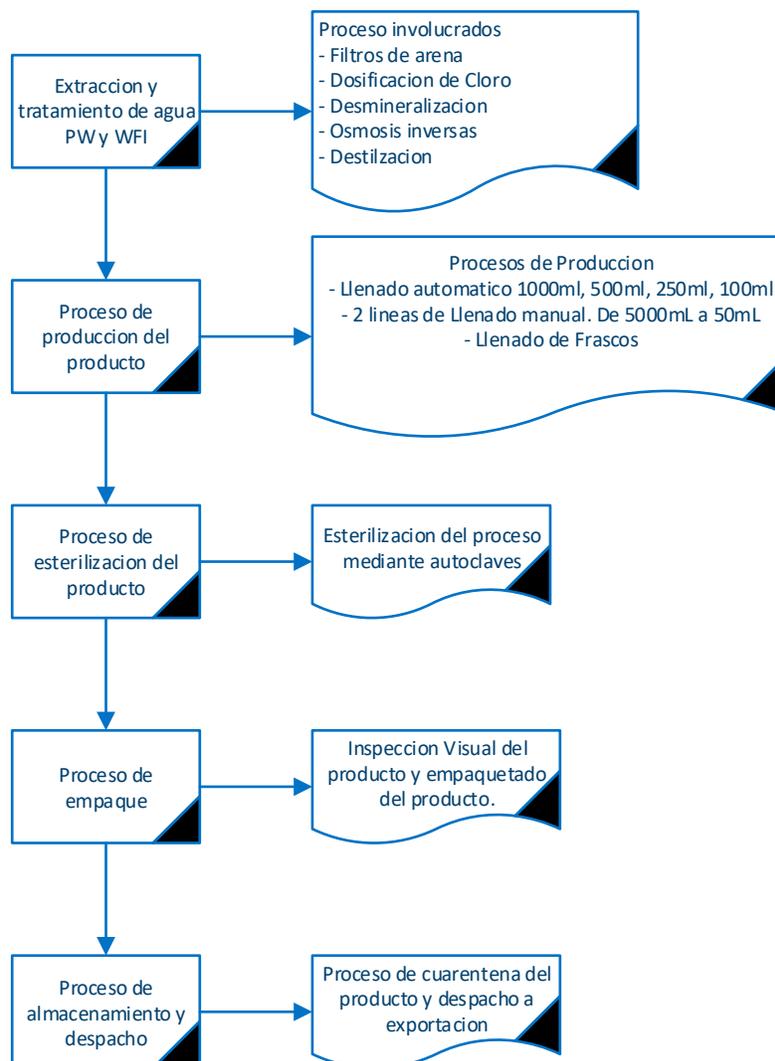
Fuente: Biogalenic (2020)

Con todas estas acreditaciones, Biogalenic pretende ser una empresa líder a nivel global en el ámbito de innovación, desarrollo, fabricación y comercialización de productos tal como se ha mencionado, de tipo intravenosos/orales que satisfagan al mercado farmacéutico tanto humano como veterinario.

## 2.2 Flujo Macro del Proceso Productivo

El proceso productivo de Laboratorios Biogalenic sigue el siguiente esquema a nivel macro; se describen a detalle cada uno de los procesos:

**Esquema 1. Flujo a nivel macro de proceso productivo, Laboratorios Biogalenic**



*Fuente: Elaboración propia en base a visitas de campo*

### **2.2.1 Proceso de Purificación de Agua**

En el proceso de extracción y tratamiento del producto primario, en este caso agua, se realiza en varias etapas. Primero, la extracción de un pozo a 175 metros de profundidad, segundo, se tiene dos suministros de la red local, ANDA sur y ANDA norte. En estas dos últimas, el servicio no es tan constante y es necesario explotar el pozo ya existente. Esa agua extraída como primer punto, es conducida por un filtro de arena para poder remover trozos o residuos de materiales no deseados para el proceso.

Como segunda etapa, el agua es concentrada en dos cisternas, donde se dosifica cloro para luego ser inducida al proceso de desmineralización; éste es un proceso químico de soda cáustica y ácido donde se remueven elementos positivos llamado aniónicos y elementos negativos llamados catiónicos a manera de producir agua neutra y sin minerales. En este proceso se utiliza iluminación ultravioleta para la eliminación de bacterias u otros microorganismos que contaminan el agua.

Como siguiente paso, en la línea de purificación, el agua es sometida en dos sistemas de osmosis inversa, la cual busca eliminar partículas o iones que el sistema de desmineralizado no haya logrado eliminar. En este punto, se tiene agua de calidad PW (agua purificada).

En la etapa final de purificación del agua, se realiza un tratamiento de destilación por medio de cuatro destiladores. Cada destilador tiene niveles y área específica. Esta agua, calidad WFI (*water for injection*; agua para inyección) la cual, después del proceso de destilación, se le ha eliminado las bacterias en un 99% y se cuenta con agua para poder producir según especificaciones por producto.

### **2.2.2 Proceso Productivo**

Laboratorios Biogalenic actualmente cuenta con tres líneas de producción: dos líneas de llenado manual y una línea automatizada para la producción de soluciones parenterales. Las líneas manuales pueden producir bolsas en formatos de 5000ml hasta formatos pequeños de 50ml según el pedido y necesidad del cliente. De igual forma, una de las líneas se ha adaptado para poder producir presentaciones de estado sólido, es decir, frascos.

En la línea automática se tiene la versatilidad de producir en cuatro formatos de bolsa que corresponden a 100ml, 250ml, 500ml y 1000ml.

Cada una de las líneas cuenta con sistema de tanques de mezclado, sistemas de tolvas para agregar la materia prima de las soluciones, tanques reservorios y por consiguiente bombas de flujos y recirculación.

La tabla 1 describe paso a paso las etapas del proceso productivo para la fabricación del producto final; además, en el esquema 2, se contempla el diagrama de flujo para cada una de estas etapas de una forma secuencial.

**Tabla 1. Descripción del Proceso Productivo por Etapas**

N°	Flujo de proceso	Descripción
1	Ingreso de materia prima a bodega	Recepción de materia prima con la cual se fabrican las diversas soluciones de sueros como solución salina, lactato, dextrosa y otras.
2	Ingreso de materia prima en área de cuarentena	La materia prima se somete a un proceso de cuarentena con el fin de garantizar la calidad del producto y que se cumplan las condiciones adecuadas de elaboración.
3	Muestras de materia prima	Realización de distintas pruebas en laboratorio interno, después del proceso de cuarentena, para definir su aprobación o rechazo. La única condición de rechazo de materia prima es vencimiento o desperfecto de fabricación.
4	Materia prima aceptada	
5	Cuarentena	
6	Ingreso de materia prima a área de bodega aprobada	La materia prima que cumple con las pruebas de aprobación, pasa a la bodega donde se realizan mediciones de peso. Este paso tiene el objetivo de confinar la materia prima antes de producir según las ordenes de producción para luego pasar al proceso de mezclado. El pesado de la materia prima dependerá de la concentración de la solución a producir y la cantidad en litros a mezclar.
7	Pesado de materia prima	
8	Mezcla y fabricación de soluciones parenterales	La materia prima es pesada según la concentración de la solución que se mezclará, de acuerdo a las especificaciones del programa de producción. Luego se toma una muestra de la solución mezclada y se analiza para constatar que la mezcla ha sido exitosa. Si en dado caso no cumple con los requerimientos de concentración especificados, se realizan las compensaciones respectivas hasta que la mezcla este correcta.
9	Análisis físico químico de la concentración	
10	Envasado de la solución	Cuando la mezcla es aprobada y cumple con los niveles de concentración especificados, pasa a la etapa de envasado, ya sea en la línea automática o en la línea manual, según el tipo de envase.
11	Inspección visual	El producto envasado es inspeccionado por operarios de producción, verificando aspectos de calidad de producto: bolsa sin partículas ajenas a la solución, problemas de sellado, peso de la bolsa, etiquetado y membretado.
12	Armado en canasta	El producto terminado es paletizado en canastas para poder manejarlo y manipularlo con facilidad.
13	Esterilización del producto	Las canastas de producto son esterilizadas en autoclaves donde se deben cumplir requerimientos de temperatura y presión para que se lleve a cabo un proceso de esterilización adecuado.
14	Empaque de producto terminado	Después del proceso de esterilización, el producto es llevado al área de empaque donde es introducido en una segunda bolsa para luego ser empacado en cajas de cartón.
15	Cuarentena del producto terminado	El producto empacado y etiquetado, se lleva a la bodega de cuarenta de <i>producto terminado</i> durante un periodo de 2 a 6 días, según el tipo de solución que se ha producido y el cliente final.
16	Bodega de aprobación de producto terminado	
17	Despacho de producto terminado	Al cumplir el proceso de cuarentena, el producto es despedido y enviado al consumidor.

Fuente: Elaboración propia en base a visitas de campo

### **2.2.3 Proceso de Esterilizado**

El proceso de esterilizado consiste en cuatro autoclaves que son los encargados, mediante un proceso térmico de vapor, esterilizar el producto.

En los equipos de autoclaves se ven involucrados equipos como generadores de vapor puro (vapor generado a partir de agua tratada), bombas y la necesidad de vapor industrial, agua y aire comprimido.

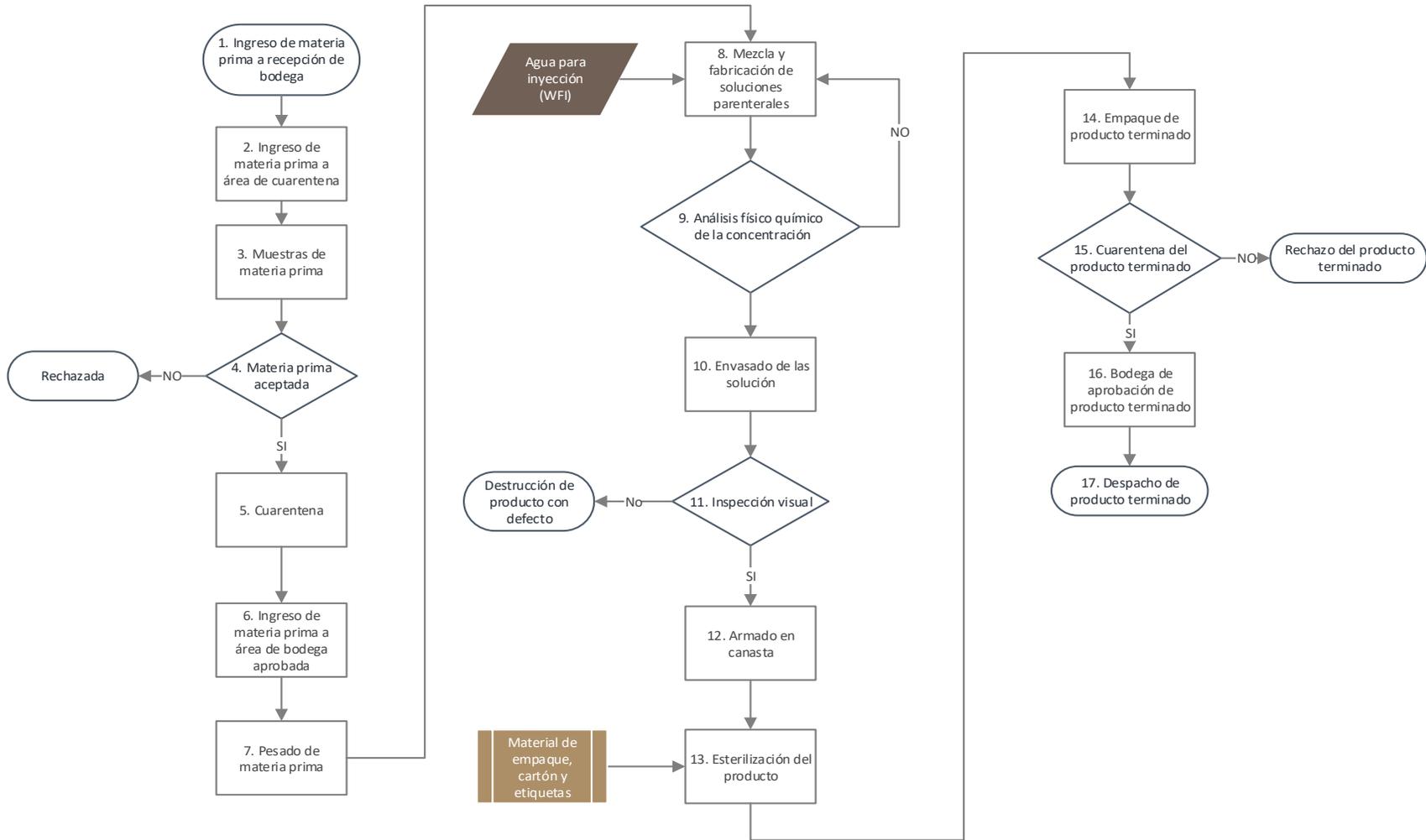
### **2.2.4 Proceso de Empaque**

En el área de empaque el producto es chequeado de forma manual, por operarias para proceder a empaquetar el producto y que éste cumpla con la especificación y, además de no presentar problemas en el proceso de esterilizado.

### **2.2.5 Proceso de Almacenamiento**

En el proceso de almacenamiento, el producto se retiene por un tiempo de 40 días. Con lo cual se busca que este cumpla con requerimientos de almacenamiento de condiciones específicas según normas nacionales e internacionales. Para ello, es importante la ventilación de las áreas de la bodega. Luego de este periodo, se procede a enviar el producto a exportación.

**Esquema 2. Descripción de proceso productivo por etapas, Laboratorios Biogalenic**



Fuente: Elaboración propia en base a visitas de campo

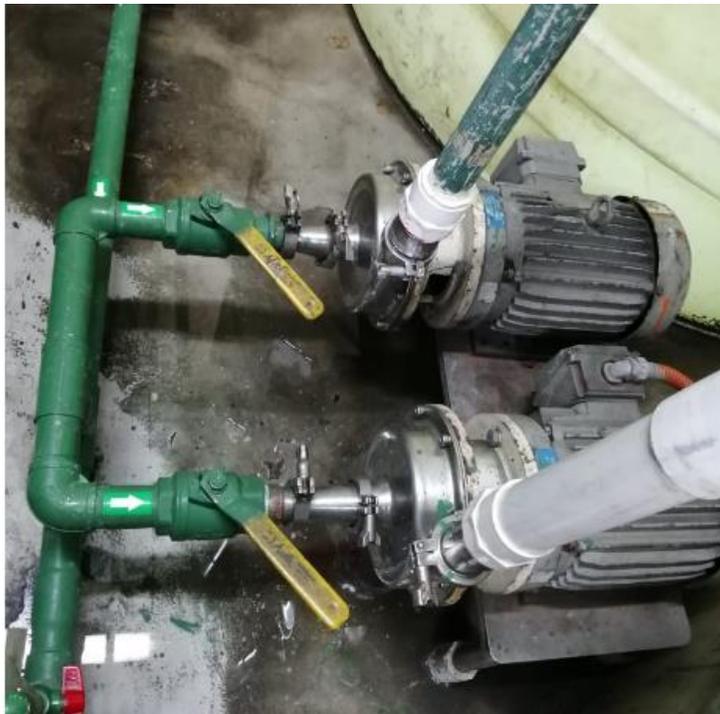
## 2.3 Descripción de la Situación Actual

Tal como se definió en la descripción del trabajo, Laboratorios Biogalenic posee cuatro áreas de interés con oportunidades de mejora en la sala de máquinas de la planta. A continuación, se hará una reseña que comprende observaciones puntuales realizadas a partir de mediciones de la red eléctrica, análisis termográfico, entre otras técnicas, las cuales tienen gran influencia en la operatividad de los equipos que integran los sistemas de la planta.

### 2.3.1 Sistemas de bombeo:

Biogalenic, utiliza bombas industriales de tipo centrifugas y autocebantes para el manejo del agua en sus diferentes procesos productivos. Se detectó que requieren grandes volúmenes de agua para la elaboración de sueros intravenosos en sus diferentes etapas. Estas bombas, requieren principal atención en sus condiciones de instalación, esto visible en la imagen 6.

**Imagen 6. Sistema de bombeo para llenado de tanques de proceso**



*Fuente: Elaboración propia en base a visitas de campo*

1. En el lado de succión, existen válvulas de corte parcialmente cerradas para la regulación de flujo y presión, lo cual no debería de realizarse ya que modifica el punto de operación en la curva de desempeño.

2. Siendo un sistema de succión común, posee una tubería de alimentación con diámetro limitado para percibir un flujo de agua adecuado, que evite el problema de cavitación.
3. No existen válvulas check en la descarga.
4. Falta de instrumentación para monitorear el proceso (manómetros en succión y descarga).
5. Oportunidad de diseñar un control automático para el funcionamiento de las bombas.

De igual forma, pueden notarse otros problemas en la instalación de bombeo de proceso mostrada en la imagen 7:

**Imagen 7. Instalación de bombas centrífugas para agua de proceso**



*Fuente: Elaboración propia en base a visitas de campo*

1. La succión independiente es un punto a favor. Al contrario, el diámetro de tubería de succión es inferior al diámetro de tubería de descarga, impedimento para un adecuado flujo que permita el trabajo eficiente en las bombas.
2. Existe instrumentación en algunas descargas, pero no se encuentra en condiciones adecuadas de operación.
3. Carencia de válvulas en descarga. Las válvulas en general, no se encuentra en condiciones de trabajo adecuadas para el proceso.
4. Falta de monitoreo de parámetros eléctricos de operación; las bombas trabajan 24/7 y no existe control para la operación de las mismas.

Adicionales observaciones pueden realizarse acerca de la imagen 8, la cual muestra más bombas de proceso del tipo autocebantes:

1. Diámetros en succión insuficientes para la alimentación de flujo de agua.
2. El manifold de descarga de las bombas, también posee un diámetro insuficiente para la alimentación de flujo al proceso.
3. La distancia después del codo que se encuentra después de la tubería de succión, debería poseer mayor longitud, al acoplarse a la boca de succión de la bomba para evitar un flujo turbulento que provoque cavitación.
4. Al igual que en todos los casos, falta instrumentación para monitorear el proceso.
5. Existe la necesidad de verificar el comportamiento del flujo que bombean estas bombas, para comprobar que es el requerido por el proceso.

**Imagen 8. Instalación de bombas de proceso, tipo autocebantes**



*Fuente: Elaboración propia en base a visita de campo*

Para los sistemas de bombeo en Biogalenic, existen muchas oportunidades de mejora para optimizar el proceso de elaboración de sueros. En las observaciones realizadas, se percibe el hecho que no ha existido una ingeniería para la selección de equipos que conforman estos sistemas. Así mismo, se ha detectado la poca mantenibilidad y confiabilidad que estos equipos poseen al no existir históricos de mantenimiento, listas de chequeo o verificación que, a la larga, podrían garantizar un buen flujo de las actividades pertinentes a los procesos de la planta.

### **2.3.2 Climatización e iluminación:**

Laboratorios Biogalenic, cuenta con dos tipos de sistemas de climatización: equipos de aires acondicionados de oficinas y sistema de enfriamiento por chillers para el área de procesos y producción. Cabe mencionar que ninguno de estos equipos tiene sistemas avanzados de control, ni alta eficiencia energética. Los equipos integrados a estos sistemas cuentan con tecnologías que utilizan refrigerantes desactualizados, que han sido identificados como contaminantes y prohibidos en otros países por su impacto al medio ambiente.

Los equipos de refrigeración chillers son equipos con compresores convencionales y con funciones puntuales de diseño, que se adaptaron al proceso cuando la planta inició operaciones.

A lo largo de los años, se ha contemplado como proyecto de mejora el cambio de estos equipos por otros de tipo inverter o centrales, según sea el caso; así mismo, con el área de refrigeración, mejorar los equipos que tengan más de 10 años de antigüedad.

Se enlistan los equipos en la tabla 2:

**Tabla 2. Listado de equipos correspondientes a climatización, Laboratorios Biogalenic**

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CAPACIDAD (BTU)	SISTEMA	HORAS	TIPO	CLASIFICACIÓN DE EQUIPO Y/O LOCALIZACIÓN
LB-N.A	OFICINA DE PRODUCTO TERMINADO	9,000	MONÓFASICA TRIFILAR	9	MINISPLIT	AIRES ACONDICIONADOS VARIOS
LB-N.A	OFICINAS AUTOCLAVE	12,000	MONÓFASICA TRIFILAR	9	MINISPLIT	AIRES ACONDICIONADOS VARIOS
LB-N.A	ONCOLÓGICO JAYOR	12,000	MONÓFASICA TRIFILAR	9	MINISPLIT	AIRES ACONDICIONADOS VARIOS
LB-N.A	BODEGA MATERIA PRIMA CUARENTENA	24,000	MONÓFASICA TRIFILAR	9	MINISPLIT	BODEGAS
LB-N.A	REGISTRO SANITARIOS BIOGALENIC	9,000	MONÓFASICA TRIFILAR	9	MINISPLIT	TÉCNICO
LB-N.A	VALIDACIONES	9,000	MONÓFASICA TRIFILAR	9	MINISPLIT	TÉCNICO
LB-526	ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO/DIURNO	9,000	MONÓFASICA TRIFILAR	9	MINISPLIT	CRITICO LABORATORIO
LB-525	COMEDOR JAYOR	12,000	MONÓFASICA TRIFILAR	9	MINISPLIT	AIRES ACONDICIONADOS VARIOS
LB-520	PRESIDENCIA Y GERENCIA GENERAL	12,000	MONÓFASICA TRIFILAR	9	MINISPLIT	ADMINISTRACIÓN
LB-519	AUDITORIA EXTERNA	12,000	MONÓFASICA TRIFILAR	9	MINISPLIT	ADMINISTRACIÓN
LB-515	PRIMERO AUXILIOS	12,000	MONÓFASICA TRIFILAR	9	MINISPLIT	AIRES ACONDICIONADOS VARIOS
LB-514	COMPRAS JAYOR	12,000	MONÓFASICA TRIFILAR	9	MINISPLIT	ADMINISTRACIÓN
LB-513	DISEÑO GRAFICO	12,000	MONÓFASICA TRIFILAR	9	MINISPLIT	ADMINISTRACIÓN
LB-512	CASETA DE VIGILANCIA	12,000	MONÓFASICA TRIFILAR	9	MINISPLIT	AIRES ACONDICIONADOS VARIOS
LB-511	SUPERVISORES ÁREA AUTOMATIZADA	9,000	MONÓFASICA TRIFILAR	9	MINISPLIT	AIRES ACONDICIONADOS VARIOS
LB-510	JEFE ÁREA AUTOMATIZADA	9,000	MONÓFASICA TRIFILAR	9	MINISPLIT	AIRES ACONDICIONADOS VARIOS
LB-509	BODEGA JAYOR 2	60,000	MONÓFASICA TRIFILAR	9	TECHO	BODEGAS
LB-508	BODEGA JAYOR 1	60,000	MONÓFASICA TRIFILAR	9	TECHO	BODEGAS
LB-505	OFICINAS BODEGA JAYOR	12,000	MONÓFASICA TRIFILAR	9	MINISPLIT	AIRES ACONDICIONADOS VARIOS

LB-504	BODEGA PLUMAT	36,000	MONÓFASICA TRIFILAR	9	TECHO	BODEGAS
LB-502	MUESTREO MATERIA PRIMA	60,000	TRIFÁSICO	9	CENTRAL	AIRES ACONDICIONADOS VARIOS
LB-501	PASILLO PLUMAT	60,000	TRIFÁSICO	0	CENTRAL	OPCIONAL OUT OF SERVICE
LB-497	SELLADO 2	180,000	TRIFÁSICO	9	CENTRAL	OPCIONAL OUT OF SERVICE
LB-496	SELLADO 1	180,000	TRIFÁSICO	9	CENTRAL	OPCIONAL OUT OF SERVICE
LB-489	CONTROL DE CALIDAD	60,000	TRIFÁSICO	9	CENTRAL	LABORATORIO
LB-488	LÍNEA VETERINARIA	9,000	MONÓFASICA TRIFILAR	9	MINISPLIT	TÉCNICO
LB-487	EXCLUSA	9,000	MONÓFASICA TRIFILAR	9	MINISPLIT	TÉCNICO
LB-486	ASEGURAMIENTO	12,000	MONÓFASICA TRIFILAR	9	MINISPLIT	TÉCNICO
LB-485	ASISTENTES	12,000	MONÓFASICA TRIFILAR	9	MINISPLIT	TÉCNICO
LB-484	IMPORTACIONES	9,000	MONÓFASICA TRIFILAR	9	MINISPLIT	TÉCNICO
LB-483	PLANIFICACIÓN	9,000	MONÓFASICA TRIFILAR	9	MINISPLIT	TÉCNICO
LB-482	GERENTE DE CONTROL DE CALIDAD	12,000	MONÓFASICA TRIFILAR	9	MINISPLIT	TÉCNICO
LB-481	SALA DE CONFERENCIA	18,000	MONÓFASICA TRIFILAR	9	MINISPLIT	TÉCNICO
LB-480	GERENTES DE PLANTA	24,000	MONÓFASICA TRIFILAR	9	MINISPLIT	TÉCNICO
LB-479	RECEPCIÓN	24,000	MONÓFASICA TRIFILAR	9	MINISPLIT	TÉCNICO
LB-478	INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO	9,000	MONÓFASICA TRIFILAR	9	MINISPLIT	LABORATORIO
LB-477	ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO/NOCTURNO	9,000	MONÓFASICA TRIFILAR	9	MINISPLIT	CRITICO LABORATORIO
LB-476	INCUBADORA/NOCTURNO	18,000	MONÓFASICA TRIFILAR	9	MINISPLIT	CRITICO LABORATORIO
LB-475	INCUBADORA/DIURNO	18,000	MONÓFASICA TRIFILAR	9	MINISPLIT	CRITICO LABORATORIO
LB-474	ANÁLISIS DE AGUA / DIURNO	36,000	MONÓFASICA TRIFILAR	9	TECHO	CRITICO LABORATORIO
LB-473	ANÁLISIS INSTRUMENTAL/NOCTURNO	36,000	MONÓFASICA TRIFILAR	9	TECHO	CRITICO LABORATORIO
LB-472	CHILLER 1TN	16,200	MONÓFASICA TRIFILAR	0	CHILLER	TÉCNICO
LB-471	MANEJADORA PLUMAT	-	TRIFÁSICO	24	MANEJADORA	CHILLER
LB-461	CHILLER TRANE	420,000	TRIFÁSICO	24	CHILLER	CHILLER
LB-455	REGISTRO SANITARIOS JAYOR	12,000	MONÓFASICA TRIFILAR	9	MINISPLIT	AIRES ACONDICIONADOS VARIOS
LB-442	INYECCIÓN YORK	60,000	TRIFÁSICO	9	CENTRAL	OPCIONAL OUT OF SERVICE
LB-439	AUXILIAR DE EXPORTACIÓN	12,000	MONÓFASICA TRIFILAR	9	MINISPLIT	ADMINISTRACIÓN
LB-438	POLILISO	9,000	MONÓFASICA TRIFILAR	9	CENTRAL	CRÍTICOS
LB-433	BODEGA MATERIA PRIMA APROBADA	60,000	TRIFÁSICO	9	TECHO	BODEGAS
LB-431	HIGROSCÓPICO	9,000	MONÓFASICA TRIFILAR	9	CENTRAL	OPCIONAL

LB-430	LAVADO DE PISTÓN	18,000	MONÓFASICA TRIFILAR	9	CENTRAL	CRÍTICOS
LB-419	RESPIDUAL	60,000	TRIFÁSICO	9	CENTRAL	OPCIONAL OUT OF SERVICE
LB-418	PASILLO SUERO ORAL	60,000	TRIFÁSICO	9	CENTRAL	OPCIONAL
LB-417	SUERO ORAL	120,000	TRIFÁSICO	9	CENTRAL	OPCIONAL OUT OF SERVICE
LB-413	CRÉDITOS Y COBROS	12,000	MONÓFASICA TRIFILAR	9	MINISPLIT	ADMINISTRACIÓN
LB-412	ASESOR DE MERCADEO	9,000	MONÓFASICA TRIFILAR	9	MINISPLIT	ADMINISTRACIÓN
LB-411	GERENCIA DE VENTAS	9,000	MONÓFASICA TRIFILAR	9	MINISPLIT	ADMINISTRACIÓN
LB-405	SERVIDOR	9,000	MONÓFASICA TRIFILAR	9	MINISPLIT	ADMINISTRACIÓN
LB-398	SUPERVISORAS LLENADO	18,000	MONÓFASICA TRIFILAR	9	MINISPLIT	AIRES ACONDICIONADOS VARIOS
LB-389	PESADO	18,000	MONÓFASICA TRIFILAR	9	CENTRAL	CRÍTICOS
LB-363	INSPECCIÓN L1	36,000	MONÓFASICA TRIFILAR	9	CENTRAL	CRÍTICOS
LB-362	INSPECCIÓN L2	60,000	MONÓFASICA TRIFILAR	9	CENTRAL	CRÍTICOS
LB-361	SEGUNDO CAMBIO LLENADO	60,000	TRIFÁSICO	9	CENTRAL	CRÍTICOS
LB-360	PRIMER CAMBIO LLENADO	60,000	TRIFÁSICO	9	CENTRAL	CRÍTICOS
LB-350	CONTABILIDAD 2	60,000	TRIFÁSICO	9	TECHO	ADMINISTRACIÓN
LB-349	CONTABILIDAD 1	60,000	TRIFÁSICO	9	TECHO	ADMINISTRACIÓN
LB-348	GERENCIA ADMINISTRATIVA	12,000	MONÓFASICA TRIFILAR	9	MINISPLIT	ADMINISTRACIÓN
LB-347	RECURSOS HUMANOS	12,000	MONÓFASICA TRIFILAR	9	MINISPLIT	ADMINISTRACIÓN
LB-346	EXPORTACIÓN	12,000	MONÓFASICA TRIFILAR	9	MINISPLIT	ADMINISTRACIÓN
LB-345	RECEPCIÓN	9,000	MONÓFASICA TRIFILAR	9	MINISPLIT	ADMINISTRACIÓN
LB-319	BODEGA DE REFERENCIA	36,000	MONÓFASICA TRIFILAR	9	TECHO	BODEGAS
LB-296	LLENADO PASILLO	60,000	TRIFÁSICO	9	CENTRAL	OPCIONAL
LB-295	LLENADO L2	120,000	TRIFÁSICO	9	CENTRAL	CRÍTICOS
LB-294	LLENADO L1	120,000	TRIFÁSICO	9	CENTRAL	CRÍTICOS
LB-288	CASILLEROS	60,000	TRIFÁSICO	9	CENTRAL	OPCIONAL
LB-274	CHILLER ÁREA DE PLÁSTICO	240,000	TRIFÁSICO	9	CHILLER	OPCIONAL OUT OF SERVICE
LB-273	LAVANDERÍA	60,000	TRIFÁSICO	9	CENTRAL	OPCIONAL OUT OF SERVICE
LB-70	ENSAMBLE	90,000	TRIFÁSICO	9	CENTRAL	OPCIONAL OUT OF SERVICE
LB-68	SALA DE CONFERENCIA	24,000	MONÓFASICA TRIFILAR	9	MINISPLIT	ADMINISTRACIÓN
LB-66	INYECCIÓN	60,000	TRIFÁSICO	9	CENTRAL	OPCIONAL OUT OF SERVICE
LB-62	EXTRUSIÓN	60,000	TRIFÁSICO	9	CENTRAL	OPCIONAL OUT OF SERVICE

*Fuente: Elaboración propia en base a visitas de campo*

En el sistema de iluminación, se ha iniciado el cambio de la iluminación de tubos fluorescentes por tubos LED. El cambio ha sido de forma paulatina, en el momento que un tubo se daña es reemplazado y la lámpara es adaptada para tubo LED. En el caso de la iluminación exterior aún se cuenta con iluminación por bombillos de gas mercurio de 85W

a 175W. La sala de máquinas es iluminada por bombillos ahorrativos fluorescentes de 85W a 125W.

