ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO

Desarrollo de un plan de mantenimiento preventivo para el laboratorio de máquinas de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso

Nicolás Agustín Garrido Abarca

Licenciado en Ciencias de la Ingeniería y Título de Ingeniero Mecánico

Pontificia Universidad Católica de Valparaíso

Profesor Guía: Sr. Rigoberto Guardia D

Profesor Co-Guía: Sr. Cristóbal Galleguillos

2020

MANTENIMIENTO

"Cuando todo va bien, nadie recuerda que existe"

"Cuando algo va mal, dicen que no existe"

"Cuando es para gastar, se dice que no es necesario"

"Pero cuando realmente no existe, todos concuerdan en que debería existir"

(Suter, 2010)

Resumen

En este proyecto de tesis, se desarrolló una propuesta de Mantenimiento Preventivo para la asignatura Laboratorio de Máquinas de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso a través de diversos análisis enfocados principalmente en la confiabilidad y disponibilidad de los equipos, con el fin de aumentar la operatividad de las estaciones de trabajo, y optimizar el funcionamiento de los equipos, permitiendo disponer de estas instalaciones cada vez que sean requeridas, disminuyendo las fallas o detenciones en su funcionamiento que pudieran generarse en perjuicio de los estudiantes, mediante una propuesta estratégica de mantenimiento actualizada y configurada según las necesidades propias de sus usuarios.

Objetivo: Desarrollar e implementar un plan de mantenimiento preventivo para aumentar la disponibilidad de los equipos y reducir los tiempos de mantenimiento, con el fin de contar con ellos para cuando se requiera.

Metodología: Se desarrollan actividades de mantenimiento y la correspondiente frecuencia de éstos, para todos los equipos, sub-equipos y componentes a través de un análisis de criticidad de activos, desarrollado mediante una matriz de riesgo y un análisis de modo de falla.

Conclusiones: Las técnicas de mantenimiento que se proponen, permiten mantener una revisión constante y precisa de dichas fallas, evitando que vuelvan a ocurrir. Además, disminuyen los costos que producen y aumentan la disponibilidad y fiabilidad de la planta y sus procesos.

Implementar el desarrollo de técnicas de mantenimiento preventivo, puede ser el impulso inicial para optimizar los procesos de aprendizaje de los estudiantes, potenciar la disponibilidad de los equipos, y asegurar confiabilidad en su funcionamiento.

Palabras claves: falla; mantenimiento; mantenimiento preventivo; laboratorio de máquinas; equipos; análisis funcional; criticidad; matriz de riesgo; tareas preventivas; mejora continua.

Abstract

In this thesis project, a Preventive Maintenance proposal was developed for the subject Laboratory of Machines of the School of Mechanical Engineering of the Pontifical Catholic University of Valparaíso through various analyzes focused mainly on the reliability and availability of the equipment, with the In order to increase the operability of the work stations, and optimize the operation of the equipment, allowing these facilities to be available whenever they are required, reducing failures or stoppages in their operation that could be generated to the detriment of the students, through a proposal maintenance strategy updated and configured according to the needs of its users.

Objective: To develop and implement a preventive maintenance plan to increase the availability of equipment and reduce maintenance times, in order to have them available when required.

Methodology: Maintenance activities and the corresponding frequency of these are developed for all equipment, sub-equipment and components through a criticality analysis of assets, developed through a risk matrix and a failure mode analysis.

Conclusions: The maintenance techniques that are proposed allow us to maintain a constant and precise review of these failures, avoiding their recurrence. In addition, they reduce the costs they produce and increase the availability and reliability of the plant and its processes. Implementing the development of preventive maintenance techniques can be the initial impetus to optimize the learning processes of students, enhance the availability of equipment, and ensure reliability in its operation.

Keywords: falla; mantenimiento; mantenimiento preventivo; laboratorio de máquinas; equipos; análisis funcional; criticidad; matriz de riesgo; tareas preventivas; mejora continua.

Índice

Índice ..... - 5 -

Índice de figuras ..... - 7 -

Índice de tablas ..... - 8 -

1. Introducción ..... - 9 -

1.1 Objetivos ..... - 13 -

1.1.1 Objetivo General. ..... - 13 -

1.1.2 Objetivos específicos. ..... - 13 -

1.2. Alcances ..... - 13 -

1.3.1 Misión ..... - 14 -

1.3.2 Visión ..... - 14 -

2. Aspectos Generales del Mantenimiento ..... - 15 -

2.1 Evolución del mantenimiento ..... - 15 -

2.2 Definición del mantenimiento ..... - 17 -

2.3 Objetivos del mantenimiento ..... - 17 -

2.4 Tipos de mantenimiento ..... - 17 -

2.4.1 Mantenimiento Correctivo o Reactivo ..... - 18 -

2.4.2 Mantenimiento Preventivo ..... - 19 -

2.4.3 Mantenimiento Predictivo ..... - 20 -

2.5 Metodologías de mantenimiento ..... - 22 -

2.5.1 RCM ..... - 22 -

2.5.2 TPM ..... - 23 -

2.6 Gestión de Activos ..... - 24 -

3. Identificación de Equipos y Estaciones de Trabajo ..... - 25 -

3.1 Descripción del laboratorio ..... - 25 -

3.2 Descripción de los equipos ..... - 26 -

3.3 Situación actual de los equipos ..... - 36 -

3.4 Mantenimiento actual de los equipos ..... - 37 -

4. Propuesta del Plan de Mantenimiento ..... - 38 -

4.1 Desarrollo de Plan ..... - 39 -

4.1.2 Análisis Funcional ..... - 41 -

4.1.3 Análisis de Criticidad ..... - 53 -

4.1.4 Matriz de Riesgo ..... - 55 -

4.1.5 Fmeca "Failure modes, effects and criticality analysis" ..... - 61 -

4.2 Mejora continua del plan de mantenimiento ..... - 65 -

5. Evaluación Económica ..... - 66 -

6. Conclusiones ..... - 69 -

7. Bibliografía ..... - 72 -

8. Anexos ..... - 73 -

Índice de figuras

Figura 2-1: Evolución del Mantenimiento ..... - 16 -
Figura 2-2:Tipos de Mantenimiento ..... - 18 -
Figura 2-3: Esquema de activo físico ..... - 24 -
Figura 3-1: Compresor recíproco de pistones ..... - 26 -
Figura 3-2: Flujograma de funcionamiento compresor recíproco de pistones ..... - 27 -
Figura 3-3: Compresor de tornillo ..... - 28 -
Figura 3-4: Flujograma de funcionamiento del compresor de tornillo ..... - 29 -
Figura 3-5: Ventilador radial ..... - 30 -
Figura 3-6: Flujograma de funcionamiento del ventilador radial ..... - 31 -
Figura 3-7: Conjunto motor-generador ..... - 31 -
Figura 3-8: Conjunto motor-generador-turbina ..... - 32 -
Figura 3-9: Flujograma de funcionamiento estación Turbina ..... - 33 -
Figura 3-10: Bomba centrífuga ..... - 34 -
Figura 3-11: Motor eléctrico ..... - 35 -
Figura 3-12: Flujograma de funcionamiento de estación bomba ..... - 36 -
Figura 4-1: Plan de mantenimiento propuesto ..... - 40 -
Figura 4-2: Análisis Funcional ..... - 41 -
Figura 4-3: Matriz de riesgo general ..... - 56 -
Figura 4-4: Rangos de criticidad ..... - 56 -
Figura 4-5: Matriz de riesgo compresores ..... - 57 -
Figura 4-6: Matriz de riesgo ventilador ..... - 58 -
Figura 4-7: Matriz de riesgo turbina ..... - 59 -
Figura 4-8: Matriz de riesgo bomba ..... - 60 -
Figura 4-9: Mejora continua del plan de mantenimiento ..... - 65 -
Figura 5-1: Gráfico resumen tareas preventivas ..... - 67 -
Figura 8-1: Lay Out Máquinas del Laboratorio ..... - 73 -
Figura 8-2: Especificación Técnica Compresor de Tornillo ..... - 74 -
Figura 8-3: Frontis Escuela de Ingeniería Mecánica PUCV ..... - 74 -
Figura 8-4: Malla Curricular Ingeniería Mecánica ..... - 74 -

Índice de tablas

Tabla 4-1: Análisis Funcional Compresor recíproco de pistones ..... - 42 -
Tabla 4-2: Análisis Funcional Motor eléctrico ..... - 43 -
Tabla 4-3: Análisis Funcional Compresor de tornillo ..... - 44 -
Tabla 4-4: Análisis Funcional FRL ..... - 45 -
Tabla 4-5: Análisis Funcional Ventilador radial ..... - 46 -
Tabla 4-6: Análisis Funcional Motor eléctrico ..... - 47 -
Tabla 4-7: Análisis Funcional Turbina ..... - 48 -
Tabla 4-8: Análisis Funcional Motores ..... - 49 -
Tabla 4-9: Análisis Funcional Generadores ..... - 50 -
Tabla 4-10: Análisis Funcional Bomba Centrífuga ..... - 51 -
Tabla 4-11: Análisis Funcional Motor eléctrico ..... - 52 -
Tabla 4-12: Fmeca compresores ..... - 62 -
Tabla 4-13: Fmeca ventilador ..... - 63 -
Tabla 4-14: Fmeca turbina ..... - 63 -
Tabla 4-15: Fmeca bomba ..... - 64 -
Tabla 5-1: Resumen de Tareas Preventivas ..... - 66 -

1. Introducción

Una empresa es un sistema que integra distintos elementos que favorecen un funcionamiento óptimo para cumplir sus fines. Al igual que en una organización, este sistema se coordina y dirige sus factores productivos, en donde se consideran los elementos necesarios para producir (materia prima o bienes semielaborados), fuerza de trabajo, maquinaria, entre otros; los factores mercadotécnicos, para vender los productos; y, por último, los factores financieros, los cuales permiten efectuar inversiones necesarias para extender las tareas y aprovechar debidamente las oportunidades del mercado.

En este proceso, toda empresa u organización finalmente requiere del uso de maquinaria, que optimice los sistemas de producción para satisfacer las necesidades de los consumidores en distintos aspectos a considerar.

Para permanecer en el tiempo y lograr el éxito, una empresa comprendida en cualquier mercado u otro tipo de organización, deben fijar algunos objetivos operativos que le facilitarán dicha tarea, enfocándose principalmente en la maximización de beneficios (a corto y largo plazo), cantidad de ventas y la productividad de factores productivos, además del dominio en el mercado para asegurar la supervivencia y crecimiento de la empresa; la seguridad de los puestos de trabajo y el bienestar de sus empleados; su independencia frente a otras empresas y el mantenimiento de un control financiero efectivo en la empresa.

La consecución de los objetivos está directamente relacionada con los medios que se emplean, es por esto, que se hace primordial que todos los medios funcionen de manera óptima, ya que pueden influir en el funcionamiento de todo el sistema. Así surge un aspecto fundamental que se basa en analizar las situaciones conflictivas que puedan ocurrir, que dificulten la consecución de los objetivos, porque es imprescindible para la planificación estratégica de la empresa u organización, entre las múltiples variables que se deben coordinar para ello.

Sin embargo, suele considerarse principalmente el beneficio que se obtiene en la empresa u organización, aunque sea prioritario y relevante, donde también lo es la capacidad de supervivencia de la misma empresa, ya que incluso otros objetivos pueden depender de esto.

Actualmente la calidad y productividad determinan la competitividad de una industria, es decir que, para alcanzar el éxito, la empresa debe garantizar productos y servicios que respondan a una necesidad real y satisfaga las expectativas de los consumidores, cumpliendo normas y requisitos necesarios para funcionar debidamente y por sobre todo se genere una relación favorable entre precios competitivos y a costos que generen ganancias. Consecuentemente, los objetivos de toda empresa se determinan en relación con lograr los beneficios esperados, satisfaciendo la necesidad de los consumidores, ofreciendo un producto o servicio de alta calidad a un precio competitivo y cumpliendo plazos determinados. Por lo tanto, la integración de un sistema de mantenimiento genera beneficios en todas las áreas mencionadas, ya que se presenta como la única función operacional que influye positivamente en el costo, plazo y calidad de productos y/o servicios primordiales para el rendimiento industrial de manera sistemática.

Es importante no limitar las objetivos solo a funciones operacionales efectivas, sino también enfocadas desde una administración estratégica, en cualquier tipo de organización o institución, como lo es en el caso de la asignatura Laboratorio de Máquinas de la Escuela de Ingenieria Mecánica de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, estableciendo metas precisas, garantizando el funcionamiento adecuado de todos los procesos a través de una estrategia óptima de mantenimiento que minimice os impactos producidos por los costos en pérdidas, que implica el costo de reparaciones y las bajas de producción. El mantener menores costos y tiempos de reparación, significa finalmente una garantía para cualquier organización y una ventaja competitiva.

Los grandes cambios del sistema global de economía han impulsado un mercado cada vez más competitivo que, con alta demanda exigen productos cada vez mejores y en mayores cantidades, por lo tanto, se vuelve necesaria una capacidad de respuesta que hasta ahora se ve sobrepasada. Utilizar métodos como el mantenimiento industrial, es una oportunidad de integrar soluciones efectivas que respondan a las demandas actuales y que favorezcan el mejoramiento permanente de los sistemas, en empresas, organizaciones e instituciones.

En primer lugar, se centraron los esfuerzos y recursos en la capacidad de producción. Posteriormente, al aumentar la demanda e intentar producir continuamente, apareció el problema del mantenimiento, que en esas instancias se convierte en una función secundaria de la línea productiva que busca reparar desperfectos rápidamente y a bajo costo. Sin embargo, la estrategia óptima es contar con un sistema de reparación que implique un costo menor que el costo que se produce por pérdidas de producción.

