

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

ESCUELA DE POSGRADO

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA



“MODELO DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PARA EL
INCREMENTO DE DISPONIBILIDAD DE LAS MÁQUINAS
EN UNA PLANTA DE FABRICACIÓN DE BOMBAS
CENTRÍFUGAS”

TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE
MAESTRO EN GERENCIA DEL MANTENIMIENTO

RICARDO RASHUAMÁN FLORES

Callao, 2019

PERÚ

DEDICATORIA

A Dios, por darme todo y por estar conmigo siempre en cada paso que doy, por iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a las personas que han sido mi apoyo y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mi esposa Maritza, por creer en mí, por darme el soporte y sobre todo su tiempo, todo esto se lo debo a ella.

A mi hijo Cristian, por el ánimo que siempre me diste y los retos que emprendías que no hacían más que darme fuerzas.

A mi hijo Benny, que a pesar de tu corta edad me dio la frescura de algunos temas tratados en el presente estudio.

Finalmente, a todos aquellos familiares y amigos que creyeron en mí, y que han sido parte de mi formación durante estos años.

AGRADECIMIENTO

Al finalizar este trabajo debo agradecer

A Dios por sus bendiciones, y la inspiración que me dio para poder realizar el trabajo.

A mi esposa Maritza por su apoyo y paciencia en este proyecto de estudio que ha durado más de 03 años.

A mis Padres que con todo el tiempo han sabido darme su ejemplo de trabajo y honradez.

A mis profesores de la Universidad Nacional del Callao, por la organización y su gran apoyo en el programa de Maestría en Gerencia del Mantenimiento.

INDICE DE CONTENIDO

CARATULA.....	i
PAGINA DE RESPETO	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO	iv
INDICE DE CONTENIDO.....	1
ÍNDICE DE TABLAS	4
ÍNDICE DE GRÁFICOS	6
ÍNDICE DE IMÁGENES	7
ÍNDICE DE ANEXOS	8
RESUMEN	9
ABSTRACT	10
INTRODUCCION	11
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
1.1 Descripción de la realidad problemática	13
1.2 Formulación del problema	17
1.2.1 Problema general.	17

1.2.2 Problemas específicos.....	18
1.3 Objetivos.....	18
1.3.1 Objetivo general.	18
1.3.2 Objetivos específicos.....	18
1.4 Limitantes de la investigación.....	19
1.4.1 Limitante teórico	19
1.4.2 Limitante temporal.	19
1.4.3 Limitante espacial.....	19
II MARCO TEORICO	20
2.1. Antecedentes.....	20
2.1.1 Antecedentes Nacionales.	20
2.1.2 Antecedentes internacionales.....	21
2.2 Bases Teóricas.....	22
2.2.1. Gestión del Mantenimiento.	22
2.2.2. Tipos de mantenimiento.....	23
2.2.3. Modelos de gestión de mantenimiento.	28
2.2.4. Mejora de la efectividad operacional.	42
2.2.5. Medición del mantenimiento.	44
2.2.6. Fuerzas de Porter.....	51
2.2.8. Filosofías de Calidad.....	65
2.2.9. Herramientas de calidad.....	71
2.3 Conceptual	73
2.3.1 Selección de máquinas críticas.	74
2.3.2 Modelos posibles de mantenimiento de maquinas	86
2.3.3 Selección de máquinas nuevas para incrementar la disponibilidad	102
2.3.4 Capacitación y entrenamiento para incrementar la disponibilidad	105
2.3.5 Calculo de la disponibilidad de planta	107
2.4 Definición de términos básicos	120
III. HIPÓTESIS Y VARIABLES.....	126
3.1 Hipótesis.....	126

3.1.1 Hipótesis general.....	126
3.1.2 Hipótesis específicas.....	126
3.2 Definición conceptual de variables	126
3.2.1 Operacionalización de variable.....	128
IV. DISEÑO METODOLOGICO	129
4.1 Tipo y diseño de la investigación	129
4.2 Método de investigación	129
4.3 Población y muestra	130
4.4 Lugar del estudio	131
4.5 Técnicas e instrumentos para la recolección de la información.....	131
4.6 Análisis y procesamiento de datos	132
V. RESULTADOS	135
5.1 Resultados Descriptivos	135
5.2 Resultados estadísticos de acuerdo a la naturaleza del problema y la hipótesis	138
VI DISCUSION DE RESULTADOS.....	140
6.1 Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados..	140
6.2 Contrastación de los resultados con otros estudios similares	142
CONCLUSIONES	144
RECOMENDACIONES	145
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	146
ANEXOS	149

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Evaluación del OEE.	51
Tabla 2. Tiempos utilizados en la producción.	57
Tabla 3. Metodología de análisis de criticidad.....	75
Tabla 4. Encuesta de evaluación de criticidad	76
Tabla 5. Criterios empleados en el análisis de criticidad.....	78
Tabla 6. Lista de equipos críticos de fundición.....	79
Tabla 7. Lista de equipos críticos de maestranza	80
Tabla 8. Lista de equipos críticos del área de servicio	81
Tabla 9. Lista de equipos críticos del área de calidad.....	81
Tabla 10. Lista de equipos críticos del área de modelería	82
Tabla 11. Lista de equipos críticos de montaje	82
Tabla 12 Equipos Críticos: 09 Equipos	83
Tabla 13 Equipos Importantes: 42 Equipos	83
Tabla 14. Equipos Prescindibles: 57 Equipos	85
Tabla 15. Modelo de mantenimiento de máquinas críticas	95
Tabla 16. Modelo de mantenimiento de máquinas importantes	96
Tabla 17 Modelo de mantenimiento de máquinas Prescindibles	97
Tabla 18. Máquinas que ingresaron el 2018	103

Tabla 19. Máquinas que ingresaran el 2019	104
Tabla 20. Plan de capacitación y entrenamiento.....	106
Tabla 21. Nivel de capacitación y entrenamiento.....	107
Tabla 22. Modelo Alta Disponibilidad de máquinas 2017.....	108
Tabla 23. Modelo Media Disponibilidad de máquinas 2017	109
Tabla 24. Modelo Baja Disponibilidad de máquinas 2017.....	110
Tabla 25. Modelo Correctivo de máquinas 2017.....	111
Tabla 26. Modelo Alta Disponibilidad de máquinas 2018.....	113
Tabla 27. Modelo Media Disponibilidad de máquinas 2018	114
Tabla 28. Modelo Baja Disponibilidad de máquinas 2018.....	115
Tabla 29. Modelo Correctivo de máquinas 2018.....	117
Tabla 30. Modelo Correctivo de máquinas 2018.....	119
Tabla 31. Operacionalización de variables	128
Tabla 32. Disponibilidad Total de Planta año 2017	135
Tabla 33. Disponibilidad Total de Planta año 2018	137

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Porcentaje de costo por área.....	15
Gráfico 2. Horas paradas de producción.....	16
Gráfico 3. Gestión de órdenes de trabajo de mantenimiento	17
Gráfico 4. Costos óptimos de mantenimiento.	32
Gráfico 5. Tecnologías de mantenimiento.....	42
Gráfico 6. Modelo Alta Disponibilidad de máquinas 2017	108
Gráfico 7. Modelo Media Disponibilidad de máquinas 2017	109
Gráfico 8. Modelo Baja Disponibilidad de máquinas 2017	111
Gráfico 9. Disponibilidad de máquinas Modelo Correctivo 2017	113
Gráfico 10. Modelo Alta Disponibilidad de máquinas 2018	114
Gráfico 11. Modelo Media Disponibilidad de máquinas 2018	115
Gráfico 12. Modelo Baja Disponibilidad de máquinas 2018	117
Gráfico 13. Disponibilidad de máquinas Modelo Correctivo 2018.....	118
Gráfico 14. Disponibilidad Total de Planta año 2017	136
Gráfico 15. Disponibilidad Total de Planta año 2018	138

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Diagrama bow tie. análisis de fallas y de consecuencias.....	34
Imagen 2. Pilares del TPM.....	38
Imagen 3. Cálculo del OEE.....	50
Imagen 4. Modelo de las 5 fuerzas de Porter	52
Imagen 5. Confiabilidad operacional.....	57
Imagen 6. Enfoque basado en procesos.....	67
Imagen 7. Ciclo de mejora continua.....	68
Imagen 8. Modelo de mantenimiento de máquina	94

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia.....	149
Anexo 2. Validación de instrumento.....	150
Anexo 3. Validación de instrumento 1.....	151
Anexo 4. Validación de instrumento 1.1.....	152
Anexo 5. Validación de expertos 1.....	153
Anexo 6. Validación de instrumento 2.....	154
Anexo 7. Validación de instrumento 2.1.....	155
Anexo 8. Validación de expertos 2.....	156
Anexo 9. Validación de instrumento 3.....	157
Anexo 10. Validación de instrumento 3.1.....	158
Anexo 11. Validación de expertos 3.....	159
Anexo 12. Lista de inspección de máquinas “ Check List”.....	160
Anexo 13. Evaluación de capacitaciones.....	161

RESUMEN

La presente investigación se basó en el desarrollo de un modelo de gestión de mantenimiento para el incremento de disponibilidad de las máquinas en una planta de fabricación de bombas centrífugas, específicamente para generar mayor volumen de producción, y con la finalidad de conseguir mayor rentabilidad de la empresa, con personal altamente capacitado y entrenado, utilizando la tecnología de punta en diferentes procesos de producción e identificando las máquinas críticas del proceso.

El estudio estuvo enmarcado en el tipo de investigación aplicada, el diseño de investigación fue no experimental, longitudinal de tendencia, midiendo el grado de asociación entre las variables; Gestión de Mantenimiento y Disponibilidad de Máquina en un tiempo determinado. (Tam, Vera, y Oliveros, 2008, p.149). Se emplearon instrumentos y técnicas de recolección de datos, específicamente el análisis de las ordenes de servicio de mantenimiento y datos técnicos de las máquinas, la observación directa y las entrevistas.

Para la elaboración del nuevo método de gestión de mantenimiento y el logro de los objetivos propuestos se determinó las maquinas críticas, el plan de capacitación y entrenamiento del personal, y finalmente la implementación de nuevas técnicas de mantenimiento.

De esta forma, con la implantación del nuevo modelo de gestión de mantenimiento se logró un incremento de un 2.5 % de disponibilidad de las máquinas de la empresa de fabricación de bombas centrífugas, formando gran parte del incremento de la producción de 9 a 22 toneladas mensuales.

Palabras clave: Gestión de Mantenimiento, Incremento de Disponibilidad, maquinas críticas.

ABSTRACT

The present investigation was based on the development of a maintenance management model to increase the availability of the machines in a centrifugal pump manufacturing plant, specifically to generate a higher production volume of monthly centrifugal pumps, in order to achieve a greater profitability of the company. with highly trained and trained personnel, who use the latest technology in different production processes and identify the critical machines of the process.

The study was framed in the type of applied research, the research design was non-experimental, longitudinal trend, measuring the degree of association between the variables; Management of Maintenance and Availability of Machine in a determined time. (Tam, Vera and Oliveros, 2008, p.149). Instruments and data collection techniques were used, specifically the analysis of orders for maintenance service and technical data of the machines, direct observation and interviews.

For the elaboration of the new method of maintenance management and the achievement of the proposed objectives, the critical machines were determined, the training of the personnel and the training plan and, finally, the implementation of new maintenance techniques.

In this way it was possible to conclude that with the implementation of the new maintenance management method the increase in availability of the centrifugal pump manufacturing machines was achieved, forming a large part of the production increase from 9 to 22 tons per month.

Keywords: Maintenance Management, Increase Availability, critical machines.

INTRODUCCION

Como sabemos las industrias en el mundo se encuentran globalizados, es por eso que las empresas industriales tienden a ser más eficientes en sus procesos productivos, disminuyendo sus costes y satisfaciendo puntualmente los requisitos de aplicación del producto fabricado al cliente.

Para el caso de estudio de una empresa de fabricación de bombas centrifugas, donde intervienen procesos de fundición de acero y aluminio, maestrana convencional y CNC, motores eléctricos, áreas de montaje y pruebas de operación, que desea mantenerse vigente y sostenida a nivel del tiempo, tiene que garantizar calidad y productividad en sus procesos.

El área de mantenimiento en la planta de fabricación de bombas centrifugas viene a formar parte principal de las líneas de procesamiento, debiendo de garantizar la operatividad, calidad y productividad de los procesos realizados en las máquinas y equipos de producción.

El propósito fundamental de la gestión de la planta de fabricación de bombas centrifugas es dar al cliente una bomba centrifuga a tiempo con el precio idóneo y la calidad según las características definidas.

Para ello es imprescindible que en la planta se gestione la mejora de la calidad de los procesos, se identifiquen las máquinas y equipos críticos, se desarrolle y aplique un plan de gestión estratégico de mantenimiento, y que finalmente se controle con indicadores de gestión apropiado, creando un sistema dinámico de interacciones internas y externas en permanente evolución, en las que un buen desempeño de la gestión del mantenimiento, incidirá directamente sobre el logro de los objetivos de la organización, como es en las horas paradas de máquinas, la eliminación de las partes de piezas rechazadas y la disminución

de los materiales e insumos sobrantes, utilizados en los procesos de fabricación.