Se listan a continuación las luminarias de la planta del laboratorio:

**Tabla 3. Listado de luminarias, Laboratorios Biogalenic**

ÁREA	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
BODEGA DE MATERIA PRIMA	8	4 LUMINARIAS DE 32W
AREA DE IMPRESIÓN	32	4 LUMINARIAS DE 32W
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD	2	1 LUMINARIAS DE 32W
AREA DE ENSAMBLE	4	1 LUMINARIAS DE 20W
MANTENIMIENTO INTERNO	4	1 LUMINARIAS DE 20W
VENTILACION AREA DE BODEGA PRODUCTO TERMINADO 1 Y EMPAQUE	52	13 LUMINARIAS DE 32W
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD	68	17 LUMINARIAS DE 32W
AREA DE AUTOCLAVE	68	17 LUMINARIAS DE 32W
VENTILACION AREA DE BODEGA PRODUCTO TERMINADO 1 Y EMPAQUE	36	18 LUMINARIAS DE 32 W
BODEGA DE PROCESOS	72	18 LUMINARIAS DE 20W
BODEGA DE MATERIA PRIMA	76	19 LUMINARIAS DE 20W
MANTENIMIENTO INTERNO	8	2 LUMINARIAS DE 20W
AREA DE LLENADO	40	20 LUMINARIAS DE 20W
BODEGA DE MATERIA PRIMA	50	25 LUMINARIAS DE 32W
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD	12	3 LUMINARIAS DE 32W
DESTILACION MULLER	16	4 LUMINARIAS DE 32W
DESTILACION DEST.FINN AQUA	16	4 LUMINARIAS DE 32W
AREA DE LLENADO	164	41 LUMINARIAS DE 32W
AREA DE AUTOCLAVE	20	5 LUMINARIAS DE 20W
PESADO DE MATERIA PRIMA	10	5 LUMINARIAS DE 32W
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD	10	5 LUMINARIAS DE 32W
AREAS PASILLOS	20	5 LUMINARIAS DE 20W
LAVANDERIA I	24	6 LUMINARIAS DE 20W
LAVANDERIA II	24	6 LUMINARIAS DE 32W
BODEGA PRODUCTO TERMINADO 2	9	9 BOMBILLOS FLUORESCENTES DE 80W
AREA DE ENSAMBLE	24	6 LUMINARIAS 4X20W
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD	32	8 LUMINARIAS DE 20W
AREA DE AUTOCLAVE	16	8 LUMINARIAS DE 32W
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD	32	8 LUMINARIAS DE 20W
AREA DE LLENADO	18	9 LUMINARIA DE 32W
LUCES EXTERIORES	13	LÁMPARAS DE MERCURIO 175W
PLUMAT	176	88 LUMINARIAS DE 39W
DEPARTAMENTO TÉCNICO	38	19 LUMINARIAS DE 32W
MATRICERIA	28	7 LUMINARIAS DE 32W
AREA DE SERIGRAFIA	32	8 LUMINARIAS DE 20W
AREA DE SERIGRAFIA	24	6 LUMINARIAS DE 32W
SALA DE MAQUINAS	6	6 BOMBILLOS FLUORESCENTES DE 125W
AREAS PASILLOS	76	19 LUMINARIAS DE 32W
AREA DE DESMINERALIZACION	8	4 LUMINARIAS 6W
AREA DE CAMBIO Y BAÑOS	2	1 LUMINARIAS DE 32W
AREA DE CAMBIO Y BAÑOS	24	12 LUMINARIAS DE 20W
COMEDOR	32	8 LUMINARIAS DE 20W

Fuente: Elaboración propia en base a visitas de campo

### 2.3.3 Sistema de generación de vapor:

El vapor es utilizado para destilar agua, purificar y esterilizar producto. Se puede observar que, las calderas han sido modificadas para que sus quemadores trabajen con LPG en lugar del diésel/fuel oil, combustible para el cual estaban diseñadas. Los cambios hacia la responsabilidad social de las empresas y el aumento de precios de los derivados de petróleo, fueron las causas de dicho cambio.

Es notable la existencia de fugas en el sistema de alimentación de agua y retorno de condensado; esto provoca un mal aprovechamiento de los recursos e implica gastos adicionales en el tratamiento de agua, agua tratada y retorno de condensado, así como el calor perdido que se genera a partir de las fugas presentadas.

Otra condicionante que se puede observar es su enchaquetado; el aislamiento está deteriorado, lo que provoca un aumento en las pérdidas de calor que genera el sistema de vapor, haciendo que exista un mayor consumo de combustible, incrementando los costos propios del sistema.

**Imagen 9. Caldera Cleaver Brooks, Laboratorios Biogalenic**



*Fuente: Elaboración propia en base a visita de campo*

Para estas calderas, se llevó a cabo un estudio de emisión de gases con un analizador IMR1000, donde tuvimos los siguientes resultados:

**Tabla 4. Resultados de medición con analizador de gases IMR 1000**

Parámetro	Valor medido
Temperatura de humos ( $T_F$ )	354°F (178.88°C)
Rendimiento de la combustión ( $n_G$ )	87.6%

Fuente: Elaboración propia en base a análisis realizados

Se tomó los datos de temperatura de humos y rendimiento de combustión, ya que son los de mayor relevancia para determinar el análisis de operatividad y funcionamiento de las calderas.

El rendimiento de combustión es el dato más importante que aporta el analizador de gases desde el punto de vista de la eficiencia energética. Cuanto mejor rendimiento tenga la caldera, mejor es la eficiencia de ese equipo, y el consumo energético se verá reducido. Con el resultado mostrado en la tabla, se puede observar que la eficiencia de la caldera es de un **87%**. En términos generales, este valor es **acceptable** a las condiciones actuales de funcionamiento, al ser una caldera antigua y donde se han implementado algunas rutinas preventivas, ejecutadas por el personal interno de mantenimiento, enfocándose solamente en el cuerpo de la caldera como limpieza de tubos, verificación de refractarios, y lo exigido por el Ministerio de Trabajo.

Para la temperatura de humos, el valor medido depende de la tecnología de la caldera. En la medición realizada, se obtuvo un valor de **178.8°C**; este parámetro permite identificar el tipo de caldera que se tiene instalada. Al ser una temperatura inferior a los 160°C, se define como una *caldera convencional atmosférica*.

#### **2.3.4 Sistema de aire comprimido:**

En la actualidad se dispone de cuatro compresores Kaeser y dos secadores de aire junto a dos tanques reservorios de aire, con una capacidad de almacenamiento de 3000lts. Se realizó un estudio de fugas de aire comprimido en el compresor BSD 60. Todos los compresores tienen las mismas especificaciones técnicas mostradas a continuación:

**Tabla 5. Datos técnicos de compresor BSD 60**

INFORMACIÓN TÉCNICA DEL COMPRESOR	
Modelo	BSD 60
Marca	KAESER
CAUDAL (CFM)	288
Potencia (HP)	60
Potencia (kW)	44.7

Fuente: Elaboración propia en base a mediciones propias

Mediante la prueba de ultrasonido se inició un sondeo de las fugas de aire a través de todas las tuberías del sistema con resultados no favorables y gran presencia de fugas.

La prueba de llenado y vaciado de tanques se realizó a partir de la medición de los tiempos de descarga de los tanques reservorios de aire para todo el sistema; el análisis de los datos

se obtuvo por medio del uso de la herramienta de Kaeser, “calculadora de fugas”, y algunas operaciones matemáticas. El resultado de las mediciones se presenta en la tabla 6.

**Imagen 10. Compresores utilizados en la generación de aire de proceso**



*Fuente: Elaboración propia en base a visitas de campo*

**Tabla 6. Datos presentados en carga/descarga para prueba de compresor**

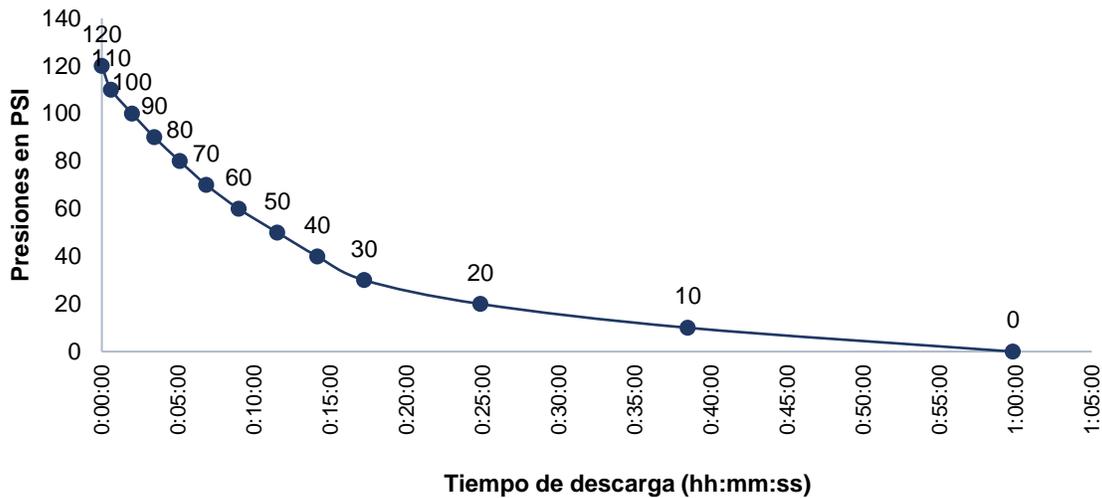
<b>Presiones (PSI)</b>	<b>Tiempo de descarga (hh: mm: ss)</b>
120	0:00:00
110	0:00:37
100	0:01:59
90	0:03:27
80	0:05:07
70	0:06:52
60	0:08:59
50	0:11:32
40	0:14:09
30	0:17:14
20	0:24:52
10	0:38:29
0	0:59:50

*Fuente: Elaboración propia en base a mediciones realizadas*

El rango de presión que manejan dichos tanques es de 0 a 120PSI. El tiempo que se ha tomado se determina desde el momento en que el sistema llega a su máxima presión de set, hasta que se vacía completamente. Para la realización de esta prueba se hizo el procedimiento de arrancar el equipo tomando el tiempo necesario de llenado hasta llegar a un valor de 120PSI en la línea de aire. Cabe mencionar, los datos y pruebas llevadas a cabo fueron realizados cuando la planta no estaba en operación. Como resultado de la prueba, se obtuvo un tiempo de llenado de 9 minutos con 27 segundos, hasta que el compresor llega al punto de presión seteado.

En el gráfico 1 se muestran los resultados obtenidos de la prueba carga-descarga.

**Gráfico 1. Comportamiento de la descarga del sistema neumático del Compresor BSD 60 (presión vrs horas)**



*Fuente: Elaboración propia en base a prueba de carga/descarga de llenado en sistema de aire comprimido*

El gráfico 1 refleja el comportamiento de descarga del sistema neumático de Laboratorios Biogalenic, comprendido por 2 tanques reservorios de 1500Lt y la red neumática como tal.

En el periodo de mantenimiento de fin de año se contó con la oportunidad de poder realizar diversas pruebas en el área de sala de compresores, las cuales buscaban cuantificar las pérdidas tanto en pies cúbicos por minuto como la estimación de cuánto representan las pérdidas del sistema en kW. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 7.

**Tabla 7. Resultados obtenidos en auditoría de aire**

Tiempo en llenar de 0 PSI a 120 PSI (min)	14.75
Tiempo en descargar de 120psi a 0psi (min)	59.9

<b>VOLUMEN DE RED NEUMÁTICA</b>		
V= (Tiempo de llenado) * (Caudal)		
Volumen	4,248.00	[ft <sup>3</sup> ]
<b>CAUDAL DE FUGAS</b>		
Q=(Volumen) * (tiempo de descarga)		
Caudal	70.92	[cfm]
<b>POTENCIA DEL FLUJO</b>		
PotFlujo=(caudal)/(potencia)		
PotFlujo	6.44	[cfm/kW]
<b>POTENCIA POR FLUJO DE FUGAS</b>		
PotFugas= (Caudal de fugas) * (potencia del flujo)		
PotFugas	11.01	kW

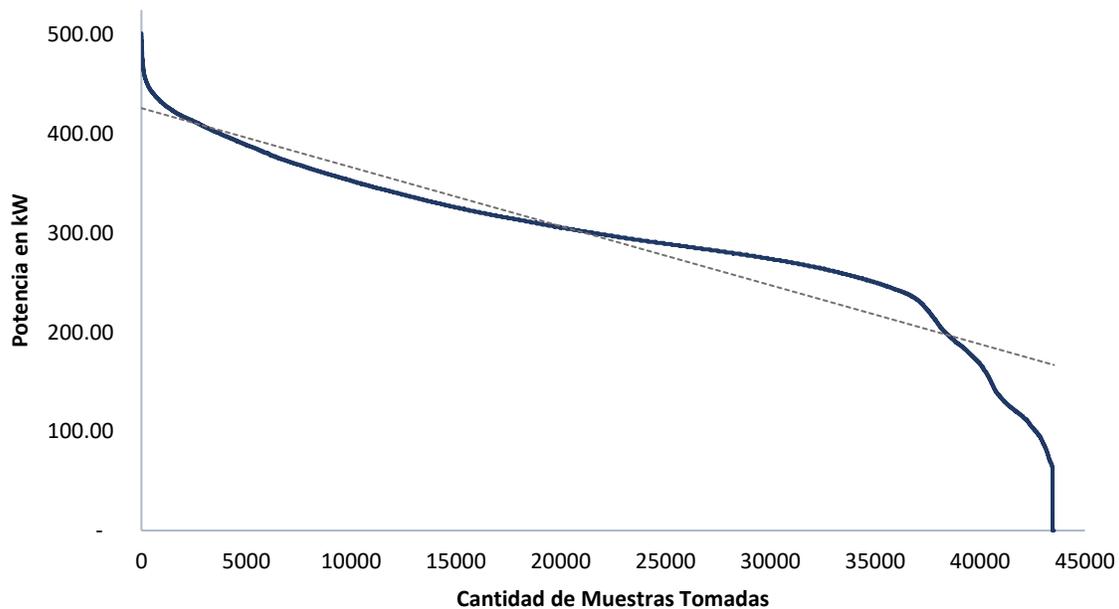
*Fuente: Elaboración propia en base a visita de campo*

### 2.3.5 Sistema de energía:

Como parte del estudio realizado, se tomaron mediciones de energía desde la subestación principal (tablero MAIN), que abarca los equipos de bombeo, compresores de aire e iluminación; básicamente se consideraron todos los equipos de sala de máquinas.

La medición tuvo una duración de un mes (30/09/2019-30/10/2019) para poder visualizar los diferentes comportamientos eléctricos de los equipos. El resumen de las mediciones para el total de la instalación puede visualizarse en el gráfico 2.

**Gráfico 2. Curva Monótona del Comportamiento de Potencia Media Total, kW, 30 días**



*Fuente: Elaboración propia en base a mediciones de energía realizadas en tablero principal de potencia*

La gráfica monótona de la potencia media total de la planta fue obtenida a partir de la medición realizada en fecha 30 de septiembre de 2019 al 30 de octubre de 2019. Con esto se obtuvo una muestra de 30 días de toma de datos por lapsos de 1 min. La tabla 8 presenta cuadro resumen de los datos.

**Tabla 8. Resultados de medición de energía para consumos en sala de máquinas**

Resultados obtenidos – Potencia media		
Minutos medidos	43,527.00	Minutos
Horas medidas	725.45	Horas
Días medidos	30.23	Días
Energía	296.50	kWh

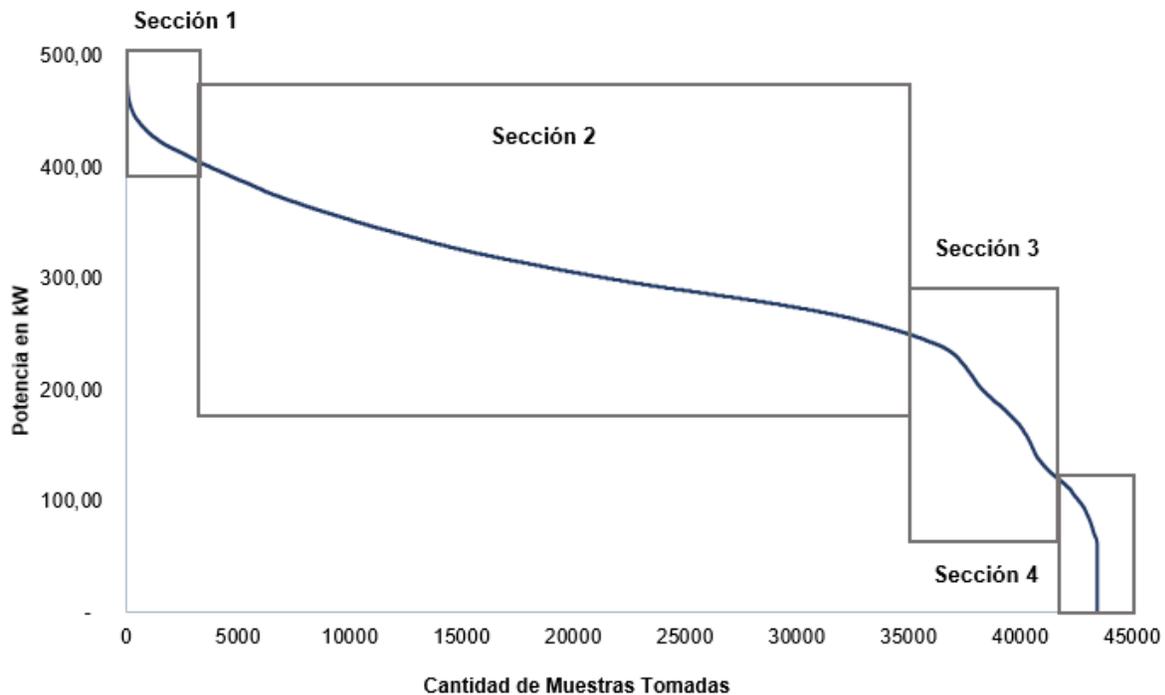
*Fuente: Elaboración propia en base a mediciones en visita de campo*

La elección de dicha fecha se debió a que la planta analizada presentó una demanda de producción en su máxima capacidad, considerando que hubo fines de semana en los que la producción se detuvo.

En el periodo de medición se pudo identificar cuanto potencia consumen los equipos en sala de máquinas, los cuales son necesarios que permanezcan en operación las 24 horas del día y los 365 días del año. Por ejemplo, se presenta el caso de los chillers y equipos de tratamiento de aire que climatizan las áreas críticas productivas, garantizando un ambiente que cumple las especificaciones de las normativas de buenas prácticas productivas farmacéuticas.

Haciendo un análisis de resultados a partir del gráfico 3, dividimos la curva monótona en secciones, analizándola de tal manera que se evidencie la operación de los equipos a lo largo de la medición realizada.

**Gráfico 3. Curva Monótona del Comportamiento de Potencia Media Total Seccionada, kW, 30 días**



*Fuente: Elaboración propia*

A continuación, se hará una descripción detallada por cada sección para una mejor comprensión del gráfico.

La **sección 1**, contempla valores límites de 400 kW a 500 kW, con un total de 3813 muestras. Haciendo un análisis y discriminando los equipos que se encuentran en la sala de máquinas, puede verse una tendencia hacia arriba en el comportamiento de la curva que se atribuye al arranque de equipos como bombas, compresores y periféricos de calderas; en efecto, esto depende del funcionamiento que la planta exige en ese momento.

La **sección 2**, se concentra en las muestras número 3,814 hasta la 35,097. La cual tenemos un comportamiento promedio dentro del gráfico monótono, ésto indica que las cargas consumen en promedio potencias dentro de los rangos de muestra establecidos.

Las potencias dentro de la limitación de muestras en la sección 2, tienen un comportamiento decreciente de los 399 kW a los 250 kW.

La **sección 3**, presenta una tendencia completamente decreciente que puede atribuírsele a que los equipos operativos entran en un estado de *stand by*, ya que han cumplido con su régimen de operación. Tal es el caso de los equipos de aires acondicionados de oficinas con controladores automáticos.

En el seccionamiento 3 de la gráfica monótona, observamos que el consumo de potencia decrece de los 250 kW hasta un valor de 120 kW.

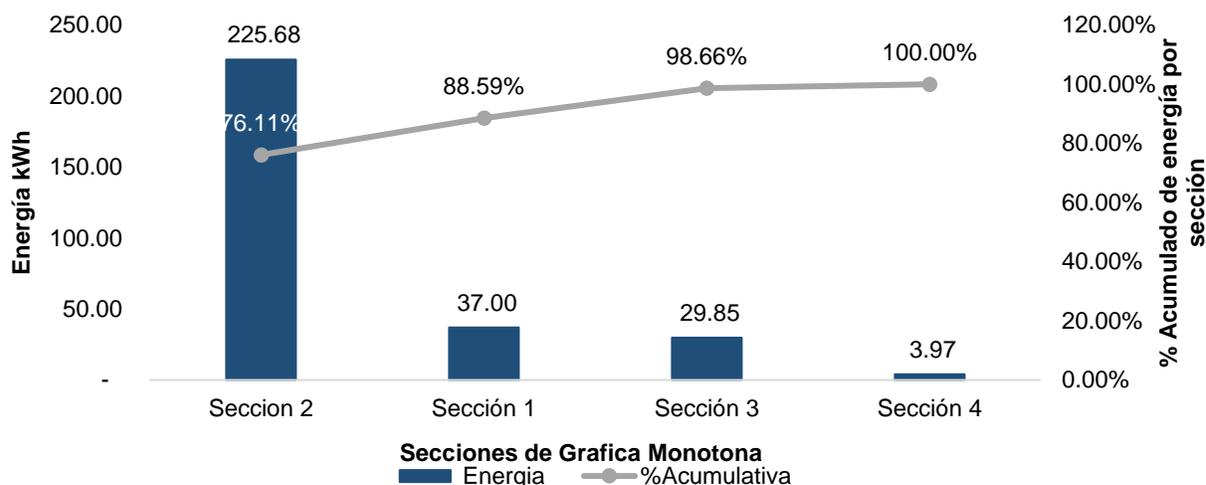
La **sección 4**, comprueba un estatus de la planta a una producción bastante baja, casi a cero, ya que los consumos que logramos apreciar en el gráfico pertenecen a equipos que por normativa deben estar en operación (tales como algunos aires acondicionados o bombas de proceso). El rango de potencias que puede verse en el gráfico comprende desde los 120 kW (en decremento) hasta los 62.5 kW.

Cabe mencionar, el estatus anterior fue monitoreado en horas nocturnas de producción donde es lógico comprobar que la carga de todo el sistema se reduce al no estar a un 100% de operación. También fue posible visualizar pequeñas muestras en 0 kW, lo cual se atribuye a bajas de energía momentáneos que se presentaron en los 30 días de medición.

Se realizó un gráfico de barras descriptivo donde podemos evidenciar el aporte porcentual por las secciones analizadas. En la sección 2 se presenta la mayor cantidad de energía consumida, con un 76.11% a lo largo del periodo de medición considerando que todos los equipos se encontraban operando en un régimen estable, es decir, que entre los 399 kW a los 250 kW se mantiene la potencia media de la planta.

La sección 1, tal como se pudo apreciar, demuestra el momento en que los equipos de sala de máquinas arrancan por lo que se perciben en carga plena todos los sistemas en un rango de potencias mayores a los 400 kW, representando porcentualmente un 12.48% de la energía consumida en el periodo de medición.

**Gráfico 4. Energía consumida por sección analizada**



*Fuente: Elaboración propia*

Para la sección 3, representa porcentualmente un 10.07% de la energía consumida, atribuyendo este consumo a un régimen de producción a baja demanda o periodos en que el personal de mantenimiento se encuentra en la preparación de equipos para iniciar la producción, como por ejemplo pruebas en bandas transportadoras, bombas que inician procesos de purificación y de aguas de proceso, entre otras.

Finalmente, la sección 4 con un aporte porcentual de 1.34% con potencias por debajo de los 120 kW, comprende equipos que tienen un régimen permanente de operación, es decir, su funcionamiento no depende de la producción de la planta ya que son equipos de refrigeración y ambientación de áreas (por ejemplo, bombas de agua dura para sanitarios). Cabe mencionar, este consumo no se estaría presentando siempre, sino que dependería del comportamiento de las operaciones en planta.

**Tabla 9. Resultados de la segmentación de la gráfica potencia monótona**

SECCIONES	ENERGÍA (kW)	% DE LA SECCIÓN	%ACUMULATIVA
Sección 2	225.68	76.11	76.11
Sección 1	37.00	12.48	88.59
Sección 3	29.85	10.07	98.66
Sección 4	3.97	1.34	100.00
<b>Totales</b>	<b>296.49</b>	<b>100.00</b>	

*Fuente: Elaboración propia en base a mediciones*

Para realizar un análisis más minucioso, se presenta el comportamiento energético de la planta en ciertos periodos de tiempo que pueden considerarse como etapas claves en la producción, considerando las áreas seccionadas previamente.

Ya se hizo mención sobre la razón por la cual se eligió el periodo de medición del 30/09/2019 al 30/10/2019, en efecto es cuando la producción de planta estuvo en su máxima capacidad, incluyendo pequeños periodos de no producción, idóneos para analizar el comportamiento habitual de toda la planta.

Estos periodos de no producción más que todo se dieron en algunos fines de semana, y a pesar que no presentan un consumo bien definido, son significativos para poder analizar el comportamiento de las cargas energéticas de la planta.

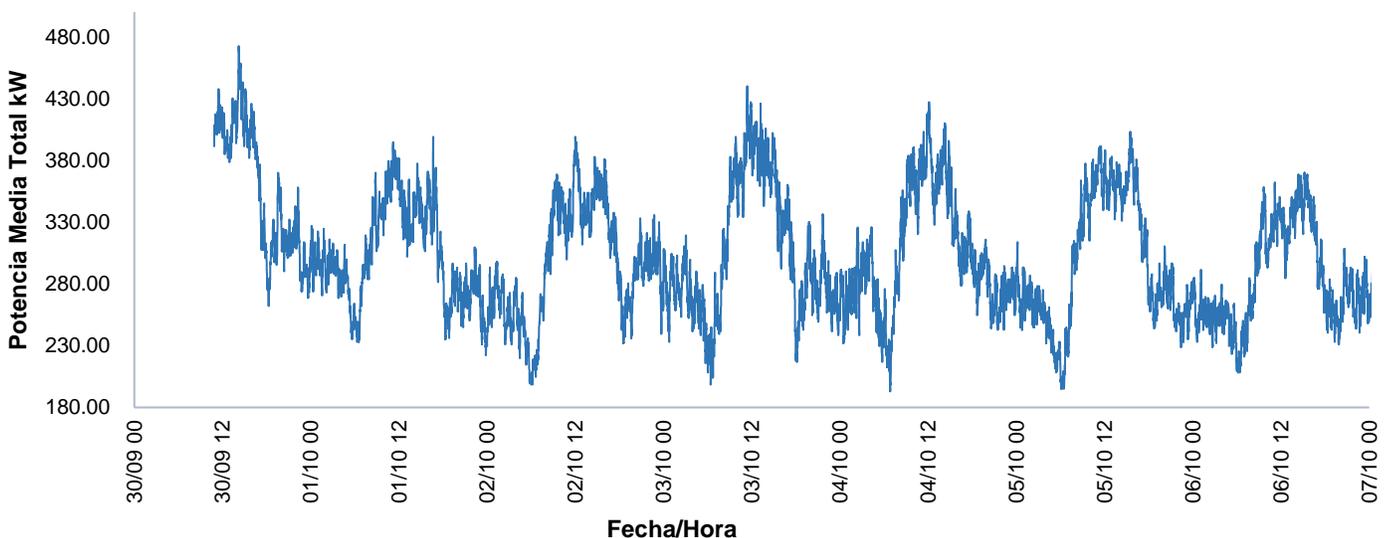
En el espectro energético mostrado en el gráfico 5, puede visualizarse el comportamiento de una semana de producción promedio en la planta de Laboratorios Biogalenic, desde el 30 de septiembre de 2019, hasta el 07 de octubre del mismo año. En el eje de las x, podemos ver los días de la semana y en el eje y, la potencia medida en kW.