Como consecuencia de lo anterior, el mantenimiento se transforma en una necesidad cuya solución permanente consiste en aplicar continuamente un conjunto de técnicas, a través de las cuales se puede conservar maquinaria o equipos e instalaciones en general de un servicio en estado óptimo para sus funciones. Es decir, generar la posibilidad de disponer de ellos en las mejores condiciones por el mayor tiempo posible, para garantizar el mejor rendimiento y producción. Para ello, las principales actividades que se derivan del mantenimiento implican considerar los costos, evaluación del estado de instalaciones, la seguridad de los recursos humanos y materiales, y la prevención y corrección de averías.

La Terotecnología es un tipo de tecnología sobre conservación que surge en Gran Bretaña en los años 70 y se define como: "La Terotecnología es el conjunto de prácticas de gestión, financieras y técnicas aplicadas a los activos físicos para reducir el coste del ciclo de vida".

Esto implica disponer de un modelo de referencia del funcionamiento adecuado de cada equipo en un tiempo especificado, así también su información técnica y detalles de instalación y funcionamiento, para lo cual se necesita evaluar su rendimiento y funcionalidades. En esta línea, es indispensable responsabilizarse de acciones tanto preventivas como correctivas y de mantener un sistema de vigilancia periódica, con el objetivo de reducir costos al mínimo posible mientras se aumenta su disponibilidad en niveles óptimos lo que, en consecuencia, mejora también la fiabilidad de las máquinas e instalaciones requeridas por la institución.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo General.

Desarrollar un plan de mantenimiento preventivo dedicado a mantener la operación de los equipos y estaciones de trabajo asociadas a la asignatura del laboratorio de máquinas, con la finalidad de contar con éstos para cuando se requiera.

1.1.2 Objetivos específicos.

- Identificar los equipos asociados a cada estación de trabajo experimental.
- Planificar las actividades de mantención.
- Anotar los eventos de mantención, los tipos de falla, los insumos críticos y otros aspectos que inciden en la continuidad operacional de las estaciones y de los equipos.
- Controlar las actividades de mantención tal como dice el plan.

1.2. Alcances

Se desarrolló un plan de mantenimiento, como protocolo de aplicación y actualización permanente en el Laboratorio de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso para mejorar la disponibilidad de las máquinas de estudio, lo que beneficiará directamente a los estudiantes, que podrán disponer del laboratorio y sus instalaciones en su máxima capacidad de manera permanente mientras reducen los costos y tiempos de reparación.

1.3 Antecedentes de la Institución

La Escuela de Ingeniería Mecánica de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso inició sus actividades docentes dentro de la Facultad de Industrias el día 25 de marzo de 1928. Dicha Facultad estaba integrada por Construcción, Electricidad Industrial, Mecánica Industrial y Química Industrial.

El 15 de diciembre de 1978 la antigua Escuela de Mecánica se incorpora a la Facultad de Ingeniería, pasando a denominarse “Escuela de Ingeniería Mecánica”.

La Escuela de Ingeniería Mecánica desde el año 1974 hasta en la actualidad, comenzó un proceso de perfeccionamiento docente permitiendo que casi la totalidad de sus profesores obtengan el grado de Magister o Doctor en Ciencias de la Ingeniería, o bien el título de Ingeniero Civil Mecánico.

1.3.1 Misión

La misión de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso es el estudio, creación, transmisión de conocimientos y formación de profesionales y graduados de la especialidad, en el ámbito del diseño, de la energía, las máquinas, los procesos de fabricación y los materiales.

,

1.3.2 Visión

La Escuela de Ingeniería Mecánica será reconocida por su excelencia académica, por la calidad en los resultados de sus procesos formativos y el crecimiento permanente en su propio saber.

Sus egresados se destacarán por su sello valórico distintivo de la Universidad, competencia profesional en diferente ámbitos, liderazgo y capacidad de aplicar, transmitir y actualizar sus conocimientos con el fin de contribuir al desarrollo.

2. Aspectos Generales del Mantenimiento

2.1 Evolución del mantenimiento

Las industrias de la época de 1950 integran el término de mantenimiento que en sus inicios se entiende como la función de arreglar y reparar equipos para asegurarse en términos productivos, no obstante, ha evolucionado como un sistema integral que comprende también prevenir, corregir y revisar los equipos, lo que permite optimizar los costos. Aunque esto es fundamental para cualquier organización, cobran distintos niveles de relevancia dependiendo del área específica de la industria. Para las centrales nucleares e industrias aeronáuticas el mantenimiento es un servicio fundamental. También es importante para una industria de proceso y puede ser secundario para empresas de bajos costos por paro.

Hacia 1975 la Organización de las Naciones Unidas define una diferenciación entre operaciones y mantenimiento como complemento dentro del proceso productivo, para lo cual se consideran como ejes principales la minimización de paralizaciones y garantías en el funcionamiento de todas las instalaciones con cierto nivel de calidad definido.

Desde finales del siglo XIX con la revolución industrial, el mantenimiento evoluciona en distintas etapas, donde en un comienzo son los mismos operarios quienes se hacen cargo de reparar los equipos, tarea que fue en aumento y requería cierta complejidad se independiza esta función en un área independiente. Sin embargo, aún se considera como un oficio correctivo. Es a partir de la Primera y Segunda Guerra Mundial que se considera relevante la fiabilidad en los equipos, por lo tanto, la responsabilidad del departamento encargado de mantenimiento radica en la corrección, pero sobre todo en la prevención de dichas fallas, buscando minimizar las consecuencias de éstas si llegaran a ocurrir.

Aparece entonces el Mantenimiento Preventivo, el Mantenimiento Predictivo, el Mantenimiento Proactivo, la Gestión de Mantenimiento Asistida por Ordenador, el Mantenimiento Basado en Fiabilidad (RCM). El RCM es más bien un modelo tecnológico donde el mantenimiento se gestiona, analizando los equipos y sus funciones, así como analizar modelos de fallo y su detección.

Los primeros registros de mantenimientos preventivos se sitúan en Estados Unidos con la marca Ford en 1910, tratando de adelantarse a los fallos manteniendo los equipos en condiciones óptimas la mayor parte del tiempo, considerando diversos aspectos que influyen en los resultados.

Como consecuencia de la Segunda Guerra Mundial se conoce el mantenimiento productivo, que implica además de un diseño que facilite la tarea de mantenimiento, sino que también involucra a los operarios en dichas tareas. Así da origen al Mantenimiento Productivo Total (TPM) donde vuelven al modelo inicial donde los operarios de producción mantienen directamente el cuidado de las máquinas para reducir las fallas a cero, siendo su objetivo principal implicar a todos los empleados y lograr así cero accidentes, defectos o averías.

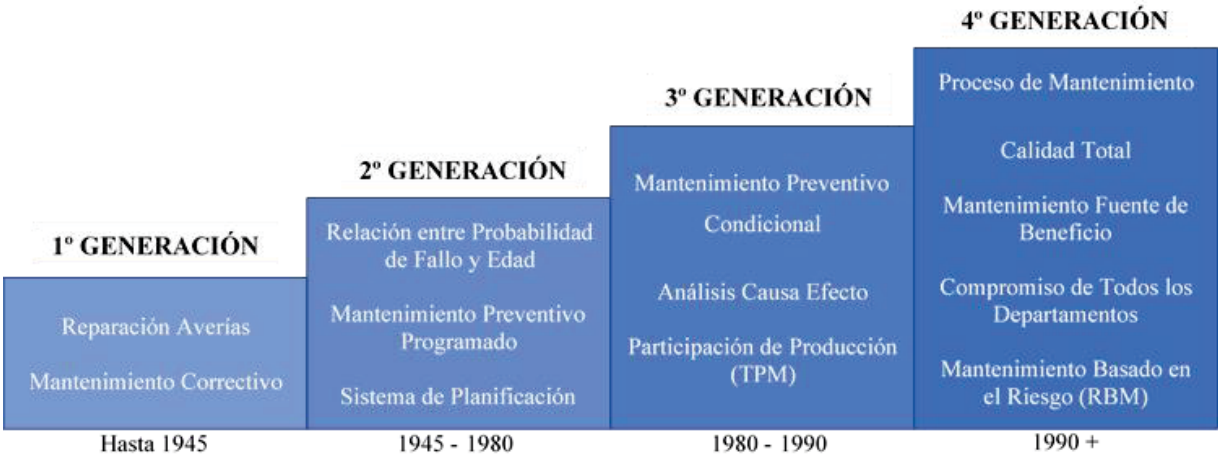

Figura 2-1: Evolución del Mantenimiento

Fuente: Elaboración propia

2.2 Definición del mantenimiento

El mantenimiento se define principalmente, como el desarrollo de un conjunto de actividades que, son necesarias para mantener y asegurar el correcto funcionamiento de los equipos y el entorno donde éstos operan, para que sigan desempeñando las funciones deseadas o de diseño.

2.3 Objetivos del mantenimiento

Los objetivos del mantenimiento, se enfocan principalmente en la conservación de máquinas, equipos e instalaciones en un estado normal de funcionamiento puesto que, éstos, operando en su rendimiento óptimo, conllevan a mantener un alto índice de productividad, evitando interrupciones no programadas con el fin de evitar pérdidas de tiempo y dinero.

2.4 Tipos de mantenimiento

Se logran distinguir los siguientes tipos de mantenimiento más comúnmente usados en la actualidad:

- Mantenimiento Correctivo o Reactivo.
- Mantenimiento Preventivo:
- Mantenimiento Predictivo.
  - Mantenimiento Predictivo Sintomático.
  - Mantenimiento Predictivo Condicional.

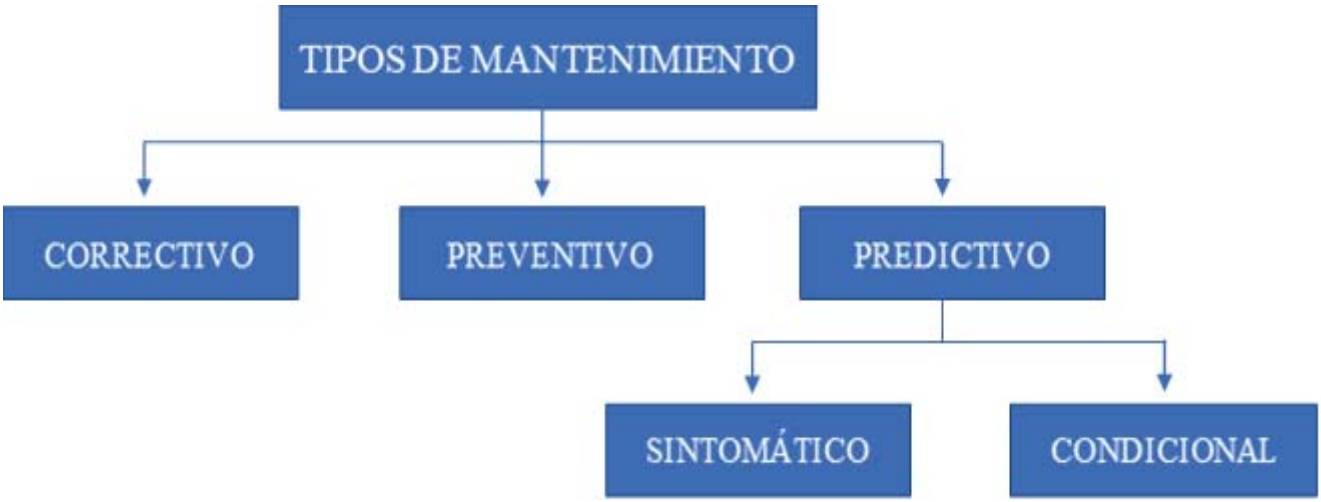

Figura 2-2:Tipos de Mantenimiento

Fuente: Elaboración propia

2.4.1 Mantenimiento Correctivo o Reactivo

El mantenimiento correctivo o reactivo, es la forma más básica de mantenimiento y consiste en localizar fallas o averías, que ocurren de manera espontánea, con el objetivo de corregirlas o repararlas. Estas fallas o averías producen costos no planificados de reparación y repuestos que influyen directamente en la planificación del presupuesto.

- Ventajas:
  - Aprovechamiento total de la pieza de un equipo o máquina.
  - Debido a que no es necesaria una compleja organización ni planificación, no se requiere una excesiva especialización del personal que realizará las tareas de mantenimiento.
  - Costos bajos a corto plazo.

- Desventajas:
  - Para equipos y máquinas críticas, existen pérdidas de producción, por ende, este tipo de mantenimiento produce altos costos de reparación.
  - Se produce de forma inesperada.
  - La rapidez para solucionar el problema produce reparos de baja calidad, debido a que se da prioridad en reponer antes que reparar de forma definitiva.

2.4.2 Mantenimiento Preventivo

Este tipo de mantenimiento se basa en evitar que ocurra una falla o avería en una máquina o equipo. Consiste en un desarrollo de un “plan” previamente desarrollado y establecido con el fin de anticiparse a que ocurra la falla o la avería. Dicho plan es específico para cada máquina o equipo en los cuales se realizarán acciones necesarias tales como engrases, lubricación, limpieza, desmontaje, reemplazo de partes, etc.

En la práctica, el éxito del mantenimiento preventivo se basa en una correcta planificación de las tareas de prevención, así como también, en el análisis periódico del programa, su constante actualización y el riguroso control en el cumplimiento de las actividades.