Las personas involucradas tuvieron que alinear todo su esfuerzo en la misma dirección de los objetivos de la empresa en estudio, para lograr el incremento de la disponibilidad de máquinas de la planta de fabricación de bombas centrífugas, con la implementación del nuevo modelo de gestión de mantenimiento.

Por lo tanto, se tuvo que considerar la aplicación de instrumentos de gestión como herramientas de desarrollo y competitividad del servicio de mantenimiento de equipos, además de identificar los indicadores que se vienen aplicando en el mantenimiento y su repercusión en la producción, se formuló indicadores que incidieron en el proceso de búsqueda de elevar la competitividad del mantenimiento y se fundamentó estadísticamente la competitividad del mantenimiento en función a los indicadores de gestión formulados.

- a. Determinación de las máquinas críticas del proceso de fabricación de bombas centrífugas.
- b. Evaluación de los costos de mantenimiento de línea de fabricación de bombas centrífugas incluyendo los costos de parada de planta el lucro cesante.
- c. Implementar el plan de capacitación y entrenamiento al personal involucrado para el incremento de la disponibilidad de máquinas.
- d. Proponer Técnicas de Mantenimiento para la mejora de la fabricación de bombas centrífugas.
- e. Establecer indicadores de mantenimiento para realizar la mejora continua de la gestión de mantenimiento.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

1.1 Descripción de la realidad problemática.

La fabricación de bombas centrífugas en el Perú tiene una gran incidencia en los diferentes sectores productivos, como es la minería, el petróleo, la pesca, la agroindustria, entre otros, es más cuando se trata de grandes caudales y altas potencias, estas influyen directamente en la implicancia de la productividad de los sectores productivos mencionados. Es por ello que se puede decir que la fabricación de bombas centrífugas cubre las necesidades del mercado cumpliendo un papel muy importante en la entrega de producto de calidad con alta eficiencia y en el tiempo programado.

Dentro de este marco, el servicio de mantenimiento de máquinas está presente como uno de los eslabones más importantes dentro de la cadena de procesamiento para la fabricación de bombas centrífugas especialmente para cubrir el mercado del sector minero que tienen grandes pérdidas por el costo de oportunidad del servicio.

Actualmente la empresa en estudio cuenta con más de diecisiete años de existencia, y ha crecido de acuerdo a la necesidad del mercado satisfaciendo paulatinamente en escala ascendente a las grandes mineras del país, se caracteriza por ser una empresa ágil, proclive a realizar cambios, cuenta con personal mixto, por una parte personal con mucha experiencia en la parte técnica operativa, y por otra parte en la administración con personal joven pero con actualización en tecnología de punta y administrativa, de tal manera que conforman un equipo rápido e intrépido en logro de sus objetivos del plan estratégico de la gerencia y su accionista.

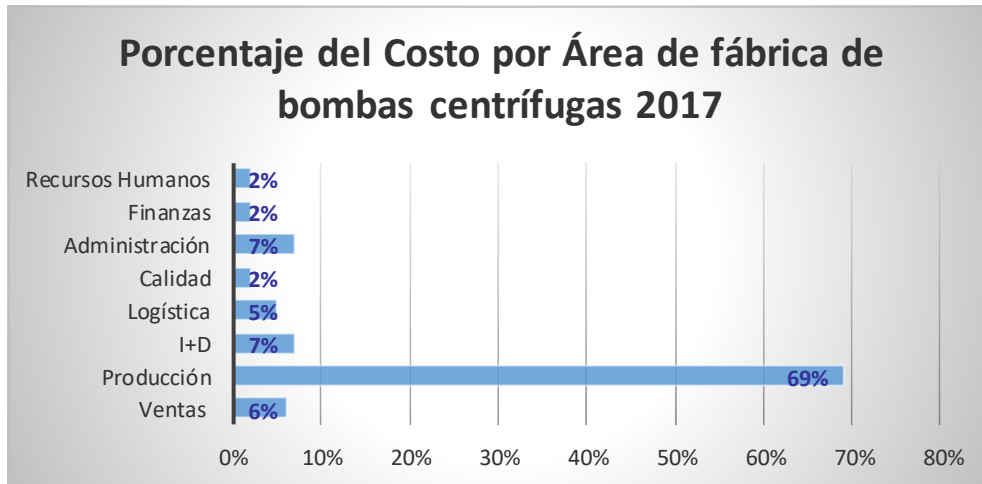
El crecimiento repentino, rápido y tomando como visión la eficacia de sus procesos ha permitido cambiar en varias oportunidades la ubicación de sus unidades de procesos; actualmente cuenta con tres plantas industriales, las tres dentro de un mismo distrito. Ello de la misma forma ha tenido que realizarse las modificaciones de los layout en cada movimiento de maquinarias realizado. Esto ha permitido que la empresa no este optimizando correctamente sus recursos como son los recursos humanos, los insumos, los materiales, las maquinarias, equipos e instalaciones en los que se desarrollan los procesos de fabricación de las bombas hidráulicas.

La gerencia desde hace dos años se ha propuesto desarrollar un plan de acción para estandarizar sus procesos y poder realizar la mejora de su productividad en los tres campos como es el estratégico, técnico y operativo. Para ello se ha levantado información para poder identificar las causas de los problemas que están restando márgenes de ganancia y crecimiento aún mucho mayor, que se podría estimar en realizar en los próximos 5 años.

Dentro de la información levantada se ha tomado en cuenta las áreas involucradas en su proceso, como son; Administración, RRHH, Ventas, Finanzas, Logística (Almacenes materiales, de despacho, repuestos y herramientas, Compras Locales e Importaciones), Producción (Fundición de acero, Fundición de aluminio, Maestranza convencional, Maestranza CNC, Motores eléctricos, Montaje y Mantenimiento), Control de Calidad e Investigación y Desarrollo.

En el grafico 1. se identifica la proporción de la distribución de los costos por área, en la que se destaca el área de producción en el 2017.

Gráfico 1. Porcentaje de costo por área



Fuente: Elaboración propia

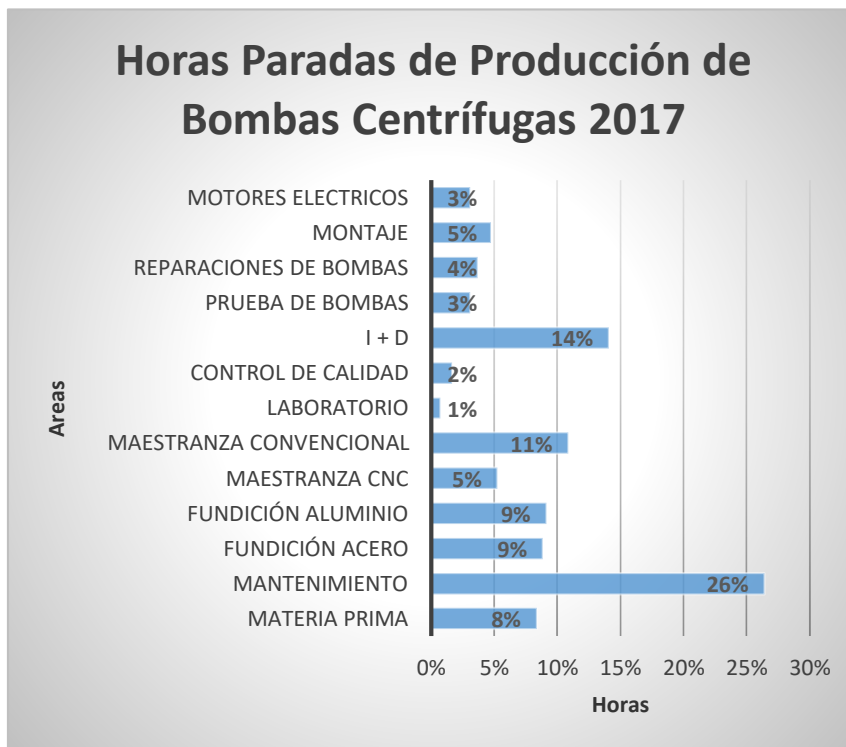
Porcentaje de costo por área.

La empresa en estudio tiene una estructura funcional orgánica plana, cuenta con un Gerente de planta, el Gerente general y los demás son Jefaturas de área, es por eso que se tiene un porcentaje bien alto del 69% de sus costos distribuida en el área de producción.

Los costos de producción comprenden; la mano de obra directa e indirecta, materiales, insumos, utillaje, servicios realizados por terceros, energía eléctrica, combustibles, depreciación de equipos y gastos de servicio de mantenimiento dentro del proceso productivo.

Con la finalidad de analizar los costos de producción, se ha realizado el levantamiento de la información de las horas paradas de máquinas y equipos de las operaciones en los procesos del año 2017, en el gráfico.2 se muestra los resultados obtenidos de las horas paradas de máquinas por cada área, notándose que el área de Mantenimiento de máquinas llegó a ser el 26 % del total de horas paradas.

Gráfico 2. Horas paradas de producción

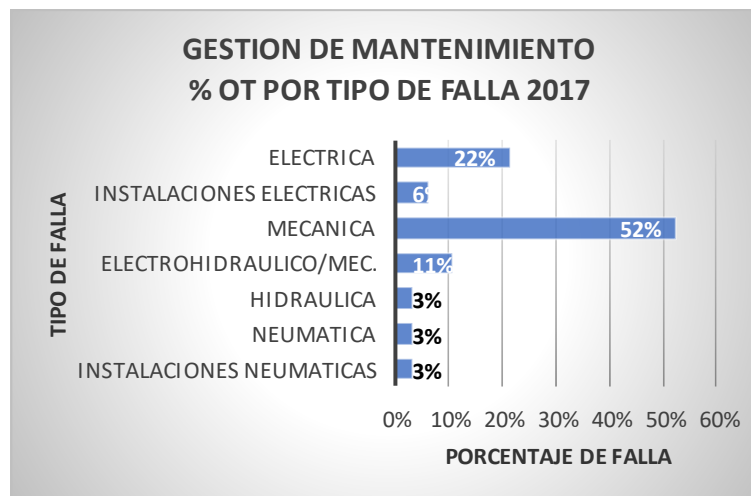


Fuente: elaboración propia

Mientras que en el mismo gráfico se detalla que el área de Investigación y desarrollo alcanza un 14% de horas paradas, el cual la empresa toma las precauciones de reducirlas por ser la mayoría modelos de bomba modificados por mejora de operación a solicitud de nuestros clientes. Sigue Maestranza Convencional, Fundición acero y Fundición aluminio con un 11%, 9% y 9% respectivamente, también afectado por los nuevos modelos para optimizar la operación de las bombas de nuestros clientes principales.

Se ha realizado con las ordenes de trabajo un estudio de distribución de las horas paradas de las máquinas y equipos, durante el proceso de fabricación de bombas centrífugas que más han fallado, para el cual se ha desarrollado la tendencia de los tipos de falla, se muestra en el gráfico 3.

Gráfico 3. Gestión de órdenes de trabajo de mantenimiento



Fuente: Elaboración propia

En el procesamiento de la fabricación de las bombas centrífugas, se presentan paradas imprevistas en las máquinas y equipos de las líneas de producción debidas a factores que se estarán revisando más adelante, los tiempos de parada de estas máquinas están directamente relacionados con la productividad y la competitividad de la empresa en estudio.

Es allí donde se elaborará un nuevo modelo de gestión de mantenimiento como solución al problema de las paradas de las máquinas de la planta, para generar una mayor disponibilidad de máquinas del proceso productivo de la línea establecida.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 *Problema general.*

¿Cuál será el modelo de gestión de mantenimiento que incremente la disponibilidad de las máquinas en una planta de fabricación de bombas centrífugas?

1.2.2 Problemas específicos.

- a) ¿Cómo influye la determinación de las máquinas críticas en la disponibilidad de máquinas de una planta de fabricación de bombas centrifugas?
- b) ¿Cómo influye el plan de capacitación y entrenamiento del personal involucrado en la disponibilidad de máquinas de una planta de fabricación de bombas centrifugas?
- c) ¿Cómo influye las técnicas de mantenimiento a utilizar en la disponibilidad de máquinas de una planta de fabricación de bombas centrifugas?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general.

Proponer un modelo de gestión de mantenimiento que permita lograr el incremento de la disponibilidad de las máquinas en una planta de fabricación de bombas centrifugas.

1.3.2 Objetivos específicos.

- a) Establecer la influencia de la determinación de las maquinas críticas en la disponibilidad de máquinas de una planta de fabricación de bombas centrifugas.
- b) Establecer la influencia de un plan de capacitación y entrenamiento del personal involucrado en la disponibilidad de máquinas de una planta de fabricación de bombas centrifugas.

- c) Establecer la influencia de las técnicas de mantenimiento a utilizar, en la disponibilidad de máquinas de una planta de fabricación de bombas centrífugas.

1.4 Limitantes de la investigación

1.4.1 Limitante teórico

La línea de Investigación se basó en la gestión de mantenimiento, en los tipos de mantenimiento de máquinas, en los distintos modelos de gestión del mantenimiento, en la mejora de la efectividad operacional, la medición del mantenimiento, sistemas de gestión, relacionándolo con la selección de máquinas críticas y evaluando el mejor modelo de gestión de mantenimiento para cada máquina del proceso productivo, que determino el incremento de la disponibilidad de máquinas.