El comportamiento energético que vemos reflejado en el gráfico 5, evidencia un funcionamiento promedio de los equipos y vemos que existe estabilidad en las cargas con demanda eléctrica también en el promedio, es decir, sin anomalías y/o perturbaciones en el sistema eléctrico. Al evaluar los resultados de la medición, estos consumos fueron puntualizados en horas matutinas de trabajo, cuando la demanda de producción se encuentra a un nivel óptimo, presentando un mayor consumo de potencia. En horas nocturnas, el consumo tiene una tendencia decreciente, tal y como lo visualizamos en los gráficos seccionados ya que la demanda de producción se reduce en cierto porcentaje.

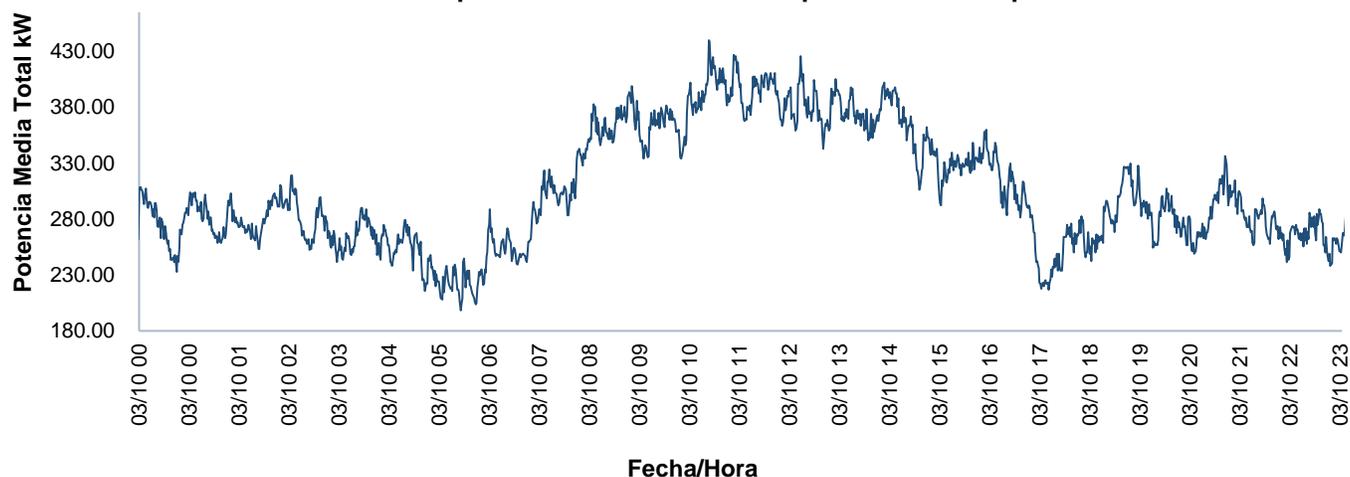
En gráfico 6, se presenta el comportamiento eléctrico de un día ordinario de producción, donde puede verse claramente dos periodos de producción a un nivel mínimo: entre las 5:00am hasta las 6:30pm y entre las 6:00pm y las 7:00pm. Esto es justificable, debido a que en esos lapsos de tiempo se dan los cambios entre turnos y la operatividad de equipos y maquinas disminuye en lo que todo se organiza al momento de iniciar turnos de producción.

Si siguiendo con el análisis (gráfico 6), vemos que a partir de las 9:00am se tiene aumentos crecientes de carga y se mantiene en un régimen estable hasta las 4:00pm, hora en que todo el recurso humano de carácter administrativo que hace uso de equipos de oficina tales como computadoras, impresoras, iluminación y aires acondicionados termina su jornada laboral.

**Gráfico 5. Comportamiento energético de una semana de producción promedio, en kW, septiembre-octubre 2019**



**Gráfico 6. Comportamiento eléctrico de la planta en un día promedio**



*Fuente: Elaboración propia a partir de auditoría energética en tablero principal de potencia*

Se presenta el comportamiento de la potencia obtenida en el periodo del 25/10/19 hasta el 28/10/19 (gráfico 7 y 8). Cabe mencionar que el día 25 no se llevó a cabo actividades de producción en planta, haciendo únicamente labor administrativa, por lo que la producción de la planta finalizó en dicha fecha a las 5:00am, observando que a lo largo del día el consumo es controlado y demandado únicamente por equipo de oficinas, iluminación y aires acondicionados.

El rango de potencias que puede verse en el gráfico 7 comprende desde los 250 kW (en decremento) hasta los 100 kW. El gráfico anterior muestra únicamente el consumo administrativo del día en mención.

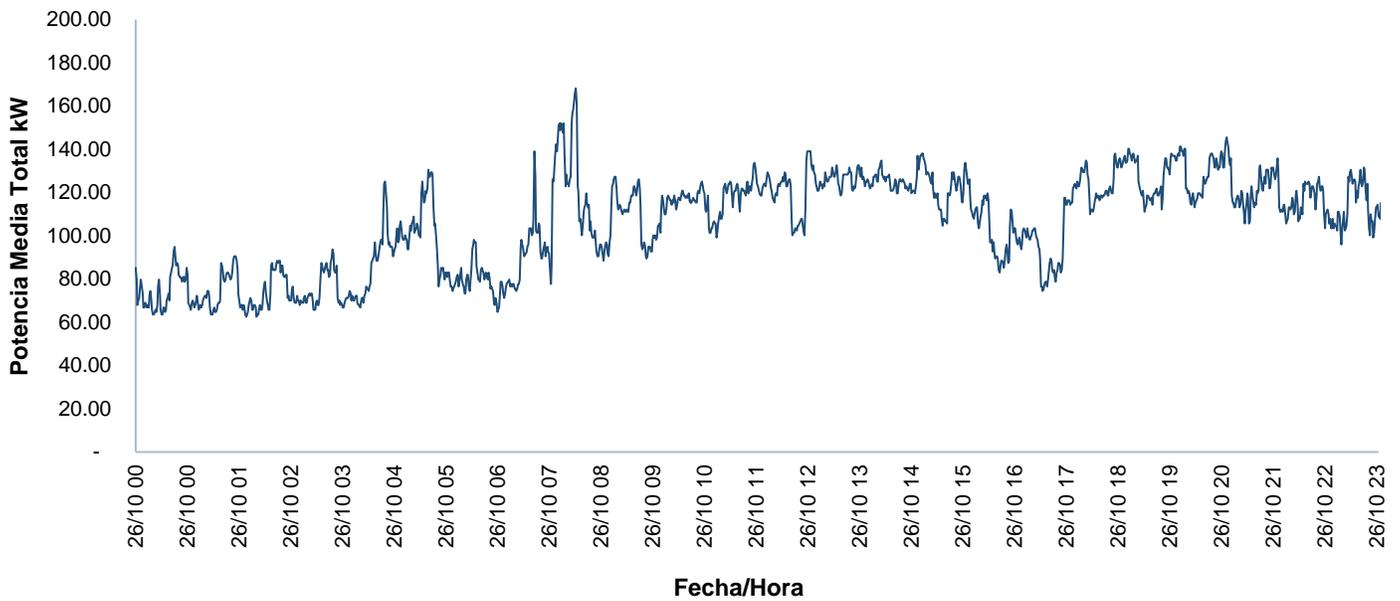
Analizando el comportamiento de carga eléctrica en un día inusual de la planta, se toma como ejemplo el 26 de octubre de 2019; en este día no hubo actividades de producción y tampoco actividades administrativas de manera significativa. El gráfico 8 nos muestra el consumo de potencia eléctrica para ese día, permitiendo visualizar cargas menores a los 80 kWh. Verificando las mediciones, se observa dicho consumo en horas de la madrugada, haciendo referencia a que los equipos de refrigeración chillers, tienen la función de mantener la temperatura en algunas áreas para el cumplimiento de normativas productivas en el área farmacéutica las 24h del día, sin importar si hay o no producción. Puede verse como el comportamiento de dichos equipos varía su demanda dependiendo la temperatura que acontece a lo largo del día.

**Gráfico 7. Consumo de potencia, día 25 de octubre de 2019**



*Fuente: Elaboración propia a partir de auditoria energética en tablero principal de potencia*

**Gráfico 8. Consumo de potencia, día 26 de octubre de 2019**



*Fuente: Elaboración propia*

### 2.3.6 Sistemas eléctricos y potencia:

Parte del estudio realizado a la situación actual de Laboratorios Biogalenic, se llevó a cabo un análisis termográfico para examinar los centros de control de sistemas de bombeo y motores eléctricos que sean críticos para la operación de la planta. También se realizó un estudio termográfico a una de las calderas, tomando en consideración algunos de sus periféricos para verificar su estado y operación ya que con el tiempo tienden a la degeneración y pérdida de rendimiento.

Las características técnicas y de configuración de la cámara se muestran en la tabla 10.

**Tabla 10. Características técnicas de cámara Fluke Ti200**

<b>CARACTERÍSTICAS CÁMARA TERMOGRÁFICA</b>	
Fabricante	Fluke
Modelo	Ti-200
Tamaño del sensor IR	200x150
Rango de calibración	-20°C a 90.0°C
N° de serie	Ti200-13110469
Transmisión	100%
Emisividad	0.95
Temperatura de fondo	22.0 °C

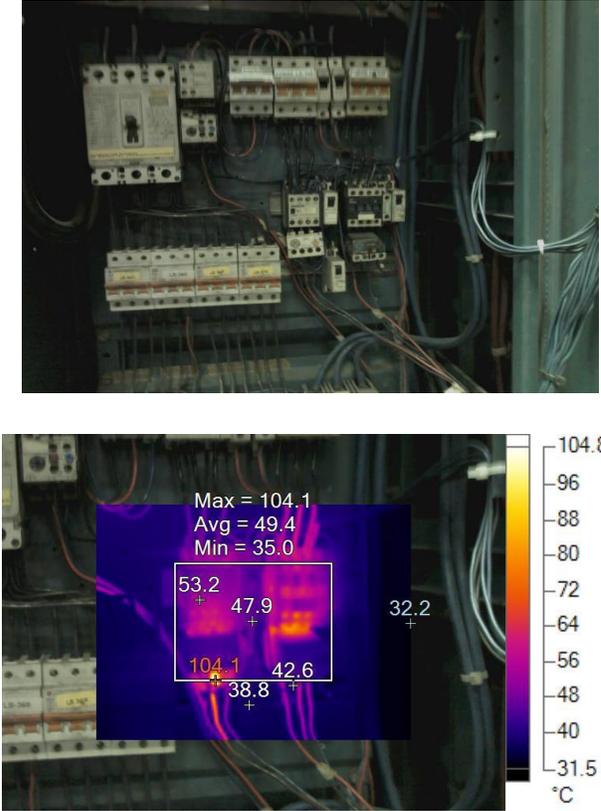
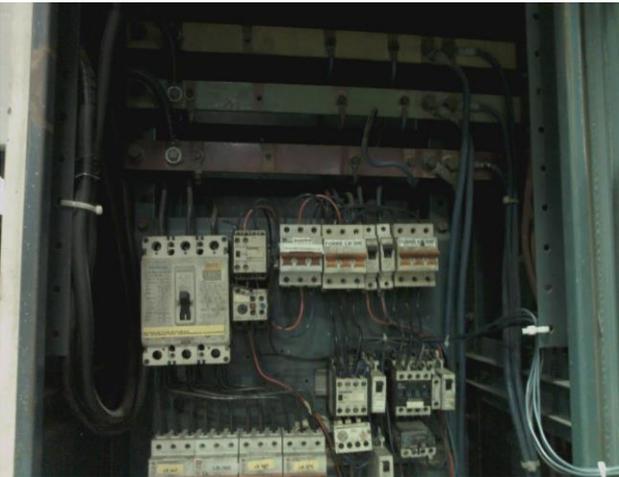
*Fuente: Elaboración propia en base a mediciones*

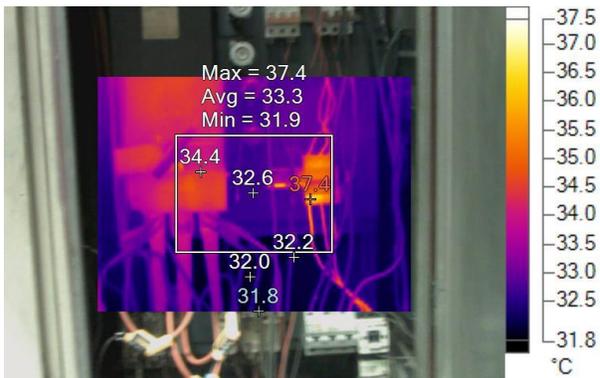
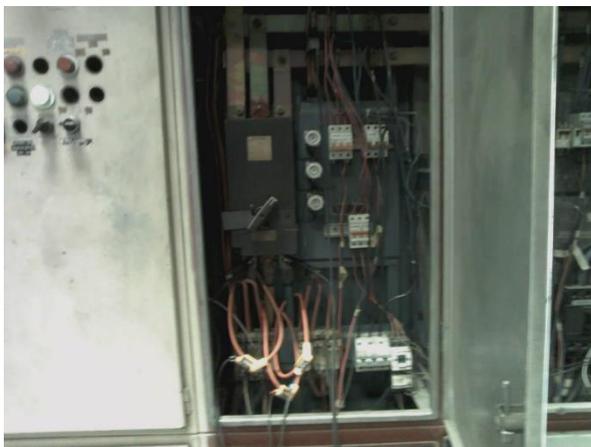
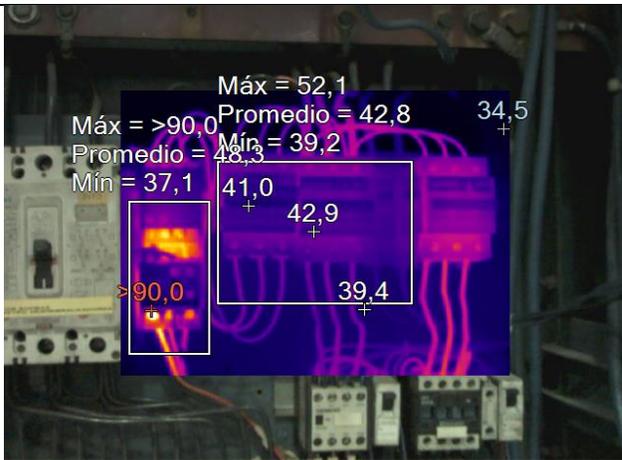
Con el fin de poder brindar recomendaciones tangibles para la situación actual, **el estudio realizado tiene el siguiente alcance:**

- Detección de fallos en las conexiones y desequilibrios en las fases para distintos puntos.
- Detección de sobrecargas en líneas.
- Localización de problemas en protecciones eléctricas.
- Detección de sobrecalentamiento en motores, periféricos de caldera y piezas mecánicas.

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 11, presentando imagen real e imagen termográfica.

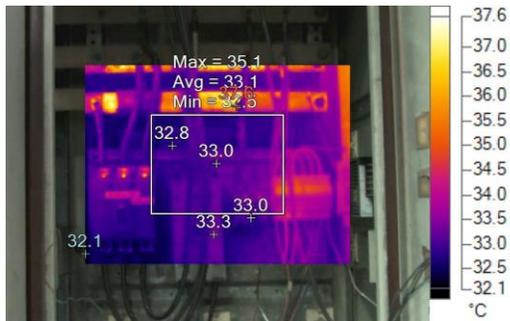
Tabla 11. Resultados obtenidos en realización de análisis termográfico, Laboratorios Biogalenic

ANÁLISIS TERMOGRÁFICO	
IMAGEN	COMENTARIOS
	<p>El <i>tablero 3.1 (sección I)</i> contiene la etapa de control y potencia de las bombas de procesos de agua desmineralizada (4 unidades).</p> <p>Se visualiza una temperatura promedio de 43.5°C, una mínima de 33.9°C y se focalizan puntos hasta de 104.1°C en las fases de dos de los contactores.</p> <p>Esto da un indicio a que existe sobrecarga en el sistema eléctrico de este control o un desequilibrio de fases.</p>
	<p>El <i>tablero 3.1 (sección II)</i> contiene la etapa de control y potencia de las bombas de procesos de agua desmineralizada (4 unidades).</p> <p>Podemos observar que un relé de sobrecarga y un interruptor de 3 polos presentan sobrecalentamiento hasta de una temperatura de 90°C; el dimensionamiento de estas protecciones no es el adecuado para las cargas de los equipos que controlan o podría deberse a un desequilibrio o desbalance en las fases del circuito.</p>



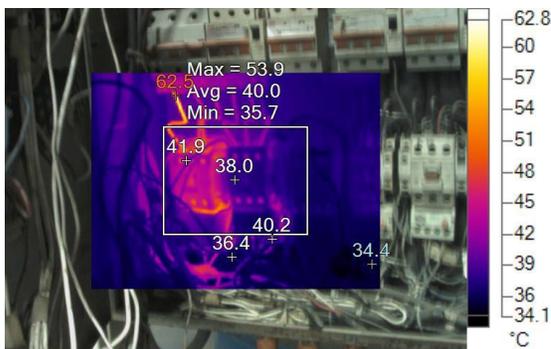
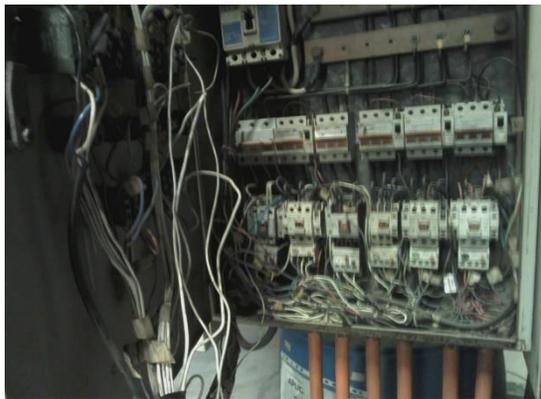
Tablero de control para torres de enfriamiento de agua que retorna de los intercambiadores térmicos del proceso de mezcla y enfriamiento de bolsas de suero después del proceso de esterilizado en autoclaves (se encuentra dentro del tablero 3.1, ya que es una celda de carga).

El tablero con todas las protecciones correspondientes, entre ellas un breaker principal y guardamotors/contactores para equipos de proceso se encuentra a una temperatura de 33.3°C en promedio; puede considerarse estable para la protección de operación en los equipos correspondientes.



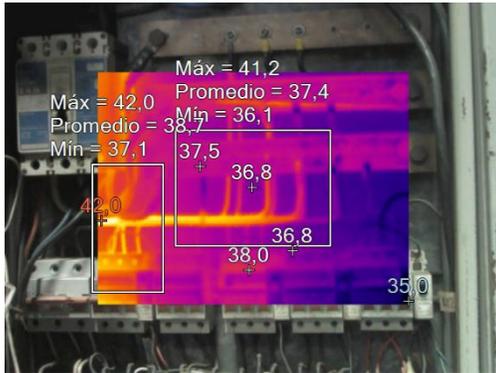
Tablero de control principal para fuerza de equipos compresores de aire y secadores de aire.

El tablero con todas las protecciones correspondientes, entre ellas un breaker principal y guardamotors/contactores para equipos de proceso se encuentra a una temperatura de 33.1°C en promedio; puede considerarse estable para la protección de operación en los equipos correspondientes.



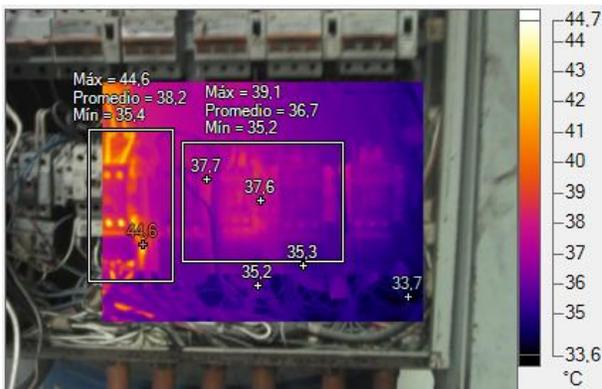
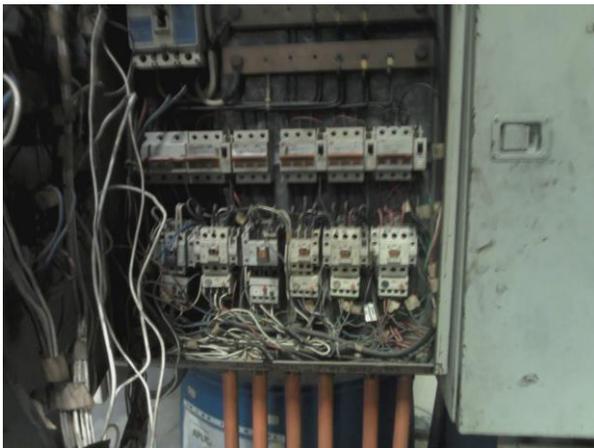
Tablero para fuerza y control de bombas para agua de enfriamiento de proceso de esterilización, provenientes de los intercambiadores para autoclaves.

El tablero contiene todos componentes eléctricos para fuerza (contactores, relés térmicos de protección) y controles (autómatos) necesarios para el funcionamiento y operación de bombas. Puede observarse que el tablero tiene un panorama general de temperatura bastante bueno, a excepción de un punto caliente de 62.5°C, el cual puede atribuirse a una conexión inadecuada que necesite reapretarse.



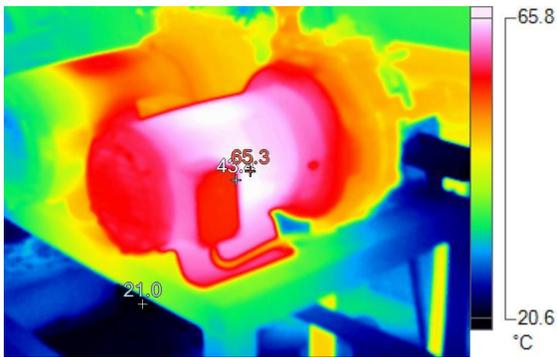
Tablero para fuerza y control de bombas para agua de enfriamiento de proceso de esterilización, provenientes de intercambiadores para las autoclaves.

Este tablero incluye componentes eléctricos de protección y fuerza. Podemos observar puntos calientes en barras y conductores, posiblemente por problemas de desequilibrio o desbalance en alguna de sus fases; también puede atribuirse a una mala conexión. La temperatura máxima que alcanza es de 42°C



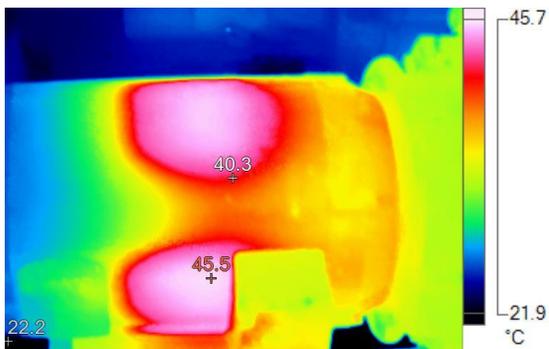
Tablero para fuerza y control de bombas para agua de enfriamiento de proceso de esterilización, provenientes de intercambiadores para las autoclaves.

Este tablero incluye componentes eléctricos de protección y fuerza. Podemos observar puntos calientes en barras y conductores, por problemas de desequilibrio o desbalance en fase 1 de voltaje (información obtenida de las mediciones); también puede atribuirse a una mala conexión. La temperatura máxima que alcanza es de 45°C.



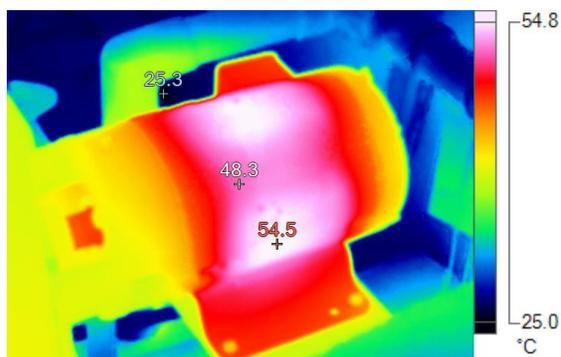
Bomba de *alimentación de agua dura*, utilizada para servicios sanitarios en planta.

Se observa una temperatura de 65.3°C a lo largo de la carcasa del motor. Esto puede estar ocurriendo por un deficiente proceso de enfriamiento del motor, obstrucciones en el ventilador o sobrecarga de operación en el mismo. Incluso podemos diagnosticar estas fallas por un mal diseño en el sistema de tuberías de la bomba, ocasionando un mayor esfuerzo o sobrecarga en el motor y, por ende, aumento en la temperatura de operación del mismo.



Bomba *LB369* para proceso de desmineralizado.

Para la bomba mostrada en la imagen, vemos puntos calientes de hasta 45.5°C. Se puede diagnosticar que el motor en cuestión presenta síntomas de sobrecarga en sus bobinas, concentrando cierta cantidad de calor en el centro de la carcasa del motor. De existir una falla en el sistema de enfriamiento del motor puede llegar a recalentar todo el cuerpo del motor.



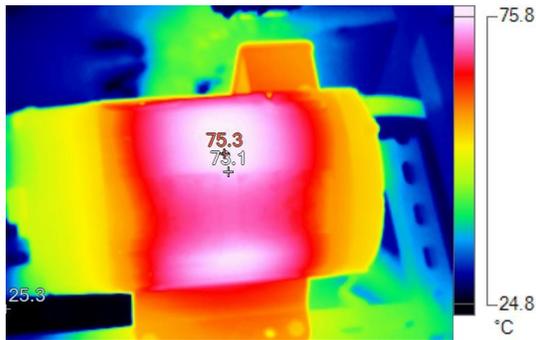
Bomba de *intercambiadores de temperatura de agua en el proceso de mezcla de solución* del área PLUMAT (área automatizada).

Al tener un funcionamiento de forma permanente en el proceso productivo, esta bomba tiene que mover grandes volúmenes de agua para completar su función. Vemos puntos calientes a lo largo de toda la carcasa con temperaturas de 54.5°C. Podemos diagnosticar que estas fallas son producidas por una sobrecarga de operación o un mal diseño en el sistema de tuberías de la bomba, ocasionando un mayor esfuerzo en la capacidad del motor y, por ende, aumento en la temperatura de operación del mismo.



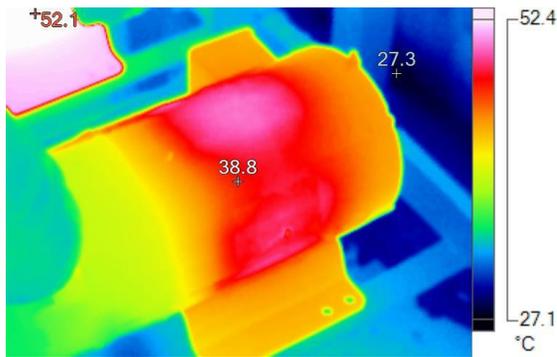
Tablero de control y potencia de bombas de *intercambiadores del proceso de mezcla* de las líneas PLUMAT (líneas automatizadas de proceso) y de las líneas manuales (Línea 1 y Línea 2)

Este tablero comprende todos los dispositivos eléctricos de fuerza y control para las bombas de los intercambiadores de mezcla, mostradas en la fila anterior. En efecto, es comprobable la sobrecarga en el desempeño de los equipos al ver sus dispositivos de arranque y protección con puntos calientes de hasta 55.2°C. Además de eso, puede considerarse un mal acoplamiento o conexión del cableado entre los dispositivos.



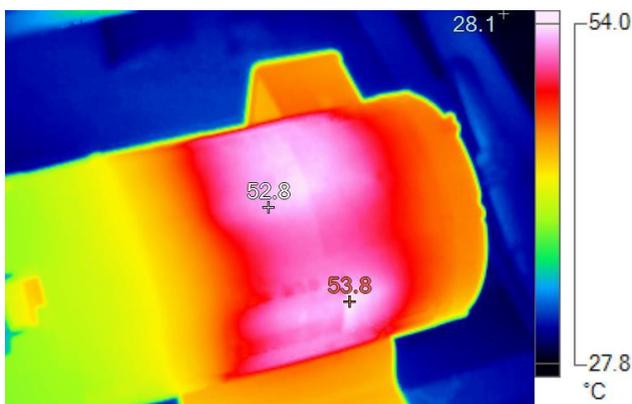
Bomba de proceso para agua de *intercambiador de calor* en etapa de esterilizado (1).