- Ventajas:
  - Se requiere un conocimiento más detallado de los equipos y máquinas lo que conllevará a tener registros de fallas históricas, las cuales ayudarán a un mejor control de éstas en las instalaciones.
  - Es posible una mejor planificación en los trabajos de mantenimiento, debido a que se reduce la mantención correctiva, y esto representa una disminución en los costos de producción, y un aumento en la disponibilidad.
  - Los equipos y máquinas funcionan con un mayor grado de seguridad, puesto que se conoce el estado de estos, y sus condiciones de funcionamiento.

- Desventajas:
  - Se debe realizar una inversión inicial importante para la operación del plan.
  - Es recomendable que el personal encargado del mantenimiento cuente con experiencia en la realización de las tareas preventivas.
  - Errores en la aplicación del mantenimiento preventivo, aumentaría el costo del plan sin que hubiera mejoras sustanciales en la disponibilidad de las máquinas o equipos.

2.4.3 Mantenimiento Predictivo

Este tipo de mantenimiento se basa en la predicción de la falla o avería antes de que ésta ocurra o se produzca. Más que un tipo de mantenimiento, está referido a las técnicas de detección temprana de síntomas para realizar mantenimiento antes de la aparición del fallo. Se trata principalmente en lograr adelantarse al fallo o al momento en que las máquinas o los equipos dejen de funcionar en sus condiciones óptimas. Para lograr esto, se utilizan herramientas más técnicas y especializadas que en los otros tipos de mantenimientos, basadas a través de parámetros o síntomas, dentro de lo más utilizados son:

- Análisis de temperatura: Termografías.

- Análisis de vibraciones: Mediciones de amplitud, velocidad y aceleración.

- Análisis de lubricantes: Análisis tribológico.

- Análisis de espesores: Mediante ultrasonido.

- Análisis de vibraciones y ruidos.

Cabe destacar que dentro del mantenimiento preventivo existen dos subtipos, los cuales son el mantenimiento preventivo sintomático y el mantenimiento preventivo condicional.

El primero es que se efectúa en periodos determinados de tiempo, de forma regular, según un plan establecido y teniendo en cuenta la criticidad de las máquinas y la existencia o no de reemplazo de éstas, cabe mencionar también que este tipo de mantenimiento es utilizado en equipos que no requieren altos costos en cambio de piezas; mientras que el segundo, es utilizado para vigilar el funcionamiento de las máquinas, precisamente los parámetros (presión, nivel, flujo, etc.), integrando acciones resultando de estos controles. Este tipo de mantenimiento preventivo permite supuestamente superar las desventajas del mantenimiento sistemático. No requiere ningún conocimiento adicional, sino la comparación de los controles con umbrales predefinidos.

- Ventajas:
  - Al utilizar herramientas más técnicas y personal especializado, los resultados esperados deberían ser más exactos, esto quiere decir que existiría un aumento en la confiabilidad.
  - Existen menores tiempos de mantenimiento debido a que solo se cambian los repuestos que necesitan ser cambiados, esto conlleva a que exista un aumento en la disponibilidad de las máquinas o equipos y por ende haya un aumento en la producción y una disminución en los costos.
  - La operatividad de máquinas y equipos es más continua, puesto que las detenciones son con mucho menor frecuencia, puesto que se puede predecir el momento en que ocurrirá la falla.
- Desventajas:
  - La inversión inicial de este tipo de mantenimiento es muy grande, puesto que se ocupan equipos externos de medición que son costosos.
  - Se debe disponer de un personal capacitado para la interpretación de datos y realizar el posterior análisis de éstos, lo que requiere un nivel alto de conocimiento técnico.
  - En general, la implantación de este sistema se justifica para máquinas, equipos o instalación que, en el caso donde haya paros imprevistos, éstos generen grandes pérdidas y costos.

2.5 Metodologías de mantenimiento

2.5.1 RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad)

El **RCM** (Reliability Centred Maintenance) o Mantenimiento basado en la fiabilidad o confiabilidad de los equipos, se centra en analizar las fallas potenciales que pueda tener una instalación, y se evalúan sus consecuencias para definir una manera de evitarlos a través de un Plan de Mantenimiento, que cumple criterios específicos de calidad definidos por Nowlan y Heap. Se trata de analizar las fallas que ya han ocurrido, para diagnosticar y definir un tratamiento específico que evite que los eventos se repitan, incorporando medidas preventivas para ser aplicadas.

Terminando el siglo XX evoluciona el software de mantenimiento industrial en respuesta a los requerimientos de control y almacenamiento de datos, manejo de equipos y mano de obra, entre otros.

El RCM se basa en el análisis de fallas, tanto de las que ya ocurrieron como los que están por ocurrir, lo que conlleva a que, durante el proceso de análisis deben contestarse siete preguntas claves:

1. ¿Cuáles son las funciones del equipo? (¿Qué queremos que el equipo haga?
2. ¿De qué forma puede fallar?
3. ¿Cuál es la causa de la falla?
4. ¿Qué sucede cuando falla?
5. ¿Qué ocurre o importa si falla?
6. ¿Qué se puede hacer para prevenir o predecir la falla?
7. ¿Qué debo hacer, si no puedo predecir o prevenir la falla?

2.5.2 TPM (Total Productive Maintenance)

El **TPM** o Mantenimiento Productivo Total, es una manera de gestionar administrativamente el mantenimiento industrial, estableciendo estrategias que mejoren los procesos y, en consecuencia, las capacidades de la industria progresivamente. Considera algunas situaciones improductivas que se deben evitar en el futuro, como una maquina averiada, que no trabaje a toda su capacidad o que fabrique productos defectuosos.

Se denominan “Las seis grandes pérdidas” a las siguientes:

1. Fallas del equipo que produzcan pérdidas de tiempo inesperadas.
2. Tiempos muertos por ajustes de la máquina, cambio de etapa o de operación productiva.
3. Esperas y averías menores
4. Velocidad de operación reducida, cuando el equipo no funciona a su máxima capacidad.
5. Defectos del proceso, que se deben corregir volviendo a hacer una operación o terminar actividades.
6. Pérdidas de tiempo en nuevos procesos, ya sea pruebas o marchas en vacío.

La estrategia del TPM comprende una serie de actividades y consideraciones que ayudan a mejorar la competitividad de una organización, formando parte del enfoque de Calidad Total, en la que las empresas enfatizan en la inspección permanente para prevenir y predecir posibles fallas, además de efectuar las reparaciones requeridas. Es decir, se pretende *“mantener los equipos en disposición para producir a su capacidad máxima productos de la calidad esperada, sin paradas no programadas* “ (García, 2019), convirtiéndolo en un elemento indispensable dentro de cualquier organización, para potenciar sus capacidades productivas y cumplir los objetivos esperados.

2.6 Gestión de Activos

La gestión de activos, permite definir las actividades y prácticas sistemáticas y coordinadas, a través de las cuales se busca manejar de manera óptima y sustentable los activos físicos, su performance asociada, riesgos y gastos a lo largo del ciclo de vida con el objetivo de cumplir con el plan estratégico organizacional, o con un plan de mantenimiento previamente diseñado.

Un sistema de gestión de activos físicos resulta vital en organizaciones, dependientes del funcionamiento y performance de sus activos físicos, y de un correcto cumplimiento de sus servicios y productos.

Figura 2-3: Esquema de activo físico

Fuente: Elaboración propia

3. Identificación de Equipos y Estaciones de Trabajo

3.1 Descripción del Laboratorio

El Laboratorio de Máquinas de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso como asignatura curricular, consiste en aplicar de manera práctica, los conocimientos adquiridos en las diferentes asignaturas del área (calor y energía), mediante la realización de diversos ensayos y experiencias con las máquinas y equipos que la escuela tiene a disposición, con el fin de que el alumno complemente sus conocimientos, y pueda desarrollarse de forma más completa en esta área.

Las clases de laboratorio se realizan semanalmente. Estas son guiadas por un profesor competente en el área de aprendizaje, que cuenta con la expertiz necesaria respecto de las diferentes experiencias que se puedan realizar dentro del laboratorio, y por supuesto, con un conocimiento detallado de cada máquina y sus respectivos componentes.

En cada experiencia, los equipos son sometidos a determinados procedimientos y a diferentes condiciones de trabajo, para comprender de manera integral su funcionamiento y comportamiento, lo cual llevará a los alumnos a entender de manera práctica lo aprendido previamente en los ramos teóricos.

Se identificaron cuatro estaciones de trabajo, que serán parte del desarrollo del plan de mantenimiento. Dichas estaciones de trabajo son las siguientes, y se detallarán en el capítulo posterior:

- Estación Compresores
- Estación Ventilador
- Estación Turbina
- Estación Bomba

3.2 Descripción de los equipos

A continuación, se detallan los equipos, máquinas y componentes mínimos mantenibles, que forman parte de la asignatura del Laboratorio de Máquinas de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, y que estarán sujeto a la aplicación de un mantenimiento preventivo.

- **Estación compresores**

  - Compresor recíproco de pistones marca “Behälter-u apparatebau” (BuA) Año 1929

Figura 3-1: Compresor recíproco de pistones

Fuente: Elaboración propia

Componentes:

- Estanque de acumulación
- Estanque de baja presión
- Válvulas de paso

- Válvula de seguridad
- Piping
- Sellos/juntas
- Correas de distribución
- Válvulas de funcionamiento
- Manómetros
- Termómetros

❖ Funcionamiento del compresor recíproco de pistones

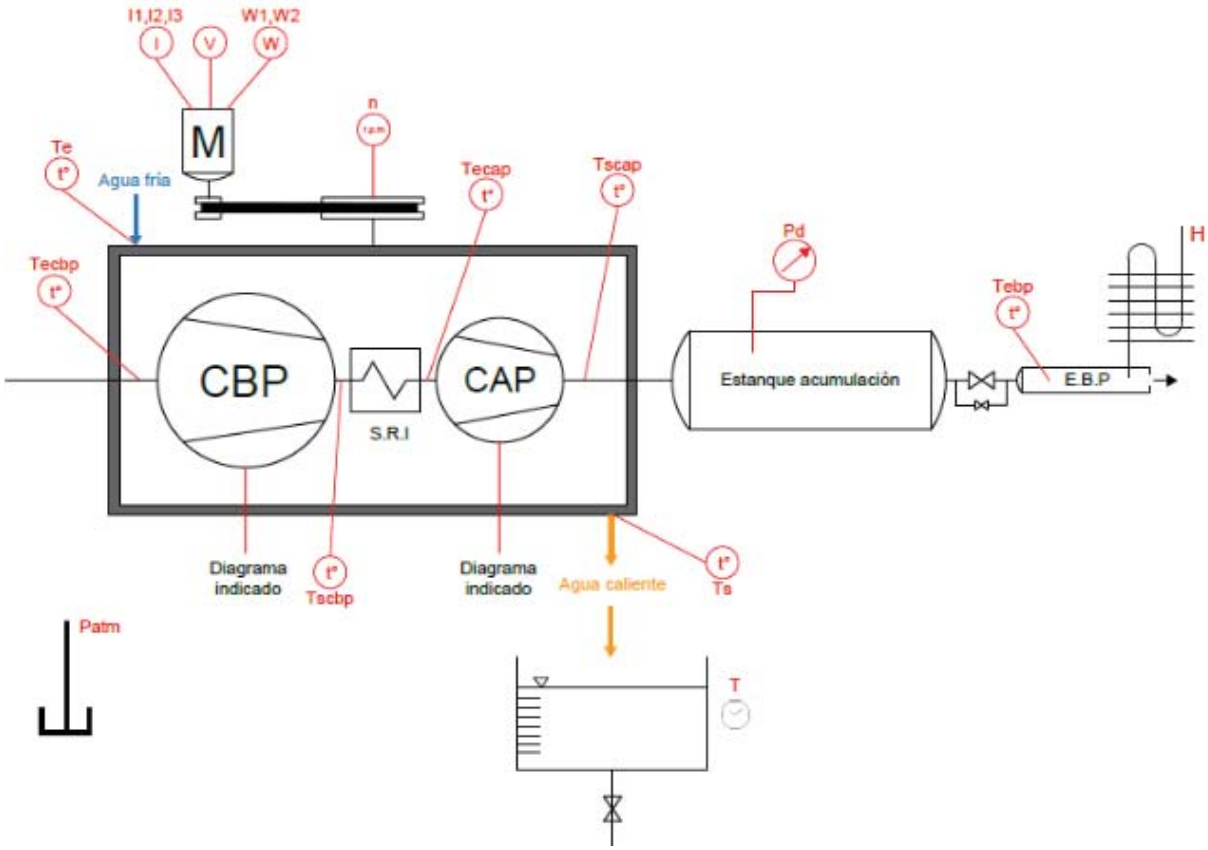

Figura 3-2: Flujograma de funcionamiento compresor recíproco de pistones

Fuente: Guía de clases del laboratorio de máquinas

- Compresor de tornillo Atlas Copco Modelo GA7VSDff año 2012

Figura 3-3: Compresor de tornillo

Fuente: Elaboración propia

Componentes:

- FRL
- Mangueras
- Aceite

❖ Funcionamiento compresor de tornillo

Figura 3-4: Flujograma de funcionamiento del compresor de tornillo

Fuente: Guía de clases del laboratorio de máquinas

- **Estación Ventilador**

  - Ventilador Radial marca desconocida año desconocido

Figura 3-5: Ventilador radial

Fuente: Elaboración propia

Componentes:

- Correa de distribución
- Rodamientos
- Pintura

❖ Funcionamiento del ventilador radial

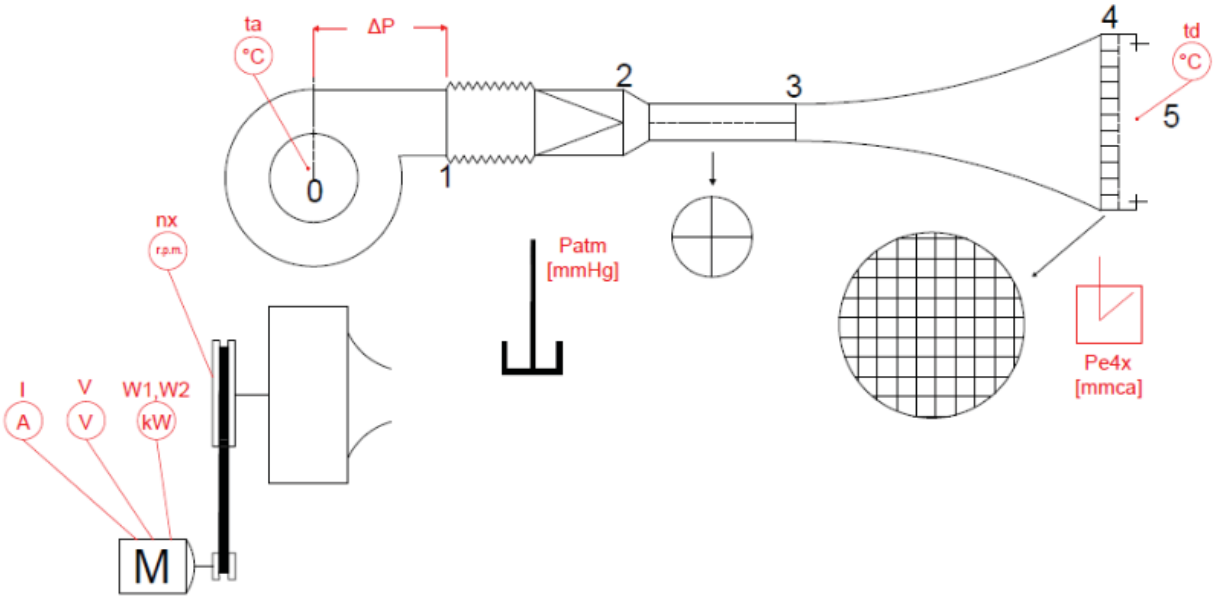

Figura 3-6: Flujograma de funcionamiento del ventilador radial

Fuente: Guía de clases del laboratorio de máquinas

➢ **Estación Turbina**

- Conjunto Motor-Generador marca AEG año 1927

Figura 3-7: Conjunto motor-generador

Fuente: Elaboración propia

Componentes:

- Sistema eléctrico
- Alineamiento de transmisión
- Lubricación
- Piping

- Conjunto Generador-Motor-Turbina tipo Francis marca AEG año 1927

Figura 3-8: Conjunto motor-generador-turbina

Fuente: Elaboración propia

Componentes:

- Correa de transmisión
- Sistema eléctrico
- Manómetro
- Sellos/Juntas
- Medidor de caudal
- Válvulas de paso

❖ Funcionamiento de la estación turbina

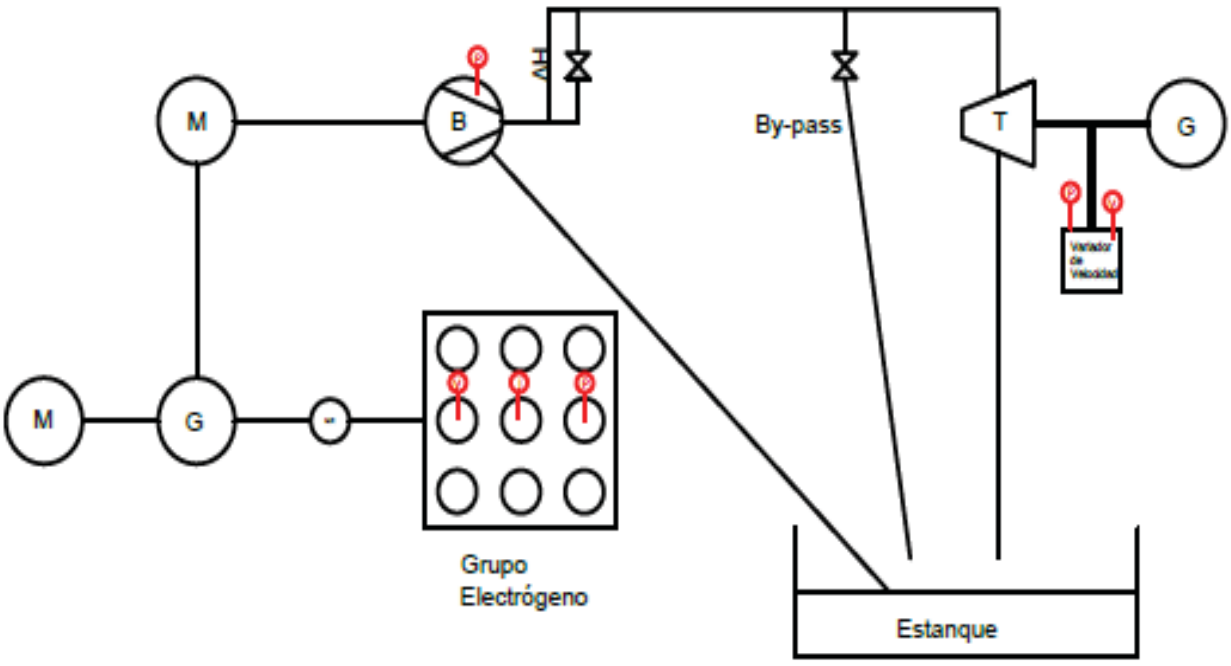

Figura 3-9: Flujograma de funcionamiento estación Turbina

Fuente: Elaboración propia

- **Estación Bomba**

  - Bomba Centrífuga marca Leader año 1974

Figura 3-10: Bomba centrífuga

Fuente: Elaboración propia

Componentes:

- Sistema prensa estopa
- Sellos/Juntas
- Pintura
- Piping
- Alineamiento de transmisión

- Motor eléctrico marca Unelec año desconocido

Figura 3-11: Motor eléctrico

Fuente: Elaboración propia

Componentes:

- Sistema eléctrico
- Freno
- Lubricación

❖ Funcionamiento de la bomba

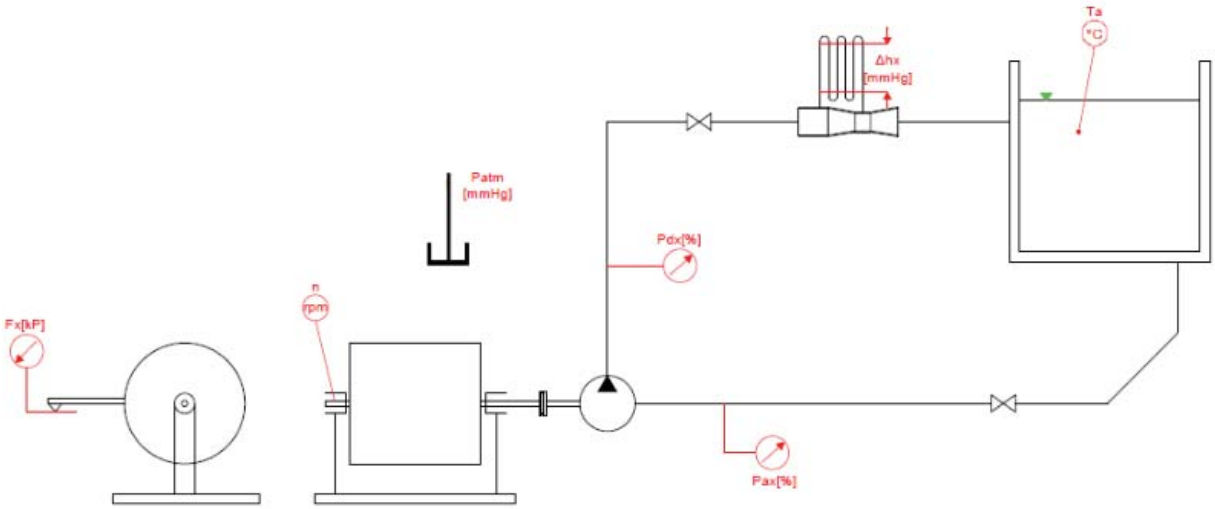

Figura 3-12: Flujograma de funcionamiento de estación bomba

Fuente: Guía de clases del laboratorio de máquinas

3.3 Situación actual de los equipos

Los equipos y máquinas previamente descritos en el capítulo anterior, forman parte de los equipos utilizados en la asignatura del Laboratorio de Máquinas de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, a los cuales se le realizarán un mantenimiento preventivo, con el fin de lograr una mayor eficiencia y eficacia en el rendimiento y uso de dichos equipos.

Los equipos mencionados, que son los más utilizados en la asignatura de Laboratorio, se encuentran en una amplia variedad de características, tanto de año de fabricación, como de países de origen, o mantenciones realizadas desde su funcionamiento, etcétera; así como también el distinto uso que tienen actualmente algunos de ellos. Es por estos motivos, que existen equipos que presentan fallas o averías con mayor frecuencia, como también hay otros que se les requiere casi nula intervención o reparación, debido a su condición.

3.4 Mantenimiento actual de los equipos

Las máquinas o equipos que están afecto al trabajo de esta tesis, desde que son parte de la maquinaria de la asignatura del Laboratorio de Máquinas de la Escuela, siempre se les ha aplicado un mantenimiento correctivo, es decir, al momento de verificar que un equipo se encuentra en mal estado, se ha reparado de manera que cumpla su función inmediata dentro del laboratorio, sin llevar una tarea de mantenimiento programado o preventivo con el fin de adelantarse a dichas fallas que, a la larga, retrasan las tareas del laboratorio por culpa de las fallas imprevistas.

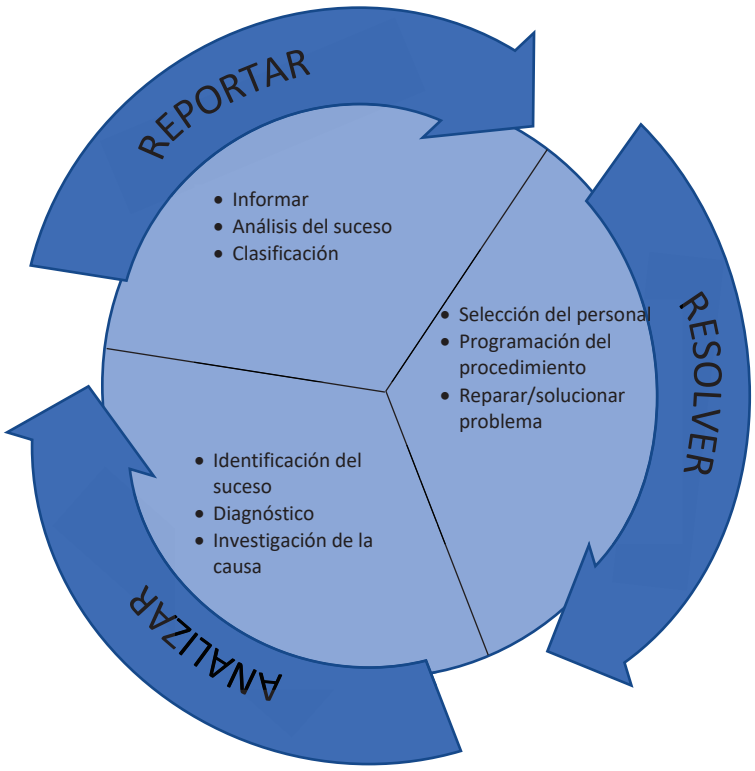

Figura 3-13: Procedimiento del mantenimiento actual

Fuente: Elaboración propia

4. Propuesta del Plan de Mantenimiento

En general, el objetivo de un plan de mantenimiento, es lograr alcanzar la máxima fiabilidad y disponibilidad de una planta, tanto en el corto como en el largo plazo, utilizando los mínimos recursos.

Lo primordial en un laboratorio, es disponer de los equipos de manera constante. Sin embargo, actualmente ante cualquier falla, se realiza un mantenimiento correctivo. Esta práctica hasta ahora supone una política rentable de corto plazo. Pero a largo plazo, la capacidad de los equipos se va mermando, obligando la sustitución de estos. Esto implica, sin duda, la pérdida de tiempos importantes para los procesos de la institución.

Por lo tanto, resulta fundamental que la aplicación de un plan de mantenimiento se lleve a cabo por personal con experiencia, el cual se encargue de determinar las actividades para la realización de los eventos, supervisar su realización y optimizar los procesos. Además, deberá prevenir de manera efectiva y eficiente posibles fallas o averías, disminuyendo paulatinamente los costos, y aumentando la fiabilidad de la instalación.

En este trabajo de tesis, se optará por un plan de mantenimiento preventivo que estará basado en prevenir las fallas más comunes que se dan en el Laboratorio, así como también, dar real importancia a la unidad mínima mantenible en cada máquina y sus respectivos componentes. Este sistema no solo permitirá el diseño del plan de mantenimiento, sino que también, permitirá proponer mejoras que eviten las fallas, crear una costumbre de mantenimiento y también seleccionar los repuestos necesarios para cada requerimiento, con el fin de aumentar la productividad y la disponibilidad de los equipos o máquinas. y reducir de manera considerable los tiempos perdidos.

4.1 Desarrollo de Plan

El plan de mantenimiento que se realizará, está construido fundamentalmente al plan de mantenimiento basado en instrucciones genéricas, y también bajo el sistema de análisis de criticidad. Esto quiere decir que, en primera instancia, se realiza un inventario de las máquinas disponibles a trabajar en la asignatura del Laboratorio Máquinas de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

Luego de esto se define el análisis funcional de cada estación de trabajo, con el fin de conocer la función de las máquinas y componentes más importantes de cada estación, así como también las fallas recurrentes de éstas.