1.4.2 Limitante temporal.

Bajo esta concepción la problemática objeto de estudio, se centra en observar el comportamiento de la gestión del mantenimiento en una planta de fabricación de bombas centrífugas durante los tres últimos años.

1.4.3 Limitante espacial.

La unidad del análisis de la investigación se refiere a una empresa que se dedica a la fabricación de bombas centrífugas para diferentes aplicaciones, el lugar de la investigación se desarrolla en la ciudad de Lima, Perú.

II MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes

La gestión de mantenimiento a través del tiempo ha evolucionado notablemente, de tal manera que han ido surgiendo estudios sobre la problemática del mantenimiento de máquinas y equipos.

Para realizar este estudio, fue necesario revisar diferentes materiales bibliográficos, las cuales sirven de soporte en las técnicas aplicadas y la metodología del presente estudio. A continuación, se tiene los siguientes antecedentes.

2.1.1 Antecedentes Nacionales.

- a. BECERRA, Gilberto, PAULINO, Jony. (2012), en su estudio de tesis de la maestría con mención en gerencia e ingeniería titulado “El análisis de confiabilidad como herramienta para optimizar la gestión del mantenimiento preventivo de los equipos de la línea de flotación en un centro minero”. Realiza una propuesta de optimización del mantenimiento preventivo en los equipos críticos relacionado con la confiabilidad de las máquinas. Además, contempla, los lineamientos orientados a mejorar la Gestión del Mantenimiento de la Planta Concentradora Berna II; Relacionado al planeamiento de mantenimiento preventivo de las máquinas.
- b. RAMOS, Julio. (2017), en su estudio titulado “Aumento de la disponibilidad mediante la implementación de un plan de mantenimiento

preventivo a las maquinarias de la empresa Atlanta Metal Drill S.A.C”., tuvo como objetivo en esta investigación lograr aumentar la disponibilidad de máquinas en más 10% con la implementación de la mejora del plan de mantenimiento preventivo.

- c. RETUERTO, Jeanette, TUESTA, Lesly y MONDRAGÓN, Milagros. (2016), en el estudio de su maestría de la Universidad del Pacífico titulado “Propuesta Aplicación De Herramienta Toc-Smed En La Línea De Producción Sólidos De Una Empresa Farmacéutica”, en su objetivo con la implementación de las herramientas TOC - TPM – SMED logra determinar oportunidades de mejora, además de eficiencia y productividad, que incrementa su rentabilidad.

2.1.2 Antecedentes internacionales.

- a. GARDELLA, Marc. (2008), en su estudio de tesis doctoral titulado “Mejora de metodología RCM a partir del AMFEC e implantación de mantenimiento preventivo y predictivo en plantas de procesos”, tuvo como objetivo que el mantenimiento ha de procurar que durante la vida útil los costes de explotación sean mínimos, aplicando en cada caso y momento, las técnicas y métodos óptimos RCM, para garantizar un coste razonable y la continua disponibilidad de máquinas e instalaciones.
- b. COY, Sergio. (2016), en su estudio de investigación de maestría titulado “Modelo de Gestión de Mantenimiento basado en Costos para Plantas del Sector Plástico” tuvo como objetivo realizar un análisis costo riesgo, que le permitió establecer las frecuencias óptimas de las actividades de mantenimiento, establece un modelo de gestión con actividades específicas, frecuencias de mantenimientos determinadas, mano de obra, materiales, repuestos, equipos y herramientas. En resumen, al aplicarse el modelo de mantenimiento basado en costo riesgo, se

obtienen las frecuencias de mantenimiento con disminución del riesgo de falla, al mínimo costo e impacto al negocio.

- c. GUILLÉN, Asdrúbal. (2015), en su estudio de maestría de Ingeniería industrial titulado “Optimización de la efectividad global de los equipos (OEE) a través de estrategias de gestión de mantenimiento Caso: Unidad II de la empresa Negroven, S.A.”, tuvo como objetivo implementar una propuesta basada en un conjunto de estrategias de mejora de la gestión de mantenimiento, orientadas a los servicios de atención de los componentes del Reactor que comprenden planes preventivos, de calibración e inspección, su frecuencia y personal responsable.

2.2 Bases Teóricas

El presente estudio se relaciona con las variables del problema, como son; la Gestión de Mantenimiento y la Disponibilidad de las máquinas, que deberán vincular con la mejora planteada sobre el incremento de la disponibilidad de las máquinas, mediante un nuevo método de gestión de mantenimiento en el proceso de fabricación de bombas centrifugas. En ese sentido, las siguientes teorías se consideran adecuadas para fundamentar y sustentar la línea de investigación.

2.2.1. Gestión del Mantenimiento.

Hace muchos años no se tomaba en cuenta el mantenimiento de las máquinas del proceso productivo, los responsables de producción realizaban sus operaciones sin darle mayor importancia, por diferentes razones; mayor capacidad de planta, poca venta, no había mucha

competencia, eran tiempos donde había diferentes modelos de producción al haber menos demanda y tecnología.

A medida que los tiempos cambian por la tecnología, por el incremento de la población mundial, por la globalización, es decir, que el mercado ya no solo es local, sino que empieza abarcar a nivel internacional, es allí donde de manera progresiva la gestión de mantenimiento va tomando más importancia, generándose inclusive gerencias de mantenimiento en muchas empresas, que reportan directamente a la gerencia general e inclusive al directorio.

El hecho de fortalecer el área de Mantenimiento y hacer más rentable el negocio ha determinado que costos de mantenimiento lleguen a ser un porcentaje que varía de 2 a 3% del costo de la instalación industrial, el cual incluye el personal de mantenimiento, los materiales, los repuestos, los trabajos de terceros, las herramientas y equipos entre otros. En la actualidad los trabajos de terceros son muy variables desde cero al 100%, y ello va a depender de tipo de negocio y riesgo a considerar por la gerencia. (García, 2012, p. 611).

La gerencia de mantenimiento aplica un conjunto de conocimientos, habilidades, y herramientas sostenidas en la planificación, organización, ejecución y control de las actividades de mantenimiento, con el objetivo de lograr la mayor disponibilidad y confiabilidad de las máquinas, equipos e instalaciones de la empresa, asegurando su vida útil al mínimo costo, máxima calidad y seguridad.

2.2.2. Tipos de mantenimiento.

Actualmente los tipos de mantenimiento se clasifican de acuerdo a las tareas y planes de acción, principalmente en: el mantenimiento

preventivo, el mantenimiento predictivo y el mantenimiento correctivo. Algunos consideran el mantenimiento predictivo dentro del preventivo, de igual forma el mejorativo.

a. Mantenimiento preventivo.

El Mantenimiento Preventivo siempre se planifica, y consiste en realizar reparaciones, o cambios de componentes o piezas, según intervalos de tiempo, o según determinados criterios, prefijados para disminuir la frecuencia de falla o pérdida de rendimiento de la máquina, equipo o instalación. (Gardella, Marc, 2008, p. 33).

El criterio de uso del mantenimiento preventivo es considerado para las máquinas y equipos que garantizan la continuidad de las operaciones confiables y seguras de la planta. La eficacia y eficiencia del servicio del mantenimiento preventivo debe ser evaluada con indicadores adecuados y comparados con los indicadores anteriores para realizar mejoras, dentro del proceso de mejora continua.

Las actividades del mantenimiento preventivo deben estar basadas principalmente en las recomendaciones del fabricante, y la experiencia del personal técnico, con un control de frecuencia y procedimientos establecidos. Registrándose las tareas, materiales, repuestos, horas hombre y costos de los mismos.

Con el mantenimiento preventivo se obtienen las siguientes ventajas:

- Confiabilidad de los equipos para que operen en mejores condiciones de seguridad y continuidad al restablecer sus condiciones de funcionamiento.

- Reducción del tiempo de espera y tiempo de parada de máquinas y equipos.
- Disminución de materiales del almacén, en consecuencia, sus costos, ya que se determinan los repuestos de mayor y menor consumo, inclusive los importados.
- Carga uniforme de actividades para el personal de mantenimiento debido a un programa de anual de mantenimiento preventivo.

b. ***Mantenimiento Predictivo.***

El Mantenimiento Predictivo se basa en el conocimiento del estado de una máquina, equipo o instalación por medición periódica o continua de un parámetro significativo. La programación e intervención del mantenimiento se condiciona a la detección inicial de los síntomas de avería. (Gardella, Marc, 2008, p. 33).

El mantenimiento predictivo es definido como la actividad de inspección que descubre el inicio de la degradación de la pieza, repuesto o componente, antes de que ocurra cualquier daño mayor. Está basado en la necesidad de mantener la condición real de la máquina antes que ocurra algún problema.

Existen técnicas de monitoreo a condición como; análisis de aceites, análisis de vibración, termografías, entre otras. Estas deben ser utilizadas para evaluar el funcionamiento de equipo según el modelo producción de la planta y que resulte económicamente viable. La tecnología a usar debe ser identificado según el grado de criticidad de la maquina o equipo y su impacto sobre la seguridad y entrega de la producción a grandes clientes.

Las técnicas de mantenimiento predictivo deben estar soportadas en las recomendaciones de los fabricantes de los equipos, en el análisis estadístico de la información de los registros históricos de mantenimiento y la experiencia del personal técnico idóneo.

Las ventajas del uso del mantenimiento predictivo, son las siguientes:

- Reducción de los tiempos de parada y espera.
- Disminución de los costos de las reparaciones e inclusive la eliminación de fallas catastróficas en algunos casos.
- Nos permite actuar en el momento indicado y que no ocurra una parada imprevista.
- Definir la decisión de la parada de una línea de máquinas en garantizando la seguridad de la planta y los recursos involucrados.
- Nos permite verificar la tendencia del inicio de la falla en el tiempo.
- La gestión del personal de mantenimiento es más eficiente.
- Nos permite la elaboración de procedimientos seguros de operación de equipos, y adquisición de equipos más sofisticados si es necesario.
- El historial de las intervenciones podrá ser utilizada en el análisis estadístico de las averías.

c. Mantenimiento Correctivo.

El Mantenimiento Correctivo se realiza a una máquina, equipo o instalación cuando la avería ya se ha producido, restableciendo a Condición Admisible de uso. El Mantenimiento Correctivo puede, o no, estar planificado. (Gardella, Marc, 2008, p. 33).

El mantenimiento correctivo comprende varios tipos de gestión, y estas pueden ser:

- Mantenimiento de emergencia, equipo parado por producción o seguridad.
- Mantenimiento rutinario; con la máquina parada y en operación.
- Mantenimiento menor, actividades que pueden llevar menos de una hora, no requieren orden de servicio y no hay beneficio que vale la pena para registrarlo en su historial de máquina.

Las causas de las averías que pueden ocasionar una parada imprevista en el proceso de producción, se deben a fallas no detectadas durante la inspección, a errores de operación, a la falta de técnica de prevención o detección y a políticas de producción a no dar tiempo para la inspección. Se ha considerado dos enfoques para las actividades de mantenimiento correctivo:

Actividad correctiva paliativa: se realiza cuando se ha ubicado un problema importante y el objetivo es reparar temporal y rápidamente para restablecer la operatividad, inclusive sin haber obtenido la causa de la parada del equipo.

Actividad correctiva de reparación: se realiza la reparación y se restablece el funcionamiento, eliminando las causas que han provocado la falla.

La gestión de mantenimiento, está basada en la reducción de fallas y acciones correctivas, mediante las actividades preventivas soportadas en el análisis de la visión del proceso de negocio, con el objetivo de

lograr una mayor productividad, mejorando su posición en el mercado con la mira hacia la excelencia, en consecuencia, que ocurra que:

- Se consolide que las maquinarias continúen rindiendo satisfactoriamente.
- Disminuyan los costos de adquisición de máquinas y equipos.
- Se minimicen los costos de mantenimiento.
- Se minimice el consumo energético mediante el mejoramiento de la eficiencia.
- Maximicen la calidad de la fabricación de las piezas y partes.
- Mantengan la integridad del ambiente.
- Se incremente la seguridad e higiene.

Siempre existe la necesidad de mejorar la gestión del mantenimiento de las máquinas, para asegurar la rentabilidad del negocio y generar ganancias a los accionistas, para ello es necesario mantenerse en la línea de la mejora del mantenimiento.

2.2.3. Modelos de gestión de mantenimiento.

Con el avance de tiempo, los modelos de gestión del mantenimiento han ido cambiando, todos ellos con el objetivo de eliminar las fallas buscando efectividad en sus procesos y competitividad dentro del segmento de mercado. Estos modelos consisten en aplicar en la gestión de mantenimiento métodos que busque el continuo mejoramiento de los resultados, utilizando los recursos de personal, materiales, herramientas, e inclusive los trabajos de terceros, pero incidiendo en la reducción del

costo. Dentro de los modelos de gestión del mantenimiento podríamos mencionar:

- Mantenimiento centrado en confiabilidad.
- Mantenimiento basado en costos.
- Mantenimiento basado en riesgos.
- Mantenimiento productivo total (TPM).
- Mantenimiento de clase mundial (MCM).