Similar a los casos anteriores, se muestra un perfil térmico con puntos calientes de hasta 75.3°C diagnosticándose por sobrecargas, baja disipación de calor o protecciones inadecuadas al ser equipos muy antiguos a los que se les demanda mayor desempeño del encontrado en placa.



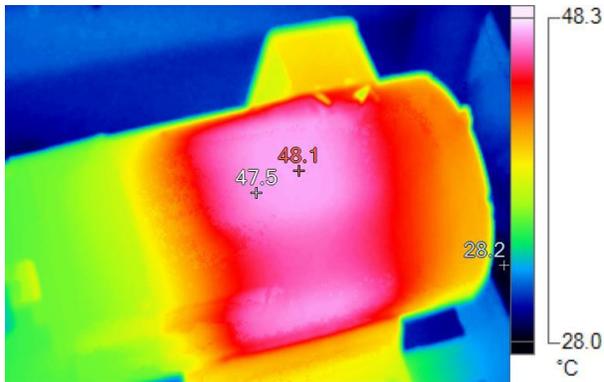
Bomba de proceso para agua de *intercambiador de calor* en etapa de esterilizado (2).

Esta bomba, a diferencia de la anterior, no presenta una temperatura de operación extrema. El incremento hasta de 38.8°C puede deberse a falta de limpieza o escasas acciones de mantenimiento ya que su funcionamiento y operación está en el promedio.



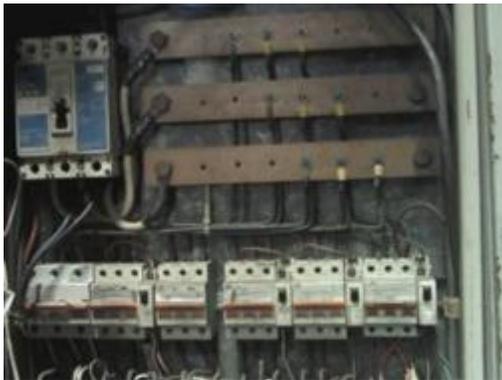
Bomba de proceso para agua de *intercambiador de calor* en etapa de esterilizado (3).

Esta bomba presenta puntos calientes en temperaturas de 54°C, no es una cuestión alarmante, pero en la cual podemos establecer un diagnóstico de sobrecarga por operación inadecuada, mal diseño en el sistema de tuberías de la bomba, ocasionando aumento en la temperatura de operación del mismo e incluso problemas de alineación.



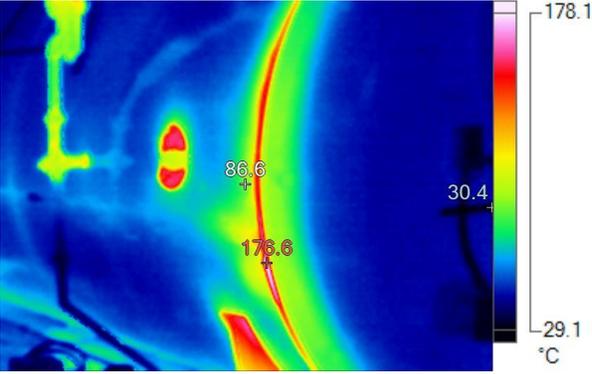
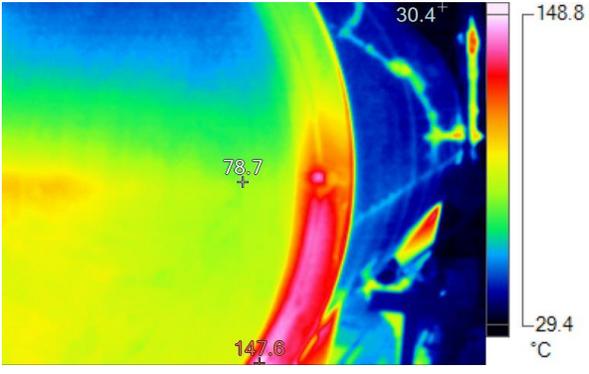
Bomba de proceso para agua de *intercambiador de calor* en etapa de esterilizado (4).

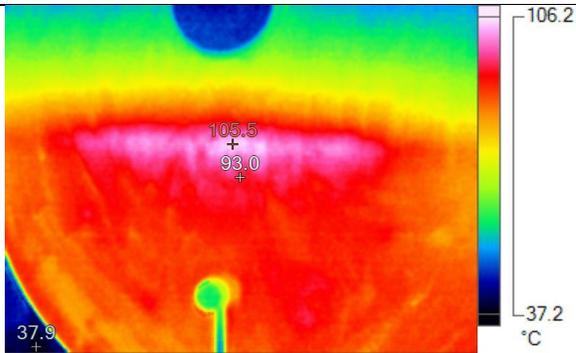
Esta bomba presenta puntos calientes en temperaturas de 48.1°C, no es una cuestión alarmante, pero en la cual podemos establecer un diagnóstico de sobrecarga por operación inadecuada, mal diseño en el sistema de tuberías de la bomba, ocasionando aumento en la temperatura de operación del mismo e incluso problemas de alineación.



Tablero de *potencia y control* de bombas de enfriamiento en proceso de esterilizado.

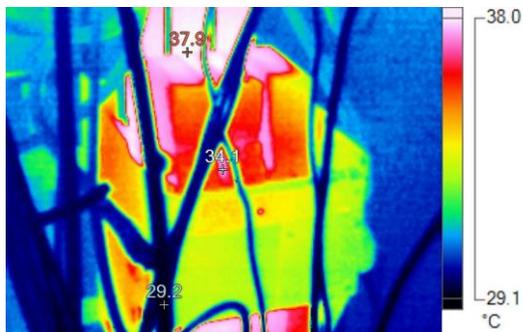
Este tablero contiene todos los elementos de control (luces, selectores, autómatos) y fuerza (contactores y relés de sobrecarga) para el control de los motores de bombas en el proceso de esterilización de producto. Vemos algunas secciones de los mismos con temperaturas entre los 30°C y 40°C, con tendencia al sobrecalentamiento. Haciendo la inspección visual, en efecto, existe deficiencia en el cableado de la carga hacia algunos de los dispositivos ocasionando dicho problema de calentamiento. No son temperaturas alarmantes más debe tenerse cuidado para evitar cortocircuitos.

	
  	<p>Generación de vapor principal para <i>procesos de esterilización</i>.</p> <p>La empaquetadura de caldera se encuentra desgastada, aislando de forma ineficiente la temperatura dentro de la caldera, generando pérdidas de calor por el perímetro de sus compuertas. Se observan puntos calientes con temperaturas hasta 176° C.</p> <p>En la compuerta trasera la temperatura sobrepasa los 105°C, por lo que se diagnostica un <i>aislamiento refractario deficiente</i> haciendo que la superficie denominada espejo, permita fugas de calor.</p> <p>La parte trasera de la caldera es uno de los puntos clave, dado que permite el flujo de los gases por los pasos de la caldera. Estos gases se enfrían en el intercambio de calor que se genera en dicha caldera.</p> <p>Las fugas de calor están en todo el cuerpo de la caldera, como puede observarse en las bases de la caldera, que presentan temperaturas de hasta 137° C, el aislamiento del cuerpo de la caldera se evidencia desgastado.</p>



En los visores tortuga, se constata el desgaste del aislamiento térmico. No se tiene aislamiento alguno, por lo que las fugas de calor son las más altas llegando a temperaturas de 163° C.

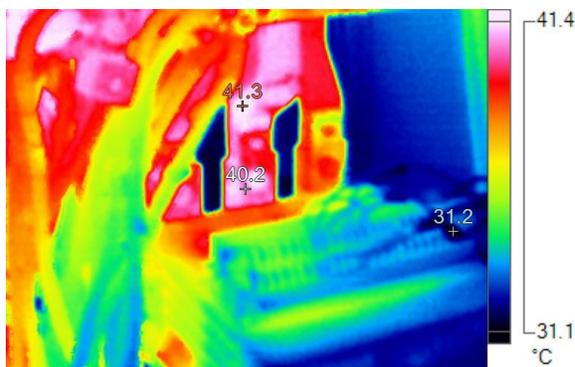
Toda pérdida de calor dentro de la caldera hacia el exterior, aumenta el tiempo que el agua necesita para alcanzar el punto de ebullición y así generar vapor.



Interruptor *Siemens de 1000A* ubicado en *panel 3*.

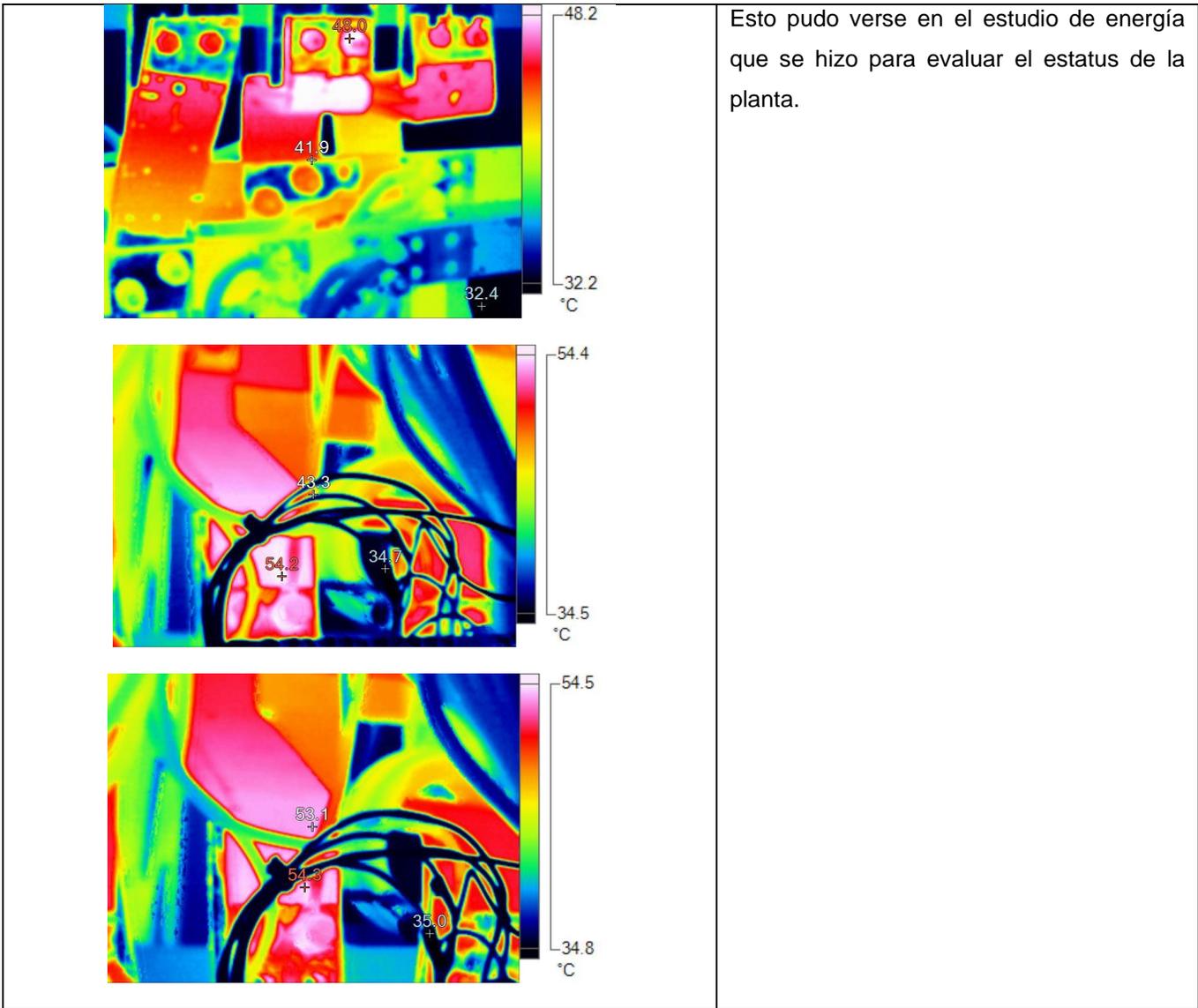
Este interruptor es el MAIN principal de los circuitos de control de sala de máquinas. Vemos que existen ligeros puntos calientes a temperaturas de 40°C generados por desbalances en las fases de alimentación por el tipo de cargas que se manejan y/o falsos contactos.

Esto pudo verse en el estudio de energía que se hizo para evaluar el estatus de la planta.



Interruptor principal de *2000A* ubicada en *panel 1*.

Este interruptor es el MAIN principal de los circuitos de control de sala de máquinas. Vemos que existen ligeros puntos calientes con temperaturas superiores a los 40°C generados por desbalances en las fases de alimentación por las cargas que maneja y/o falsos contactos.



Fuente: Elaboración propia; imágenes obtenidas de la cámara termográfica

La realización de este estudio termográfico, nos permitió detectar indicativos de falla en algunos equipos de mucha importancia para el macro proceso de Laboratorios Biogalenic. Esta técnica de mantenimiento predictivo es muy útil para evitar problemas que puedan impedir la operación o el correcto funcionamiento de los equipos, en este caso, para la sala de máquinas, es primordial que los dispositivos de fuerza y control se encuentren en las mejores condiciones, evitando paros inesperados por desbalances, falsos contactos, sobrecargas o fallas que serían imposibles detectar por simple inspección; también, se pudo diagnosticar que los equipos de bombeo para proceso están vulnerables a fallas por calentamiento, transmisión y alineamiento, válvulas con operación inadecuada y otros debido al desgaste o mala operación de sus componentes internos.

Para el caso de la caldera, se pudo constatar a partir del estudio, que existen problemas con el aislamiento térmico y material refractario, al ver que la distribución de la temperatura

en todo el volumen de la caldera no es el adecuado, ocasionando pérdidas significativas de energía que pueden verse traducidas en la economía de la planta.

## **CAPITULO 3: RECOMENDACIONES GENERALES PARA LOS SISTEMAS ANALIZADOS**

---

A partir de las observaciones realizadas en las áreas de análisis, es posible puntualizar recomendaciones que contribuyan y garanticen el buen funcionamiento de equipos y máquinas, en función del ahorro energético. Estas recomendaciones son enunciadas por área de estudio:

### **3.1 Sistemas de bombeo**

Al tener un sistema de succión común, se sugiere poseer una tubería de succión con mayor diámetro; lo que previene es el fenómeno de cavitación, ya que de esta manera se garantiza el flujo laminar que entra a la boca de succión en la bomba. Por ejemplo, el manifold de succión tiene una dimensión de 2" y se sugiere aumentar a 3" por lo expuesto anteriormente.

Para poder aumentar la eficiencia en el mantenimiento de las bombas, es requerida la instalación de válvulas de corte en succión y descarga. La selección de éstas es en tipo mariposa, ya que también este tipo de válvulas permite la regulación de flujo y presión cuando el funcionamiento de la bomba es por arranque directo.

La instalación de válvulas check en succión y descarga, garantiza que la bomba mantenga el cebado y no existan problemas de cavitación por pérdida de flujo o comúnmente conocido como trabajo en seco de la bomba.

La instalación de la instrumentación adecuada, de acuerdo a la capacidad de suministro de flujo y presión de la bomba, garantiza la correcta operación en los parámetros de diseño de la bomba.

Para los sistemas de bombeo en general, se sugiere lo siguiente, de acuerdo a su funcionamiento y operación:

- Bombas de llenado/vaciado de tanques: implementar controles de nivel con el propósito de un funcionamiento automático, generando una gran capacidad de ahorro energético con la activación y desactivación oportuna de las bombas.
- Bombas de proceso: implementar un control automático de presión constante a lazo cerrado con variadores de frecuencia. El uso de tecnologías que permitan automatizar el funcionamiento de los sistemas de bombeo, incorpora funciones de ahorro energético que optimizan y garantizan la operatividad del sistema, así como la mantenibilidad al ser un sistema completamente automático.

### **3.2 Sistemas eléctricos y potencia:**

En la industria es primordial contar con adecuadas instalaciones eléctricas ya que son la principal causa de pérdidas de energía que incrementan el consumo de electricidad. En la situación actual de Laboratorios Biogalenic, se detecta una gran cantidad de problemas en

las instalaciones eléctricas de los tableros y algunos sistemas de potencia, tanto al momento de realizar la medición como en la inspección visual y termografía.

Es importante que nuestras instalaciones sean seguras y confiables, reduciendo al mínimo la probabilidad que ocurra un accidente que ponga en riesgo la vida y salud del personal operativo.

Las recomendaciones ante la situación actual de las instalaciones, tomando en cuenta que se ha desarrollado un modelo de plan de mantenimiento que atiende necesidades básicas, se basa en los siguientes puntos:

- Poseer un buen diseño, bien estructurado y dimensionado que cumpla con la demanda instalada.
- Personal técnico calificado y certificado al momento de operar la instalación.
- Equipos y materiales adecuados, de alta calidad, garantizando operabilidad y durabilidad.

A continuación, se menciona una serie de recomendaciones básicas que el personal de mantenimiento en Laboratorios Biogalenic puede considerar para obtener cambios inmediatos:

**a) TABLEROS ELÉCTRICOS:**

- Verificar en cada uno de los tableros los equipos de protección instalados: en este punto, es de gran importancia revisar minuciosamente las diferentes cargas eléctricas que manejan los equipos como breakers principales, contactores, relés de sobrecarga y guardamotors, calibres de los cables de conexión y alimentación eléctrica, con el fin de garantizar que los rangos de protección estén en los niveles apropiados.
- Ordenar y etiquetar el cableado de conexión eléctrico para facilitar la identificación y dirección de dichas conexiones.
- Verificar la operación y funcionamiento de protecciones como breakers, contactores, relés de protección y guardamotors; si al caso este no estuviera funcionando adecuadamente, es necesario redimensionar y reemplazar.
- Realizar los respectivos diagramas eléctricos de todos los tableros: no se tiene información de las conexiones e incluso no existe la rotulación respectiva sobre a qué equipos finales corresponde la operación de dichos tableros. Esto facilitará, ante cualquier eventualidad, el cambio de dispositivos al ser necesario y aportará en gran medida al momento de implementar un plan de mantenimiento.
- Limpieza y reapriete de todas las conexiones, verificando estado de cables, tornillerías, láminas de contactos y todos los elementos involucrados en la conexión eléctrica.

## **b) PERIFÉRICOS DE SISTEMAS DE BOMBEO**

Tomando como base la implementación de mantenimientos preventivos y predictivos expuestos en la estructura del modelo de gestión a implementar, podemos considerar algunas recomendaciones para garantizar la correcta operación de los equipos.

En la definición de la situación actual, se identificó que la mayoría de equipos eléctricos que comprenden la sala de máquinas son motores de corriente alterna, tanto para las bombas de proceso como en bombas de alimentación de agua en la caldera, por lo cual se proponen las recomendaciones siguientes:

- Hacer un inventario y revisión de los motores eléctricos de sala de máquinas, identificando condiciones físicas y de operación; de esta forma, se puede tener datos específicos de los mismos, tales como rodamientos, grasas, ventiladores o algún accesorio que necesite para su operación.
- Realizar un estudio de la resistencia de aislamiento de los motores; muchos de éstos, tienen años de operación e incluso han pasado por procesos de rebobinado. Debe evaluarse si el motor está operando en sus parámetros eléctricos permitidos para considerar si está dimensionado adecuadamente o requiere un nuevo dimensionamiento o reemplazo.
- Llevar a cabo una jornada de mantenimiento físico: esto está directamente relacionado a la limpieza exterior del motor y los espacios contiguos, a manera de asegurar un correcto flujo de aire para el enfriamiento del motor y condiciones ambientales adecuadas para su operación.
- Verificar acoplamientos entre bombas y motores, fugas en sellos mecánicos o la forma de transmisión de potencia, así como también vibración o alineamiento. Al tener estos aspectos en las condiciones adecuadas, además de garantizar una operación eficiente, se asegura la eficiencia energética de estos equipos.
- En general para estos equipos, es primordial hacer una revisión interna de sus componentes, verificando que no exista la presencia de humedad, aceites o grasas, generado por la operación incorrecta o falta de acciones de mantenimiento a nivel preventivo.
- Revisar empalmes de conexión eléctrica desde tableros hacia equipos finales, en este caso motores, ya que una mala conexión puede generar chispas y calor, pérdidas de energía (traducido a aumentos en el consumo energético) o un riesgo de electrocución.

### **3.3 Sistemas de refrigeración de oficinas y áreas de producción:**

Durante el mes de octubre se realizó la auditoría eléctrica de consumo en sala de máquinas de Laboratorios Biogalenic, presentando un comportamiento variado en días de producción completa, días de solo trabajo administrativo sin producción y planta sin operación o paro completo. Con estos resultados podemos centrarnos se analizan los días de operaciones con actividades propiamente administrativas con cero producción y operación en planta.

### 3.3.1 Operaciones administrativas

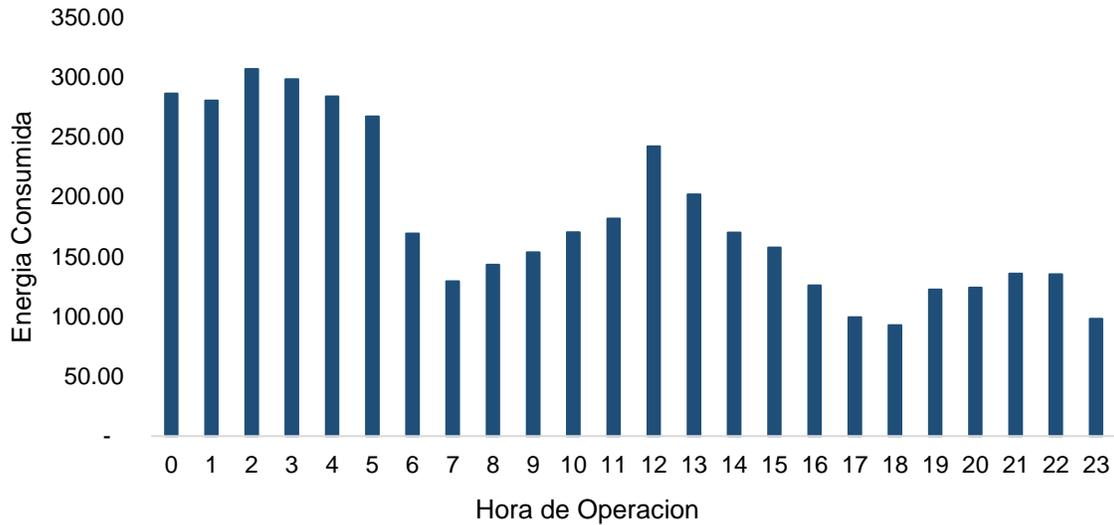
Con el apoyo de la información mostrada en el gráfico 9 *correspondiente a la línea de tendencia de los consumos de potencia correspondientes a un día de operaciones administrativas*, se construye el gráfico de energía consumida vs. hora de operación, teniendo las observaciones con los datos mostrados a continuación.

**Tabla 12. Tabulación de datos, energía consumida vs. hora de operación, área administrativa**

HORA	ENERGIA (kWh)
0	286.44
1	280.56
2	306.91
3	298.55
4	284.07
5	267.30
6	169.31
7	129.41
8	143.25
9	153.80
10	170.62
11	181.82
12	242.46
13	202.25
14	170.19
15	157.77
16	126.15
17	99.52
18	92.89
19	122.47
20	124.25
21	135.81
22	135.32
23	98.12

*Fuente: Elaboración propia en base a mediciones de carga energética para un día inusual de producción en planta*

**Gráfico 9. Datos de consumo obtenidos por hora de trabajo administrativo, Laboratorios Biogalenic**



*Fuente: Elaboración propia en base a análisis de mediciones de carga energética para un día inusual de producción en planta*

Con estos datos, se observa que desde las 00:00h hasta las 6:00h, hay consumo energético debido a la actividad de la planta que ha estado en producción en el turno 2 (horario nocturno); pero a partir de las 7:00h, se verifica que hay una elevación del consumo debido al inicio de actividades administrativas. En este lapso de tiempo, los consumos de energía eléctrica corresponden al uso de aires acondicionados de las áreas, ya que, en ese momento, las otras actividades van ralentizadas debido al cambio de turno.

Al hacer una comparación de la energía en el tiempo de producción, se pondera un valor de 92.89 kWh. Es obvio asegurar que en este lapso de tiempo la planta ya no está en producción y tampoco hay actividades de índole administrativas. En este punto, los equipos destinados a climatización y refrigeración consumen un promedio de 172 kWh; equipos destinados a trabajar de forma permanente en ciertas áreas de producción para cumplir normativas de buenas prácticas de manufactura en el área farmacéutica.

La tabla 13, ayuda a evaluar consumos más puntuales, identificando las cargas de energía máxima de 242.46 kWh y mínima de 126 kWh, en horas de finalización de actividades laborales.

**Tabla 13. Consumos puntuales de energía (kWh) al momento de finalizar labores**

HORAS DE ACTIVIDADES ADMINISTRATIVAS	ENERGÍA (kWh) CON EQUIPOS CONVENCIONALES	ENERGÍA (kWh) CON EQUIPOS INVERTER 50% DE AHORRO
7	129.41	64.70
8	143.25	71.62
9	153.80	76.90
10	170.62	85.31

11	181.82	90.91
12	242.46	121.23
13	202.25	101.13
14	170.19	85.09
15	157.77	78.88
16	126.15	63.08

Fuente: *Elaboración propia en base a análisis de mediciones energéticas de carga*

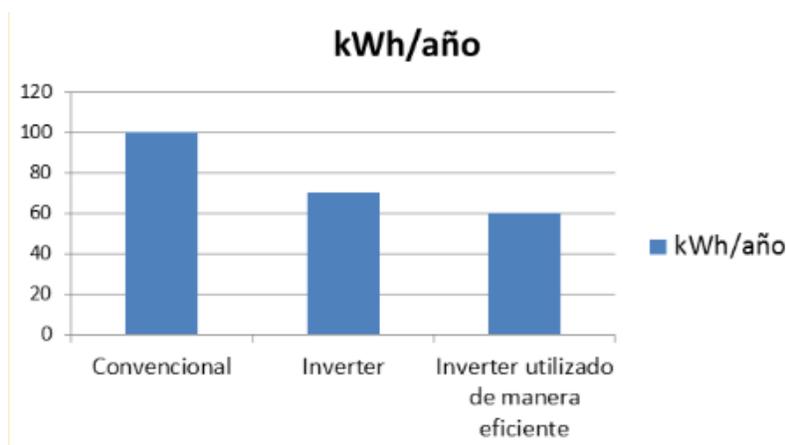
Es necesario puntualizar en este análisis para dar las recomendaciones respectivas a estos sistemas. En la planta, se cuenta con equipos de refrigeración muy tradicionales, que operan con gases considerados contaminantes y prohibidos en muchos países, tales como el R22<sup>1</sup>. Además, dichos equipos son antiguos, con más de 15 años de operación. Esto impacta en gran manera en el consumo energético de los mismos, ya que son equipos con tecnologías obsoletas y con eficiencias de desempeño muy bajas.

Por esta razón, se recomienda el cambio de estos equipos en su totalidad, considerando equipos con principios de ahorro energético y alta eficiencia, ya que se estima que puede obtenerse ahorros entre el 40% y 60%; podría partirse de equipos base de alta eficiencia tipo **inverter con un SEER de 16**, así como equipos centralizados con tecnologías VRF, que aumentaría en un 50% el ahorro de energía en comparación a los equipos actuales. (Consejo Nacional de Energía, 2017).

### 3.3.2 Equipos de refrigeración de áreas no producción:

Laboratorios Biogalenic, cuenta con equipos en planta que climatizan muchas áreas a nivel de producción, una labor que debe llevarse a cabo por normativa de buenas prácticas de manufactura, funcionando permanentemente para asegurar condiciones de temperatura y humedades relativas que son propias para la manufactura del producto.