Posterior a este análisis se procederá a realizar el respectivo análisis de criticidad para cada estación de trabajo a través de la implementación de una matriz de riesgo que permitirá la determinación y la posterior evaluación de cada estación de trabajo.

Finalmente se realizará un análisis de modos de falla Fmeca acompañado de la descripción de las tareas preventivas y la frecuencia de éstas para cada máquina y componente de cada estación de trabajo.

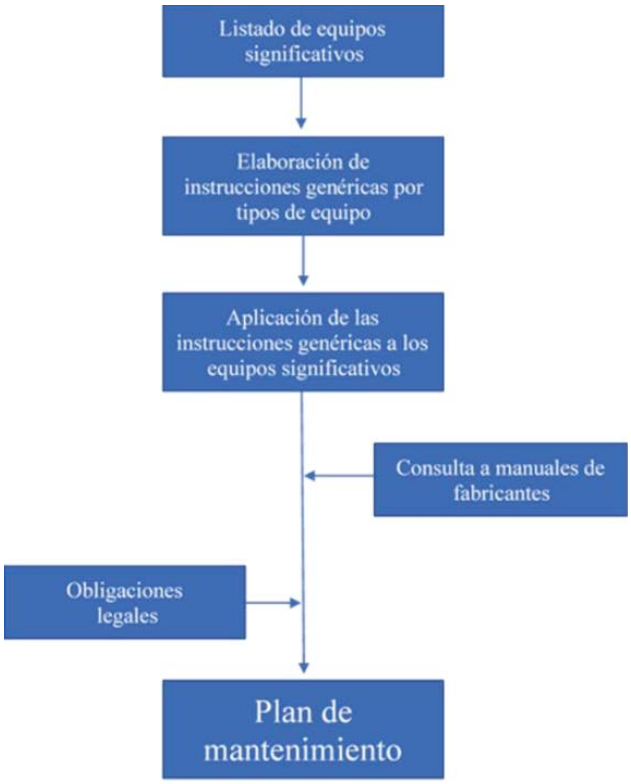

Figura 4-1: Plan de mantenimiento propuesto

Fuente: Elaboración propia

4.1.2 Análisis Funcional

El análisis funcional, es una descripción de la función de cada equipo, subequipo o componente, y es esencial para el buen conocimiento de éstos.

Para lograr un mantenimiento adecuado, es primordial realizar el análisis cuidadosamente, puesto que implica conocer la función de las máquinas y de cada componente de ésta, con el fin de que no se produzcan, o se eviten, fallas funcionales que impedirían a las máquinas realizar su función principal.

Se identifican 2 tipos de funciones: la función principal, que se refiere a la función para la cual fue concebida o diseñada la máquina; y la función secundaria, que es la necesaria para el cumplimiento de la función principal.

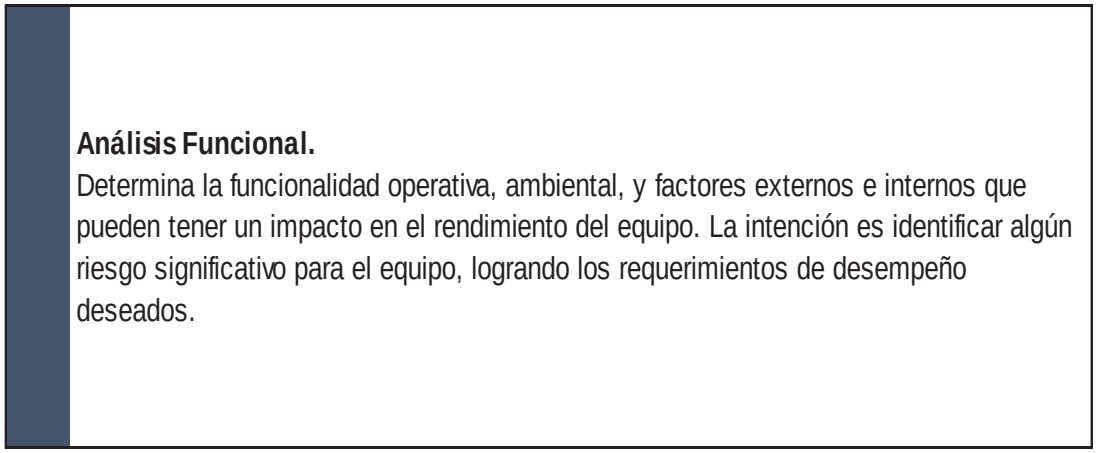

Figura 4-2: Análisis Funcional

Fuente: Elaboración propia

En este ítem se analizará cada estación de trabajo y parte de los equipos de éstas, descritas en los capítulos anteriores, con el fin de profundizar en sus funciones tanto principales, secundarias y así como identificar sus fallos más recurrentes en ocurrencias.

Estación	Compresores
Equipo	Compresor recíproco de pistones

Función Primaria
Suministrar aire a alta presión

Función Secundaria
Ayudar a mantener la presión según lo requerido

Fallos Recurrentes
Rotura de válvulas, rotura de marcador del cigüeñal

Tabla 4-1: Análisis Funcional Compresor recíproco de pistones

Fuente: Elaboración propia

Estación	Compresores
Equipo o componente	Motor eléctrico

Función Primaria
Transformar energía eléctrica en energía mecánica

Función Secundaria
Entregar movimiento al compresor a través de correas

Fallos Recurrentes
Fallas eléctricas, falta de lubricación

Tabla 4-2: Análisis Funcional Motor eléctrico

Fuente: Elaboración propia

Estación	Compresores
Equipo	Compresor de tornillo

Función Primaria
Suministrar aire a alta presión según lo requerido

Función Secundaria
Suplir la falta de aire necesario para los requerimientos

Fallos Recurrentes
Aceite desgastado, obturación de tornillo

Tabla 4-3: Análisis Funcional Compresor de tornillo

Fuente: Elaboración propia

Estación	Compresores
Equipo	FRL

Función Primaria
Filtrar, regular presión y lubricar línea de trabajo

Función Secundaria
No fugar

Fallos Recurrentes
Fugas de aceite, descalibración de manómetro, desgaste en sellos

Tabla 4-4: Análisis Funcional FRL

Fuente: Elaboración propia

Estación	Ventilador
Equipo	Ventilador radial

Función Primaria
Generar flujo de aire de manera continua

Función Secundaria
Producir movimiento en el aire

Fallos Recurrentes
Falla de mecanismos de generación de movimiento

Tabla 4-5: Análisis Funcional Ventilador radial

Fuente: Elaboración propia

Estación	Ventilador
Equipo	Motor eléctrico

Función Primaria
Transformar energía eléctrica en energía mecánica

Función Secundaria
Entregar movimiento al ventilador a través de correa

Fallos Recurrentes
Fallas eléctricas, falta de lubricación

Tabla 4-6: Análisis Funcional Motor eléctrico

Fuente: Elaboración propia

Estación	Turbina
Equipo	Turbina

Función Primaria
Generar trabajo mecánico para lo que se requiera

Función Secundaria
Proveer de energía para determinada función

Fallos Recurrentes
Atascamiento en álaves y mecanismos

Tabla 4-7: Análisis Funcional Turbina

Fuente: Elaboración propia

Estación	Turbina
Equipo	Motores

Función Primaria
Transformar energía eléctrica en energía mecánica

Función Secundaria
Entregar movimiento mecánico al equipo que lo requiera

Fallos Recurrentes
Fallas eléctricas

Tabla 4-8: Análisis Funcional Motores

Fuente: Elaboración propia

Estación	Turbina
Equipo	Generadores

Función Primaria
Generar energía eléctrica a partir de movimiento mecánico

Función Secundaria
Entregar energía para el funcionamiento de la turbina

Fallos Recurrentes
Fallas eléctricas

Tabla 4-9: Análisis Funcional Generadores

Fuente: Elaboración propia

Estación	Bomba
Equipo	Bomba Centrífuga

Función Primaria
Impulsar agua a lo largo del circuito

Función Secundaria
Succionar e impulsar

Fallos Recurrentes
Desgaste sistema prensa estopa, atascamiento

Tabla 4-10: Análisis Funcional Bomba Centrífuga

Fuente: Elaboración propia

Estación	Turbina
Equipo	Motor eléctrico

Función Primaria
Transformar energía eléctrica en energía mecánica

Función Secundaria
Entregar energía a la bomba centrífuga

Fallos Recurrentes
Fallas eléctricas, fallas en rodamientos

Tabla 4-11: Análisis Funcional Motor eléctrico

Fuente: Elaboración propia

4.1.3 Análisis de Criticidad

La evaluación o análisis de criticidad es la valorización del riesgo de una falla funcional de un activo, analizadas en el capítulo anterior, y que permite priorizar programas y planes de mantenimiento de manera más eficiente y que, junto con esto, permite establecer la prioridad para la programación y las ejecuciones de los trabajos planeados, esto quiere decir que este análisis nos entrega el foco de donde poner los mayores esfuerzos y mayor atención en orden de prioridad, puesto que se definen los activos más críticos y los riesgos asociados a éstos.

El análisis de criticidad aplica en cualquier conjunto de procesos, sistemas, equipos y componentes que, de acuerdo con su impacto funcional, requieran ser jerarquizados. Se pueden definir 5 campos principales donde comúnmente se aplica este análisis, los cuales son los siguientes:

- Mantenimiento
- Inspección
- Materiales
- Personal
- Disponibilidad de planta

- En mantenimiento:

Posterior a tener establecido cuales son las estaciones más críticas, se podrá establecer de manera más eficiente la priorización de los programas y de los planes de mantenimiento: correctivo, preventivo, predictivo e inclusive agregar posibles mejoras a los planes con el fin de perfeccionarlos

- En inspección:

Un adecuado análisis de criticidad facilita la implantación de un programa de inspección, puesto que una lista jerarquizada, indica con certeza a las estaciones que vale la pena realizar inspección y va en ayuda en los criterios de selección de intervalos de tiempo, así como también el tipo de procedimiento de inspección.

- En materiales:

El análisis de criticidad ayuda a tomar las mejores decisiones con respecto al stock de materiales y repuestos que debe existir en los almacenes de planta o en el almacén central para en cada estación de trabajo con el fin de lograr un costo óptimo mínimo de inventario.

- A nivel del personal:

Un buen análisis de criticidad potencia el desarrollo de habilidades en el personal, puesto que se desarrolla un plan de formación técnica y de crecimiento personal basado en las necesidades reales de cada estación de trabajo, enfocándose inicialmente en las estaciones más críticas.

- En disponibilidad de planta:

Los datos de criticidad permiten tener una buena base para el desarrollo de proyectos de inversión de capital o de renovación en los procesos, estaciones y equipos, puesto que estos proyectos estarán basados en el área de mayor impacto total, que es aquella de mayor índice de criticidad.

En consecuencia, el objetivo del análisis de criticidad es el diseño e implementación de un método que sirva para ayudar a la jerarquización de los activos como las máquinas, sus subequipos y los componentes de una instalación, permitiendo lo subdivisión de éstos de manera que sea más sencilla para la realización de las tareas específicas.

4.1.4 Matriz de Riesgo

La matriz de riesgo, es una herramienta de control que permite determinar y evaluar el riego asociado a un activo, o de un conjunto de activos, para lograr la determinación de su criticidad. Esta matriz se logra completar considerando dos tipos de parámetros:

- *Probabilidad de ocurrencia de fallas*

  Se asocia a la probabilidad de tiempo en que un activo deja de cumplir su función principal debido a una falla. Esta probabilidad está definida en 5 niveles, siendo el nivel 1 el de menor probabilidad de ocurrencia, y el nivel 5 el de mayor probabilidad de ocurrencia.

- *Parámetros de Impacto/Consecuencias*

  Tiene que ver con el impacto o consecuencia asociada a la probabilidad de ocurrencia de una falla. Estos parámetros deben ser determinados para los siguientes 5 aspectos:

  - Salud y Seguridad
  - Medio Ambiente
  - Aspecto Legal
  - Social
  - Negocio

  Para cada aspecto se deben definir 5 niveles, siendo 5 el de mayor impacto y 1 el de menor impacto.