Determinado la gestión de mantenimiento como eslabón principal dentro de la cadena productiva, podemos analizar algunos de los importantes modelos de gestión de mantenimiento usados en la actualidad, que a continuación se detalla:

a. *Mantenimiento centrado en la confiabilidad (MCC).*

Es un método que consiste en analizar las funciones de las máquinas y equipos, analizar sus posibles fallas, detectar los modos o causas de fallas, estudiar sus efectos y analizar sus consecuencias. A partir de la evaluación de las consecuencias, se determinan las estrategias adecuadas de la operación, exigiendo que no solo sean factibles, sino también viables económicamente (Durán, 2000).

Basado en la confiabilidad operacional, que conforman máquinas, procesos y personal, este modelo fue elaborado con el fin dar soporte para determinar las políticas de mejora de las funciones de las máquinas, y evaluar las consecuencias de sus fallas. Una revisión de las fallas operacionales con la evaluación del aspecto de seguridad y amenazas al medio ambiente manteniendo mucha atención en las tareas de mantenimiento que más incidencia tienen en el funcionamiento y desempeño de las instalaciones, garantiza la inversión en

mantenimiento se utilice donde más beneficio va a aportar (Durán, 2000). Sus objetivos principales son:

- Mejorar la competitividad, disminuyendo el costo de mantenimiento.
- Realizar acciones de mejora en las funciones más importantes de los procesos.
- Retirar las actividades de servicio de mantenimiento que no son muy necesarias.

Ventajas:

- Aplicando un sistema de mantenimiento preventivo existente en las empresas, se reduce las horas de mantenimiento correctivo normalmente de un 40% hasta el 70%.
- Aplicando un nuevo sistema de mantenimiento preventivo, la carga de trabajo disminuye con referencia a métodos convencionales.

Los pasos para la implementación de un sistema MCC se resumen en doce (Huggett,2000):

- Estudios y preparación.
- Definición y selección de sistemas.
- Análisis funcional de la falla.
- Selección de ítems críticos.
- Tratamiento de los ítems no críticos.
- Colección y análisis de datos.
- Análisis de modos y efectos de falla.

- Selección de las tareas de mantenimiento.
- Determinación de los intervalos de mantenimiento.
- Análisis y comparación de las estrategias de mantenimiento.
- Implementación de las recomendaciones.
- Seguimiento de resultados.

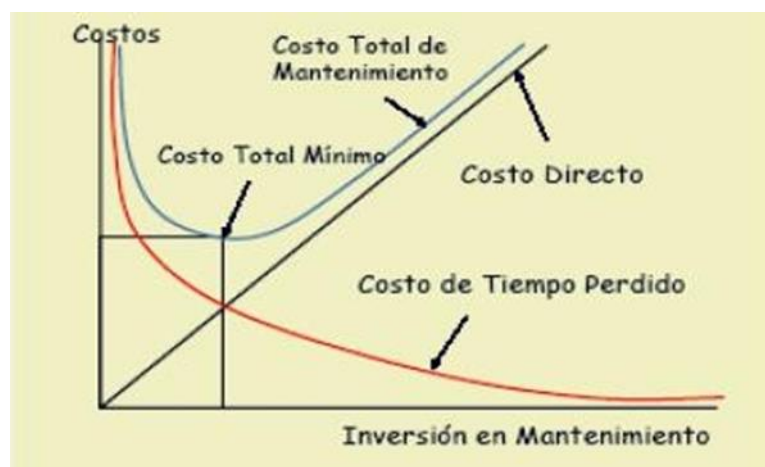
Según expertos, ha sido exitosa la implementación de esta tecnología, y se logra siguiendo una secuencia, partiendo de un plan piloto hasta su completa adaptación a la organización; tomando en cuenta que la organización haya transitado los pasos de maduración en el aspecto técnico y en la cultura organizacional. Dentro de estos pasos están las técnicas del mantenimiento proactivo, las herramientas de análisis de falla y el enfoque de negocio, que es un elemento clave. (citado por C. García, 2015, p. 18).

b. ***Mantenimiento basado en costos.***

Consiste en la aplicación del mantenimiento orientado a incrementar el retorno sobre los activos fijos y, por ende, aumentar la rentabilidad del negocio. Se aplican todas las herramientas propias de la gestión de mantenimiento y sistemas de gestión de costos basadas en actividades, para identificar las acciones con sus costos asociados y sus impulsores para administrarlas según el valor agregado y el rendimiento del esfuerzo aplicado. Otra herramienta soporte es la teoría de restricciones, que permite que el mantenimiento sea como un negocio identificando los cuellos de botella mediante la sectorización de las ordenes de trabajo y el seguimiento de las mismas (Smith, 2010).

En resumen, esta modalidad de gestión de mantenimiento, además de aplicar las técnicas y herramientas que aseguran la disponibilidad y la eficiencia como factores clave de mantenimiento, hace un marcado énfasis en la inversión en los activos en los gastos directos, indirectos y ocultos (Mantenimiento Industrial CR, 2015). En la siguiente Figura se observan las curvas de los costos de mantenimiento en función de la inversión.

Gráfico 4. Costos óptimos de mantenimiento.



Fuente: The Woodhouse Partnership Ltd, "Operational Reliability".

Objetivos:

- Mejorar la competitividad del negocio.
- Maximizar la eficacia y disponibilidad de máquinas con el mínimo costo.
- Disminuir los costos de sustentación de equipos.
- Maximizar el rendimiento de la inversión de los activos.

Pasos para la implementación:

El mantenimiento enfocado en los costos es una metodología que combina las mejores prácticas de mantenimiento con las metodologías de reducción de costos, por lo que para su implementación es necesario que la organización tenga algún modelo de gestión de mantenimiento (Smith, 2010).

Implementación del mantenimiento basado en costos. (Smith, 2010).

A continuación, se muestran los pasos.

- Decisión gerencial o adecuación de la organización.
- Identificación de activos críticos (función/costos).
- Identificación de actividades críticas y costos.
- Identificación de costos históricos de sustentación.
- Aplicación de modelo de restricciones.
- Determinación de los costos de producción.
- Establecimiento de indicadores económicos.
- Direccionamiento de las acciones en función de la rentabilidad.
(citado por C. García, 2015, p. 20).

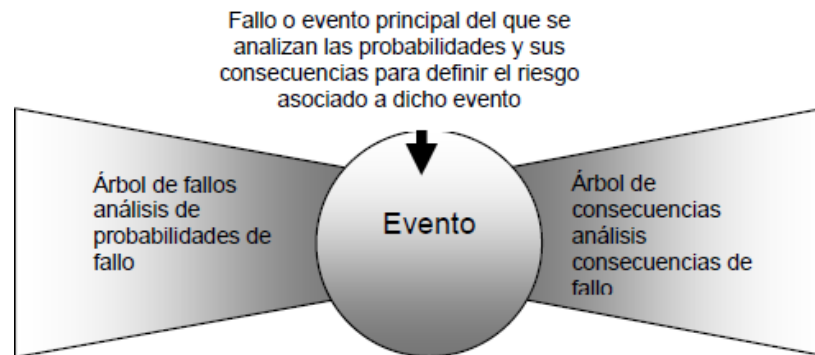
c. Mantenimiento basado en el riesgo.

La aplicación de las acciones para este tipo de gestión de mantenimiento, están dirigidas en función a los estudios de riesgo realizadas considerándolos como determinante en el funcionamiento apropiado de los activos. Utilizando éste, como la combinación de probabilidad y las consecuencias de fallo, se pueden combinar con el modelo “Bow Tie”; desarrollado por la compañía Shell. Este modelo identifica mediante un árbol de fallos, posibles accidentes, circunstancias y eventos que conducen a un riesgo; y mediante un árbol de eventos se

muestran las consecuencias y las áreas de daño a las que conducen los posibles eventos (Durán, 2000).

Se considera un escenario a los mecanismos de daño que conducen a un evento potencial con unas consecuencias de seguridad, salud, medio ambiente o económicas. Se debe estudiar la probabilidad de ocurrencia de todos los eventos posibles. La imagen 1. muestra el diagrama de flujo del modelo Bow Tie.

Imagen 1. Diagrama bow tie. análisis de fallas y de consecuencias.



Fuente: (Norma IEC/ISO 31010 , 2009).

Existen varios métodos para calcular la probabilidad de falla, pero los principales son los dos siguientes:

- Enfoque analítico: consiste en estimar la probabilidad de falla utilizando modelos matemáticos y datos estadísticos para los procesos de degradación.
- Solicitación experta: consiste en dejar que el equipo de expertos en riesgo en plantas y procesos, evalúen la probabilidad de falla.

Objetivos:

- Mejorar la competitividad del negocio.

- Identificar y establecer acciones de mantenimiento según estudios de riesgo para minimizar fallas y accidentes con impacto en la salud, seguridad, ambiente y en los costos.
- Maximizar la eficiencia y disponibilidad en función de la criticidad y los riesgos.
- Eliminar o minimizar las fallas de alto impacto.

Pasos para la implementación:

Un requisito muy importante es obtener una jerarquía de la planta bien adaptada que facilite la identificación de funciones, mecanismos de degradación y fallos. La jerarquización de la planta es necesaria para una valoración eficiente del riesgo y para la planificación del mantenimiento y la inspección, ya que la planta se encuentra dividida en secciones controlables. La organización debe manejar herramientas y técnicas de mantenimiento proactivo porque estas son las que aseguran la implementación de los planes de acción recomendados (Norma IEC/ISO 31010, 2009).

Los pasos para la implementación del mantenimiento basado en riesgos Según Norma IEC/ISO 31010, 2009 son:

- Decisión y comunicación gerencial.
- Jerarquización de la planta.
- Asignación de funciones de los activos físicos.
- Identificar los modos de fallo.
- Encontrar las causas de fallo, las causas raíz y los mecanismos de daño.

- Realizar plan de acción de mantenimiento de acuerdo a la criticidad.
- Realizar análisis de riesgo. Implementar acciones. (citado por C. García, 2015, p. 22).

d. *Mantenimiento productivo total (TPM).*

El TPM se fundamenta en la búsqueda permanente de la mejora de la eficiencia de los procesos y los medios de producción, por una implicación concreta y diaria de todas las personas que participan en el proceso productivo. Cero defectos, cero accidentes y cero paradas (Chan, 2005). Sus principales objetivos son:

- Crear una organización corporativa que maximice la eficiencia de los sistemas de producción.
- Gestionar la planta con el objetivo de evitar todo tipo de pérdidas durante la vida entera del sistema de producción.
- Involucrar a todos los departamentos de la empresa en la implementación y desarrollo.
- Involucrar a todas las personas, desde la alta dirección hasta los operarios o técnicos, en un mismo proyecto.
- Orientar decididamente las acciones hacia las cero pérdidas, cero accidentes y cero defectos, apoyándose en las actividades de pequeños grupos de mejora.

Bases del TPM:

- Técnica de las 5's: para la mejora de la organización, orden y limpieza de las áreas de trabajo. es el cimiento en el que después se sustentan los pilares.

- Implementación del indicador OEE: que permitirá conocer la eficiencia con la que trabajan las máquinas y los procesos, y ante todo nos permitirá conocer y cuantificar las pérdidas.

Los 8 pilares del TPM:

- Mejoras enfocadas: grupos de trabajo interdisciplinarios formados en técnicas para la mejora continua y la resolución de problemas. Estos grupos enfocarán su trabajo en la eliminación de las pérdidas y la mejora de la eficiencia.
- Mantenimiento planificado: son las actividades de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo orientadas a la prevención y eliminación de averías.
- Mantenimiento autónomo: se basa en las operaciones de inspección y pequeñas actuaciones sencillas, realizadas por los operarios de las máquinas.
- Mantenimiento de calidad: se basa en actuaciones preventivas sobre las piezas de las máquinas que tienen una alta influencia en la calidad del producto.
- Prevención del mantenimiento: se basa en la gestión temprana de las condiciones que deben reunir los equipos o instalaciones, para facilitar su mantenibilidad en su etapa de uso.
- Mantenimiento en áreas de soporte: se busca el apoyo necesario para que las actividades de TPM aseguren la eficiencia y la implicación global.
- Mejora de la polivalencia y habilidades de operación: se refiere a la formación continua del personal de producción y mantenimiento para mejorar sus habilidades y aumentar su polivalencia y especialización.

- Seguridad y entorno: la seguridad y la prevención de efectos adversos sobre el entorno son temas importantes en las industrias responsables. La seguridad se promueve sistemáticamente en las actividades de TPM. (citado por C. García, 2015, p. 23).

Imagen 2. Pilares del TPM.



Fuente: (Calidad de gestión, 2011).

e. *Mantenimiento de clase mundial (MCM).*

La clase mundial consiste en una serie de prácticas, criterios y resultados consistentes, inmersos en modelos bien dimensionados y desarrollados. Esta filosofía es el conjunto de las mejores prácticas operacionales y de mantenimiento que reúnen los elementos de distintos enfoques y metodologías organizacionales con visión de negocio, para crear un todo armónico de alto valor práctico que genere ahorros sustanciales a las empresas y la mejora de la productividad. Las mejores prácticas de negocios son aquellas que permiten generar una ventaja competitiva probada y la capacidad de absorber cambios de la mejor manera para incrementar las posibilidades de permanecer en el mercado. El MCM se sustenta por diez de las mejores prácticas que orientan la función hacia la excelencia (Padilla, 2014).