**Gráfico 10. Comparación de ahorro de equipos inverter versus equipos convencionales.**



Fuente: *Gráfica tomada de USO EFICIENTE DE AIRES ACONDICIONADOS Y VENTILADORES CNE*

<sup>1</sup> ASIRCRA [Internet]. Madrid: Comercial. [citado 13 mayo 2019]. Disponible en: <https://asircra.com/blog/gases-refrigerantes-prohibidos-sustitutos/>

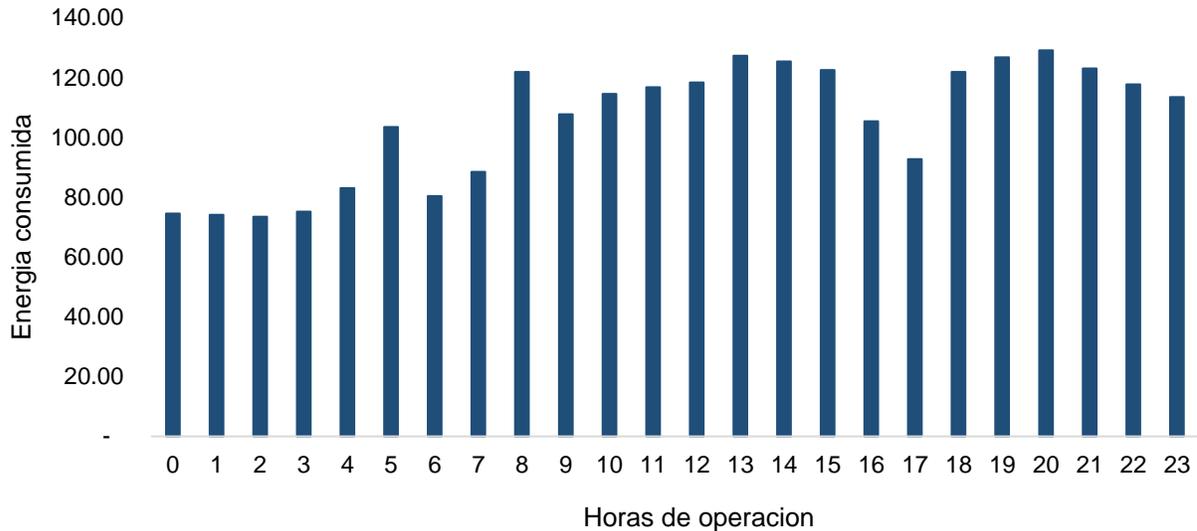
Haciendo referencia al gráfico 11 que comprende el consumo energético de un día específico en la planta (26 de octubre de 2019), el cual no contó con actividades de ninguna clase, se tabula la información obteniendo los resultados siguientes:

**Tabla 14. Energía consumida vs. hora de operación, en áreas NO producción**

HORA	ENERGIA (kWh)
0	74.59
1	74.16
2	73.53
3	75.22
4	83.07
5	103.47
6	80.45
7	88.45
8	121.91
9	107.71
10	114.56
11	116.83
12	118.37
13	127.30
14	125.38
15	122.58
16	105.47
17	92.78
18	121.91
19	126.78
20	129.21
21	123.04
22	117.72
23	113.48

*Fuente: Elaboración propia en base a mediciones de carga energética para un día inusual de producción en planta*

**Gráfico 11. Datos de consumo obtenidos por hora de trabajo área de NO producción, Laboratorios Biogalenic**



*Fuente: Elaboración propia en base a análisis mediciones de carga energética para un día inusual de producción en planta*

Con estos datos, se estima que los equipos en funcionamiento permanente tienen un consumo promedio (diario) de 105.75 kWh.

Puntualizando esta situación, es recomendable lo siguiente:

- En la actualidad los equipos de climatización en áreas de producción presentan una criticidad muy alta por el hecho que se deben garantizar que las condiciones de temperatura y humedad permanezcan dentro de los rangos establecidos, ya que estos equipos deben mantener en operación permanente. A gran escala, podría proponerse un cambio de los equipos por otros de tecnologías más recientes y con un alto porcentaje de eficiencia tales como chillers VRF. Para ello, tendría que realizarse un estudio planteando diferentes escenarios para el retorno de inversión, tomando como referencia los equipos instalados en las líneas automatizadas Plumet, con capacidad de 35T, compuestos de compresores convencionales. También, en dicho estudio, tendría que analizarse el sistema de ducterías para gases refrigerantes, ya que actualmente existe un diseño acoplado a espacios físicos y no a la necesidad del proceso y como parte de la recomendación es necesario rediseñar este sistema considerando que los gases refrigerantes no pueden tener contacto directo con el aire de recirculación.
- Hacer un ajuste de los parámetros de operación de los equipos cuando la planta no está produciendo ya que no se presenta la misma carga térmica, ante ese escenario, actualmente no existe un control de esta parametrización y los equipos operan a las condiciones de funcionamiento de cuando la planta está en producción. Con esto se evitan que los equipos trabajen innecesariamente generando cierto porcentaje de mantenibilidad ya que el desgaste de piezas y horas de funcionamiento tendría una

tendencia a reducirse. Tomando un ejemplo puntual de esta recomendación, se observa que en el día 26/10/2019, en los periodos de operación a horas de la madrugada se ve claramente el ON/OFF de los equipos.

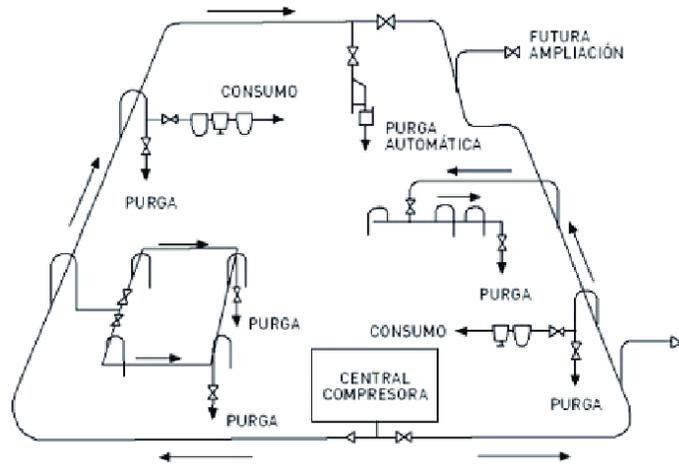
Para obtener un dato puntual de estos parámetros, se recomienda ejecutar un estudio para determinar el seteo adecuado de los parámetros que busque suplir las demandas mínimas de los equipos y mantenga las áreas en las condiciones ambientales requeridas.

### **3.4 Sistemas de aire comprimido:**

Para los sistemas de aire comprimido, con las observaciones detalladas en la situación actual, se proponen las siguientes recomendaciones:

- Identificar y reparar las fugas en su totalidad. En el desarrollo de esta investigación, se hizo un análisis por ultrasonido de algunas de estas fugas, tomando una muestra que arrojó un panorama altamente crítico de fugas en una sola sección del sistema de tuberías de aire; esto se comprobó al hacer el ensayo de medición de tiempos de carga/descarga, donde se obtuvo un alto nivel de fugas cuando la planta estaba completamente detenida.
- Aumentar el diámetro de las tuberías, en los puntos donde se requiera mayor demanda de aire comprimido. Tal es el caso del área de esterilización de producto, donde se encuentran concentrados la mayoría de equipos autoclaves.
- Con respecto a los tanques reservorios de aire, es necesario hacer un estudio de consumo que sirva de referencia para el dimensionamiento correcto de estos periféricos; actualmente, el desempeño de éstos no es óptimo y son requeridos para mantener reservas de aire y no como generadores de carga al mismo sistema de aire comprimido.
- El diseño actual de la red de aire comprimido se ha ido adaptando de acuerdo a la necesidad de suministro de aire en diferentes puntos, incluso generando tomas en lugares poco adecuados que atentan contra la seguridad del operador; es por ello que se recomienda diseñar una red de tipo anillo que se distribuya en puntos clave y de fácil acceso a los equipos que requieran suministro neumático y que, a su vez, posea tanques reservorios estratégicamente instalados.

**Imagen 11. Ejemplo de red neumática de planta estratégicamente diseñada**



*Fuente: IBERmaq (2020)*

En este punto es necesario considerar los sistemas de drenaje necesarios para poder purgar los excedentes de agua producidos por la condensación, incluyendo elementos filtrantes con drenos automáticos para el purgado de los tanques reservorios.

- Los condensados del aire comprimido son producidos por todos los compresores. Este residuo tiene que ser tratado adecuadamente antes de poder ser desechado al drenaje, por lo que se recomienda instalar un separador agua-aceite mediante un cabezal colector que entre en una conexión tipo cuello de ganso al cabezal; con esto se evitará el retorno de condensados, y como buena práctica, debe hacerse esta conexión mediante una manguera transparente para poder monitorear el correcto funcionamiento de las purgas.

**Imagen 12. Ejemplo de instalación correcta en el cabezal de entrada para evitar el retorno de condensados**



*Fuente: KAESER Compresores (2020)*

- Con la ayuda de un check list que proporcione una inspección rutinaria de la condición de operación en los cambios de turno, se espera que éstos sean una herramienta de mejora en el control de los mantenimientos o fallas recurrentes que los equipos compresores presentan. Por ello, es necesario se optimice la implementación de mantenimientos preventivos que garanticen evitar la indisponibilidad e ineficiencia en la operación de los equipos. Se sugiere la revisión y cambios periódicos de los filtros de los compresores y secadores en su área correspondiente en sala de máquinas.

Laboratorios Biogalenic cuenta con 4 compresores, responsables de suministrar el aire comprimido para el proceso productivo final. Con la evolución de la tecnología y automatización, es recomendable la instalación y el uso de equipo electrónico digital, a partir de la implementación de un sistema de control distribuido (DCS) que permita censar y monitorear las variables de proceso tales como presión, caudal, temperatura y otros parámetros importantes que influyen en el funcionamiento de los equipos; de esta forma, se estaría facilitando la toma de decisiones sobre la operación y mantenimiento de los equipos neumáticos que conforman la red.

En el mercado, existen sistemas de monitoreo remoto capaces de suministrar seguridad y eficiencia en los diferentes controles industriales, regulando y monitoreando las variables con el fin de optimizar al máximo su desempeño. La imagen 13 muestra un ejemplo de cómo se visualizan las variables en un sistema de esta clase.

**Imagen 13. Control maestro de red neumática de sistema de aire comprimido a nivel industria 4.0 de KAESER**



*Fuente: KAESER Compresores (2020)*

### 3.5 Sistemas para la generación de vapor:

Desarrollar un análisis adecuado en los sistemas de generación de vapor, siendo en este caso las calderas, Laboratorios Biogalenic puede encontrar una solución en el costo de operación y hacer más eficientes los recursos económicos y energéticos. Es claro que una caldera mal mantenida, generará un bajo rendimiento y un mayor consumo de combustible; es por esta razón, que existe la necesidad de desarrollar un plan de mantenimiento preventivo que permita desarrollar una labor de mantenimiento efectiva con respecto al desempeño de los equipos que componen este sistema.

Teniendo en cuenta las observaciones realizadas al momento de describir la situación actual, podemos establecer las siguientes recomendaciones:

- Realizar un análisis de emisión de gases en chimenea por cada mantenimiento preventivo con el fin de asegurar la calibración adecuada del quemador. En la medición de la eficiencia de combustión, se obtuvo valores de temperatura alrededor de los 170°C y una eficiencia del 87.7% según los datos del equipo de medición. Puede observarse que la eficiencia general de la caldera es buena, por lo que es recomendable realizar estas mediciones para asegurarse que la eficiencia al momento de quemar el LPG es la adecuada y así tener una comprobación de costos invertidos en la generación de vapor en términos de combustible, orientada al ahorro económico y energético.
- Con el fin de aprovechar el tanque de retorno de condensado y los beneficios que trae el uso de este en el proceso de generación de vapor, es recomendable la instalación de un sistema de medición de nivel para evitar la pérdida de retorno de condensado. Es altamente beneficioso, en términos de eficiencia, que la caldera aproveche el condensado (vapor que ha cambiado de estado a fase líquida) debido a su capacidad energética y, además, por ser vapor obtenido de agua previamente tratada o acondicionada. Con esta ventaja, se evitará el tratamiento continuo de agua dura, y el sobreesfuerzo de calentar esta desde la temperatura ambiente de agua de alimentación hasta la temperatura de condensación.
- La instalación de un economizador adosado a los generadores de vapor, es de gran ventaja debido al breve tiempo de amortización en los costos añadidos en el sistema. Esto traería como resultado el desarrollo de la temperatura de humos, ya que la refrigeración del gas alcanza valores entre los 80°C y 90°C, consiguiendo mejoras en el rendimiento de la caldera de hasta 5%, dependiendo la estabilidad y mantenibilidad de equipos y periféricos. Debe asegurarse que la caldera que cuente con el economizador, cuente con una alimentación continua de agua ya que con esto se logra la absorción continua del calor de los humos, sin provocar que haya aumentos de temperatura en el agua que pueda alertar las protecciones del sistema.
- Es necesario que oportunamente se revise el estado de los quemadores, ya que mantenerlo en óptimas condiciones garantiza rendimiento, seguridad y alta confiabilidad, así como también mayor precisión en la dosificación de aire y combustible; por ende, se obtendría un mejor rendimiento en el proceso de combustión.

## **CAPITULO 4: PROPUESTA DE MEJORA PARA LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO**

---

Una propuesta de gestión de mantenimiento deberá estar diseñada para incrementar la rentabilidad y capacidad de los diferentes sistemas integrados en la industria o servicio a tratar. Sin embargo, conocer las pérdidas por mantenimientos planificados de manera inadecuada, puede resultar una difícil tarea y es ahí, donde nace la oportunidad de implementar técnicas que permitan identificar la criticidad de los equipos y máquinas, que conlleven a la creación de planes de mantenimiento adecuados a la situación.

A partir del estudio realizado a los diferentes sistemas de interés, que conforman el área de producción de servicios en Laboratorios Biogalenic, se definen las áreas de estudio definidas en la descripción del trabajo:

1. Sistemas de aire comprimido (compresores de aire, secadores, tanques reservorios).
2. Sistemas de bombeo (bombas de proceso).
3. Sistema de generación de vapor (calderas y periféricos).
4. Climatización e iluminación.

Habiendo determinado estas áreas, se hace el cuestionamiento para la definición de cuál tendría que ser el mejor plan de mantenimiento para los componentes de cada sistema, basado en el análisis centrado en confiabilidad (RCM) y el ahorro energético. Por ende, se determinó la escala de criticidad, a partir de sus componentes y modos de funcionamiento en los diferentes equipos que integran dichos sistemas.

### **4.1 Auditoria Amorms**

Previamente, se realizó el proceso de la auditoría AMORMS desde el punto de vista del Mantenimiento dentro de Laboratorios Biogalenic; dicha auditoría, arroja resultados desalentadores para el sistema de negocio como tal, en procesos que involucran el área de Mantenimiento.

A continuación, la tabla 15 y el gráfico 12, muestran los resultados obtenidos en dicha auditoría:

**Tabla 15. Resultados puntuales de auditoria AMORMS**

<b>N°</b>	<b>ÁREA DE AUDITORIA</b>	<b>RESULTADO</b>
1	Gestión de Activos, Objetivos del Negocios (KPIS) y organización de soporte	2.16
2	Modelos de Jerarquización basados en Riesgo (criticidad de equipos)	2.07
3	Análisis de problemas (manejo de fallas)	2.07
4	Procesos de programación y planificación	1.70
5	Procesos de asignación de recursos, soporte informático y logístico	1.45
6	Procesos de control y análisis de indicadores técnicos RAM	1.84

7	Proceso de análisis de costos de ciclo de vida	1.53
8	Procesos de revisión y mejora continua	1.53

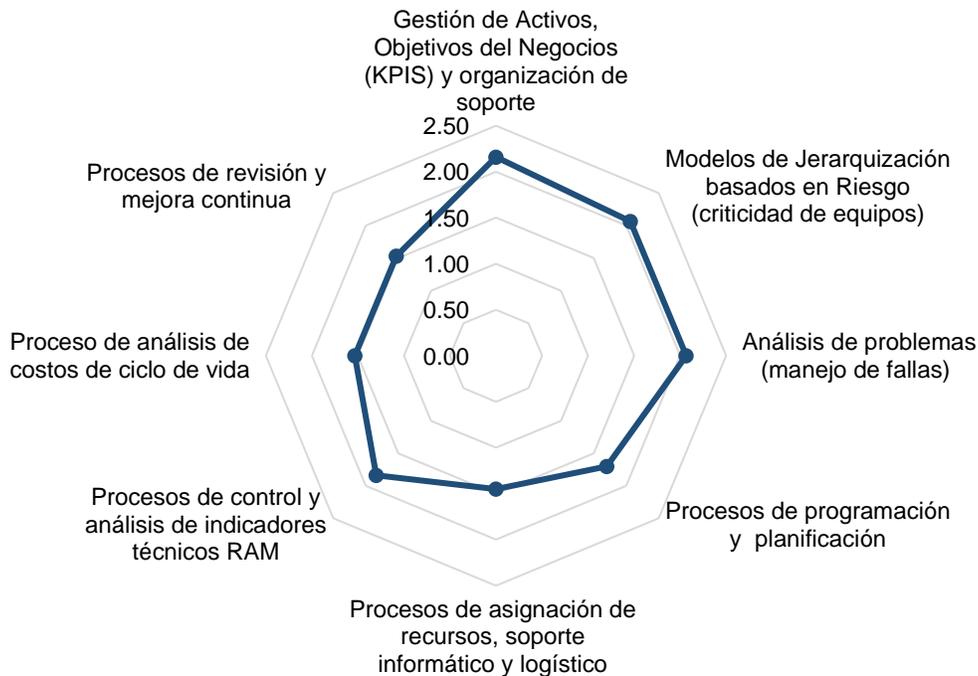
Fuente: *Elaboración propia*

La puntuación de este gráfico se define a continuación:

1. Proceso muy deficiente.
2. Proceso debajo del promedio.
3. Proceso estándar promedio.
4. Proceso con muy buenas prácticas.
5. Proceso de clase mundial.

Como podemos constatar, los procesos que actualmente se llevan a cabo, existen marcadas deficiencias y puntos a mejorar, para por lo menos alcanzar como promedio un 3.00 con el fin de asegurar las metodologías con un estándar promedio; cuando actualmente se estima un 1.53 en los procesos marcando que todos están por debajo del promedio.

**Gráfico 12. Diagrama radial de resultados obtenidos en auditoria AMORMS**



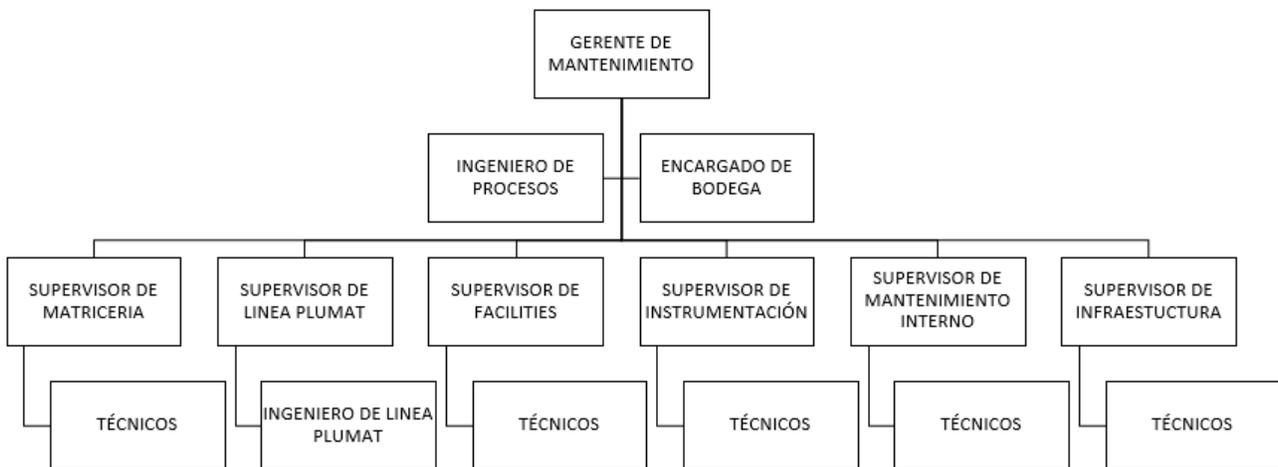
Fuente: *Elaboración propia en base a cuestionario definido para la auditoria AMORMS en la ingeniería de mantenimiento y fiabilidad*

## 4.2 Estructura del Departamento de Mantenimiento

Una buena estructura del departamento de mantenimiento juega el papel principal en el proceso productivo, ya que depende directamente del cumplimiento de sus funciones para garantizar que maquinaria y equipo involucrado en la fabricación de sus productos se encuentre en las más óptimas condiciones. Para la creación de un modelo de gestión adecuado, es necesario asegurar la eficiencia, eficacia y mejora continua del mismo, optimizando todos los recursos que estén al alcance del departamento.

Laboratorios Biogalenic no cuenta con una estructura organizacional definida, donde puedan asignar funciones específicas o responsabilidades de trabajo a todo su personal. Como alternativa de solución y para dar inicio a la creación de un modelo de gestión basado en una estrategia alineada al modelo de negocio (*fase 1 del MGM propuesto por Crespo y Parra*), se propone la siguiente estructura para el departamento de mantenimiento, que permita integrar todas las capacidades de su capital humano y sea una alternativa en beneficio del proceso productivo.

**Esquema 3. Propuesta de estructura organizacional en Laboratorios Biogalenic**



*Fuente: Elaboración propia*

Para que la sinergia operativa del departamento sea lo más funcional posible, definimos las funciones por perfil de puesto para cada colaborador. Es importante destacar que estas funciones se han integrado de acuerdo a la situación actual y las oportunidades de mejora detectadas tanto en la auditoria AMORMS, como en la operatividad actual de la planta.

### a) Gerente de mantenimiento:

El objetivo principal de este puesto es la toma de decisiones estratégicas en pro de la mejora continua en el proceso de mantenimiento. Además, debe garantizar que el cumplimiento de las actividades de los supervisores de mantenimiento como la administración de los recursos económicos y compras de los supervisores, hacer cumplir las normativas de la empresa partiendo de los estándares y buenas prácticas de manufactura.

**b) Encargado de bodega:**

Debe encargarse de realizar la entrega oportuna de repuestos, realización de despachos y descargas en la bodega, de la cual está a cargo. También, parte de sus responsabilidades es procesar las solicitudes y requerimientos de compras, dar seguimiento a repuestos en tránsito y soporte a los supervisores apoyando con el contacto a proveedores de repuestos para la ejecución de visitas técnicas o presentar propuestas de recambios.

**c) Supervisor de matricería:**

Este supervisor tiene la labor de velar por el cumplimiento de la labor mecánica que deba ejecutarse en Laboratorios Biogalenic; esto comprende actividades de obra de banco, maquinado de piezas (torno y fresa), modificación de infraestructura en arte metálica con soldadura y otras actividades relacionadas de acuerdo a las necesidades de mantenimiento.

**d) Supervisor de línea PLUMAT:**

Su principal función es garantizar la disponibilidad de las líneas automatizadas de proceso, velando por repuestos frecuentes o críticos que deban poseerse en stock. Debe velar por la calidad del producto para poder diagnosticar el estado de la línea productiva, organizar la operación de los equipos correspondientes para la ejecución del mantenimiento cuando la planta se encuentre en producción y la programación de paros programados y de emergencia.

**e) Supervisor de facilities:**

El supervisor de facilities debe asegurarse que todas las áreas de la planta cuenten con los insumos necesarios para cumplir óptimamente el proceso productivo, tales como energía eléctrica, generación de vapor, aire comprimido, suministro de agua dura, agua WFI y equipos de climatización para las oficinas. Así mismo, es el encargado de liderar los proyectos de mejora que se generen en todas las áreas de la planta.

**f) Supervisor de mantenimiento interno:**

Cumple con la obligación de garantizar la disponibilidad de los equipos de las líneas manuales de producción como los equipos de esterilizado (autoclaves), generadores de vapor puro y etiquetadoras de área de empaque.

**g) Supervisor de infraestructura:**

Tiene como objetivo planificar, coordinar y supervisar las actividades enfocadas a mejorar la infraestructura de las instalaciones de la planta; adicional a esta función, es el encargado de velar por el cumplimiento de los trabajos de empresas subcontratadas que prestan servicio en el área de mantenimiento y/o reparación de la infraestructura, a través del trabajo en equipo con los supervisores relacionados.

#### **h) Ingeniero de línea PLUMAT:**

Su trabajo radica en el proceso de producción global de las líneas automatizadas. Debe ejercer en conjunto con el supervisor de línea PLUMAT para cumplir con los indicadores productivos, así como también optimizar buscando oportunidades de mejora que aporten al proceso, coordinando adecuadamente al personal de producción y con base a la estrategia del proceso y los objetivos, metas o requerimientos de la empresa

#### **i) Ingeniero de procesos:**

Velar por la vigencia de la documentación legal de los equipos de mantenimiento y su cumplimiento, así como actividades de soporte a los supervisores de mantenimiento de áreas de soporte. Debe elaborar nuevos procedimientos para la mejora continua que permitan optimizar recursos, brindar calidad de servicio, información confiable y reducción de costos que conlleven a la toma de decisiones estratégicas del proceso.

#### **j) Supervisor de instrumentación:**

Encargado de garantizar el funcionamiento correcto de todos los equipos de medición en sus parámetros establecidos. Asegura continuamente el uso adecuado de los equipos y realiza planes de mantenimiento preventivo y correctivo para todo el equipo de instrumentación en planta.

#### **k) Equipo técnico:**

Ejecuta y supervisa los mantenimientos preventivos, correctivo y de mejora en la maquinaria y equipo existente en la empresa con base al programa anual de mantenimientos preventivos, solicitudes de correctivos y mejoras para garantizar la disponibilidad operativa de la máquina y sus condiciones óptimas, logrando el cumplimiento de las métricas en la unidad de negocio.

Con esta estructura se pretende que exista un equipo multi disciplinario capaz de diseñar un modelo de gestión que contribuya a incrementar la disponibilidad de la maquinaria a partir de acciones y procedimientos de mantenimiento preventivo, correctivo, predictivo y programado. Así, el pilar fundamental para este departamento vendría dado por los siguientes objetivos específicos, permitiendo una cultura de aumento a la disponibilidad de la planta:

- ❖ Perfilar un plan de mantenimiento ajustado a las necesidades de la empresa.
- ❖ Proponer un plan de mantenimiento enfocado a cumplir objetivos y metas.
- ❖ Promover el uso del mantenimiento preventivo.
- ❖ Proponer la ejecución a nivel institucional del sistema de gestión de mantenimiento.
- ❖ Recomendar acciones para la correcta ejecución del plan de mantenimiento.
- ❖ Estimar un costo asociado al mantenimiento de cada uno de los sistemas con los que cuenta Laboratorios Biogalenic.

Después de concretar la estructura del departamento de mantenimiento y objetivos que llevan a metas claras, como fase 2 del modelo de gestión propuesto, se ha realizado una jerarquización de los equipos involucrados, tanto en la auditoría realizada como en su influencia para la producción.

Haciendo uso de un análisis de criticidad (ADC), se estableció una serie de bases sistemáticas tales como: impacto al ambiente o a la seguridad personal, impacto en la producción, costos de mantenimiento, frecuencia de las fallas, tiempo promedio para reparar y otros, que nos pudieran apoyar para determinar de forma cualitativa los sistemas más críticos del proceso; así mismo, cada una de las áreas se ha tomado como un sistema que incluye todos los equipos y periféricos relacionados para su funcionamiento.

La implementación del análisis de criticidad utilizado se basa en las siguientes características:

#### **Frecuencia de fallas**

- 1.- Excelente: sin evento al año.
- 2.- Bueno: entre 1 y 3 eventos al año.
- 3.- Promedio: entre 3 y 6 eventos al año.
- 4.- Pobre: entre 6 y 9 eventos al año.
- 5.- Muy pobre: más de 9 eventos al año.

#### **Seguridad - Higiene -Ambiente (SHA)**

- 5.- Evento catastrófico: muerte y/o Alto impacto ambiental.
- 4.- Evento genera: lesión incapacitante y/o afectación sensible al ambiente.
- 3.- Evento genera: daños menores a la integridad física y/o afectación al ambiente controlable.
- 2.- Evento genera: alarma potencial en seguridad y/o incidente ambiental sin repercusión sobre la normativa legal vigente.
- 1.- No genera ningún impacto sobre la seguridad y el ambiente.

#### **Calidad (CA)**

- 5.- Afectación en calidad (pérdida 10 - 20 %)
- 4.- Afectación en calidad (pérdida 5 - 10 %)
- 3.- Afectación en calidad (pérdida 2.5 - 5%)
- 2.- Afectación en calidad (pérdida 0 - 2.5%)
- 1.- No genera ningún impacto en calidad

#### **Impacto en producción y costos de mantenimiento (IP-CM)**

- 5.- Costos superiores a 7.000 \$
- 4.- Costos entre 5.000 y 7.000 \$
- 3.- Costos entre 3000 y 5.000 \$
- 2.- Costos entre 1000 y 3000 \$
- 1.- Costos inferiores a 1000 \$

Los criterios definidos en esta matriz, vienen dados los aspectos siguientes:

$$\text{Críticidad Total} = \text{Frecuencia} \times \text{Consecuencia.}$$

**Frecuencia** = Número de fallas por año, (ver criterios de criticidad).

**Consecuencia** = (Impacto SHA, Calidad, Impacto en producción y Costos Mantto), (ver criterios de criticidad).

Habiendo definido los sistemas en la sección de situación actual, con su respectivo comportamiento y operación para que el proceso productivo se cumpla, presentamos la siguiente matriz de criticidad:

**Tabla 16. Matriz de criticidad para sistemas de equipos**

CÓDIGO DE EQUIPO	DENOMINACION	FRECUENCIA FALLAS	SHA	CA	IP-CM	CONSECUENCIAS	TOTAL	JERARQUIZACIÓN
LB-GV-01	Caldera de vapor	2	5	4	4	5	10	Alta Criticidad
LB-SAC-01	Compresor de aire comprimido	4	3	2	2	3	12	Alta Criticidad
LB-SBP-01	Sistemas de bombeo	4	2	4	4	4	16	Alta Criticidad
LB-SIP-01	Sistema de iluminación	2	2	2	2	2	4	Baja Criticidad
LB-RAC-01	Climatización y A/C	5	2	4	2	4	20	Muy Alta Criticidad
LB-SEP-01	Sistemas eléctricos de potencia	4	4	4	4	4	16	Alta Criticidad

*Fuente: Elaboración propia, tomado del modelo propuesto en clase de Análisis de Confiabilidad en el mantenimiento (2018)*

El análisis de criticidad basado en el impacto que una falla genera en el sistema, nos determina cuáles son los sistemas más críticos de nuestros equipos en la sala de máquinas de la planta y, tal como se esperaba, tenemos que los equipos que conforman el sistema de generación de vapor, generación de aire comprimido, bombeo de agua de proceso y control son sistemas de alta criticidad ya que de presentarse el riesgo de falla, tiene un alto impacto en el proceso productivo de Laboratorios Biogalenic; así mismo, los equipos que conforman el área de climatización y A/C presentan un riesgo de falla con muy alta criticidad, esto debido a que la necesidad de mantenimiento en estos equipos tiene una gran demanda ya que en planta existen muchas áreas restringidas y comunes que requieren de la buena operación de estos sistemas, surgiendo la necesidad de aplicar un riguroso plan de mantenimiento que permita mantener alta disponibilidad de los mismos.