A continuación, se presenta la matriz de riesgo utilizada para la determinación de la criticidad de los activos:

IMPACTO / CONSECUENCIA	Daño a las personas (seguridad / salud ocupacional)	Impacto ambiental	Interrupción del negocio / Daño material y otras pérdidas	Aspectos legales y regulatorios	Impacto en reputación / Social / Comunidades						
	Múltiples fatalidades / Impacto a la salud con consecuencia fatal	Daño extremo al medio ambiente	Se necesita reparación de equipos especializados - Requiere repuestos de importación	Juicios y penas muy considerables, múltiples pleitos legales y encarcelamientos	Impacto internacional - Atención pública a nivel internacional	Catastrófico	5	5	10	15	20	25
	Una fatalidad o pérdida en la calidad de vida / Impacto irreversible para la salud	Daño importante o mayor al medio ambiente	Se necesita reparación de equipos especializados - Requiere repuestos nacionales o de stock	Infracción mayor a la ley: juicio y penas considerables	Impacto nacional - Preocupación pública a nivel nacional	Mayor	4	4	8	12	16	20
	Lesión con tiempo perdido / Impacto reversible para la salud	Daño serio al medio ambiente	Se necesita reparación de equipos especializados - Solo insumos menores	Infracciones a la ley: investigación / Reporte a la autoridad, juicio y/o posible pena moderada	Impacto considerable - Preocupación pública a nivel regional	Moderado	3	3	6	9	12	15
	Tratamiento médico / Exposición a un riesgo mayor para la salud	Daño evidente al medio ambiente	Es posible una reparación eficaz por el área operativa	Asuntos legales de relevancia menor: no conformidades e infracciones a la ley	Impacto limitado - preocupación de las comunidades locales	Menor	2	2	4	6	8	10
	Primeros auxilios / Exposición a un riesgo menor para la salud	Daño mínimo al medio ambiente	Es posible una reparación rápida sin interrupción de la operatividad	Asuntos legales de relevancia baja	Impacto leve - Puede existir conocimiento público, pero no preocupación	No significativo	1	1	2	3	4	5
								1	2	3	4	5
								Casi imposible	Improbable	Posible	Probable	Casi segura
								CADA 3 AÑOS	ANUAL	SEMESTRAL	MENSUAL	SEMANAL
								PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE FALLA				

Figura 4-3: Matriz de riesgo general

Fuente: Elaboración propia

Se definen 4 rangos de riesgo que definirán, a través de la matriz, la criticidad de cada estación de trabajo que será descritas a continuación:

Riesgo	Rangos
MENOR	1 a 3
MODERADO	4 a 6
GRAVE	7 a 12
CRÍTICO	13 a 25

Figura 4-4: Rangos de criticidad

Fuente: Elaboración propia

- **Estación Compresores**

IMPACTO / CONSECUENCIA	Daño a las personas (seguridad / salud ocupacional)	Impacto ambiental	Interrupción del negocio / Daño material y otras pérdidas	Aspectos legales y regulatorios	Impacto en reputación / Social / Comunidades						
	Múltiples fatalidades / Impacto a la salud con consecuencia fatal	Daño extremo al medio ambiente	Se necesita reparación de equipos especializados - Requiere repuestos de importación	Juicios y penas muy considerables, múltiples pleitos legales y encarcelamientos	Impacto internacional - Atención pública a nivel internacional	Catastrófico	5	5	10	15	20	25
	Una fatalidad o pérdida en la calidad de vida / Impacto irreversible para la salud	Daño importante o mayor al medio ambiente	Se necesita reparación de equipos especializados - Requiere repuestos nacionales o de stock	Infracción mayor a la ley: juicio y penas considerables	Impacto nacional - Preocupación pública a nivel nacional	Mayor	4	4	8	12	16	20
	Lesión con tiempo perdido / Impacto reversible para la salud	Daño serio al medio ambiente	Se necesita reparación de equipos especializados - Solo insumos menores	Infracciones a la ley: investigación / Reporte a la autoridad, juicio y/o posible pena moderada	Impacto considerable - Preocupación pública a nivel regional	Moderado	3	3	6	9	12	15
	Tratamiento médico / Exposición a un riesgo mayor para la salud	Daño evidente al medio ambiente	Es posible una reparación eficaz por el área operativa	Asuntos legales de relevancia menor: no conformidades e infracciones a la ley	Impacto limitado - preocupación de las comunidades locales	Menor	2	2	4	6	8	10
	Primeros auxilios / Exposición a un riesgo menor para la salud	Daño mínimo al medio ambiente	Es posible una reparación rápida sin interrupción de la operatividad	Asuntos legales de relevancia baja	Impacto leve - Puede existir conocimiento público, pero no preocupación	No significativo	1	1	2	3	4	5
								1	2	3	4	5
								Casi imposible	Improbable	Posible	Probable	Casi segura
								CADA 3 AÑOS	ANUAL	SEMESTRAL	MENSUAL	SEMANAL
								PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE FALLA				

Riesgo	Rangos
MENOR	1 a 3
MODERADO	4 a 6
GRAVE	7 a 12
CRÍTICO	13 a 25

Figura 4-5: Matriz de riesgo compresores

Fuente: Elaboración propia

Resumen de datos:

- Probabilidad de ocurrencia: 3
- Mayor nivel de consecuencia: 3

Por lo tanto:

- **Criticidad 9** = Grave

- **Estación Ventilador**

IMPACTO / CONSECUENCIA	Daño a las personas (seguridad / salud ocupacional)	Impacto ambiental	Interrupción del negocio / Daño material y otras pérdidas	Aspectos legales y regulatorios	Impacto en reputación / Social / Comunidades						
	Múltiples fatalidades / Impacto a la salud con consecuencia fatal	Daño extremo al medio ambiente	Se necesita reparación de equipos especializados - Requiere repuestos de importación	Juicios y penas muy considerables, múltiples pleitos legales y encarcelamientos	Impacto internacional - Atención pública a nivel internacional	Catastrófico	5	5	10	15	20	25
	Una fatalidad o pérdida en la calidad de vida / Impacto irreversible para la salud	Daño importante o mayor al medio ambiente	Se necesita reparación de equipos especializados - Requiere repuestos nacionales o de stock	Infracción mayor a la ley: juicio y penas considerables	Impacto nacional - Preocupación pública a nivel nacional	Mayor	4	4	8	12	16	20
	Lesión con tiempo perdido / Impacto reversible para la salud	Daño serio al medio ambiente	Se necesita reparación de equipos especializados - Solo insumos menores	Infracciones a la ley: investigación / Reporte a la autoridad, juicio y/o posible pena moderada	Impacto considerable - Preocupación pública a nivel regional	Moderado	3	3	6	9	12	15
	Tratamiento médico / Exposición a un riesgo mayor para la salud	Daño evidente al medio ambiente	Es posible una reparación eficaz por el área operativa	Asuntos legales de relevancia menor: no conformidades e infracciones a la ley	Impacto limitado - preocupación de las comunidades locales	Menor	2	2	4	6	8	10
	Primeros auxilios / Exposición a un riesgo menor para la salud	Daño mínimo al medio ambiente	Es posible una reparación rápida sin interrupción de la operatividad	Asuntos legales de relevancia baja	Impacto leve - Puede existir conocimiento público, pero no preocupación	No significativo	1	1	2	3	4	5
								1	2	3	4	5
								Casi imposible	Improbable	Posible	Probable	Casi segura
								CADA 3 AÑOS	ANUAL	SEMESTRAL	MENSUAL	SEMANAL
								PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE FALLA				

Riesgo	Rangos
MENOR	1 a 3
MODERADO	4 a 6
GRAVE	7 a 12
CRÍTICO	13 a 25

Figura 4-6: Matriz de riesgo ventilador

Fuente: Elaboración propia

Resumen de datos:

- Probabilidad de ocurrencia: 2
- Mayor nivel de consecuencia: 3

Por lo tanto:

- **Criticidad 6** = Moderado

- **Estación Turbina**

IMPACTO / CONSECUENCIA	Daño a las personas (seguridad / salud ocupacional)	Impacto ambiental	Interrupción del negocio / Daño material y otras pérdidas	Aspectos legales y regulatorios	Impacto en reputación / Social / Comunidades		Casi imposible	Improbable	Posible	Probable	Casi segura
	Múltiples fatalidades / Impacto a la salud con consecuencia fatal	Daño extremo al medio ambiente	Se necesita reparación de equipos especializados - Requiere repuestos de importación	Juicios y penas muy considerables, múltiples pleitos legales y encarcelamientos	Impacto internacional - Atención pública a nivel internacional	Catastrófico	5	10	15	20	25
	Una fatalidad o pérdida en la calidad de vida / Impacto irreversible para la salud	Daño importante o mayor al medio ambiente	Se necesita reparación de equipos especializados - Requiere repuestos nacionales o de stock	Infracción mayor a la ley: juicio y penas considerables	Impacto nacional - Preocupación pública a nivel nacional	Mayor	4	8	12	16	20
	Lesión con tiempo perdido / Impacto reversible para la salud	Daño serio al medio ambiente	Se necesita reparación de equipos especializados - Solo insumos menores	Infracciones a la ley: investigación / Reporte a la autoridad, juicio y/o posible pena moderada	Impacto considerable - Preocupación pública a nivel regional	Moderado	3	6	9	12	15
	Tratamiento médico / Exposición a un riesgo mayor para la salud	Daño evidente al medio ambiente	Es posible una reparación eficaz por el área operativa	Asuntos legales de relevancia menor: no conformidades e infracciones a la ley	Impacto limitado - preocupación de las comunidades locales	Menor	2	4	6	8	10
	Primeros auxilios / Exposición a un riesgo menor para la salud	Daño mínimo al medio ambiente	Es posible una reparación rápida sin interrupción de la operatividad	Asuntos legales de relevancia baja	Impacto leve - Puede existir conocimiento público, pero no preocupación	No significativo	1	1	2	3	4	5
								1	2	3	4	5
								CADA 3 AÑOS	ANUAL	SEMESTRAL	MENSUAL	SEMANAL
								PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE FALLA				

Riesgo	Rangos
MENOR	1 a 3
MODERADO	4 a 6
GRAVE	7 a 12
CRÍTICO	13 a 25

Figura 4-7: Matriz de riesgo turbina

Fuente: Elaboración propia

Resumen de datos:

- Probabilidad de ocurrencia: 3
- Mayor nivel de consecuencia: 4

Por lo tanto:

- **Criticidad 12** = Grave

- **Estación Bomba**

IMPACTO / CONSECUENCIA	Daño a las personas (seguridad / salud ocupacional)	Impacto ambiental	Interrupción del negocio / Daño material y otras pérdidas	Aspectos legales y regulatorios	Impacto en reputación / Social / Comunidades						
	Múltiples fatalidades / Impacto a la salud con consecuencia fatal	Daño extremo al medio ambiente	Se necesita reparación de equipos especializados - Requiere repuestos de importación	Juicios y penas muy considerables, múltiples pleitos legales y encarcelamientos	Impacto internacional - Atención pública a nivel internacional	Catastrófico	5	5	10	15	20	25
	Una fatalidad o pérdida en la calidad de vida / Impacto irreversible para la salud	Daño importante o mayor al medio ambiente	Se necesita reparación de equipos especializados - Requiere repuestos nacionales o de stock	Infracción mayor a la ley: juicio y penas considerables	Impacto nacional - Preocupación pública a nivel nacional	Mayor	4	4	8	12	16	20
	Lesión con tiempo perdido / Impacto reversible para la salud	Daño serio al medio ambiente	Se necesita reparación de equipos especializados - Solo insumos menores	Infracciones a la ley: investigación / Reporte a la autoridad, juicio y/o posible pena moderada	Impacto considerable - Preocupación pública a nivel regional	Moderado	3	3	6	9	12	15
	Tratamiento médico / Exposición a un riesgo mayor para la salud	Daño evidente al medio ambiente	Es posible una reparación eficaz por el área operativa	Asuntos legales de relevancia menor: no conformidades e infracciones a la ley	Impacto limitado - preocupación de las comunidades locales	Menor	2	2	4	6	8	10
	Primeros auxilios / Exposición a un riesgo menor para la salud	Daño mínimo al medio ambiente	Es posible una reparación rápida sin interrupción de la operatividad	Asuntos legales de relevancia baja	Impacto leve - Puede existir conocimiento público, pero no preocupación	No significativo	1	1	2	3	4	5
								1	2	3	4	5
								Casi imposible	Improbable	Posible	Probable	Casi segura
								CADA 3 AÑOS	ANUAL	SEMESTRAL	MENSUAL	SEMANAL
								PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE FALLA				

Riesgo	Rangos
MENOR	1 a 3
MODERADO	4 a 6
GRAVE	7 a 12
CRÍTICO	13 a 25

Figura 4-8: Matriz de riesgo bomba

Fuente: Elaboración propia

Resumen de datos:

- Probabilidad de ocurrencia: 3
- Mayor nivel de consecuencia: 3

Por lo tanto:

- **Criticidad 9** = Grave

4.1.5 Fmeca “Failure modes, effects and criticality analysis”

El Fmeca, en su traducción al español, es el análisis del modo, efecto y criticidad de los fallos, un método utilizado para la prevención de fallas y analizar los riesgos de un proceso, sistema o estación, mediante la identificación de causas y efectos con el fin de determinar las acciones que se usaran para inhibir la aparición de fallas.

Este modo de falla está relacionado con la forma en que un proceso se puede realizar de la manera más eficiente posible y básicamente está compuesto por 3 elementos: el primero es el efecto, que se define como la consecuencia de lo que la falla puede llegar a provocar; lo segundo es la causa, que indica la razón por la que ocurre la falla; y lo tercero es la detección en el cual se realiza un control de proceso para evitar las posibles fallas.

En general, el Fmeca tiene como objetivo identificar, delimitar y describir los modos de fallos, además de identificar la causa raíz de éstos para posteriormente definir tareas de prevención con el fin de reducir o eliminar el riesgo y con ello las fallas, todo bajo un ambiente de priorización basada en el riesgo.

Para el cumplimiento de un correcto Fmeca se deben responder las siguientes preguntas claves:

- ¿Cómo puede cada sistema o componente fallar?
- ¿Cuáles pueden ser los efectos si la falla ocurre?
- ¿Cuál es la criticidad o riesgo de la falla?
- ¿Qué podemos hacer para prevenir la falla?

A continuación, se detallará el Fmeca para cada componente de cada una de las estaciones de trabajo descrita anteriormente, junto con este análisis se presenta el conjunto de tareas preventivas que se deben realizar y la especificación de frecuencia de dichos trabajos.