- Organización centrada en equipos de trabajo: busca que el análisis de procesos y resolución de problemas se realice a través de equipos de trabajo multidisciplinarios y a organizaciones que evalúan y reconocen formalmente esta manera de trabajar.
- Contratistas orientados en la productividad: considera al contratista como un socio estratégico, donde se establecen pagos vinculados con el aumento de los niveles de producción, mejoras en la productividad y la implementación de programas de optimización de costos. Todos los trabajos contratados deben ser formalmente planificados, con alcances bien definidos y presupuestados que conlleven a no incentivar el incremento en las horas hombre utilizadas.
- Integración con proveedores de materiales y servicios: parte del principio que los inventarios de materiales sean gerenciados por los proveedores, asegurando las cantidades requeridas en el momento apropiado y a un costo total óptimo, aplicando la metodología justo a tiempo como herramienta clave. Por otro lado, debe existir una base consolidada de proveedores confiables e integrados con los procesos para los cuales se requieren tales materiales de acuerdo con la cadena de valor.
- Apoyo y visión de la gerencia: debe existir un involucramiento activo y visible de la alta gerencia en los equipos de trabajo para la mejora continua, capacitación, programa de incentivos y reconocimiento, evaluación del trabajador, procesos definidos de selección, empleo y programas de desarrollo de carrera.
- Planificación y programación proactiva: la planificación y programación son bases fundamentales en el proceso de gestión del

mantenimiento orientada a la confiabilidad operacional, la minimización del riesgo al menor costo. El objetivo es maximizar la disponibilidad y efectividad de la capacidad instalada, incrementando el tiempo de permanencia en operación de los equipos e instalaciones, el ciclo de vida útil y los niveles de calidad que permitan operar al más bajo costo por unidad producida. El proceso de gestión de mantenimiento y confiabilidad debe ser metódico y sistemático, de ciclo cerrado con retroalimentación. Se debe planificar las actividades a corto, mediano y largo plazo tratando de maximizar la productividad y confiabilidad de las instalaciones con el involucramiento de todos los actores de las diferentes organizaciones bajo procesos y procedimientos de gerencia documentados.

- Procesos orientados al mejoramiento continuo: Consiste en buscar de manera continua y constante la manera de mejorar las actividades y procesos, mediante aplicaciones de metodologías como just in time, six sigma, kaizen, sistemas de calidad, entre otros; siendo estas mejoras promovidas, seguidas y reconocidas públicamente por las gerencias.
- Gestión disciplinada de aprovisionamiento de materiales: llevar a cabo un proceso de aprovisionamiento de materiales homologado y unificado en toda la organización, que garantice el servicio de los mejores proveedores, balanceando costos y calidad, en función de convenios y tiempos de entrega oportunos y utilizando modernas tecnologías de suministro.
- Integración de sistemas: se refiere al uso de sistemas estándares en la organización, alineados con los procesos a los que apoyan y que faciliten la captura y el registro de datos para el análisis.

- Gerencia disciplinada de paradas de planta: se debe realizar capacitación intensiva en paradas, tanto al personal de seguridad, como a los contratistas y proveedores, y la planificación de las paradas de planta deben realizarse con 12 a 18 meses de anticipación; utilizando procedimientos y prácticas de trabajo documentadas.

- Producción basada en la confiabilidad: grupos formales de mantenimiento predictivo (ingeniería de mantenimiento), deben aplicar sistemáticamente las más avanzadas tecnologías y metodologías existentes del mantenimiento. Este grupo debe tener la habilidad de predecir el comportamiento de los equipos con meses de anticipación y coordinar la realización de procesos formales de análisis de causa raíz y otras herramientas de confiabilidad.

Implementación del MCM:

La implementación de esta metodología de mantenimiento requiere de una organización completamente madura con visión competitiva y enfocada a la excelencia, con altos estándares de aplicación de mejores prácticas en todos.

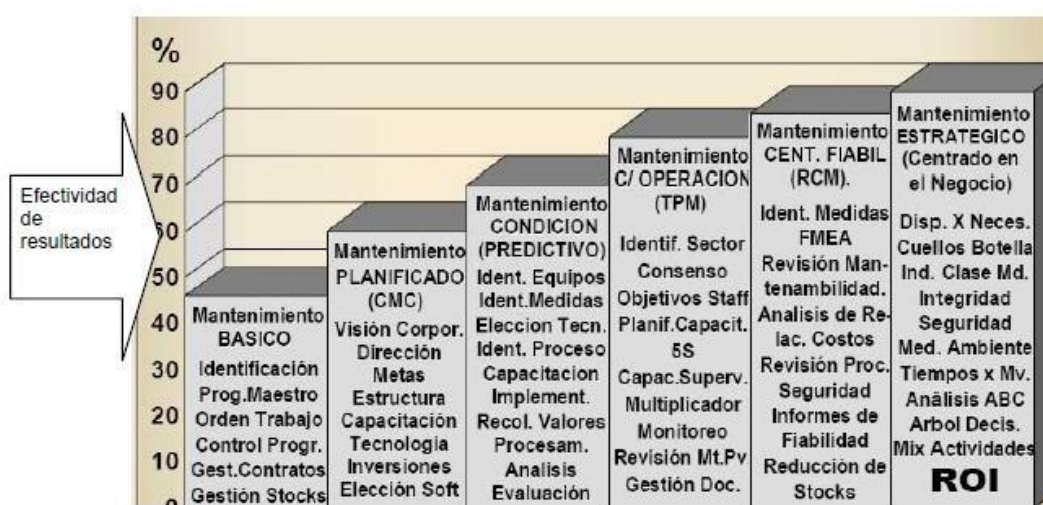
los procesos administrativos y operativos. A continuación, se muestra la secuencia de los pasos para la implementación del MCM. Según Velasco, 2005.

- Decisión y comunicación gerencial.
- Establecimiento de las políticas.
- Organización formal integrada hacia la competitividad.
- Caracterización de sistemas y procesos.
- Determinación de impactos de fallas.

- Plan de toma de decisiones según la relación costo - beneficio.
- Aplicación de las tecnologías y mejores prácticas.
- Mejora continua. (citado por C. García, 2015, p. 25).

2.2.4. Mejora de la efectividad operacional.

Gráfico 5. Tecnologías de mantenimiento



Fuente: HSB Reliability Technologies.

Las metodologías, modelos o sistemas de mantenimiento clasificados como de cuarta generación, son todos aquellos que se sustentan en la planificación y el uso de herramientas técnicas para prevenir, detectar, predecir y evitar o reducir eventos indeseados en los activos físicos que afecten la disponibilidad y la eficacia de los mismos. El avance de la tecnología está asociado a la mejora continua en función de la necesidad competitiva particular de cada empresa o sector industrial, estos desarrollos han evolucionado, por lo que tienen diferentes enfoques manteniendo el principio funcional del objetivo estratégico (Cáceres, 2011). Los aspectos comunes entre los diferentes enfoques de gestión son los siguientes:

- Mantienen los mismos objetivos: calidad, disponibilidad y eficacia como factores de éxito.
- Hacen uso de las mismas herramientas y técnicas para analizar causas y efectos, gestión de riesgo, planificación, control, entre otros.
- El recurso humano es el factor más influyente en el éxito de la gestión.
- El activo físico es un elemento de productividad integrado al negocio.
- La función de mantenimiento es determinante en la calidad y competitividad de la empresa.
- La planificación y ejecución de actividades se enfocan según la condición del riesgo y la criticidad.
- Existe un alto nivel de flexibilidad de las políticas de mantenimiento de acuerdo con las estrategias del negocio.
- Los esfuerzos se planifican y ejecutan considerando como parámetros clave el costo del tiempo y la calidad.
- La mejora continua forma parte de los principios de la metodología.
- Ingeniería de confiabilidad: es el marco teórico conceptual donde coexisten las metodologías y técnicas para diagnóstico proactivo e integrado de equipos, procesos y/o sistemas, como la base fundamental del mantenimiento. El diagnóstico proactivo e integrado es el proceso que busca caracterizar el estado actual y predecir el comportamiento futuro de equipos, sistemas y/o

procesos mediante el análisis del historial de fallas, los datos de condición y datos técnicos.

- Ingeniería de mantenimiento: es el marco de aplicación tecnológica que permite definir las propiedades mecánicas de los materiales para predecir el comportamiento de máquinas y sistemas en servicio con el objetivo de analizar y solucionar problemas relativos a su funcionamiento y confiabilidad inherente. (citado por C. García, 2015, p. 27).

2.2.5. Medición del mantenimiento.

Los indicadores son parámetros numéricos que convenientemente utilizados, pueden ofrecernos una oportunidad de mejora continua en el desarrollo, aplicación de nuestros métodos y técnicas específicas de mantenimiento. La magnitud de los indicadores sirve para comparar con un valor o nivel de referencia con el fin de adoptar acciones correctivas, modificativas y predictivas según sea el caso (portal calidad, 2014). Los indicadores de gestión (planificación, ejecución, control y evaluación), son aquellos que normalmente interrelacionan dos valores y nos aportan una visión completamente que evalúa diversos aspectos de la gestión de nuestro departamento (González, 2004). La confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad son medidas técnicas y científicas, fundamentadas en cálculos matemáticos, estadísticos y probabilísticos, que tiene el mantenimiento para su análisis. (citado por C. García, 2015, p. 27).

a. Indicadores de gestión para el mantenimiento.

Hay que considerar que el primer objetivo de trabajo del área de mantenimiento es de propiciar el logro de altos índices de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad a favor de la producción o de la prestación de un servicio. Además de las tareas de implementación de las estrategias de mantenimiento, también es necesario realizar el

seguimiento correspondiente del proceso y su evaluación. La selección de los indicadores para la medición es una tarea sensible y es la clave para realizar una correcta evaluación.

Los parámetros de gestión deben confirmar la validez de las políticas de mantenimiento y la configuración de los parámetros de un componente específico. Cuando los resultados son malos, el componente debe ser examinado nuevamente. La mejor manera para saber cómo los resultados han sido implementados, será mediante el cálculo de algunos indicadores como efectividad, disponibilidad, calidad, tiempo medio entre fallas, número de paradas, tiempo medio para la reparación, costo de mantenimiento, costo de personal, utilización, entre otros (Améndola, 2014). Todas las actividades pueden medirse, así puede asegurarse que las actividades vayan en el sentido correcto y permitan evaluar los resultados de una gestión frente a sus objetivos, metas y responsabilidades.

Los indicadores son importantes para la organización porque son altamente efectivos para exponer, cuantificar y visualizar deficiencias, proveen un sistema de alerta temprana para procesos operando fuera de la norma o requerimientos y ofrecen importantes indicaciones donde los esfuerzos de mejoramiento deben enfocarse; además son efectivos motivadores. El conjunto ideal de indicadores varía en cada empresa dependiendo sus necesidades y deberán estar fuertemente alineados con los objetivos estratégicos y operacionales de la compañía y activados por el personal de la misma. Deben manifestarse en indicadores como la Eficiencia General de los Equipos (OEE) y el conjunto de indicadores de Mantenimiento de Clase Mundial (Calidad y gestión, 2012). La información debe explicar el estado del proceso de mantenimiento, su desarrollo y la evolución en el entorno donde el mantenimiento opera. El foco está en la efectividad y la eficiencia del proceso de mantenimiento, individualizando sus actividades,

organización y cooperación con otras unidades de la organización (González, 2004). (citado por C. García, 2015, p. 28).

b. *Indicadores de mantenimiento mundial.*

Para la función de mantenimiento, existe una constante búsqueda de nuevas y novedosas formas de incrementar la confiabilidad, disponibilidad y la vida útil de plantas y equipos industriales siempre a través de un control efectivo de los costos.

El hecho de programar y planificar los trabajos de mantenimiento a grandes volúmenes de equipos e instalaciones ha visto en la automatización una oportunidad de constantes mejoras, y la posibilidad de plasmar procedimientos cada día más complejos e interdependientes. Esto, aunado a la mejor práctica de un mantenimiento de clase mundial que establece sistemas integrados, ha llevado a las grandes corporaciones a tomar la decisión de adoptar sistemas de mantenimiento de planificación empresarial (CMMS).

El modelo de mantenimiento a través de CMMS permite la clasificación y caracterización de la información, para que ésta sea agrupada y consultada de acuerdo a los requerimientos de cada usuario, lo cual facilita los procesos de análisis y toma de decisiones que son tan importantes en las áreas de costos y confiabilidad (Améndola, 2014). La gerencia de mantenimiento está sustituyendo los viejos valores por paradigmas de excelencia de mayor nivel. La práctica de Ingeniería de Confiabilidad; así como la reducción de los costos de mantenimiento constituyen los objetivos primordiales de la empresa enfocados a asegurar la calidad de gestión del área de mantenimiento.

Los indicadores de mantenimiento y los sistemas de planificación empresarial asociados al área de efectividad, permiten evaluar el

comportamiento organizacional de las instalaciones, sistemas, equipos, dispositivos y componentes. De ésta manera será posible implementar un plan de mantenimiento orientado a perfeccionar las actividades de mantenimiento (mantenimiento mundial, 2014). Estos indicadores son:

- Tiempo promedio para fallar (TPPF) – Mean time to fail (MTTF).
- Tiempo promedio para reparar (TPPR) – Mean time to repair (MTTR).
- Tiempo promedio entre fallas (TMEF) – Mean time between failures (MTBF).
- Disponibilidad.
- Utilización.
- Confiabilidad.