La realización de estas técnicas nos permite identificar las actividades de mantenimiento con sus respectivas frecuencias, discriminando entre máquinas y/o equipos de mayor relevancia en su contexto operacional. Esto permite la realización de un sistema de gestión más flexible, tanto para mantenedores y técnicos de mantenimiento como para operarios de producción.

### 4.3 Estructura Modelo de Gestión de Mantenimiento

La fase 3 del modelo de gestión propuesto por Crespo y Parra (2007), comprende las herramientas para eliminar los puntos débiles en equipos y sistemas de alto impacto, la cual tiene relación directa con la fase 4, la cual incluye la revisión y mejoras de planes de operación y mantenimiento.

En la sección denominada como *análisis de situación actual*, se pudo describir a detalle cómo es la operación y funcionalidad actual de los equipos que nuestro ADC determinó con alta criticidad y como muy alta criticidad. Laboratorios Biogalenic, al no poseer un sistema de gestión de mantenimiento propiamente dicho, debemos iniciar con la creación de documentos que permitan controlar el estado y operación de estos equipos.

#### 4.3.1 Organización general del mantenimiento y flujo de información

En esta sección se presentan dos flujogramas que describen cómo debe ser la metodología de trabajo en el departamento para realizar el mantenimiento en forma efectiva y planificada.

Se presentan a continuación:

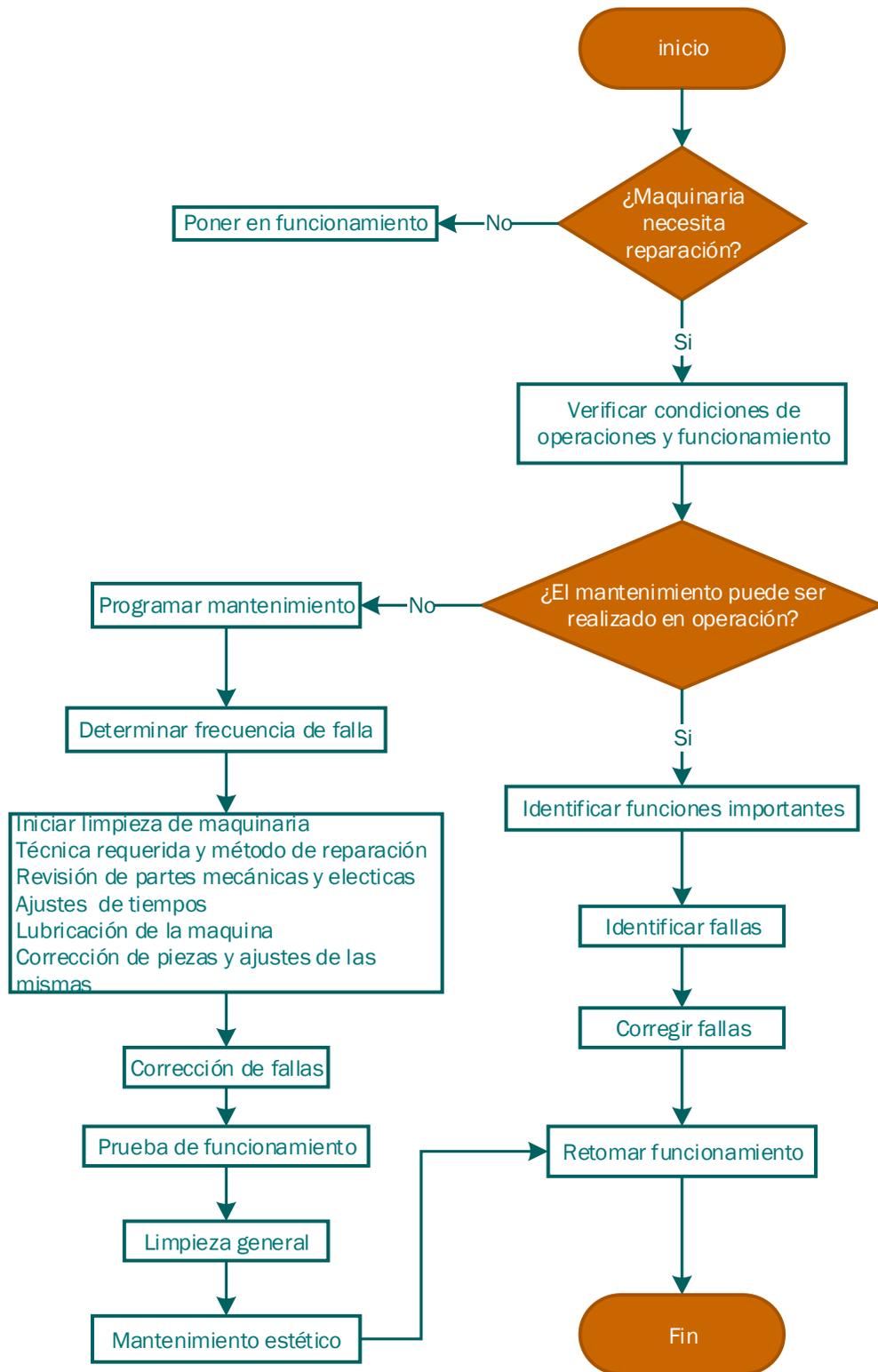
➤ *Flujograma de mantenimiento:*

Esta herramienta ayuda a definir los pasos, en forma sistemática, de lo que el personal técnico debe llevar a cabo antes de ejecutar una labor de mantenimiento en algún sistema de la planta. Esta serie de pasos, provee una herramienta capaz de verificar en forma general la condición de operación y funcionamiento actual de los equipos que conforman el sistema, así como también la agilidad en la toma de decisiones.

➤ *Flujograma de operación:*

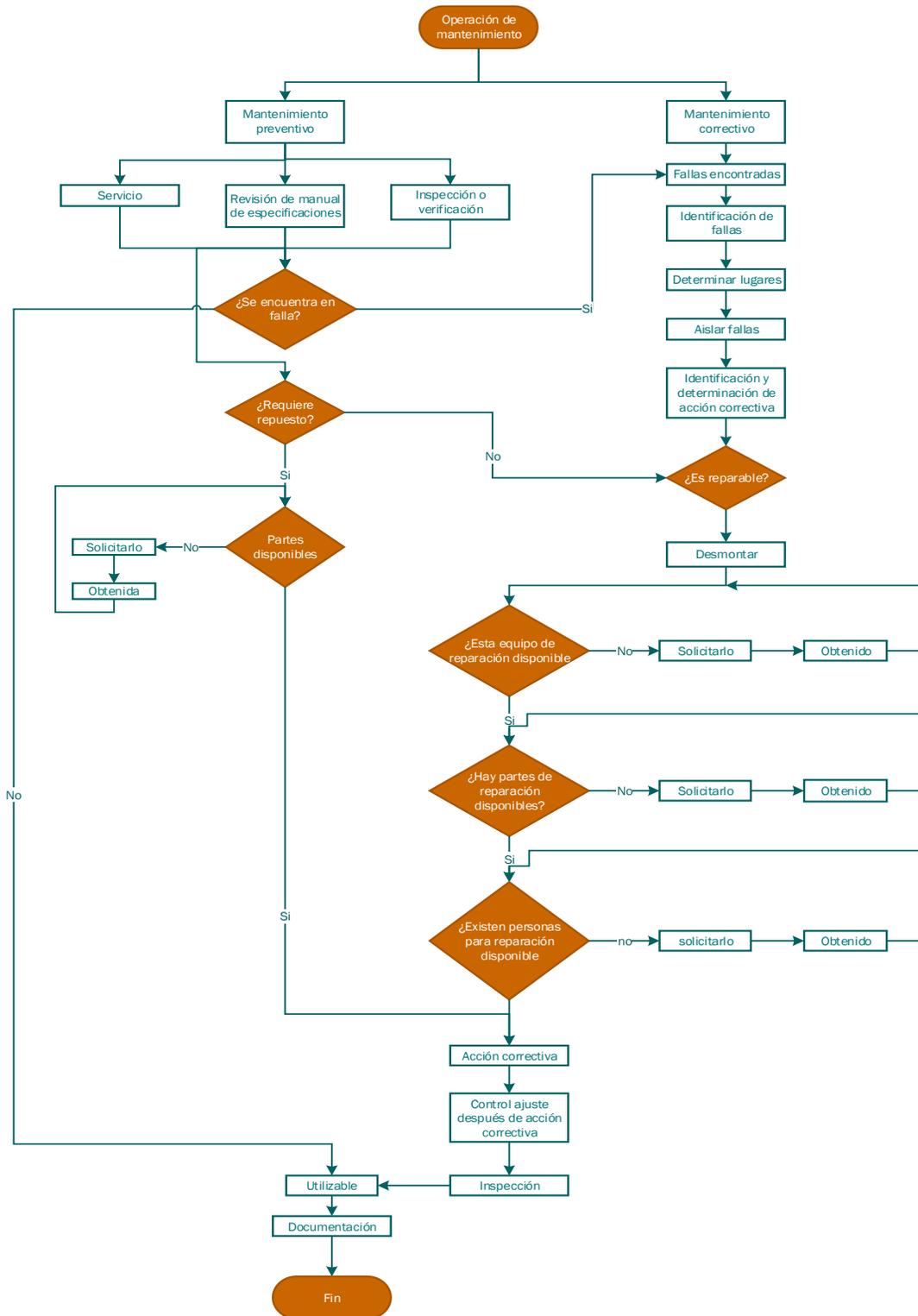
Muestra la secuencia de pasos lógicos a desarrollar para los dos tipos de mantenimiento: **preventivo y correctivo**. Para el caso del mantenimiento preventivo, se considera su realización para garantizar la durabilidad y el buen funcionamiento de los equipos. Homólogamente en el mantenimiento correctivo, enmarca los pasos a realizar en caso de una falla imprevista que pueda surgir y dependiendo la gravedad se determinará la acción correctiva. En ambos mantenimientos, se tiene la opción del reemplazo o reparación de las piezas que han ocasionado la falla y qué hacer en dichos casos.

**Esquema 4. Flujograma para la ejecución de actividades de mantenimiento**



*Fuente: Elaboración propia; flujograma basado en la necesidad de técnicas de gestión de mantenimiento en Laboratorios Biogalenic*

### Esquema 5. Flujograma de operación del mantenimiento



Fuente: Elaboración propia; flujograma basado en la necesidad de técnicas de gestión de mantenimiento en Laboratorios Biogalenic

## a) ORDEN DE TRABAJO

### ***Encabezado:***

Se encuentra en la parte superior izquierda con el logo de la empresa. Al centro se detalla el nombre: “*Orden de Trabajo*”, indicando el documento al que se hace referencia. En la parte superior derecha se presenta el No. de orden; dicho campo será completado en orden secuencial dependiendo el número que corresponda.

Además, incluye datos generales del empleado, responsable, área a la que pertenece el empleado y turno en el que se desempeña.

### ***Tareas a ejecutar:***

Se presentan los campos:

- **Descripción de la tarea:** se detallará de la mejor manera posible el trabajo a realizar.
- **Tiempo estimado:** es un tiempo en minutos, en el cual se valora el tiempo posible que se deberá tardar el empleado en esa tarea asignada.
- **Tiempo real:** es el tiempo que el empleado se tardó realmente al ejecutar la actividad.

### ***Repuestos o materiales requeridos:***

Se detalla información de los materiales a usar en la ejecución de la orden de trabajo y crear de esta forma un control sobre el stock de repuestos.

### ***Personal necesario para la ejecución de los trabajos y medidas de seguridad:***

Se detallará el cargo del empleado y el área a la que pertenece. Posteriormente se detallará en qué horas laborales se ha realizado el trabajo, ya sea en horas normales de trabajo o tiempo extraordinario. Se detallarán algunas indicaciones (de ser necesario), para la ejecución del trabajo.

Tabla 17. Propuesta de Formato de Orden de Trabajo para Laboratorios Biogalenic

		<h1>ORDEN DE TRABAJO</h1>		No. de orden:	
PRIORIDAD: Emergencia <input type="radio"/> Urgente <input type="radio"/> Normal <input type="radio"/> Programado <input type="radio"/>					
Fecha:		Dpto. Solicitante:			
Ubicación:		Área:			
Equipo No.:		Fecha:			
Responsable de ejecución:		Turno: 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/>			
<b>TAREAS A EJECUTAR</b>					
Descripción de la tarea		Tiempo estimado		Tiempo real	
<b>REPUESTOS O MATERIALES REQUERIDOS</b>					
Código	Descripción del Repuesto	Cantidad Planificada	Cantidad Usada	Precio	
<b>PERSONAL NECESARIO PARA LA EJECUCION DE LOS TRABAJOS</b>					
Cargo/Área	Horas Requeridas	Horas Normales	Horas Extras	Horas Festivos	Horas Nocturno
<b>MEDIDAS DE SEGURIDAD</b>			<b>FINALIZACION DE TRABAJO</b>		
Indicación 1:		Revisó	Fecha	Firma	
Indicación 2:					
Indicación 3:		Aprobó	Fecha	Firma	
Indicación 4:					

Fuente: Elaboración propia

**b) HISTORIAL DE MÁQUINA Y EQUIPO:**

En este formato se registran cada una de las operaciones realizadas en los equipos y máquinas, tanto si se trata de mantenimiento preventivo, correctivo o programado. En caso de que sea necesaria la sustitución o reparación de un componente del equipo o de la máquina, se anota en el campo correspondiente de la ficha, así como la fecha, las horas de parada, el importe de la refacción y otros datos de interés, con el fin de que el Jefe de Mantenimiento lleve un control de repuestos y gastos.

**Tabla 18. Propuesta de Formato de Historial de Revisiones y Reparaciones para Laboratorios Biogalenic**

 <b>HISTORIAL DE REVISIONES Y REPARACIONES</b>	
<b>MÁQUINA/EQUIPO:</b>	<b>CÓDIGO:</b>
<b>ACTIVIDAD/TAREA</b>	<b>HORA/FECHA</b>
<b>Descripción:</b>	<b>INICIO:</b>
<b>Horas de realización:</b>	
<b>Personal:</b>	
<b>Repuestos:</b>	
<b>Costos:</b>	
	<b>FINALIZACIÓN:</b>
<b>ACTIVIDAD/TAREA</b>	<b>HORA/FECHA</b>
<b>Descripción:</b>	<b>INICIO:</b>
<b>Horas de realización:</b>	
<b>Personal:</b>	
<b>Repuestos:</b>	
<b>Costos:</b>	
	<b>FINALIZACIÓN:</b>
<b>OBSERVACIONES:</b>	

Fuente: Elaboración propia

### c) FORMATO DE JUSTIFICACIÓN DE ENTREGA DE EQUIPOS

Este formato sirve para realizar una justificación por la cual un equipo no pueda ser conferido instantáneamente por estar en funcionamiento sin poder ser suspendido, ya sea por una actividad prioritaria o por una entrega especial.

El encargado deberá llenar el formato propio de mantenimiento del equipo y este formato, ubicando la razón por la cual no puede ser entregado, la fecha y hora en las cuales se compromete a entregarlo y la disponibilidad con la que contará el área de mantenimiento para poseerla.

**Tabla 19. Propuesta de formato de justificación de entrega de maquinaria para Laboratorios Biogalenic**

 <b>JUSTIFICACIÓN DE ENTREGA DE EQUIPOS</b>
<b>MAQUINARIA O EQUIPO/CÓDIGO:</b>
<b>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS GENERALES:</b>
<b>JUSTIFICACIÓN DE ENTREGA/NO ENTREGA:</b>
<b>FECHA DE COMPROMISO DE ENTREGA/HORA:</b>
<b>PERIODO DE DISPONIBILIDAD:</b>
<b>NOMBRE DEL ENCARGADO/FIRMA:</b>

*Fuente: Elaboración propia*

### d) EQUIPOS Y MÁQUINAS BAJO MANTENIMIENTO

Este formato muestra el listado de todas las máquinas y equipos que van a ser objeto de mantenimiento preventivo, correctivo o programado. Este listado será elaborado por los responsables de mantenimiento y aprobado por el supervisor de mantenimiento, según sea





## **f) HISTORIAL O BITÁCORA DE MANTENIMIENTO**

Laboratorios Biogalenic, utilizará la bitácora de mantenimiento como un instrumento donde el técnico o supervisor de mantenimiento registrará diariamente las actividades realizadas.

Este formato servirá para saber quién está a cargo del turno de trabajo, en qué condiciones se encuentra, que tiempo trabaja, además de saber cuándo se le ha dado algún tipo de mantenimiento a algún equipo y cuando se le ha cambiado alguna pieza principalmente e incluye un campo para ubicar los datos técnicos de mayor prioridad.

La implementación de este formato aporta grandes beneficios permitiendo obtener información del equipo sin necesidad de acudir al operador para averiguar la condición actual de los mismos; además facilitará programar las actividades de mantenimiento como cambio de piezas principalmente.



### **g) CHECK LIST POR SISTEMA**

Mediante el análisis de la situación de la empresa, se obtuvo la información necesaria para la preparación de la lista de revisión (check list). Esta lista permite llevar a cabo los trabajos de mantenimiento de una forma correcta y sirve también como base para la preparación previa a lo que es mantenimiento en sí.

En ocasiones, un check list detalla en mayor grado la información que requiere y establece métodos cuantificados para evaluar el resultado final y la eficiencia del departamento de mantenimiento.

El objetivo del check list es definir una buena directriz que le permita al técnico de mantenimiento seguir un camino lógico y coherente. El técnico de mantenimiento podrá abordar cualquier cuestión que considere necesaria, aunque no se encuentre incluida en el check list previo.

A continuación, se muestran las plantillas a utilizar como hojas de verificación, diseñadas para llevarse a cabo 15 o 20 minutos justo antes de iniciar el turno y la misma cantidad de tiempo antes de finalizar, asegurando que el sistema está funcionando en las condiciones normales. Cabe mencionar que la asignación de este check list a un sistema en específico dependerá de la mantenibilidad del mismo, para poder establecer la periodicidad de llenado para este formato.

- Check list para sistemas de climatización y aires acondicionados:

**Tabla 23. Propuesta de Check List para Inspección de Mantenimiento en Sistemas de Climatización y Aires Acondicionados para Laboratorios Biogalenic**

				<b>CHECK LIST – SISTEMAS AIRES ACONDICIONADO</b>		<b>N°</b>	
<b>DATOS GENERALES</b>							
<b>Técnico de Mantto</b>		<b>Área</b>					
<b>Fecha de emisión</b>		<b>Código de maquina</b>					
<b>Fecha de finalización</b>		<b>Número de serie</b>					
<b>Tiempo Empleado</b>		<b>Fabricación / Año</b>					
<b>ACTIVIDADES</b>						<b>OK</b>	<b>NOK</b>
<b>SISTEMA EXTERIOR</b>							
Nivel de condensación en el serpentín							
Nivel de ruido y vibración del motor principal							
Corrosión eléctrica en conexiones de potencia y control							
Nivel de ruido y vibración en motores de condensadora							
Nivel de ruido y vibración en sistema refrigerante							
Nivel de burbujeo en sistema refrigerante							
Nivel de aceite en compresor semihermético							
Verificar posible contaminación por humedad u otra causa							
Verificar posible obstrucción del drenaje							
<b>SISTEMA INTERIOR</b>							
Cambio de filtros de aire							
Limpieza y sopleteado del tablero de control							
Ajuste de conexiones de control y fuerza							
Verificar limpieza y condiciones del área de trabajo							
Limpieza de gabinetes							
Revisión limpieza charola de condensados							
Verificación/engrasado de flecha principal							
Verificación/ajuste/cambio de bandas							
Revisión del historial de alarmas							
Calibración y ajuste del panel de control							
Nivel de condensación en el serpentín							
Corrosión eléctrica en conexiones de potencia y control							
Nivel de ruido y vibración en motores de condensadora							
<b>OBSERVACIONES</b>							
<b>INFORMACIÓN DE VALIDACIÓN</b>							
Técnico siguiente turno							
Supervisor del departamento (nombre y firma)							

*Fuente: Elaboración propia*

- Check list para sistemas de aire comprimido:

**Tabla 24. Propuesta de Check List para Inspección de Mantenimiento en Sistema de Aire Comprimido para Laboratorios Biogalenic**

 <b>CHECK LIST – INSPECCIÓN GENERAL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO</b>				N°	
<b>DATOS GENERALES</b>					
Técnico de Mantto		Área			
Fecha de emisión		Código de maquina			
Fecha de finalización		Número De serie			
Tiempo Empleado		Fabricación / Año			
<b>ACTIVIDADES</b>				<b>OK</b>	<b>NOK</b>
<b>LUBRICACIÓN</b>					
Verificar nivel de aceite					
Lubricar motores y cojinetes					
Examinar enfriadores de aceite					
Verificar el sello del eje por presencia de fugas					
Verificar lecturas de presiones y temperatura del lubricante y refrigerante					
Lubríquense todos los motores y cojinetes					
<b>DUCTERIA DE AIRE COMPRIMIDO</b>					
Verificar la caída de presión excesiva en la entrada y salida del filtro de aceite micrónico					
Limpiar colador al tiempo que se reemplaza el cartucho del filtro					
Verifique el sonido del compresor por ruidos anormales					
Verificar sello del eje por fuga de aceite excesiva					
<b>PARTE MECÁNICA</b>					
Verificar el alineamiento de los mecanismos de la transmisión y véase si sus distintas piezas están debidamente apretadas					
Verificar el movimiento del rotor del compresor y sus acoplamientos					
Examinar las torres de enfriamiento y condensadores					
Examinar atomizadores y mallas para ver si están obstruidos					
Verificar la calibración y funcionamiento de todos los mandos					
Verificar lectura de presiones y temperatura del lubricante/refrigerante					
Verificar caída de presión excesiva en la entrada y salida del filtro de aceite micrónico					
<b>OBSERVACIONES</b>					
<b>INFORMACIÓN DE VALIDACION</b>					
Técnico siguiente turno					
Supervisor del departamento (nombre y firma)					

Fuente: Elaboración propia

- Check list para sistemas de bombeo:

**Tabla 25. Propuesta de Check List para Inspección de Mantenimiento en Sistemas de Bombeo para Laboratorios Biogalenic**

 <b>CHECK LIST – SUMINISTRO DE AGUA POTABLE</b>				N°
<b>DATOS GENERALES</b>				
Técnico de mantto		Área		
Fecha de emisión		Código máquina		
Fecha de finalización		Número de serie		
Tiempo empleado		Fabricante/ Año		
<b>ACTIVIDADES</b>			OK	NOK
<b>SISTEMA DE CONTROL ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO</b>				
Alimentación y conexiones al variador de frecuencia				
Revisión de tablero de control				
Panel (keypad) variador de frecuencia				
Visualización de parámetros				
Comportamiento de variable de proceso (valor presión)				PSI
Estado de instrumentación (transmisor y manómetro en descarga)				
<b>BOMBAS</b>				
Verificar de lubricación				
Ajuste de prensaestopas o sellos mecánicos				
Temperatura				
Verificación de estado de succión y descarga				
<b>MOTORES</b>				
Lectura de voltaje y amperaje				
Verificación de elementos térmicos y magnéticos				
Verificación de tornillería de anclaje				
Revisar la alineación y el desgaste de las piezas del acoplamiento				
Revisar la alineación y el desgaste de las piezas del acoplamiento				
Verificación de rodamientos (con estetoscopio)				
<b>ELEMENTOS MECÁNICOS</b>				
Estado de válvulas de succión y descarga				
Verificación de válvula check y seguridad				
Conexiones, bridas y accesorios				
<b>MISCELANEOS</b>				
Alineación bomba – motor				
Cebado de bomba				
Limpieza general				
<b>OBSERVACIONES</b>				
<b>INFORMACIÓN DE VALIDACION</b>				
Técnico siguiente turno				
Supervisor del departamento (nombre y firma)				

Fuente: Elaboración propia

#### 4.4 Sistema de planificación y control del mantenimiento:

Para la implementación de un sistema de gestión de mantenimiento, era necesario realizar el levantamiento de la situación actual para que se pudiera diseñar una herramienta de planificación y gestión, de acuerdo a la maquinaria y equipo de la planta. Con un panorama más claro del estado actual y al existir poca o nula gestión del mantenimiento, se propone el siguiente planificador desarrollado en Excel, el cual puede llegar a ser una herramienta útil y que puede implementarse en cualquier momento como primera herramienta de orden y planificación.

La plantilla del planificador de mantenimiento contiene las siguientes 3 hojas:

##### 4.4.1 Planificación

Aquí se construye y se editan las fechas de las rutinas de mantenimiento que son planificadas, dependiendo del tipo de equipos, códigos y áreas de éstos. Para la creación de la plantilla, deben llenarse algunos campos de interés (ver ejemplo en Anexo 1):

- Código de maquina/equipo.
- Área de la máquina.
- Nombre del equipo.
- Fecha de planificación de mantenimiento.
- Día programado de mantenimiento.
- Fecha de mantenimiento.
- Día de mantenimiento y estatus.

Se comienza llenando las columnas de código, área y equipo para después agregar la fecha de planificación de mantenimiento. Automáticamente se completa el día programado de mantenimiento con el fin de facilitarle al ingeniero de mantenimiento la programación de las rutinas de mantenimiento de acuerdo con la disponibilidad de su ejecución según sea la necesidad del día.

Una vez iniciado el proceso de documentación de fechas de ejecuciones de las distintas rutinas de mantenimiento nos encontramos con los siguientes indicadores que nos muestran el estado del cumplimiento de la rutina programada:



En la tabla de la programación (ver ejemplo en Anexo I) debe colocarse un indicador iconográfico en la columna "STATUS" que se será asignado automáticamente. De igual forma, el color representado para cada estado de la rutina de mantenimiento cambiará de forma automática dependiendo si ha sido finalizado a tiempo, es decir, la fecha de planificada de mantenimiento será igual a la fecha de mantenimiento, en este caso se le asignará el color azul. Si la fecha planificada ya ha pasado y no se recibe retroalimentación de que la rutina de mantenimiento fue ejecutada en otra fecha entonces se le asignará el

color amarillo, de lo contrario, si la rutina es ejecutada en una fecha diferente se le asignará el color verde automáticamente.

Es así como el planificador de mantenimiento va monitoreando diariamente la ejecución del plan de mantenimiento y modificando de acuerdo con las necesidades de este, de una forma sencilla e intuitiva.

El archivo de Excel propuesto, permitirá que el formato se llene de forma automática facilitando el control y monitoreo de la labor de mantenimiento (ver ejemplo en Anexo 2).

#### 4.4.2 Calendario

Esta interfaz nos muestra de manera más intuitiva el calendario. Los días están en la primera columna de la izquierda, mientras que los meses del año están en el encabezado y los días correspondientes a cada fecha se muestran en el recuadro previamente establecido.

Este calendario se alimenta de la *programación*, asignándole el equipo correspondiente de la fecha planificada de mantenimiento al día que corresponde en el calendario. Una vez los equipos están asignados en el *calendario*, este es entregado al supervisor de mantenimiento para que se encargue de asignar las órdenes de trabajo respectivas que le corresponden a cada técnico.

En el anexo 3 y 4, se muestra un ejemplo de cómo se pueden llevar esos formatos.

#### 4.4.3 Gráfico

En la hoja de Gráfico se muestra el cumplimiento del plan de trabajo. Es una hoja para que el Gerente de Mantenimiento pueda ver el desempeño de los distintos equipos de trabajo y le facilite la toma de decisiones puntuales para hacer ajustes sobre los resultados que se van mostrando.

Se muestra el número de actividades programadas por mes; cabe destacar que éstos resultados se deben acompañar con los indicadores MTTR, MTBF y Disponibilidad de equipos; de igual forma, se puede observar los porcentajes de los status de las actividades.