- **Estación compresores**

Componente	Descripción Funcional	Modos de Falla	Consecuencia	Criticidad	Táctica	Tareas Preventivas	Frecuencia
Estanque alta presión	almacenar aire a alta presión	fuga de aire	almacenamiento de aire deficiente, riesgo físico al personal	grave	Mantemiento preventivo	verificación de inexistencia de fuga	1 mes
Estanque baja presión	almacenar aire a baja presión	fuga de aire	almacenamiento de aire deficiente, riesgo físico al personal	grave	Mantemiento preventivo	verificación de inexistencia de fuga	1 mes
Válvulas de paso	impedir el paso de fluido según lo requerido	impedimento de paso incompleto, fuga de aire	escape de aire por válvula, riesgo físico al personal	grave	Mantemiento preventivo	verificación de inexistencia de fuga	15 dias
Válvulas de seguridad	liberación de sobrepresion de aire en caso que existiera	estancamiento de sistema de seguridad	sobrepresión en estanque no controlada, riesgo físico al personal	grave	Mantemiento preventivo	comprobación funcionamiento de seguridad	15 dias
Piping	conducir el fluido a donde se requiera	corrosión, daño en pintura	escape de aire por tuberías, riesgo físico al personal	grave	Mantemiento preventivo	inspección visual	6 meses
Sellos/Juntas	impedir la fuga de fluido en las conexiones de las tuberías	desgaste	escape de aire en conexiones, riesgo físico al personal	grave	Mantemiento preventivo	inspección visual, cambio de componente	6 meses
Correas de transmisión	transmitir de la energía entre el motor y el compresor	desgaste, tensión deficiente	resbalamiento de correas, mal funcionamiento del compresor	grave	Mantemiento preventivo	verificación de tensión y desgaste, cambio de componente	6 meses
Válvulas de funcionamiento	permitir el sello del funcionamiento de los pistones	rotura	impedimiento de funcionamiento del compresor	grave	Mantemiento preventivo	cambio de componente	3 meses
Manómetros	medir la presión donde se requiera	descalibración, lectura deficiente	medición equivocada de presión, riegos de sobrepresión	grave	Mantemiento preventivo	verificación de funcionamiento de medición, calibración o cambio de componente	3 meses
Termómetros	medir la temperatura donde se requiera	descalibración, lectura deficiente	medición equivocada de temperatura, riesgo de sobrecalentamiento	grave	Mantemiento preventivo	verificación de funcionamiento de medición, cambio de componente	3 meses
FRL	Filtrar, regular presión y lubricar línea de trabajo	pérdidas de aceite	no hay filtración, regulación ni lubricación	grave	Mantemiento preventivo	verificación del nivel de aceite y funcionamiento óptimo	15 dias
Mangueras	Transportar el fluido	fuga de aire por rotura y/o desgaste	trabajo con menor cantidad de aire requerido	grave	Mantemiento preventivo	comprobación de buen estado de las mangueras	15 dias
Aceite	Lubricar el tornillo para su óptimo funcionamiento	bajo nivel o sobreutlización del aceite	funcionamiento no óptimo del compresor, posible falla	grave	Mantemiento preventivo	verificación de estado y nivel de aceite	6 meses

Tabla 4-12: Fmeca compresores

Fuente: Elaboración propia

➢ Estación ventilador

Componente	Descripción Funcional	Modos de Falla	Consecuencia	Criticidad	Táctica	Tareas Preventivas	Frecuencia
Correa de transmisión	Transmisión de energía entre el motor y el ventilador	desgaste, tensión deficiente	resbalamiento de correa, ventilador en funcionamiento no óptimo	moderado	Mantemiento preventivo	verificación de tensión y/o desgaste, considerar cambio	6 meses
Rodamientos	Minimización de fricción entre eje y elemento rodante	mala lubricación, desalineamiento del eje	transmisión de energía menor a la requerida	moderado	Mantemiento preventivo	verificación de lubricación y funcionamiento	1 mes
Pintura	Proteción contra corrosión, detalles estéticos	desprendimiento de material	aumento en la susceptabilidad a la corrosión, estéticamente	moderado	Mantemiento preventivo	verificación de pintura, aplicación de pintura según corresponda	6 meses

Tabla 4-13: Fmeca ventilador

Fuente: Elaboración propia

➢ Estación Turbina

Componente	Descripción Funcional	Modos de Falla	Consecuencia	Criticidad	Táctica	Tareas Preventivas	Frecuencia
Sistema eléctrico	Permitir el buen funcionamiento de los componentes electricos de un equipo	subida inesperada de voltaje, suciedad en conexiones	destrucción de materiales aislantes, interferencia electromagnética	grave	Mantemiento preventivo	comprobación de buen funcionamiento	1 mes
Alineamiento de transmisión	evitar pérdidas de energía entre componentes	desalineamiento	entrega incompleta de energía	grave	Mantemiento preventivo	verificación de alineación de eje	2 meses
Piping	conducir el fluido a donde se requiera	corrosión, daño en pintura	escape de aire por tuberías, riesgo físico al personal	grave	Mantemiento preventivo	inspección visual	6 meses
Correa de transmisión	transmitir de la energía entre el motor y el compresor	desgaste, tensión deficiente	resbalamiento de correas, mal funcionamiento del compresor	grave	Mantemiento preventivo	verificación de tensión y desgaste, cambio de componente	6 meses
Manómetro	medir la presión donde se requiera	descalibración, lectura deficiente	medición equivocada de presión, riegos de sobrepresión	grave	Mantemiento preventivo	verificación de funcionamiento de medición, calibración o cambio de componente	3 meses
Medidor de caudal	medir caudal donde sea requerido	descalibración, lectura equivocada	medición equivocada de caudal, entrega de lecturas erróneas	grave	Mantemiento preventivo	verificación de funcionamiento de medición, calibración o cambio de componente	3 meses
Sellos/Juntas	impedir la fuga de fluido en las conexiones de las tuberías	desgaste	escape de aire en conexiones, riesgo físico al personal	grave	Mantemiento preventivo	inspección visual, cambio de componente	6 meses
Pintura	Proteción contra corrosión, detalles estéticos	desprendimiento de material	aumento en la susceptabilidad a la corrosión, estéticamente	moderado	Mantemiento preventivo	verificación de pintura, aplicación de pintura según corresponda	6 meses
Lubricación	Separación de piezas móviles entre componentes, ayuda a la refrigeración	Falta de lubricante o sobreuso de éste	Desgaste de piezas móviles, aumento en pérdidas de energía	grave	Mantemiento preventivo	verificación de lubricante suficientes en componentes requeridos	1 mes
Válvulas de paso	impedir el paso de fluido según lo requerido	impedimento de paso incompleto, fuga de aire	escape de aire por válvula, riesgo físico al personal	grave	Mantemiento preventivo	verificación de inexistencia de fuga	15 dias

Tabla 4-14: Fmeca turbina

Fuente: Elaboración propia

- **Estación Bomba**

Componente	Descripción Funcional	Modos de Falla	Consecuencia	Criticidad	Táctica	Tareas Preventivas	Frecuencia
Sistema prensaestopa o brida	permitir el sello de eje impulsor	desgaste	fuga de fluido bombeado, entrada de aire, mal funcionamiento	grave	Mantemiento preventivo	verificación de funcionamiento de sistema	6 meses
Sellos/Juntas	impedir la fuga de fluido en las conexiones de las tuberías	desgaste	escape de aire en conexiones, riesgo físico al personal	grave	Mantemiento preventivo	inspección visual, cambio de componente	6 meses
Pintura	Proteción contra corrosión, detalles estéticos	desprendimiento de material	aumento en la susceptabilidad a la corrosión, estéticamente	grave	Mantemiento preventivo	verificación de pintura, aplicación de pintura según corresponda	6 meses
Piping	conducir el fluido a donde se requiera	corrosión, daño en pintura	escape de aire por tuberías, riesgo físico al personal	grave	Mantemiento preventivo	inspección visual	6 meses
Alineamiento de transmisión	evitar pérdidas de energía entre componentes	desalineamiento	entrega incompleta de energía	grave	Mantemiento preventivo	verificación de alineación de eje	2 meses
Sistema eléctrico	Permitir el buen funcionamiento de los componentes electricos de un equipo	subida inesperada de voltaje, suciedad en conexiones	destrucción de materiales aislantes, interferencia electromagnética	grave	Mantemiento preventivo	comprobación de buen funcionamiento	1 mes
Freno	Permitir la medición y el control de la potencia del motor	descalibración, desgaste	entrega deifciente de información	grave	Mantemiento preventivo	verificación de uso funcional	1 mes
Lubricación	Separación de piezas móviles entre componentes, ayuda a la refrigeración	Falta de lubricante o sobreuso de éste	Desgaste de piezas móviles, aumento en pérdidas de energía	grave	Mantemiento preventivo	verificación de lubricante suficientes en componentes requeridos	1 mes

Tabla 4-15: Fmeca bomba

Fuente: Elaboración propia

Observaciones:

- En la estación compresores, considerar a futuro un cambio de equipo debido a la obsolescencia tecnológica del compresor recíproco de pistones.

- En la estación ventilador, considerar la instalación de una carcasa protectora en la zona de la correa de transmisión para reducir el riesgo de atrapamiento a los usuarios.

4.2 Mejora continua del plan de mantenimiento

Si bien la implementación del plan de mantenimiento sugiere una metodología estructurada, no está exento de cambios ni es algo estático. Para que realmente sea una mejora constante, debe someterse a evaluación y modificación según las necesidades que se presenten en el desarrollo y posterior implementación de este plan.

A veces, la frecuencia de las tareas, actividades adicionales o labores innecesarias, son consideraciones que alteran el adecuado funcionamiento del plan de mantenimiento, ya que hay ciertos hechos como cambios o implementación de nuevas máquinas, nuevas fallas o averías que se presenten, entre otros, que pueden estancar el progreso tecnológico que aporte esta iniciativa, por lo tanto, su modificación puede ser positiva para el mejoramiento progresivo de esta práctica. Técnicamente se implementa como un ítem fundamental de mejora continua que propicie el desarrollo de nuevas prácticas preventivas actualizadas, acorde a los requerimientos de innovación.

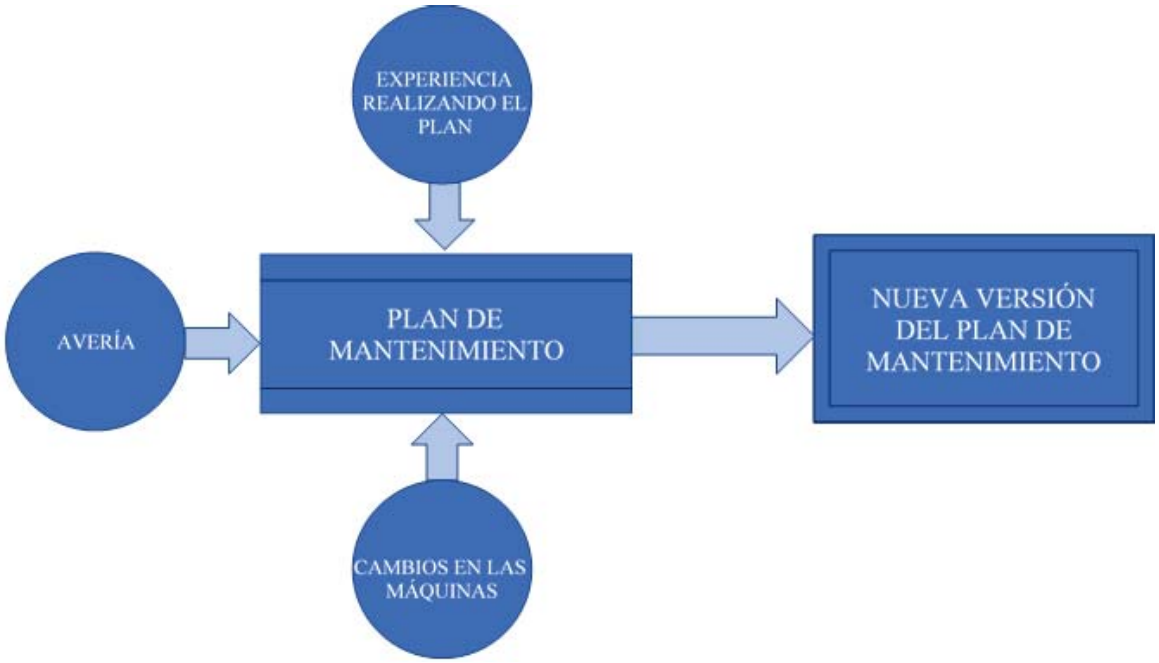

Figura 4-9: Mejora continua del plan de mantenimiento

Fuente: Elaboración propia

5. Evaluación Económica

El Costo de Mantenimiento, se refiere al costo erogado por concepto de las tareas realizadas para conservar o restaurar un bien o un producto a un estado específico. Dependiendo del enfoque que se le quiera dar, el sector de mantenimiento puede ser considerado como un gasto, una inversión, o incluso un seguro.

Desde el punto de vista económico, en lo que respecta al plan de mantenimiento propuesto, los gastos en las tareas de prevención previamente descritas de todas las estaciones de trabajo son relativamente bajos. Esto debido a que gran parte de las tareas preventivas, estipuladas anteriormente para cada una de las estaciones de trabajo y sus distintas maquinas y/o componentes, son tareas que no requieren una inversión monetaria significativa o mayor a la que actualmente se hace para la corrección de las fallas que ocurren en el contexto del laboratorio de máquinas.

En la Tabla 5-1, se muestra la frecuencia absoluta y relativa de cada tarea de mantenimiento realizada en base al análisis Fmeca previamente descrito en el capítulo anterior.

Tareas Preventivas	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa (%)
Verificación	24	49%
Cambio	10	20%
Inspección	7	14%
Comprobación	5	10%
Aplicación	3	6%
TOTAL	**49**	**100%**

Tabla 5-1: Resumen de Tareas Preventivas

Fuente: Elaboración Propia

Figura 5-1: Gráfico resumen tareas preventivas

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a la información entregada en la gráfica anterior, las tareas preventivas de Verificación, Inspección, Comprobación y Aplicación, representan un 80% y corresponden a las tareas que no conllevan un mayor costo económico para su realización. Mientras que la tarea preventiva Cambio, la cual hace referencia a una sustitución en algún repuesto o componente de una máquina, representa un 20% del total de las tareas preventivas descritas, las cuales se realizan, en su mayoría, en el mantenimiento correctivo de las máquinas, por lo tanto, no tienen un impacto económico significativo dentro del presupuesto de la Escuela de Ingeniería Mecánica.