Tiempo promedio para fallar (TPPF) – Mean time to fail (MTTF): este indicador mide el tiempo promedio que es capaz de operar el equipo a su mayor capacidad sin interrupciones dentro del periodo considerado; este constituye un indicador indirecto de la confiabilidad del equipo o sistema (mantenimiento mundial, 2014). El tiempo promedio para fallar también es llamado Tiempo Promedio Operativo o Tiempo Promedio hasta la Falla. Se calcula de la siguiente manera:

$$TPPF = \frac{\sum \text{Tiempo total de operación de un conjunto de ítems no reparables}}{\text{Número total de fallas detectadas en esos ítems, en el periodo observado}}$$

Tiempo promedio para reparar (TPPR) – Mean time to repair (MTTR): Es la medida de la distribución del tiempo de reparación de un equipo o un sistema. Este indicador mide la efectividad de restituir la unidad a condiciones óptimas de operación una vez que la unidad se encuentra fuera de servicio por una falla, dentro de un periodo de tiempo determinado (mantenimiento mundial, 2014). El tiempo promedio para reparar es un parámetro de medición asociado a la mantenibilidad, es decir, a la ejecución del mantenimiento. La mantenibilidad, definida

como la probabilidad de volver el equipo a condiciones operativas en un cierto tiempo utilizando procedimiento prescritos, es una función del diseño del equipo (factores tales como accesibilidad, modularidad, estandarización y facilidades de diagnóstico, facilitan enormemente el mantenimiento). Para un diseño dado, si las reparaciones se realizan con personal calificado y herramientas, documentación y procedimientos prescritos, el tiempo de reparación depende de la naturaleza de la falla y de las mencionadas características de diseño.

$$TPPR = \frac{\sum \text{Tiempo total de intervención correctiva en un conjunto de ítems con falla}}{\text{Número total de fallas detectadas en esos ítems, en el periodo observado}}$$

Tiempo promedio entre fallas (TMEF) – Mean time between failures (MTBF): indica el intervalo de tiempo más probable entre un arranque y la aparición de una falla; es decir, es el tiempo medio transcurrido hasta la llegada del evento “falla”. Mientras mayor sea su valor, mayor es la confiabilidad del componente o equipo (mantenimiento mundial, 2014). Uno de los parámetros más importantes utilizados en el estudio de la confiabilidad es el TMEF, es por esta razón que debe ser tomado como un indicador más que represente de alguna manera el comportamiento de un equipo específico. Asimismo, para determinar el valor de este indicador se debe utilizar el dato primario histórico almacenado en los sistemas de información.

$$TPEF = \frac{(\text{Número de ítems}) (\text{Tiempos de operación})}{\sum \text{Número total de fallas detectadas en esos ítems en el periodo observado}}$$

c. Indicadores de eficiencia general de los equipos (OEE).

La Eficiencia General de los Equipos, por sus siglas en inglés (Overall Equipment Effectiveness) es una herramienta de medición de la eficacia

de la maquinaria industrial, internacionalmente reconocida (sistemas oee, 2014), y que se expresa como un porcentaje de tres parámetros: disponibilidad, rendimiento y calidad. El OEE es un indicador clave de desempeño que permite medir la competitividad de la industria y compararse con respecto a los mejores de su clase. Este índice considera todos los parámetros fundamentales en la producción industrial: la disponibilidad, la productividad y la calidad (Electro Industria, 2015).

Disponibilidad: representa el porcentaje de tiempo total disponible de las máquinas para trabajar (sistemas oee, 2014). Este componente está diseñado para tomar en cuenta sólo lo relacionado con el tiempo disponible, excluyendo los paros programados y los eventos de calidad y desempeño.

Rendimiento: también llamado desempeño, representa el porcentaje de velocidad a la que el centro de trabajo opera, comparada con la velocidad teórica. Este factor está diseñado para excluir los efectos de calidad y disponibilidad (oee, 2013).

Calidad: se refiere al porcentaje de unidades buenas producidas con respecto a la cantidad total de unidades producidas o al servicio que se brinda. Este componente está diseñado para no tomar en cuenta el tiempo disponible y el desempeño (LeanSis Productividad, 2014).

El OEE se debe medir porque las empresas realizan grandes inversiones en maquinaria y necesitan obtener el máximo retorno de su inversión en el menor tiempo posible, porque es fundamental disminuir nuestras pérdidas productivas y conseguir que la empresa sea más competitiva. (oee, 2013). Es una medida estándar que utilizan las empresas a nivel mundial en los países industrialmente avanzados y permite comparar sus resultados con las mejores.

Imagen 3. Cálculo del OEE.



Fuente: www.sistemasoe.com

Un valor de OEE del 100% es la práctica inalcanzable ideal y nos va a ayudar a que trabajemos sistemáticamente en la mejora continua. Nos permite comparar entre sí máquinas, células productivas, líneas de producción, turnos de trabajo, plantas productivas, prestación de servicios e incluso nos permite comparar la empresa con respecto a las mejores de nuestro sector industrial.

Se puede clasificar según el nivel de excelencia, siendo de la Tabla 1.

Tabla 1. Evaluación del OEE.

Porcentaje (%).	Evaluación.	Observaciones.
0 < OEE < 65	Inaceptable	Muy baja competitividad. Pérdidas económicas.
65 < OEE < 75	Regular	Baja competitividad. Aceptable solo si está en proceso de mejora.
75 < OEE < 85	Aceptable	Se debe continuar la mejora para avanzar hacia clase mundial (World Class).
85 < OEE < 95	Buena	Alta competitividad. Entra en valores World Class.
95 < OEE < 100	Excelente	Excelente competitividad. Valores World Class. Sumamente difícil alcanzarlos.

Fuente: (Calidad de gestión, 2011).

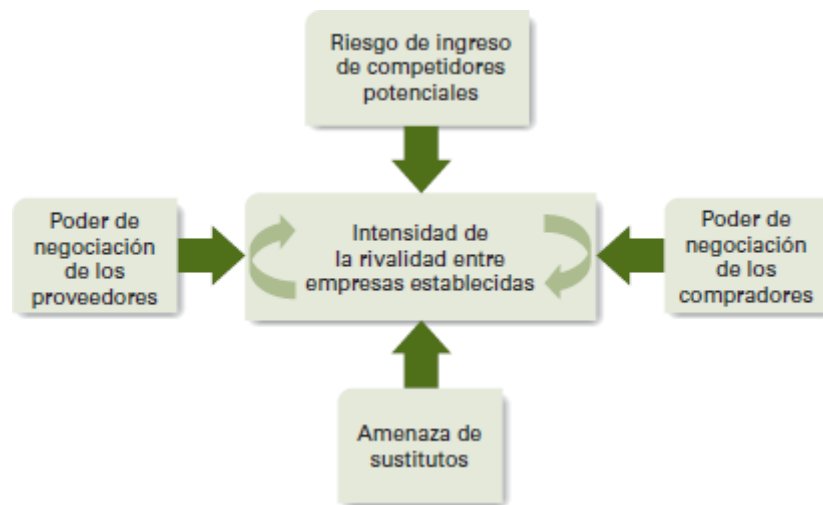
Para mejorar la eficiencia de la industria se deben reducir y eliminar las pérdidas de tiempo y de costos (Electro Industria, 2015). Algunos ejemplos de estas pérdidas son:

- Pérdidas de tiempo por un mal mantenimiento. Los mantenimientos deben ser preventivos y predictivos, nunca correctivos. La espera constante de mantención durante el turno de trabajo por fallas solo evidencia una pobre planeación.
- Pérdidas de tiempo ocioso. Ya sea por cuenta del operador o propias de la producción; como por ejemplo en espera de materiales, herramientas, refacciones, etc.
- Pérdidas de tiempo inusuales. Estas son más difíciles de evitar. Algunos ejemplos son reuniones no regulares durante el turno, cortes de energía eléctrica, accidentes, emergencias, simulacros, incidentes, etc. (citado por C. García, 2015, p. 32).

2.2.6. Fuerzas de Porter.

De acuerdo con Porter, existen cinco fuerzas negativas, es decir, que inciden en el éxito de los negocios (Hill & Jones, 2011), las cuales se muestran en la siguiente imagen.

Imagen 4. Modelo de las 5 fuerzas de Porter



Fuente: (Hill & Jones, 2011).

- Riesgo de que posibles competidores ingresen en el mercado. Los competidores potenciales son empresas que aún no compiten en una industria, pero que tienen la capacidad de hacerlo si así lo deciden.
- Intensidad de la rivalidad entre las empresas establecidas dentro de una industria. En la medida que nuevas empresas entran con facilidad a una industria en particular, obviamente la intensidad de la competencia entre ellas aumenta.
- Poder de negociación de los compradores. Es la capacidad que tienen los compradores finales o intermedios para negociar los precios bajos que fijan las empresas en la industria o incrementar los costos de las empresas en la industria al demandarles mejor calidad y servicio.
- Poder de negociación de los proveedores. Afecta la intensidad de la competencia en una industria, en especial cuando hay muchos proveedores, pocas materias primas sustitutas adecuadas o cuando el costo de sustitución de las materias primas es demasiado elevado.

- La cercanía de los sustitutos a los productos de una industria. La presencia de productos sustitutos coloca un tope en el precio que se cobra antes de que los consumidores cambien a un producto sustituto.

Ante estas fuerzas competitivas, Porter plantea tres estrategias genéricas para hacerles frente, las cuales crean un ambiente de competitividad a favor que hace la diferencia (Porter, 1999).

- El liderazgo en costos totales bajos: Se dirige a mantener el costo más bajo frente a los competidores para así lograr un volumen alto de ventas.
- La diferenciación: Orienta a la organización a crear valor agregado a través de una estructura innovadora, bajo la premisa de que el producto o servicio debe ser único o debe poseer características que lo diferencian de la competencia.
- El enfoque o focalización: esta estrategia busca que las organizaciones tiendan a especializarse en un grupo específico de clientes, con esta premisa aparece más formalmente la llamada segmentación de mercados.

El logro de un cierto nivel de competitividad no es solo alinear a la organización en una dirección productiva y aplicar las estrategias recomendadas, sino que es un manejo eficiente de una variedad muy compleja de variables que intervienen directa o indirectamente en toda la cadena del negocio y que a grandes rasgos se ve afectada negativamente por una serie de elementos que inciden en la cadena productiva, que tienen que ver con el diseño o especificaciones del producto o servicio, el proceso productivo, la dirección y el recurso humano fundamentalmente (Lorino, 1996). Entre estos factores se pueden nombrar los siguientes:

- Mal diseño del producto o servicio.
- Falta de normalización.
- Normas y especificaciones erróneas.
- Modelo que exija eliminar demasiado material.
- Maquinaria, procesos y herramientas inadecuadas.
- Procesos mal ejecutados o ejecutados bajo malas condiciones.
- Deficientes métodos de trabajo.
- Cambios de diseño.
- Mala planificación del trabajo.
- Falta de materias primas.
- Averías en las instalaciones (malas políticas de gestión de mantenimiento).
- Instalaciones en mal estado que producen baja eficiencia operativa y desmoralizan al personal.
- Malas condiciones de trabajo.
- Alto índice de accidentabilidad.
- Ausencias, retrasos y ociosidad.
- Tiempo improductivo por desechos o repetición del trabajo.
- Accidentes con daños materiales y humanos.

La integración económica impulsada por la aceleración de los flujos de comercio, migración, capital e información que implican retos y oportunidades para empresas de diferentes sectores y tamaños, y las obliga a ofrecer de manera constante, volúmenes suficientes de productos de calidad a precios competitivos. Para esto, se integran formando cadenas de valor y de proveedores para aprovechar al máximo las fortalezas internas y externas de cada una. (citado por C. García, 2015, p. 34).

2.2.7. Sistema de gestión de mantenimiento.

El tercer objetivo específico de este estudio consiste en identificar los elementos clave que inciden en el éxito del sistema de gestión del mantenimiento. Para evaluar el desempeño de la gestión del mantenimiento, es necesario tener claramente definidos los objetivos. Estos objetivos se definen en función de la empresa, de manera que estén alineados con las estrategias del modelo de negocio de manera integral. La forma de determinar el grado en el que se alcanzan los objetivos y cómo contribuyen a mejorar la competitividad de la empresa, es mediante el establecimiento de indicadores, que midan en términos cuantitativos la efectividad de los esfuerzos (Hill & Jones, 2011).

Actualmente, las estrategias de mantenimiento están encaminadas a garantizar la disponibilidad y eficacia requerida de los activos físicos, asegurando la maximización de su vida útil y minimizando los costos de sustentación, cumpliendo con las regulaciones y normatividades en el marco de la calidad, seguridad, higiene y medio ambiente, según los requerimientos de producción. Bajo esta concepción, el mantenimiento como actividad clave de la competitividad, considera factores críticos de éxito de la gestión del desempeño, la disponibilidad y la eficacia que indican la fracción de tiempo en que los equipos están en condiciones de servicio (González, 2004).

La disponibilidad se tiene solo cuando se requiere, lo cual no quiere decir que sea igual en todos los activos, ya que depende de la criticidad de los mismos, y ésta varía según los requerimientos de producción y de factores como la seguridad, el impacto en la restauración, entre otros. Una disponibilidad sobre lo requerido solo ocasiona costos adicionales sin agregar el valor correspondiente. Para medir este desempeño es necesario definir algunos parámetros de tiempo relacionados con la producción (hsb, 2014).