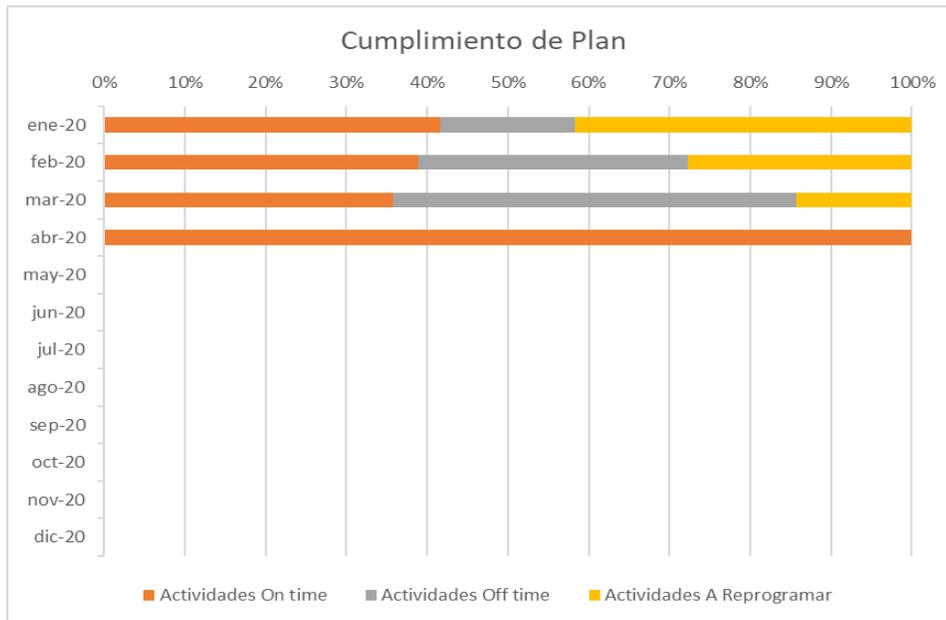
**Tabla 26. Presentación de resultados, plan de mantenimiento**

Mes	Actividades Programadas	Actividades On time	% On time	Actividades Off time	% Off time	Actividades A Reprogramar	% A Reprogramar
ene-20	24	10	42%	4	17%	10	42%
feb-20	18	7	39%	6	33%	5	28%
mar-20	28	10	36%	14	50%	4	14%
abr-20	23	2	9%	0	0%	0	0%
may-20	9	0	0%	0	0%	0	0%
jun-20	6	0	0%	0	0%	0	0%
jul-20	1	0	0%	0	0%	0	0%
ago-20	3	0	0%	0	0%	0	0%
sep-20	3	0	0%	0	0%	0	0%
oct-20	5	0	0%	0	0%	0	0%
nov-20	4	0	0%	0	0%	0	0%
dic-20	0	0	0%	0	0%	0	0%

Fuente: Elaboración propia

Se representa gráficamente el cumplimiento del plan por cada mes de acuerdo a cada uno de los estatus para ir comparando la eficiencia de la planificación versus la ejecución de los planes de mantenimiento, así como hacer un contraste entre la eficiencia del cumplimiento del plan y las fallas de los equipos para observar si existe una correlación negativa entre ambas que pueda estar impactando los costos del negocio.

**Gráfico 13. Chart de cumplimiento para plan de mantenimiento propuesto**



Fuente: Elaboración propia; información obtenida a partir del llenado de los Anexos 1, 2 y 3

#### 4.5 Estimación de costos asociados al mantenimiento:

En el análisis de costos relacionados a la producción y mantenimiento, ha sido posible obtener la cantidad de unidades producidas por año, a partir del 2016 hasta el mes de noviembre de 2019. Parte de la problemática de fondo que Laboratorios Biogalenic ha presentado a lo largo de este estudio, es que nunca se ha llevado un registro de información que permita el análisis de la búsqueda de oportunidades de mejora, tal es el caso de este estudio, no se tuvo la oportunidad de contar con los datos del 2017 por falta de información.

La estructura de producción actual para Laboratorios Biogalenic está orientada a la fabricación de bolsas de suero parenterales. La carga productiva depende directamente de los pedidos que las diferentes instituciones hospitalarias, oficinas médicas o clientes externos (dependencias de Estados Unidos, Argentina y países aledaños).

La producción se desglosa en términos de bolsas y litros por año, detallando mes (enero a noviembre). Con un total de 120, 471, 734 unidades producidas de las cuales las Bolsas con 65M representan el 54.31 % de la producción, en cambio, la producción de Litros en 55M representa el 45.69 % del total de la producción. En la tabla 27 se puede apreciar una tendencia a la baja de la producción de ambas unidades a lo largo de los años siendo el

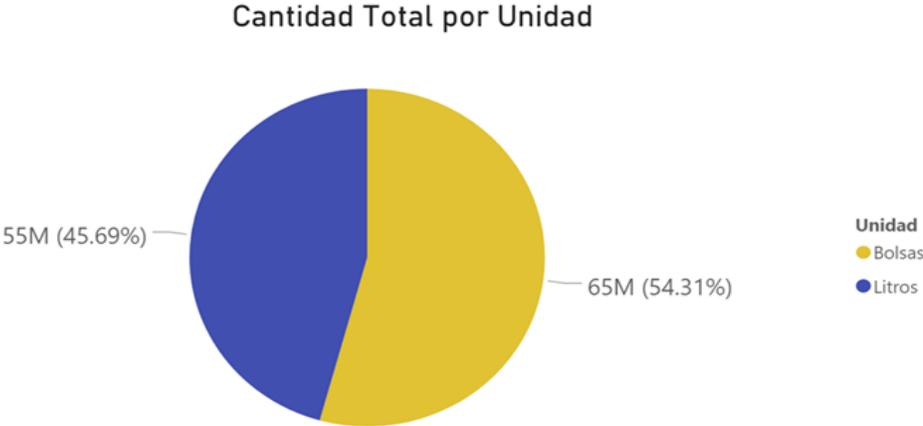
2019 el año que registra la menor producción, cerca de 10M de unidades menos que el 2016.

**Tabla 27. Cantidades anuales de producción de bolsas y litros de producto**

PRODUCCIÓN DE BOLSAS Y LITROS ANUALES		
Año	Bolsas	Litros
2016	15,902,686	28,249,381
2018	26,000,525	13,881,271
2019	23,521,704	12,918,167

Fuente: Elaboración propia con datos de producción obtenidos

**Gráfico 14. División porcentual por unidad de bolsas y litros producidos**



Fuente: Elaboración propia en Power Bi

Con respecto a los costos totales relacionados con las funciones de mantenimiento (específicamente corresponden a todas aquellas que brindan el soporte necesario para las operaciones de la planta y sus equipos enfocándose en mantener el estado óptimo de éstos); se han segmentado en subgrupos para analizar el desglose de costos. Se observa que la tendencia en los costos de mantenimiento es a la baja, únicamente en el año 2018 se observa un cambio hacia el alza en el costo total de mantenimiento.

Dicha tendencia, si bien es cierto, coincide con la tendencia a la baja de la producción, al analizar los costos con detenimiento se observa que los costos directos de mantenimiento son donde se encuentra el mayor impacto en la reducción de los costos totales, en cambio los subgrupos, como electricidad y combustible presentan una tendencia al alza. Los costos directos de mantenimiento son mano de obra y repuestos.

**Tabla 2826. Costos de consumibles directos e indirectos de mantenimiento y producción, expresados en miles de USD.**

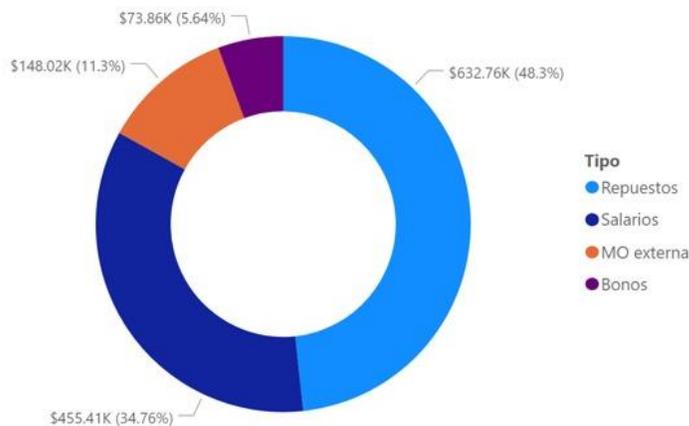
Año	Ácido y soda	Agua potable	Combustible	Dosificación	Electricidad	Mano de obra	Repuestos	Total
2016	79	88	321	16	502	249	253	1,510
2017	67	28	515	10	460	201	122	1,407
2018	102	26	773	8	575	200	135	1,822
2019	84	31	521	8	482	25	121	1,274
<b>Total</b>	<b>334</b>	<b>174</b>	<b>2,132</b>	<b>43</b>	<b>2,020</b>	<b>677</b>	<b>632</b>	<b>6,015</b>

Fuente: Elaboración propia con datos de producción obtenidos

El desglose de los costos permite calcular indicadores que relacionan los costos con las unidades de producción. Para conocer la cantidad específica de los costos relacionados al mantenimiento, se invierten en bolsas y litros de producción. En específico, se mide la relación *costos de mantenimiento/costos totales* que permite conocer la ratio real para compararlo con el indicador que nos marca el camino, ponderándolo en un porcentaje del 10 % - 15 %. **El indicador muestra que por cada bolsa producida se invierten alrededor de \$0.09 y por cada litro \$0.11, en el período de los años sujetos a análisis.**

Al obtener los costos por unidad es posible explorar a mayor profundidad los costos relacionados al mantenimiento, extrayendo los costos que tienen relación directa a este departamento. Los costos directos son aquellos que se invierten directamente en las rutinas y acciones de mantenimiento. La clasificación de costos directos de mantenimiento en Laboratorios Biogalenic son **mano de obra y repuestos**; donde los costos de mano de obra se dividen en salarios, bonos, mano de obra externa. Diagramando los costos directos para una mejor comprensión del escenario se muestra que el rubro de repuestos es el que más inversión recibe seguido por los salarios. En las visitas de campo, fue evidente que la inversión en estos costos directos no era suficiente para mantener el buen estado de equipos, válvulas y demás periféricos incluyendo herramientas y equipos básicos de medición.

**Gráfico 15. Contribución porcentual de los costos directos de mantenimiento actuales**



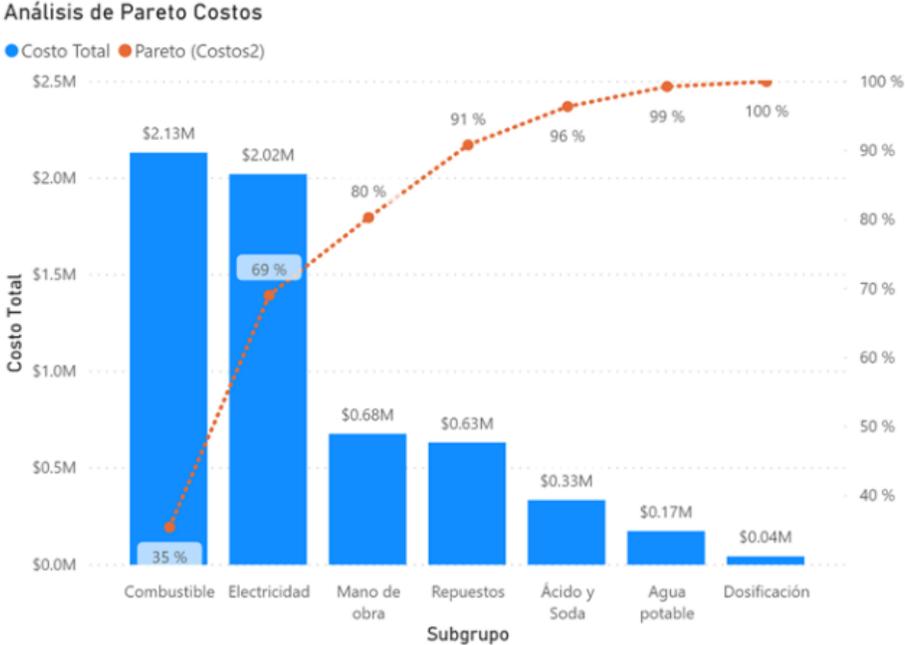
Fuente: Elaboración propia en Power Bi

Los indicadores de costo/unidades de producción fueron \$0.02 por bolsa producida y \$0.0238 por litro, alrededor de un 20 % los costos totales relacionados al mantenimiento se pudo observar la baja inversión en las áreas que se encargan de mantener el buen estado de los activos.

Un análisis de Pareto nos revela que cerca del 70 % de los costos, se encuentran en los subgrupos relacionados con el consumo energético, casi \$4 Millones desde el 2016 al 2019, en *combustible y electricidad*. Lo anterior refuerza el objetivo inicial, en el que la reducción de los costos relacionados con el consumo energético se encontraría el mejor acierto al momento de optimizar financieramente el departamento de Mantenimiento.

Así mismo, no sólo se trata de buscar una reducción de costos en las áreas que corresponden a la energía, sino que también, se busca aumentar la inversión en los subgrupos correspondientes a los costos directos de mantenimiento, los cuales están directamente relacionados con el consumo energético. Por lo tanto, al invertir en la optimización de los equipos se busca alcanzar su máxima eficiencia, y por ende minimizar el impacto energético en los costos relacionados con los mismos.

**Gráfico 16. Representación de Pareto para análisis de costos en el mantenimiento**

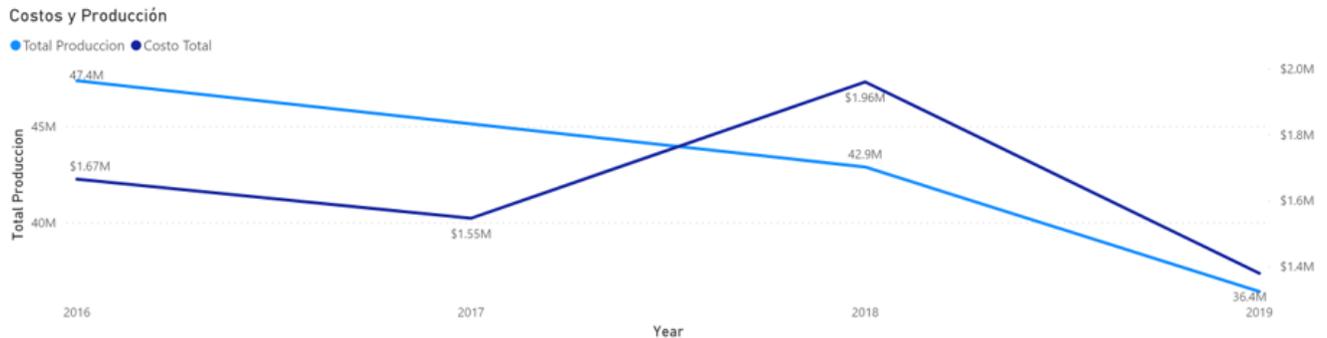


Fuente: Elaboración propia en Power Bi

Una vez explicada la producción y los costos, se relacionan para poder obtener una comprensión de cómo cambian ambos en el tiempo y su interrelación. A pesar que la producción tiene una tendencia a la baja, los costos relacionados al mantenimiento aumentan en el año 2018 en un 26%, mientras que la producción disminuye alrededor del 9% respecto al año 2016. Al analizar los números, se evidencia que a pesar que la planta produce menos, los costos no siguen la misma tendencia, por lo que se vuelve necesario

conocer la distribución de los costos, particularmente en el año 2018, y cómo éstos fueron invertidos y en qué subgrupos tienen la mayor carga monetaria.

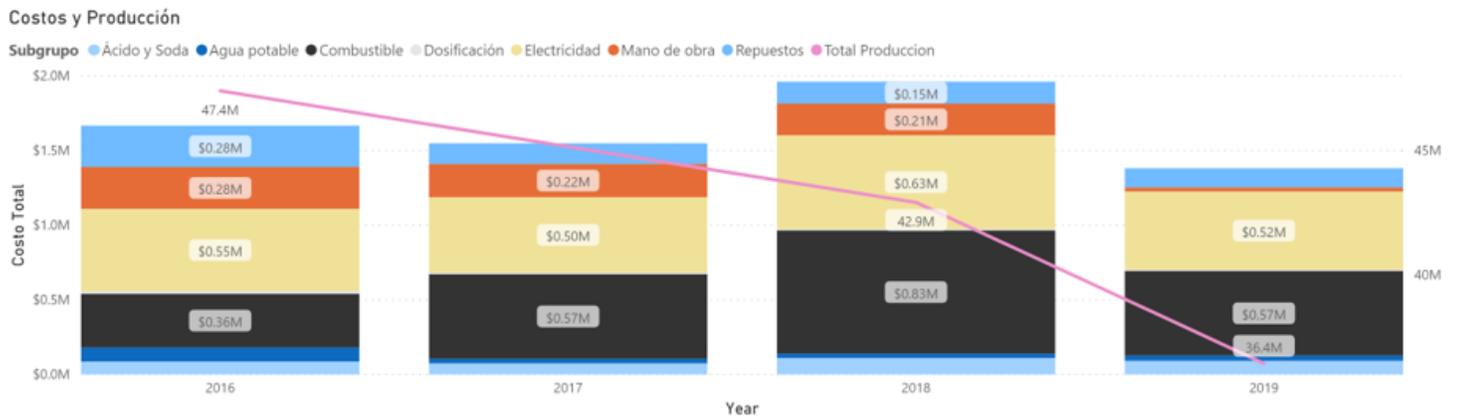
**Gráfico 17. Tendencia de la productividad del gasto en producción y mantenimiento**



Fuente: Elaboración propia en Power Bi

El crecimiento en los costos relacionados con el consumo energético explica la tendencia al alza en el 2018 de los costos de mantenimiento. Es evidente, que el costo de consumo de energía eléctrica se eleva en aproximadamente \$130k, un 26 % más que el año 2017, y el costo de consumo de combustible se incrementó \$260k, un 46 % de incremento versus el 2017, mientras que la inversión de mano de obra disminuyó cerca de \$10k.

**Gráfico 18. Relación de consumibles de mantenimiento y productividad del gasto**



Fuente: Elaboración propia en Power Bi

Después de haber desglosado la producción y los costos, se ha planteado un escenario de costos dinámico de acuerdo con las consideraciones y resultados encontrados. Se han definido los siguientes resultados:

Los costos de electricidad y combustibles se redujeron: electricidad con una disminución del 10% y combustibles con un 20%. En cuanto a los costos directos de mantenimiento, mano de obra y repuestos, se percibe un incremento del 25%.

Se procesaron los porcentajes seleccionados, para conocer los ahorros y los incrementos en los costos de los diferentes subgrupos. Los resultados son mostrados en la tabla 29.

**Tabla 29. Planteamientos de escenarios con mejoras en costos directos de mantenimiento**

Subgrupo	Costo Total	Escenario propuesto	Diferencia de costos
<b>Electricidad</b>	\$2,210,600.45	\$1,989,540.40	-\$221,060.04
<b>Combustible</b>	\$2,319,750.73	\$1,855,800.59	-\$463,950.15
<b>Mano de obra</b>	\$742,664.06	\$928,030.07	\$185,066.01
<b>Repuestos</b>	\$861,964.31	\$689,571.45	\$172,392.86

Fuente: Elaboración propia en Power Bi

Con los porcentajes seleccionados anteriormente, se obtiene un ahorro en los costos de *energía eléctrica* y *combustible* cerca de \$685,010.19 (\$221,060.04 y \$463,950.15 respectivamente) mientras que los costos para *mano de obra* y *repuestos* incrementaron en \$358,058.01 (\$185,666.01 y \$172,392.00 respectivamente).

En total se proyecta un ahorro, según este escenario, de **\$326,952.18**, el cual representa un porcentaje de ahorro del 5.44%, correspondiente a los costos totales relacionados al mantenimiento de \$5,688,337.66 en el período analizado 2016-2019.

Como plan de acción para tomar en consideración este porcentaje de ahorro propuesto, es importante tener en cuenta que los departamentos de mantenimiento y producción, al estar estrechamente relacionados, deben plantear objetivos alineados a la meta del negocio, con el fin de proyectarse al diseño y creación de oportunidades de mejora que ayuden a optimizar el proceso productivo de la organización; en este afán, es primordial enfocarse en algunos ejes que podrían aportar positivamente a cumplir los objetivos estratégicos de la organización.

- Realizar estudios de retorno de inversión en equipos de alta o muy alta criticidad; enfocándose en el análisis de criticidad (ADC) desarrollado en este estudio, se determinó que los equipos de aire acondicionado y bombeo, presentan una alta criticidad en el proceso productivo, siendo una razón principal para considerar la inversión en mejoras que permitan optimizar el proceso productivo y promover una cultura de ahorro energético como parte de la filosofía de RSE que tiene Laboratorios Biogalenic.
- Diseñar y promover un plan de capacitación para los colaboradores; si bien es conocido, en Biogalenic existe talento humano con gran capacidad y experiencia en el rubro, y es posible aprovechar al máximo esta ventaja para formar a los colaboradores con nuevas experiencias que les permitan desarrollarse al máximo y aporten en buscar la mejora continua y buenas prácticas de manufactura en el desarrollo del producto.
- Considerar la inversión para la mejora del departamento de mantenimiento, haciendo un análisis y tomando en consideración las deficiencias que pueden resolverse con una organización y planificación estratégica, enlistando las recomendaciones planteadas en este análisis que pueden aportar positivamente en

las funciones del departamento en conjunto a los formatos diseñados. Es importante invertir en los recursos que sean necesarios para orientar al departamento de mantenimiento a la mejora continua y a una cultura centrada en la confiabilidad.

## CONCLUSIONES

---

La investigación sobre auditoría energética y su impacto en la empresa Laboratorios Biogalenic, permitió el análisis de la situación del departamento de Mantenimiento y de cómo se encontraban cada uno de los equipos, así como su personal en función del cumplimiento de sus objetivos.

La recomendación que se le extendió a la empresa gira en torno a la propuesta de un plan de gestión de mantenimiento que incluya el aprovechamiento de la energía en cada una de sus fases. En un proceso de gestión de mantenimiento centrado en confiabilidad y la administración de activos, es necesario tener en cuenta que la reducción de los costos operacionales y los ahorros de energía asociados deben ser considerados en las políticas y estrategias de las empresas que proyectan liderar los mercados que cada vez son más competitivos en estos tiempos.

El estudio de los resultados obtenidos con las mediciones, confirmó que el desglose de costos corresponde con el comportamiento de la empresa. Por tanto, en consecuencia, se mejora la relación en el sistema de negocio entre Mantenimiento y las demás partes interesadas, bajo una propuesta que orienta hacia invertir más recursos en este departamento.

Es importante destacar que el planteamiento propuesto en el marco teórico no coincidirá en su totalidad con la propuesta diseñada debido a que la evidencia empírica ha dejado claro que los procesos actuales necesitan una reestructuración de fondo, junto con un proceso de divulgación adecuado y una campaña que permita orientar a una cultura de planificación. Dicho proceso busca establecer el compromiso con el sistema de gestión y logrará percibir cambios notables.

Por ello, se propuso un modelo que fuera el primer indicio a este tipo de metodología de trabajo, con herramientas sencillas que incentivarán al control y orden de muchas actividades diarias, tales como: órdenes de trabajo, control de repuestos y herramientas, bitácoras de mantenimiento, entre otras. Al final, estas órdenes, podrán generar un proceso de gestión que vaya de la mano y se alinee a los objetivos de negocio de la organización, siempre en búsqueda de la mejora continua.

Las modalidades y procedimientos a utilizar concretamente en la elaboración de un plan general de mantenimiento son función del tipo y problemática de la empresa y del sistema productivo considerado, además de los recursos económicos con los que cuenta la empresa o institución, de forma que el plan sea eficiente y pueda funcionar conllevando a tener los más óptimos resultados de producción.

Es fundamental mantener un proceso de monitoreo y control del plan de mantenimiento implementado, de forma que esté sujeto a una mejora continua a través de una retroalimentación constante y el estudio de todos los factores que estén involucrados en la ejecución de acciones de mantenimiento preventivo, correctivo o programado. Se cree firmemente que las listas de verificación (check list), muestran una potente efectividad al

momento de ser realizadas adecuadamente, de forma que se tendría un control oportuno de todos los sistemas.

Con cada uno de los análisis de mantenimiento elaborados a la empresa, se planteó cuáles pueden ser las futuras líneas de investigación en la empresa, tales como, la implementación de un sistema de bombeo a presión constante, el cual favorecería mucho en la eficiencia energética, además un análisis de las rutinas de mantenimiento y cómo estas se cumplen para contrarrestar poco a poco las fugas que hay en el sistema de aire comprimido y con ello mejorar la producción. Así mismo, se considera necesaria la realización de un estudio de las tecnologías utilizadas en los sistemas de climatización y aires acondicionados; todos los equipos presentados en esta auditoria juegan un papel importante para el proceso de la empresa, mas no obstante, la consideración de invertir en tecnologías vanguardistas en esta área traería beneficios tangibles y justificables ya que existen muchas áreas certificadas que requieren el cumplimiento de altos estándares de calidad, por temas de certificaciones internacionales y buenas prácticas de manufactura. Finalmente, considerar la capacitación del personal en nuevas tecnologías y la adquisición de equipos de medición para la realización de rutinas de mantenimientos predictivos. Todo esto, debe llevarse a cabo cuando la Gerencia General considere oportuno, bajo un nuevo proceso de medición.

Se considera importante establecer objetivos y metas estratégicos que permitan dar seguimiento al nuevo modelo de gestión de mantenimiento y su influencia en los procesos que demanden mayor consumo. Se creó una herramienta en Microsoft Excel, de uso muy amigable e inmediato, que permitirá controlar muchas de las tareas que se estarán implementando, así como también la creación de estándares que permitan medir y verificar el alcance de la labor realizada. Esto aporta de forma sustanciosa a la medición y uso de indicadores, permitiendo la mejora continua y detección óptima de oportunidades.

## BIBLIOGRAFIA

---

- Biros, D. (Director). (2015). *Keys to Effectively Deploying Reliability-Centered Maintenance Video* [Motion Picture].
- BRAVO, R. E. (2017, Julio 21). Gestión del Mantenimiento Industrial. Antiguo Cuscatlan , La Libertad, El Salvador.
- Consejo Nacional de Energía . (2017, Septiembre). *CNE*. Retrieved from <https://www.cne.gob.sv/wp-content/uploads/2017/09/uso-eficiente-de-aire-acondicionados-y-ventiladores.pdf>
- Faradayos, Tecnología Eléctrica. (2015). *Faradayos, Tecnología Eléctrica*. Retrieved from <https://faradayos.blogspot.com/2013/05/porque-se-calientan-los-cables.html?m=1>
- Juan Palacios: Ingeniería y Automatización Industrial. (2015). *Herramienta de mantenimiento predictivo*. Retrieved from <https://www.juanpalacios.es/wp-content/uploads/2015/12/servicio-analisis-termografico.pdf>
- Larry Bachus. (2003). *Bombas Centrifugas: todo lo que necesita saber sobre ellas*. Chicago: The Bachus Company Inc.
- Marquez, C. A. (2018, Mayo 30). Ingeniería de Confiabilidad Operacional aplicada al Mantenimiento. Antiguo Cuscatlan, La Libertad, El Salvador.
- Moubray, J. (1997). *Reliability-Center Maintenance*. New York: Industrial Press.
- Nowlan, F. S., & Howard, F. H. (1978). *Reliability-Centered Maintenance*. *United States Department of Defense*.
- Parra Márquez, C. A. (2015). *Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad en la gestión de activos*. Sevilla, España: INGEMAN.
- Parra, C. (2003). *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad*. Sevilla: Universidad de Sevilla.

## ANEXOS

### Anexo 1. Ejemplo de llenado para plantilla de planificador propuesta en Microsoft Excel.

CÓDIGO	ÁREA	EQUIPO	FECHA	DÍA PROGRAMADO	FECHA DE	DÍA DE	STATUS
			PLANIFICADA DE MANTENIMIENTO	DE MANTENIMIENTO	MANTENIMIENTO	MANTENIMIENTO	
LB-431	HIGROSCÓPICO	CENTRAL 9000	6/4/2020	lunes			
LB-68	SALA DE CONFERENCIA	MINISPLIT 24000	8/4/2020	miércoles			
LB-479	RECEPCIÓN	MINISPLIT 24000	9/4/2020	jueves			
LB-389	PESADO	CENTRAL 18000	10/4/2020	viernes			
LB-475	INCUBADORA/DIURNO	MINISPLIT 18000	11/4/2020	sábado			
LB-347	RECURSOS HUMANOS	MINISPLIT 12000	12/4/2020	domingo			
LB-N.A	VALIDACIONES	MINISPLIT 9000	13/4/2020	lunes			
LB-005	SALA DE MAQUINAS	BOMBAS DE AGUA DE ENFRIAMIENTO 5HP,3Φ	13/4/2020	lunes			
LB-526	ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO/DIURNO	MINISPLIT 9000	14/4/2020	martes			
LB-319	BODEGA DE REFERENCIA	TECHO 36000	16/4/2020	jueves			
LB-514	COMPRAS JAYOR	MINISPLIT 12000	17/4/2020	viernes			
LB-398	SUPERVISORAS LLENADO	MINISPLIT 18000	19/4/2020	domingo			
LB-350	CONTABILIDAD 2	TECHO 60000	20/4/2020	lunes			
LB-367	AREA DE DESMINERALIZACION	BOMBAS DE DESMINERALIZADORES 5HP,3Φ	21/4/2020	martes			
LB-511	SUPERVISORES ÁREA AUTOMATIZADA	MINISPLIT 9000	23/4/2020	jueves			
LB-273	LAVANDERÍA	CENTRAL 60000	24/4/2020	viernes			
LB-484	IMPORTACIONES	MINISPLIT 9000	27/4/2020	lunes			
LB-040	SALA DE MAQUINAS	BOMBAS DE PROCESO 5HP	27/4/2020	lunes			
LB-412	ASESOR DE MERCADEO	MINISPLIT 9000	28/4/2020	martes			
LB-473	ANÁLISIS INSTRUMENTAL/NOCTURNO	TECHO 36000	29/4/2020	miércoles			
LB-477	ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO/NOCTURNO	MINISPLIT 9000	30/4/2020	jueves			

Fuente: Elaboración propia

### Anexo 2. Ejemplo de llenado para planificador con información de monitoreo y control de actividades en Microsoft Excel.