No obstante, se debe tener en consideración en el mediano y largo plazo, el cambio de algunos equipos o máquinas que forman parte de este plan, puesto que si bien, éstas son eficaces y eficientes para el pleno desarrollo pedagógico de la asignatura, lo esperable es que los estudiantes comprendan y practiquen con

tecnología más avanzada, que los aproxime a lo que se encontrarán en el mercado laboral y les ayude a tener una base de conocimientos que les permita seguir desarrollándose profesionalmente a la vanguardia del área. En ese caso, si se llegase a realizar dicha actualización de maquinarias del Laboratorio, este si incurriría en un gasto mayor, por lo que se recomienda incluirlo dentro de los costos importantes en el desarrollo de este plan de mantenimiento.

6. Conclusiones

Las máquinas, equipos y sus componentes son utilizados en la asignatura del Laboratorio de Máquinas de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, para facilitar el aprendizaje práctico de los estudiantes de la Escuela. Sin embargo, los equipos no se encuentran siempre en su máxima disposición, perjudicando directamente a los estudiantes y su proceso de aprendizaje, perdiendo clases prácticas que facilitan la adquisición de competencias profesionales. Además, se hace necesario recuperar la pérdida en tiempos extracurriculares para estudiantes y docentes.

En la recopilación de datos se han descubierto una serie de falencias que afectan el funcionamiento adecuado de la asignatura, así como la implementación de mejoras, ya que no existe un registro de datos importantes que permitan efectuar nuevos procesos ni una cantidad significativa de estudios previos que apoyen esta tesis. Por ende, la propuesta de mantenimiento preventivo para este tipo de organizaciones, además de ser innovadora, ofrece una base importante para futuros avances que permitan mejorar el desarrollo de las actividades requeridas por la Escuela.

Para implementar el plan de mantenimiento deben considerarse factores primordiales que permitan desarrollar esta actividad de manera segura y eficiente para la Escuela. Para esto debe ser integrado en el presupuesto de mantención anual de la Escuela.

Posteriormente, se requiere tener en consideración el abastecimiento de stock necesario para disponer de los implementos necesarios que, permitan satisfacer las demandas de mantenimiento del laboratorio, requiriendo de una cantidad mínima de repuestos para utilizar en caso de fallas o averías. Además, debido al largo periodo de tiempo que ha pasado desde que se encuentran operativas, no se encuentran

disponibles las especificaciones técnicas de las máquinas en funcionamiento, por lo tanto, es necesario integrar dichos datos para la puesta en marcha del plan. Este ítem se ha realizado a partir de la información que han brindado los encargados de mantenimiento, puesto que no se cuenta con un registro de mantenciones de ningún tipo, obstaculizando aplicar los procesos que requieren de un registro de fallas o de actividades mínimas para implementar en el plan.

Entre las actividades fundamentales que se sugieren para implementar mejoras a futuro, se encuentran la codificación de equipos y repuestos. También es necesaria la realización de una ficha técnica y contar con manuales actualizados de todas las máquinas operativas. Finalmente, la implementación de una hoja de anotaciones históricas para cada máquina, lo que permite un desempeño más eficiente del personal encargado del plan de mantenimiento.

Las técnicas de mantenimiento que se proponen, basadas en las instrucciones de los equipos y bajo el análisis de criticidad detallado de las fallas que se han producido, permiten mantener una revisión constante y precisa de dichas fallas, evitando que vuelvan a ocurrir. Además, considerando una serie de situaciones que producen pérdidas, si se aplican los resguardos respectivos, disminuirán los costos y aumentará la disponibilidad y fiabilidad del laboratorio y sus procesos.

Si bien, el tema desarrollado parece sencillo, es una práctica necesaria que no se realiza ni se ha realizado en la historia de la asignatura de Laboratorio. Además, al ejecutar algún tipo de reparación, estas no cuentan con ningún tipo de protocolo ni registro para enlazar una serie de actividades con constancia.

Finalmente, siempre será mejor un plan de mantenimiento realizado que uno inexistente, ya que se necesita un proceso en marcha, aunque no abarque la totalidad de exigencias necesarias que se van a ir exponiendo en la medida que operen estas

funciones, lo que favorece un perfeccionamiento a través del tiempo y así contribuir a mejorar los resultados o innovar en mejoras para el funcionamiento de todo el sistema de manera progresiva.

Por lo tanto, implementar el desarrollo de técnicas de mantenimiento preventivo puede ser el impulso inicial para optimizar los procesos de aprendizaje de los estudiantes, potenciar la disponibilidad de los equipos y asegurar confiabilidad en su funcionamiento, convirtiendo el progreso de la institución en un referente de vanguardia y excelencia.

7. Bibliografía

Álvarez, E. F. (2018). *Gestión de Mantenimiento: Lean Maintenance y TPM.* Oviedo: Universidad de Oviedo.

Barletta, G. (21 de Septiembre de 2017). *Acr Latinoamérica*. Obtenido de https://www.acrlatinoamerica.com/201709217760/articulos/refrigeracion-comercial-e-industrial/buenas-y-malas-practicas-en-mantenimiento-ii.html

Cárcel-Carrasco, F. J. (2015). *Ingeniería del mantenimiento industrial y gestión del conocimiento. Mejora en la eficiencia de las empresas.* Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.

Garrido, S. G. (10 de Diciembre de 2019). *Mantenimiento Petroquímica*. Obtenido de http://www.mantenimientopetroquimica.com/tpm.html

Integramarkets. (05 de Diciembre de 2019). *Integramarkets*. Obtenido de http://www.integramarkets.com

Márquez, C. P., & Crespo Márquez, A. (2012). *Técnicas de Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad aplicadas en el proceso de Gestión de Activos.* Sevilla: Ingeman.

S.A., D. (2014). *Taller Definición de Tareas Estrategicas de Mantenimiento.* Santiago.

Suter, A. (2010). *Mantenimiento Industrial.*

Tavares, L. A. (2000). *Administracion Moderna del Mantenimiento.* Brasil: Novo Polo.

8. Anexos

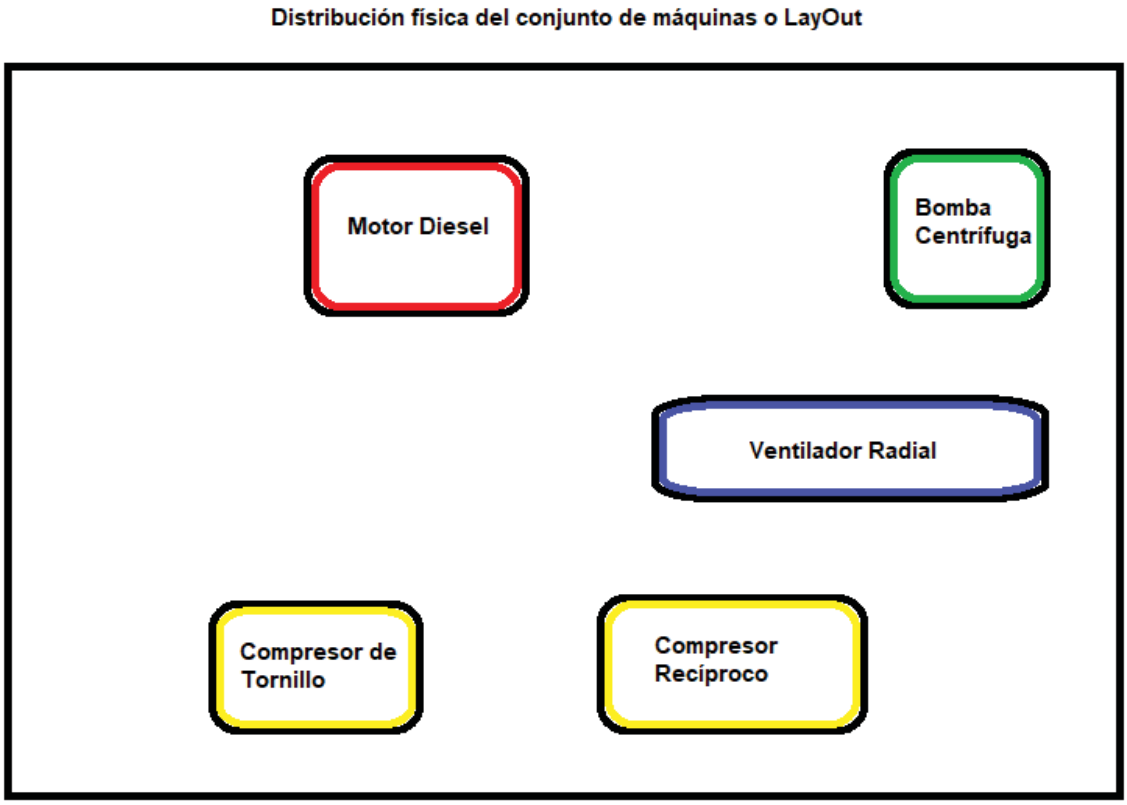

Figura 8-1: Lay Out Máquinas del Laboratorio

Fuente: Elaboración propia

Especificaciones técnicas GA 7-37 VSD+

Tipo de compresor	Presión máx. de trabajo		Capacidad FAD* (mín.-máx.)			Potencia instalada del motor		Nivel sonoro**	Peso, WorkPlace	Peso, WorkPlace Full-Feature
	bar(e)	psig	l/s	m³/h	cfm	kW	CV	dB(A)	kg	kg
GA 7 VSD+	5,5	80	7,2-21,9	25,9-78,8	15,2-46,4	7,5	10	62	193	277
	7	102	7,0-21,7	25,2-78,1	14,8-46,0	7,5	10	62	193	277
	9,5	138	6,8-18,0	24,5-64,8	14,4-38,1	7,5	10	62	193	277
	12,5	181	7,3-14,2	26,3-51,1	15,5-30,1	7,5	10	62	193	277
GA 11 VSD+	5,5	80	7,3-32,9	26,3-118,4	15,5-69,7	11	15	63	196	280
	7	102	7,3-32,5	26,3-117,0	15,5-68,8	11	15	63	196	280
	9,5	138	7,0-27,2	25,2-97,9	14,8-57,6	11	15	63	196	280
	12,5	181	7,6-23,5	27,4-84,6	16,1-49,8	11	15	63	196	280
GA 15 VSD+	5,5	80	7,2-42,3	25,9-152,3	15,2-89,6	15	20	64	199	288
	7	102	7,1-41,8	25,6-150,5	15,0-88,6	15	20	64	199	288
	9,5	138	6,8-35,5	24,5-127,8	14,4-75,2	15	20	64	199	288
	12,5	181	7,3-27,9	26,3-100,4	15,5-59,1	15	20	64	199	288
GA 18 VSD+	4	58	15,1-63,9	54,4-230,0	32,0-135,4	18	25	67	367	480
	7	102	14,9-62,5	53,6-225,0	31,6-132,4	18	25	67	367	480
	9,5	138	17,1-53,6	61,6-193,0	36,2-113,6	18	25	67	367	480
	12,5	181	16,4-43,5	59,0-156,6	34,7-92,2	18	25	67	367	480
GA 22 VSD+	4	58	15,3-76,9	55,1-276,8	32,4-162,9	22	30	67	363	485
	7	102	15,0-75,1	54,0-270,4	31,8-159,1	22	30	67	363	485
	9,5	138	17,3-65,2	62,3-234,7	36,7-138,2	22	30	67	363	485
	12,5	181	17,1-54,1	61,6-194,8	36,2-114,6	22	30	67	363	485
GA 26 VSD+	4	58	14,9-86,3	53,6-310,7	31,6-182,9	26	35	67	373	490
	7	102	14,5-85,5	52,2-307,8	30,7-181,2	26	35	67	373	490
	9,5	138	17,0-78,4	61,2-282,2	36,0-166,1	26	35	67	373	490
	12,5	181	16,4-64,5	59,0-232,2	34,7-136,7	26	35	67	373	490
GA 30 VSD+	4	58	15,1-98,0	54,4-352,8	32,0-207,7	30	40	67	376	500
	7	102	15,0-97,4	54,0-350,6	31,8-206,4	30	40	67	376	500
	9,5	138	17,1-85,6	61,6-308,2	36,2-181,4	30	40	67	376	500
	12,5	181	16,7-72,0	60,1-259,2	35,4-152,6	30	40	67	376	500
GA 37 VSD+	4	58	15,3-116,5	55,1-419,4	32,4-246,8	37	50	67	376	500
	7	102	14,8-115,0	53,3-414,0	31,4-243,7	37	50	67	376	500
	9,5	138	17,1-102,3	61,6-368,3	36. 2-216,8	37	50	67	376	500
	12,5	181	16,4-86,7	59,0-312,1	34,7-183,7	37	50	67	376	500
GA 37L VSD+ ***	4	58	26,2-132,9	94,2-478,6	55,5-81,7	37	50	67	860	1060
	7	102	25,8-131,9	92,9-474,7	54,7-279,4	37	50	67	860	1060
	9,5	138	24,8-116,0	89,2-417,7	52,5-245,8	37	50	67	860	1060
	12,5	181	38,2-98,7	137,5-355,2	80,9-209,1	37	50	67	860	1060

Figura 8-2: Especificación Técnica Compresor de Tornillo

Fuente: Elaboración propia

Figura 8-3: Frontis Escuela de Ingeniería Mecánica PUCV

Fuente: Elaboración propia

Figura 8-4: Malla Curricular Ingeniería Mecánica

Fuente: Elaboración propia