- Tiempo de producción requerido. Es la diferencia entre el tiempo calendario y la fracción de tiempo que no se emplea para la producción por falta de demanda del cliente. Este último generalmente se emplea para realizar el mantenimiento planificado de las instalaciones.
- Tiempo programado de producción. Es el tiempo de operación suficiente para cubrir la demanda descontando la fracción de tiempo necesaria para realizar el mantenimiento planificado que no se logra hacer en los tiempos de parada por baja demanda.
- Tiempo disponible para la producción. Una parte del tiempo programado para producción se pierde por averías de las instalaciones. Por lo tanto, el tiempo que le queda a producción para realizar su trabajo es menor y se denomina tiempo disponible para la producción.
- Tiempo real de producción. Es el tiempo que queda después de las paradas de producción por otros motivos; ya sea por paros indirectos o directos de las instalaciones.
- Tiempo de producción efectiva. Es el tiempo neto que agrega valor que toma en cuenta las ineficiencias propias durante en proceso productivo, es decir, resulta de comparar el tiempo en el que se ha realizado la producción real, con el tiempo en el que se podría haber hecho si todo hubiera ido perfectamente y las instalaciones hubieran podido trabajar a su máxima capacidad.

En la Tabla 2, se muestran los tiempos relativos a los procesos de producción partiendo del tiempo calendario y finalizando con el tiempo efectivo.

Tabla 2. Tiempos utilizados en la producción.

Tiempo calendario			
Tiempo de producción requerido		Mtto. Programado	Exceso de Capacidad
Tiempo disponible de producción		Averías	
Tiempo real de producción	Paros de producción		
Tiempo de producción efectiva	Ineficiencias		

Fuente: (hsb, 2014).

Los elementos que inciden en el logro de los objetivos de mantenimiento son la serie de factores que afectan positiva o negativamente el desempeño de la gestión y que impactan la disponibilidad y eficacia.

El principal y de mayor relevancia es la confiabilidad, que es un factor complejo y abarca otros aspectos ya que su resultado depende de todas las variables de mantenimiento.

La confiabilidad se define como la probabilidad de que un sistema no falle, es decir, que cumpla con las funciones para la cual fue diseñado durante un tiempo determinado. (Durán, 2000).

La confiabilidad total de un sistema operativo es la función de la confiabilidad de todos los elementos que intervienen en dicho sistema, como se puede ver en la siguiente figura.

Imagen 5. Confiabilidad operacional.



Fuente: The Woodhouse Partnership Ltd, "Operational Reliability"

Como se observa en la imagen 5, la confiabilidad operacional es afectada directamente por el recurso humano, por el proceso y por los equipos.

La confiabilidad humana afecta en gran medida la confiabilidad total porque influye también de manera directa en los otros tres elementos, el recurso humano es el más importante por lo que se requiere que esté identificado y comprometido con los objetivos, motivado, capacitado y orientado según la política de la organización. Juega un papel determinante en el manejo de interfaces entre clientes, proveedores, habilitadores y los sistemas de información. El contratista es parte inherente del equipo. El sentido de propiedad y las medidas relativas a la seguridad, higiene, medio ambiente y exposición al riesgo le proporcionan a la organización un recurso humano de alto nivel de confiabilidad y capaz de influir positivamente en los procesos, la mantenibilidad y confiabilidad de los equipos (Calidad y gestión, 2012).

Al realizar un análisis causa efecto de los factores incidentes en el éxito del mantenimiento es fácilmente detectable que la raíz de los mismos se inicia en la gestión de los esfuerzos. El uso apropiado de las herramientas, áreas del conocimiento y metodologías de gerencia permitirán el logro de los objetivos que en su máxima expresión se deben hacer con eficiencia, efectividad y eficacia; combinando el triángulo costo, tiempo y calidad.

La integración de una estrategia que permita por un lado planificar, ejecutar y controlar las actividades, y por el otro lado a lo largo de estas fases manejar el alcance, costo, tiempo, calidad, recursos humanos, aprovisionamiento, comunicación interna y externa, riesgo, protocolo de entrega y recibimiento de los activos a intervenir, será determinante para una gestión enfocada a la excelencia (Taubman, 1998).

Otro objetivo específico del estudio es establecer los componentes de un sistema de gestión de mantenimiento. Una de las características más relevantes de las actividades industriales en la actualidad, es el grado de dependencia que los negocios tienen de los activos físicos y los sistemas automatizados. Este fenómeno aplica a todo el sector industrial; la manufactura, las telecomunicaciones, almacenamiento, servicios públicos y transporte masivo, entre otros. Aparte de llevar a mejoras masivas en productividad y continuidad de producción, el crecimiento de la mecanización y automatización tiene tres grandes implicaciones.

- La inversión de capital en una empresa en la adquisición de activos es, por lo general, la más costosa. Por otro lado, la manera de medir el desempeño o retorno de la inversión es midiendo como se recuperan las inversiones en los activos físicos. En organizaciones que operan bajo la subcontratación, los costos de servicio representan una parte importante de los gastos totales del negocio, y en las que suministran equipos bajo esta modalidad gran parte de sus ganancias provienen de este servicio.
- El mantenimiento de los activos es extremadamente costoso, al extremo que en algunas industrias representa la segunda o tercera categoría de los costos de operación. Como resultado, el mantenimiento ha subido de categoría desde ser considerado como un misceláneo, hasta el tope de control de gastos.
- La capacidad que deben tener los negocios altamente automatizados para satisfacer las necesidades de los clientes, depende en gran medida de que los activos físicos hagan lo que sus usuarios desean, desde el momento que son puestos en servicio hasta que dure su vida tecnológica útil.

Bajo la perspectiva de la gestión de mantenimiento se tienen los siguientes marcos referenciales.

- Preservar las funciones de los activos físicos y las expectativas de rendimiento no es solo para cubrir la definición de salida de producto (output), sino también calidad del producto, satisfacción del cliente, economía, eficiencia de operación, control, confort o comodidad, protección, integridad estructural, cumplimiento de las normas de seguridad y medio ambiente y hasta la apariencia del activo.
- Esta visión considera que la mayoría de las fallas no ocurren en la medida que el equipo envejece, sino que obedecen a las probabilidades condicionales de falla opuestas a la edad de operación para una variedad de modos de falla las cuales afectan elementos eléctricos, mecánicos y estructurales.
- La proactividad se refiere a evitar, eliminar o minimizar las consecuencias de las fallas enfocando la atención a tareas de mantenimiento que producen el mayor efecto en el desempeño de la organización, y reduce la energía y el esfuerzo de aquellas que tienen poco o ningún efecto. Esto ayuda a asegurar que el gasto en mantenimiento se ejecute donde causa mayor efecto.
- Los programas genéricos aplican a equipos que tienen el mismo contexto operativo, funciones y estándares de desempeño, por lo que es imprescindible asegurar que el contexto operacional, las funciones y sus estándares de desempeño deseados sean virtualmente idénticos antes de aplicar una política de mantenimiento diseñada a otro activo; es decir, son realidades únicas y particulares.
- Para lograr un alto nivel de desempeño, hay que tener presente que las decisiones del mantenimiento casi siempre deben ser tomadas en base a una adecuada información general y en particular de las frecuencias de falla.

- La práctica proactiva hace posible variar la probabilidad de falla de una función protegida y especialmente la disponibilidad del dispositivo de protección, considerando que éste también puede fallar, de manera que los riesgos asociados con los sistemas protegidos siempre requieran ser manejados adoptando políticas de operación y mantenimiento adecuadas.
- La frecuencia de las tareas predictivas se debe basar en el desarrollo de la falla (tiempo que tarda en fallar o intervalo de falla). Este intervalo gobierna la frecuencia con la cual se debe efectuar la tarea y también la frecuencia de verificación la cual debe ser menor al de tareas para detectar fallas potenciales antes de que se conviertan en funcionales.
- Los actores principales más cercanos a los activos, operadores y mantenedores, deben formular las políticas de mantenimiento y la gerencia debe suministrar las herramientas que conduzcan a tomar las decisiones más adecuadas. De esta manera se logra la validez técnica gerencial y sentido de pertenencia en los involucrados, además del desarrollo de estrategias acorde con la operación y la cultura organizacional.
- Un programa de mantenimiento exitoso en su desempeño solo puede ser desarrollado por los mantenedores y usuarios de los activos trabajando juntos. Los fabricantes del equipo juegan un papel limitado en el desarrollo de los programas, pero es sin duda importante. El desarrollo de la cadena de valor y la aplicación de la ingeniería de mantenimiento busca que los mantenedores y usuarios participen en el diseño de los equipos junto con los fabricantes para mejorar la mantenibilidad y confiabilidad intrínseca de los mismos.

Acorde con las definiciones conceptuales de mantenimiento conocidas y a objeto de esta investigación, se hace necesario separarlas en dos

aspectos; en el marco gerencial (estratégico) y en el marco técnico o de aplicación (operativo).

Marco gerencial (estratégico): cuando se habla de mantenimiento en este ámbito se refiere a la gestión de las acciones de mantenimiento con el fin de asegurar la operatividad máxima de los activos productivos de una empresa con costos adecuados, conservando la seguridad y la salud de la gente, del medio ambiente y cumpliendo con las regulaciones legales existentes; pero además contribuyendo al mejoramiento de la competitividad mediante el desarrollo y aplicación de tecnologías para la mejora continua de los procesos (Blanco, 2002). A este nivel, se planifica, organiza, dirigen y controlan todos los esfuerzos y recursos estratégicamente. Es el domo que cubre las acciones que buscan asegurar el éxito en el desempeño de la función. Es la aplicación sistemática de herramientas y conocimientos para asegurar que los activos funcionen bajo ciertos parámetros de operación en forma eficiente, confiable, segura y con calidad. Es un proceso proactivo y continuo con objetivos definidos y con actividades que se controlan en tiempo, costo y calidad.

Marco técnico o de aplicación (operativo): se refiere al esfuerzo específico que se ejecuta para restaurar la operatividad de un activo, para detectar una condición, para prevenir o predecir una falla. Bajo este esquema, las actividades se caracterizan por tener un inicio y un fin, regidos por los parámetros de costo y calidad (Blanco, 2002). La estabilidad de las organizaciones se reduce cada vez más y pasan a primer orden las situaciones de cambio, lo que exige nuevas estrategias de gestión orientadas hacia la competitividad basada en criterios que representan una guía para la elaboración de políticas clave para el logro de la misión de la empresa (Cáceres, 2011). Estas líneas básicas son:

- Flexibilidad y confiabilidad en los sistemas.

- Orientación sistemática a la reducción de costos.
- Orientación al cliente.
- Agresividad en la introducción sistemática de las innovaciones, cambios tecnológicos y aplicación de mejores prácticas.

La gestión se caracteriza por una visión más amplia de las posibilidades reales de una organización para resolver una determinada situación o arribar a un fin determinado. Puede asumirse como la disposición y organización de los recursos y esfuerzos para obtener los resultados esperados.

El mantenimiento es una actividad que consume una gran cantidad de recursos y esfuerzos que impactan los costos, pero más que eso, impacta en forma decisiva la competitividad del negocio. Los modelos de gestión de mantenimiento actuales se enfocan en minimizar el impacto de las fallas y al uso de herramientas que permitan determinar el curso de acción a seguir partiendo de elementos que se consideran como el origen de eventos principales con consecuencias o que inciden determinadamente en el éxito de la gestión. Estos son el costo, riesgo, confiabilidad, productividad, entre otros. Hacen énfasis en la aplicación de las acciones de mantenimiento apropiadas (correctivo, preventivo y predictivo) a los equipos adecuados en el momento indicado, de modo tal que se logre la disponibilidad y eficacia requerida para la producción; sin embargo, para gestionar los esfuerzos y recursos se hace uso de herramientas gerenciales desarrolladas universalmente.

Los esfuerzos de mantenimiento se llevan a cabo dentro de ciertos parámetros como el tiempo, costo y la calidad que definen el éxito. El tiempo es un elemento crítico ya que el intervalo de parada produce pérdidas de producción y genera costos ocultos. La calidad asegura la confiabilidad e integridad de los activos aumentando el tiempo entre fallas; y la seguridad de las operaciones maximiza la producción y

disminuye los costos ocultos. El costo directo e indirecto del mantenimiento impacta la rentabilidad de la empresa, y esta a su vez, impacta la satisfacción del cliente y a los accionistas (LeanSis Productividad, 2014).

El objetivo de la gestión del mantenimiento no solo es asegurar la realización de la actividad dentro de los parámetros de éxito del proyecto, también que este esfuerzo forme parte de una cadena productiva. Su éxito se mide en el desempeño que tienen los activos intervenidos. La gestión del mantenimiento no se limita a la realización del esfuerzo en las fases de planificación, ejecución, control y entrega como proyecto, sino que va más allá. Su misión es garantizar la disponibilidad y eficacia optima de los activos dentro de estándares de seguridad e indicadores de clase mundial (Lindley, 2001). Esta misión obliga a desarrollar las actividades con calidad.