CÓDIGO	ÁREA	EQUIPO	FECHA	DÍA PROGRAMADO	FECHA DE	DÍA DE	STATUS
			PLANIFICADA DE MANTENIMIENTO	DE MANTENIMIENTO	MANTENIMIENTO	MANTENIMIENTO	
LB-N.A	ONCOLÓGICO JAYOR	MINISPLIT 12000	1/1/2020	miércoles			x
LB-438	POLILISO	CENTRAL 9000	2/1/2020	jueves			x
LB-485	ASISTENTES	MINISPLIT 12000	3/1/2020	viernes	3/1/2020	viernes	✓
LB-006	SALA DE MAQUINAS	BOMBAS DE AGUA DE ENFRIAMIENTO 5HP,3Φ	6/1/2020	lunes	6/1/2020	lunes	✓
LB-496	SELLADO 1	CENTRAL 180000	10/1/2020	viernes	10/1/2020	viernes	✓
LB-288	CASILLEROS	CENTRAL 60000	11/1/2020	sábado	12/1/2020	domingo	☑
LB-502	MUESTRO MATERIA PRIMA	CENTRAL 60000	12/1/2020	domingo			x
LB-256	SALA DE MAQUINAS	BOMBAS DE AGUA DE ENFRIAMIENTO 5HP,3Φ	12/1/2020	domingo	14/1/2020	martes	☑
LB-008	SALA DE MAQUINAS	BOMBAS DE PROCESO 5HP	13/1/2020	lunes			x
LB-349	CONTABILIDAD 1	TECHO 60000	15/1/2020	miércoles			x
LB-489	CONTROL DE CALIDAD	CENTRAL 60000	16/1/2020	jueves	16/1/2020	jueves	✓
LB-345	RECEPCIÓN	MINISPLIT 9000	17/1/2020	viernes	18/1/2020	sábado	☑
LB-405	SERVIDOR	MINISPLIT 9000	19/1/2020	domingo	19/1/2020	domingo	✓
LB-515	PRIMERO AUXILIOS	MINISPLIT 12000	20/1/2020	lunes	20/1/2020	lunes	✓
LB-439	AUXILIAR DE EXPORTACIÓN	MINISPLIT 12000	21/1/2020	martes	28/1/2020	martes	☑
LB-513	DISEÑO GRAFICO	MINISPLIT 12000	22/1/2020	miércoles			x
LB-N.A	REGISTRO SANITARIOS BIOGALENIC	MINISPLIT 9000	23/1/2020	jueves	23/1/2020	jueves	✓
LB-346	EXPORTACIÓN	MINISPLIT 12000	24/1/2020	viernes	24/1/2020	viernes	✓
LB-497	SELLADO 2	CENTRAL 180000	25/1/2020	sábado			x
LB-519	AUDITORIA EXTERNA	MINISPLIT 12000	26/1/2020	domingo			x
LB-433	BODEGA MATERIA PRIMA APROBADA	TECHO 60000	27/1/2020	lunes	27/1/2020	lunes	✓
LB-413	CRÉDITOS Y COBROS	MINISPLIT 12000	29/1/2020	miércoles	29/1/2020	miércoles	✓
LB-361	SEGUNDO CAMBIO LLENADO	CENTRAL 60000	30/1/2020	jueves			x
LB-362	INSPECCIÓN L2	CENTRAL 60000	31/1/2020	viernes			x
LB-62	EXTRUSIÓN	CENTRAL 60000	2/2/2020	domingo	4/2/2020	martes	☑
LB-360	PRIMER CAMBIO LLENADO	CENTRAL 60000	3/2/2020	lunes	5/2/2020	miércoles	☑
LB-254	SALA DE MAQUINAS	BOMBA DE CALDERA CLEAVER	3/2/2020	lunes	3/2/2020	lunes	✓
LB-486	ASEGURAMIENTO	MINISPLIT 12000	4/2/2020	martes	4/2/2020	martes	✓
LB-461	CHILLER TRANE	CHILLER 420000	6/2/2020	jueves	6/2/2020	jueves	✓
LB-487	EXCLUSA	MINISPLIT 9000	9/2/2020	domingo			x
LB-505	OFICINAS BODEGA JAYOR	MINISPLIT 12000	10/2/2020	lunes			x
LB-293	AREA DE DESMINERALIZACION	BOMBA DE SUMINISTRO DE EQUIPO 15-2	10/2/2020	lunes	10/2/2020	lunes	✓
LB-455	REGISTRO SANITARIOS JAYOR	MINISPLIT 12000	14/2/2020	viernes	15/2/2020	sábado	☑
LB-525	COMEDOR JAYOR	MINISPLIT 12000	15/2/2020	sábado	17/2/2020	lunes	☑
LB-295	LLENADO L2	CENTRAL 120000	16/2/2020	domingo	17/2/2020	lunes	☑

Fuente: Elaboración propia

### Anexo 3. Ejemplo de matriz de calendario con actividades de mantenimiento asignadas.

DA \ MES	ene-20	feb-20	mar-20	abr-20	may-20	jun-20	jul-20	ago-20	sep-20	oct-20	nov-20	dic-20
1	Miércoles MIN ISPLIT 12000	Sábado	Domingo TECHO 60000	Miércoles	Viernes	Lunes	Miércoles	Sábado	Martes	Jueves	Domingo	Martes
2	Jueves CENTRAL 9000	Domingo CENTRAL 60000	Lunes CENTRAL 60000	Jueves CENTRAL 90000	Sábado BOMBA DE CALDERA YORK	Martes	Jueves	Domingo	Miércoles	Viernes	Lunes	Miércoles
3	Viernes MINISPLIT 12000	Lunes CENTRAL 60000	Martes	Viernes	Domingo	Miércoles BOMBA DE CALDERA C LEAVER	Viernes	Lunes	Jueves	Sábado	Martes	Jueves
4	Sábado	Martes MIN ISPLIT 12000	Miércoles MINISPLIT 9000	Sábado MINISPLIT 12000	Lunes	Jueves	Sábado	Martes	Viernes	Domingo	Miércoles	Viernes
5	Domingo	Miércoles	Jueves MINISPLIT 9000	Domingo	Martes	Viernes	Domingo	Miércoles	Sábado	Lunes	Jueves	Sábado
6	Lunes BOMBAS DE AGUA DE ENFRIAMIENTO 5HP,3Φ	Jueves CHILLER 420000	Viernes CENTRAL 60000	Lunes CENTRAL 9000	Miércoles	Sábado	Lunes	Jueves	Domingo	Martes	Viernes	Domingo
7	Martes	Viernes	Sábado MINISPLIT 12000	Martes	Jueves	Domingo	Martes EXTRACTOR DE AREA DESTILADOR MUELLER	Viernes	Lunes	Miércoles	Sábado	Lunes
8	Miércoles	Sábado	Domingo CHILLER 16200	Miércoles MINISPLIT 24000	Viernes Compresor Kaeser BSD60	Lunes	Miércoles	Sábado FRESADORA	Martes	Jueves	Domingo	Martes
9	Jueves	Domingo MINISPLIT 9000	Lunes MINISPLIT 12000	Jueves MINISPLIT 24000	Sábado Secador de Aire Kaeser	Martes	Jueves	Domingo RECTIFICADORA	Miércoles Destilador Barnstead	Viernes	Lunes	Miércoles
10	Viernes CENTRAL 180000	Lunes MINISPLIT 12000	Martes CENTRAL 120000	Viernes CENTRAL 18000	Domingo BOMBAS DE PROCESO 5HP	Miércoles	Viernes	Lunes TORNO	Jueves Destilador Mueller Multiple efecto	Sábado TORRES DE ENFRIAMIENTO 2HP,3Φ	Martes	Jueves

Fuente: Elaboración propia

#### Anexo 4. Ejemplo de matriz de calendario con programación de días.

DÍA MES	ene-20	feb-20	mar-20	abr-20	may-20	jun-20	jul-20	ago-20	sep-20	oct-20	nov-20	dic-20
	1	Miércoles	Sábado	Domingo	Miércoles	Viernes	Lunes	Miércoles	Sábado	Martes	Jueves	Domingo
2	Jueves	Domingo	Lunes	Jueves	Sábado	Martes	Jueves	Domingo	Miércoles	Viernes	Lunes	Miércoles
3	Viernes	Lunes	Martes	Viernes	Domingo	Miércoles	Viernes	Lunes	Jueves	Sábado	Martes	Jueves
4	Sábado	Martes	Miércoles	Sábado	Lunes	Jueves	Sábado	Martes	Viernes	Domingo	Miércoles	Viernes
5	Domingo	Miércoles	Jueves	Domingo	Martes	Viernes	Domingo	Miércoles	Sábado	Lunes	Jueves	Sábado
6	Lunes	Jueves	Viernes	Lunes	Miércoles	Sábado	Lunes	Jueves	Domingo	Martes	Viernes	Domingo
7	Martes	Viernes	Sábado	Martes	Jueves	Domingo	Martes	Viernes	Lunes	Miércoles	Sábado	Lunes
8	Miércoles	Sábado	Domingo	Miércoles	Viernes	Lunes	Miércoles	Sábado	Martes	Jueves	Domingo	Martes
9	Jueves	Domingo	Lunes	Jueves	Sábado	Martes	Jueves	Domingo	Miércoles	Viernes	Lunes	Miércoles
10	Viernes	Lunes	Martes	Viernes	Domingo	Miércoles	Viernes	Lunes	Jueves	Sábado	Martes	Jueves
11	Sábado	Martes	Miércoles	Sábado	Lunes	Jueves	Sábado	Martes	Viernes	Domingo	Miércoles	Viernes
12	Domingo	Miércoles	Jueves	Domingo	Martes	Viernes	Domingo	Miércoles	Sábado	Lunes	Jueves	Sábado
13	Lunes	Jueves	Viernes	Lunes	Miércoles	Sábado	Lunes	Jueves	Domingo	Martes	Viernes	Domingo
14	Martes	Viernes	Sábado	Martes	Jueves	Domingo	Martes	Viernes	Lunes	Miércoles	Sábado	Lunes
15	Miércoles	Sábado	Domingo	Miércoles	Viernes	Lunes	Miércoles	Sábado	Martes	Jueves	Domingo	Martes
16	Jueves	Domingo	Lunes	Jueves	Sábado	Martes	Jueves	Domingo	Miércoles	Viernes	Lunes	Miércoles
17	Viernes	Lunes	Martes	Viernes	Domingo	Miércoles	Viernes	Lunes	Jueves	Sábado	Martes	Jueves
18	Sábado	Martes	Miércoles	Sábado	Lunes	Jueves	Sábado	Martes	Viernes	Domingo	Miércoles	Viernes
19	Domingo	Miércoles	Jueves	Domingo	Martes	Viernes	Domingo	Miércoles	Sábado	Lunes	Jueves	Sábado
20	Lunes	Jueves	Viernes	Lunes	Miércoles	Sábado	Lunes	Jueves	Domingo	Martes	Viernes	Domingo
21	Martes	Viernes	Sábado	Martes	Jueves	Domingo	Martes	Viernes	Lunes	Miércoles	Sábado	Lunes
22	Miércoles	Sábado	Domingo	Miércoles	Viernes	Lunes	Miércoles	Sábado	Martes	Jueves	Domingo	Martes
23	Jueves	Domingo	Lunes	Jueves	Sábado	Martes	Jueves	Domingo	Miércoles	Viernes	Lunes	Miércoles
24	Viernes	Lunes	Martes	Viernes	Domingo	Miércoles	Viernes	Lunes	Jueves	Sábado	Martes	Jueves
25	Sábado	Martes	Miércoles	Sábado	Lunes	Jueves	Sábado	Martes	Viernes	Domingo	Miércoles	Viernes
26	Domingo	Miércoles	Jueves	Domingo	Martes	Viernes	Domingo	Miércoles	Sábado	Lunes	Jueves	Sábado
27	Lunes	Jueves	Viernes	Lunes	Miércoles	Sábado	Lunes	Jueves	Domingo	Martes	Viernes	Domingo
28	Martes	Viernes	Sábado	Martes	Jueves	Domingo	Martes	Viernes	Lunes	Miércoles	Sábado	Lunes
29	Miércoles	Sábado	Domingo	Miércoles	Viernes	Lunes	Miércoles	Sábado	Martes	Jueves	Domingo	Martes
30	Jueves		Lunes	Jueves	Sábado	Martes	Jueves	Domingo	Miércoles	Viernes	Lunes	Miércoles
31	Viernes		Martes		Domingo		Viernes	Lunes		Sábado		Jueves

Fuente: Elaboración propia

**Anexo 5. Mediciones de energía para carga eléctrica en un día inusual de la planta (día 26 de octubre de 2019, horas de entrada y cambios de turno).**

Fecha	Hora	I medio L1	I medio L2	I medio L3	P medio Total	P medio total kW	Q medio Total	S medio Total	FdP medio L1	FdP medio L2	FdP medio L3
26/10/2019	6:00:00	225.836	203.956	216.459	83035.898	83.035898	-20489.377	85731.867	0.966	0.967	0.97
26/10/2019	6:01:00	220.366	200.049	213.333	80879.117	80.879117	-20489.377	84114.289	0.961	0.967	0.969
26/10/2019	6:02:00	223.492	201.612	216.459	83035.898	83.035898	-18332.602	85192.672	0.972	0.981	0.973
26/10/2019	6:03:00	223.492	200.049	218.803	83035.898	83.035898	-18332.602	85192.672	0.971	0.982	0.973
26/10/2019	6:04:00	215.678	193.797	212.552	79800.734	79.800734	-20489.377	83035.898	0.959	0.969	0.958
26/10/2019	6:05:00	214.115	186.764	204.737	76565.57	76.56557	-22646.154	80339.93	0.955	0.964	0.953
26/10/2019	6:06:00	213.333	185.983	205.519	76565.57	76.56557	-20489.377	80339.93	0.96	0.964	0.954
26/10/2019	6:07:00	209.426	179.731	201.612	74408.789	74.408789	-22646.154	78183.148	0.953	0.951	0.948
26/10/2019	6:08:00	212.552	183.639	201.612	75487.18	75.48718	-20489.377	79261.539	0.962	0.957	0.958
26/10/2019	6:09:00	215.678	185.201	201.612	76565.57	76.56557	-20489.377	79800.734	0.963	0.96	0.957
26/10/2019	6:10:00	217.241	186.764	203.956	77643.953	77.643953	-20489.377	80339.93	0.965	0.963	0.96
26/10/2019	6:11:00	218.803	192.234	207.082	78722.344	78.722344	-18332.602	81957.508	0.97	0.971	0.964
26/10/2019	6:12:00	221.929	197.705	209.426	80879.117	80.879117	-18332.602	83575.094	0.97	0.978	0.964
26/10/2019	6:13:00	222.711	203.956	211.77	81957.508	81.957508	-18332.602	84653.477	0.966	0.978	0.971
26/10/2019	6:14:00	210.989	189.89	203.956	76565.57	76.56557	-20489.377	80339.93	0.959	0.962	0.961
26/10/2019	6:15:00	217.241	188.327	210.208	78722.344	78.722344	-20489.377	81957.508	0.963	0.957	0.96
26/10/2019	6:16:00	224.273	193.797	219.585	81957.508	81.957508	-18332.602	84653.477	0.977	0.97	0.973
26/10/2019	6:17:00	229.744	200.049	225.055	85192.672	85.192672	-18332.602	86810.258	0.98	0.975	0.976
26/10/2019	6:18:00	220.366	193.797	215.678	79800.734	79.800734	-20489.377	83575.094	0.967	0.959	0.96
26/10/2019	6:19:00	216.459	189.89	210.989	77643.953	77.643953	-22646.154	81957.508	0.959	0.952	0.951
26/10/2019	6:20:00	214.115	184.42	207.863	76565.57	76.56557	-22646.154	80339.93	0.959	0.945	0.951
26/10/2019	6:21:00	210.208	179.731	198.486	73330.406	73.330406	-24802.93	77643.953	0.951	0.944	0.944
26/10/2019	6:22:00	207.082	182.857	198.486	73330.406	73.330406	-22646.154	77643.953	0.951	0.951	0.947
26/10/2019	6:23:00	218.022	195.36	213.333	79800.734	79.800734	-18332.602	82496.703	0.973	0.973	0.967

26/10/2019	6:24:00	221.929	197.705	216.459	81957.508	81.957508	-18332.602	84114.289	0.975	0.978	0.97
26/10/2019	6:25:00	225.055	201.612	216.459	81957.508	81.957508	-18332.602	84653.477	0.974	0.977	0.968
26/10/2019	6:26:00	213.333	189.109	203.956	76565.57	76.56557	-22646.154	79800.734	0.956	0.96	0.952
26/10/2019	6:27:00	210.208	182.857	203.175	74408.789	74.408789	-22646.154	78722.344	0.95	0.952	0.955
26/10/2019	6:28:00	218.022	188.327	210.208	78722.344	78.722344	-18332.602	81418.313	0.967	0.97	0.97
26/10/2019	6:29:00	225.055	201.612	221.929	84114.289	84.114289	-16175.824	85731.867	0.976	0.977	0.982
26/10/2019	6:30:00	245.372	228.962	246.154	93819.781	93.819781	-9705.494	95437.359	0.989	0.991	0.994
26/10/2019	6:31:00	248.498	231.306	253.968	95976.555	95.976555	-9705.494	97054.945	0.993	0.992	0.995
26/10/2019	6:32:00	256.313	234.432	256.313	98133.336	98.133336	-7548.718	98672.531	0.995	0.995	0.996
26/10/2019	6:33:00	253.187	235.214	253.968	97054.945	97.054945	-7548.718	98133.336	0.994	0.995	0.996
26/10/2019	6:34:00	253.968	238.339	252.405	97054.945	97.054945	-7548.718	98133.336	0.994	0.996	0.996
26/10/2019	6:35:00	229.744	210.989	228.181	86271.063	86.271063	-14019.048	87888.648	0.982	0.982	0.984
26/10/2019	6:36:00	223.492	204.737	218.022	83035.898	83.035898	-16175.824	85192.672	0.975	0.979	0.979
26/10/2019	6:37:00	218.022	200.83	209.426	79800.734	79.800734	-18332.602	82496.703	0.964	0.973	0.976
26/10/2019	6:38:00	218.022	199.267	210.989	79800.734	79.800734	-18332.602	82496.703	0.968	0.97	0.975
26/10/2019	6:39:00	213.333	195.36	210.989	78722.344	78.722344	-18332.602	81418.313	0.968	0.969	0.977
26/10/2019	6:40:00	224.273	207.082	219.585	84114.289	84.114289	-14019.048	85192.672	0.981	0.987	0.984
26/10/2019	6:41:00	226.618	209.426	219.585	85192.672	85.192672	-11862.271	86271.063	0.984	0.993	0.988
26/10/2019	6:42:00	225.055	206.3	216.459	84114.289	84.114289	-11862.271	85731.867	0.981	0.993	0.986
26/10/2019	6:43:00	223.492	203.175	213.333	83035.898	83.035898	-14019.048	84653.477	0.98	0.992	0.984
26/10/2019	6:44:00	216.459	193.797	207.082	79800.734	79.800734	-16175.824	81957.508	0.973	0.981	0.974
26/10/2019	6:45:00	223.492	196.142	212.552	81957.508	81.957508	-14019.048	84114.289	0.98	0.985	0.978
26/10/2019	6:46:00	225.836	200.049	215.678	83035.898	83.035898	-14019.048	85192.672	0.98	0.986	0.984
26/10/2019	6:47:00	215.678	197.705	214.896	80879.117	80.879117	-16175.824	83035.898	0.976	0.98	0.983
26/10/2019	6:48:00	214.896	194.579	212.552	79800.734	79.800734	-16175.824	81957.508	0.974	0.974	0.979
26/10/2019	6:49:00	222.711	203.956	218.022	83035.898	83.035898	-14019.048	85192.672	0.978	0.981	0.984
26/10/2019	6:50:00	216.459	200.83	215.678	80879.117	80.879117	-18332.602	83575.094	0.963	0.962	0.972
26/10/2019	6:51:00	203.175	189.109	208.645	75487.18	75.48718	-22646.154	79261.539	0.95	0.953	0.963

26/10/2019	6:52:00	205.519	191.453	209.426	76565.57	76.56557	-20489.377	80339.93	0.957	0.967	0.97
26/10/2019	6:53:00	205.519	187.546	204.737	75487.18	75.48718	-20489.377	78722.344	0.955	0.968	0.967
26/10/2019	6:54:00	205.519	181.294	205.519	74408.789	74.408789	-20489.377	78183.148	0.955	0.964	0.963
26/10/2019	6:55:00	195.36	171.917	195.36	69016.852	69.016852	-24802.93	74408.789	0.93	0.935	0.941
26/10/2019	6:56:00	189.109	161.758	188.327	67938.461	67.938461	-9705.494	71173.625	0.968	0.961	0.967
26/10/2019	6:57:00	196.923	175.043	200.83	71173.625	71.173625	-24802.93	76026.375	0.942	0.934	0.933
26/10/2019	6:58:00	193.797	163.321	190.672	69016.852	69.016852	-9705.494	72252.016	0.961	0.95	0.957
26/10/2019	6:59:00	185.201	150.818	178.95	64703.297	64.703297	-11862.271	67938.461	0.957	0.944	0.953
26/10/2019	18:00:00	307.888	289.915	291.477	116465.938	116.465938	6470.33	116465.938	1	0.992	0.999
26/10/2019	18:01:00	310.232	289.915	295.385	116465.938	116.465938	6470.33	117544.32	0.999	0.992	0.999
26/10/2019	18:02:00	307.888	288.352	293.822	116465.938	116.465938	6470.33	117005.125	0.999	0.994	0.999
26/10/2019	18:03:00	306.325	279.756	290.696	114309.156	114.309156	5391.941	115387.547	0.999	0.996	0.999
26/10/2019	18:04:00	303.199	282.1	293.04	115387.547	115.387547	5391.941	115387.547	0.999	0.996	0.999
26/10/2019	18:05:00	304.762	283.663	294.603	115387.547	115.387547	6470.33	116465.938	0.999	0.995	0.999
26/10/2019	18:06:00	318.046	287.57	321.954	121857.875	121.857875	0	122397.07	0.998	0.995	0.996
26/10/2019	18:07:00	316.484	287.57	331.331	122936.266	122.936266	-7548.718	123475.461	1	0.995	0.996
26/10/2019	18:08:00	321.172	286.789	333.675	124014.648	124.014648	-7548.718	124553.844	1	0.995	0.997
26/10/2019	18:09:00	316.484	285.226	331.331	122936.266	122.936266	-7548.718	123475.461	1	0.996	0.996
26/10/2019	18:10:00	314.139	283.663	328.987	121857.875	121.857875	-7548.718	122936.266	0.999	0.996	0.996
26/10/2019	18:11:00	321.954	286.007	336.02	125093.039	125.093039	-5391.941	125093.039	1	0.998	0.996
26/10/2019	18:12:00	317.265	287.57	328.987	122936.266	122.936266	-7548.718	124014.648	0.999	0.997	0.996
26/10/2019	18:13:00	315.702	287.57	327.424	122936.266	122.936266	-7548.718	123475.461	0.999	0.995	0.996
26/10/2019	18:14:00	320.391	294.603	333.675	125093.039	125.093039	-7548.718	126171.43	0.999	0.997	0.996
26/10/2019	18:15:00	332.112	303.199	343.834	129406.594	129.406594	-5391.941	129945.789	1	0.998	0.998
26/10/2019	18:16:00	336.801	307.106	345.397	131563.375	131.563375	-3235.165	131563.375	1	0.999	0.999
26/10/2019	18:17:00	328.987	307.888	343.052	130484.984	130.484984	-3235.165	130484.984	1	0.998	1
26/10/2019	18:18:00	326.642	305.543	339.927	129406.594	129.406594	-3235.165	129406.594	1	0.998	1
26/10/2019	18:19:00	325.079	308.669	339.927	129406.594	129.406594	-3235.165	129945.789	1	0.999	1

26/10/2019	18:20:00	328.987	318.046	343.834	131563.375	131.563375	-3235.165	132102.563	1	0.999	1
26/10/2019	18:21:00	336.801	325.861	350.867	134798.531	134.798531	-1078.388	135337.734	1	0.999	1
26/10/2019	18:22:00	336.801	314.921	349.304	133720.141	133.720141	-1078.388	133720.141	1	0.999	1
26/10/2019	18:23:00	326.642	301.636	338.364	128328.203	128.328203	-5391.941	128867.398	1	0.997	0.999
26/10/2019	18:24:00	317.265	297.729	331.331	126171.43	126.17143	-7548.718	126171.43	0.999	0.997	0.998
26/10/2019	18:25:00	300.073	277.411	313.358	117544.32	117.54432	-14019.048	118622.711	0.992	0.987	0.989
26/10/2019	18:26:00	283.663	257.875	296.166	109995.602	109.995602	-18332.602	112152.383	0.989	0.979	0.981
26/10/2019	18:27:00	289.133	261.001	304.762	112152.383	112.152383	-18332.602	114309.156	0.992	0.98	0.983
26/10/2019	18:28:00	292.259	261.783	301.636	112152.383	112.152383	-16175.824	114309.156	0.993	0.983	0.982
26/10/2019	18:29:00	291.477	259.438	296.166	111073.992	111.073992	-18332.602	113230.766	0.991	0.982	0.98
26/10/2019	18:30:00	286.789	268.034	296.948	112152.383	112.152383	-18332.602	113769.961	0.989	0.983	0.986
26/10/2019	18:31:00	289.915	280.537	303.199	115387.547	115.387547	-16175.824	117005.125	0.988	0.984	0.991
26/10/2019	18:32:00	296.166	282.1	311.795	117544.32	117.54432	-14019.048	119161.906	0.993	0.984	0.993
26/10/2019	18:33:00	297.729	286.007	318.046	119701.102	119.701102	-14019.048	120779.484	0.994	0.986	0.993
26/10/2019	18:34:00	295.385	282.1	316.484	117544.32	117.54432	-16175.824	119701.102	0.993	0.982	0.991
26/10/2019	18:35:00	301.636	282.882	318.046	118622.711	118.622711	-16175.824	120779.484	0.995	0.985	0.99
26/10/2019	18:36:00	303.199	271.941	311.795	117544.32	117.54432	-16175.824	118622.711	0.994	0.986	0.987
26/10/2019	18:37:00	301.636	273.504	307.106	116465.938	116.465938	-16175.824	118083.516	0.991	0.987	0.988
26/10/2019	18:38:00	304.762	278.974	311.013	118622.711	118.622711	-14019.048	119701.102	0.994	0.991	0.991
26/10/2019	18:39:00	304.762	280.537	311.013	118622.711	118.622711	-11862.271	119701.102	0.995	0.992	0.992
26/10/2019	18:40:00	298.51	280.537	308.669	117544.32	117.54432	-14019.048	118622.711	0.993	0.99	0.99
26/10/2019	18:41:00	302.418	282.882	311.013	118622.711	118.622711	-14019.048	119701.102	0.993	0.99	0.99
26/10/2019	18:42:00	307.888	279.756	313.358	118622.711	118.622711	-14019.048	120240.297	0.994	0.989	0.989
26/10/2019	18:43:00	309.451	282.882	316.484	119701.102	119.701102	-14019.048	120779.484	0.995	0.991	0.991
26/10/2019	18:44:00	313.358	283.663	322.735	120779.484	120.779484	-11862.271	121857.875	0.996	0.991	0.991
26/10/2019	18:45:00	313.358	284.444	322.735	120779.484	120.779484	-11862.271	121857.875	0.996	0.992	0.991
26/10/2019	18:46:00	307.106	282.882	318.046	118622.711	118.622711	-14019.048	120240.297	0.995	0.989	0.99
26/10/2019	18:47:00	307.106	282.1	320.391	118622.711	118.622711	-14019.048	120240.297	0.995	0.988	0.99

26/10/2019	18:48:00	311.795	291.477	323.516	121857.875	121.857875	-14019.048	122936.266	0.995	0.99	0.992
26/10/2019	18:49:00	315.702	292.259	325.861	122936.266	122.936266	-11862.271	123475.461	0.996	0.991	0.993
26/10/2019	18:50:00	308.669	292.259	321.172	120779.484	120.779484	-14019.048	122397.07	0.994	0.99	0.993
26/10/2019	18:51:00	306.325	288.352	319.609	119701.102	119.701102	-16175.824	121318.68	0.991	0.986	0.991
26/10/2019	18:52:00	303.199	288.352	321.172	119701.102	119.701102	-16175.824	120779.484	0.992	0.985	0.99
26/10/2019	18:53:00	320.391	304.762	337.582	126171.43	126.17143	-11862.271	127789.008	0.996	0.993	0.994
26/10/2019	18:54:00	346.178	328.205	363.37	136955.313	136.955313	-3235.165	137494.5	1	0.999	0.999
26/10/2019	18:55:00	350.085	328.987	365.714	138033.703	138.033703	-1078.388	138572.891	1	1	1
26/10/2019	18:56:00	342.271	316.484	354.774	133720.141	133.720141	-3235.165	134259.344	1	0.999	0.999
26/10/2019	18:57:00	339.145	306.325	348.523	131563.375	131.563375	-3235.165	131563.375	1	0.999	0.998
26/10/2019	18:58:00	339.927	304.762	353.211	131563.375	131.563375	-3235.165	132102.563	1	0.999	0.998
26/10/2019	18:59:00	348.523	314.921	360.244	134798.531	134.798531	-1078.388	135876.922	1	1	0.998
26/10/2019	19:00:00	351.648	317.265	361.026	135876.922	135.876922	-1078.388	136416.125	1	1	0.999

Fuente: Elaboración propia a partir de auditoría de energía en sala de máquinas