La gerencia de mantenimiento se puede considerar como la aplicación de conocimientos y técnicas gerenciales para gestionar programas múltiples y proyectos simultáneamente de manera continua, velando por que éstos operen a niveles que satisfagan los requerimientos de los clientes en el ámbito del negocio y para el mejoramiento de la competitividad (Rojas, 2014). Las actividades proactivas dependen de estudios o enfoques que determinan cuándo aplicarlo, dónde aplicarlo y qué hacer. La planificación se lleva a cabo desde el estudio inicial de las condiciones operacionales, criticidad, costos y riesgo mediante el uso de datos históricos, herramientas estadísticas y análisis de expertos para determinar el momento y los intervalos de ejecución.

Cada aplicación de mantenimiento es única ya que cada equipo opera en situaciones particulares, con fluidos particulares, en ambientes particulares, con fuentes de suministro de energía particular, entre otras cosas. En una acción correctiva o proactiva de mantenimiento sobre un

mismo equipo es única e irrepetible, ya que las condiciones de éste varían progresivamente con el tiempo y la operación y no retornan jamás a un estado anterior.

La aplicación del sistema de gestión de mantenimiento, permitirá gestionar todos los recursos requeridos para llevar a un buen término la aplicación del mantenimiento tomando en cuenta que el resultado de las acciones que se ejecuten, tienen un comienzo y un fin, y mientras más corto sea este intervalo es mejor. Aun el nivel elemental del mantenimiento conformado por actividades simples de rutina, debe ser planificada y ejecutada en tiempo preciso y solo cuando su aplicación arroje una relación en costo beneficio positiva. (citado por C. García, 2015, p. 44).

2.2.8. Filosofías de Calidad.

El enfoque estratégico de la gestión del mantenimiento le da una connotación filosófica que permite desarrollar una cultura organizacional de competitividad desde el ámbito operacional y de los procesos, por lo que desarrolla sus políticas, misión y visión enmarcadas dentro del ámbito del negocio, con orientación al cliente y con la participación de todos los miembros de la organización, dando el rol especial a la alta gerencia, considerando el liderazgo como elemento clave del éxito (Baca, 2011). Estos principios que sirven de base, son compatibles en su totalidad con los principios básicos de los sistemas de gestión de calidad según la norma ISO 9000 que se describen a continuación (Norma ISO 9000, 2005):

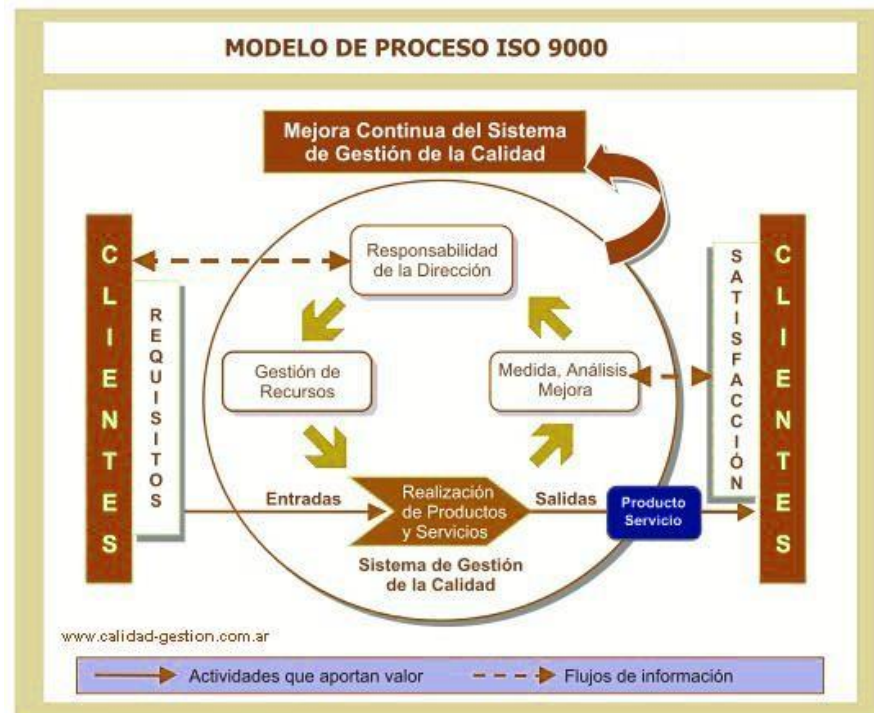
- Enfoque al cliente: Las organizaciones dependen de sus clientes y por lo tanto deberían comprender las necesidades actuales y futuras de los clientes, satisfacer los requisitos de los clientes y esforzarse en exceder las expectativas de los clientes.

- Liderazgo: Los líderes establecen la unidad de propósito y la orientación de la organización. Ellos deben crear y mantener un ambiente interno, en el cual el personal pueda llegar a involucrarse totalmente en el logro de los objetivos de la organización.
- Participación del personal: El personal, a todos los niveles, es la esencia de una organización, y su total compromiso posibilita que sus habilidades sean usadas para el beneficio de la organización.
- Enfoque basado en procesos: Un resultado deseado se alcanza más eficientemente cuando las actividades y los recursos relacionados se gestionan como un proceso.
- Enfoque de sistema para la gestión: Identificar, entender y gestionar los procesos interrelacionados como un sistema, contribuye a la eficacia y eficiencia de una organización en el logro de sus objetivos.
- Mejora continua: La mejora continua del desempeño global de la organización debería ser un objetivo permanente de ésta.
- Enfoque basado en hechos para la toma de decisión: Las decisiones eficaces se basan en el análisis de los datos y la información.
- Relaciones mutuamente beneficiosas con el proveedor: Una organización y sus proveedores son interdependientes, y una relación mutuamente beneficiosa aumenta la capacidad de ambos para crear valor.

Los principios universales de la gerencia estratégica de clase mundial es la mejora continua. La visión actual del mantenimiento se enfoca al negocio subordinando todas sus acciones en función de sus procesos, la competitividad y rentabilidad de este, por lo que busca hacer un uso apropiado de los desarrollos tecnológicos, herramientas, conocimientos y metodologías que potencialicen la gestión en función del logro eficiente

de los objetivos. En la siguiente figura se muestra el ciclo de mejora con enfoque de procesos.

Imagen 6. Enfoque basado en procesos.



Fuente: (Norma ISO 9000, 2005).

En todas las actividades en las que requiere planificación, ejecución y control, la mejora continua es parte inminente del progreso y evita sucumbir la gestión ante la obsolescencia y la ineficiencia. (citado por C. García, 2015, p. 46).

a. **Mejora continua.**

La mejora continua se ha convertido en una necesidad de las empresas, y en particular del mantenimiento por su impacto en la competitividad; su gestión se enfoca al negocio y se apoya en metodologías o herramientas de mejoramiento de actuación como el just in time, kaizen, cinco S, six sigma, entre otros; a fin de mejorar la calidad, el máximo

aprovechamiento de los recursos y agregar el máximo valor (Velasco, 2005).

Imagen 7. Ciclo de mejora continua.



Fuente: (Calidad y gestión, 2012).

b. Just in time.

El justo a tiempo (JIT) es un sistema que tiende a producir justo lo que se requiere, cuando se necesita, con excelente calidad y sin desperdiciar recursos del sistema (Toyota, 2015). Tiene cuatro objetivos fundamentales que son:

- Poner en evidencia los problemas fundamentales.
- Eliminar los despilfarros o desperdicios.
- Buscar la simplicidad.
- Diseñar sistemas para la identificación de problemas.

En el caso del mantenimiento, esto se logra reduciendo a su mínima expresión el nivel de inventario de repuestos y refacciones, tiempos de preparación y cambio de herramientas, los tiempos de reparación de fallas, mejorando la soportabilidad para disminuir los tiempos de espera

para reparación y aumentando la confiabilidad para alargar los tiempos entre fallas.

c. *Kaizen.*

Es una metodología de mejora continua que abarca toda la organización orientada al proceso, ya que los procesos deben ser mejorados antes de que se obtengan resultados deseados, es aplicable a la gestión del mantenimiento en su totalidad (Maynard, 2006). Es una filosofía completa, pero que en resumen se fundamenta en diez principios:

- El desperdicio es el enemigo número 1; para eliminarlo es preciso ensuciarse las manos.
- Las mejoras graduales hechas continuamente no son una ruptura puntual.
- Todo el mundo tiene que estar involucrado, ya sea por parte de la alta gerencia, de los cuadros intermedios o del personal de base; no es elitista.
- Se apoya en una estrategia barata, cree en el aumento de la productividad sin inversiones significativas, no destina sumas fuertes en tecnología y consultores.
- Se aplica en cualquier lado, no sirve solo para los japoneses.
- Se apoya en una gestión visual, en una total transparencia de los procesos, procedimientos, y valores, hace que los problemas y los desperdicios sean visibles a los ojos de todos.

- Centra la atención en el lugar donde realmente se crea valor.
- Se orienta hacia los procesos.
- Da prioridad a las personas; cree que el esfuerzo principal de mejorar debe venir de una nueva mentalidad y estilo de trabajo de las personas (orientación persona para la calidad, trabajo en

equipo, cultivo de la sabiduría, elevación de la moral, auto disciplina, círculos de calidad, entre otros).

- El lema esencial del aprendizaje organizacional es aprender haciendo.

d. Las cinco “S”.

Es una herramienta clave para el mantenimiento y se basa en el mejoramiento y fortalecimiento de la moral del equipo de trabajo por ser una metodología lógica – práctica que permite el mantenimiento de los sitios de trabajo, materiales, máquinas y herramientas limpios y en orden para el trabajo productivo (Maynard, 2006). Son las siguientes:

- Seiri (sort – separar): separar todo lo innecesario y eliminarlo; Clear out (limpiar): determinar que es necesario e innecesario y deshacerse de esto último.
- Seiton (straighten – ordenar): poner en orden los elementos esenciales de manera que se tenga fácil acceso a éstos; Configure (configurar): suministrar un lugar conveniente, seguro y ordenado a cada cosa y mantener cada cosa ahí.
- Seiso (scrub – limpiar): mantener limpias las máquinas y los ambientes de trabajo; Clean and check (limpiar y verificar): monitorear y restaurar la condición de las áreas de trabajo durante la limpieza.
- Selketsu (systematize – sistematizar): extender hacia uno mismo el concepto de limpieza y practicar continuamente los tres pasos anteriores; Conform (ajustar): fijar el estándar, entrenar y mantener.
- Shitsuke (standarize – estandarizar): construir autodisciplina y formar el hábito de comprometerse en las cinco S mediante el establecimiento de estándares; Custom and practice (costumbre y práctica): desarrollar el hábito de mantenimiento de rutinas y

esforzarse por un nuevo mejoramiento. (citado por C. García, 2015, p. 49).

2.2.9. Herramientas de calidad.

La gestión del mantenimiento hace uso de otras herramientas técnicas modernas para estudios que permitan caracterizar y predecir los modos de falla y por ende disminuir su impacto mediante la aplicación de métodos eficaces que aumentan la calidad, disponibilidad y eficiencia; la razón por la cual existe el mantenimiento. Entre esas herramientas se tienen:

a Análisis FODA.

El propósito del análisis FODA es identificar las estrategias para explotar las oportunidades externas, contrarrestar las amenazas, desarrollar y proteger las fortalezas de la empresa y erradicar las debilidades. Tiene como objetivo crear, afirmar o afinar el modelo de negocio específico de una empresa que mejor alinee, ajuste o combine sus recursos y capacidades con las demandas del entorno en el que opera (Hill & Jones, 2011). La finalidad del análisis externo es identificar las oportunidades estratégicas y amenazas en el entorno operativo de la organización que afectarán la manera en que lograrán su misión. Se deben examinar 3 entornos interrelacionados cuando se emprenda un análisis externo: el entorno de la industria en el que la empresa opera, el entorno nacional y el entorno socioeconómico o macroeconómico. El análisis interno se enfoca en analizar los recursos, las capacidades y las competencias de una empresa.

b. Diagrama de Ishikawa.

También se le conoce como espina de pescado o de causa y efecto; es la técnica de análisis de causa y efectos para la solución de problemas,

relaciona un efecto con las posibles causas que lo provocan. Se utiliza para cuando se necesite encontrar las causas raíz de un problema. Simplifica enormemente el análisis y mejora la solución de cada problema, ayuda a visualizarlos mejor y a hacerlos más entendibles, agrupa los aspectos que intervienen en el problema o situación a analizar y las causas que contribuyen en los mismos (Maynard, 2006).

c. *Análisis de modos y efectos de falla (AMEF).*

Es un método que permite determinar los modos de falla de los componentes de un sistema, el impacto y la frecuencia con que se presentan. De esta forma se pueden clasificar las fallas por orden de importancia, permite direccionar las acciones de mantenimiento en aquellas áreas que están generando un mayor impacto en la productividad (Ford Motor Company, 2008). Su procedimiento como tal, implica las siguientes actividades:

- Definir claramente el sistema a ser evaluado, las relaciones funcionales entre los componentes del sistema y el nivel de análisis que debe ser realizado.
- El análisis de los modos de fracaso: consiste en definir todos los modos de falla potenciales a ser evaluados en el nivel más bajo. Por ejemplo; la pérdida del rendimiento, funcionamiento intermitente, etc.
- Análisis de los efectos de fallas: define el efecto de cada modo de falla en la función inmediata, los niveles más altos de riesgos en el sistema y la función objetivo a ser realizada.
- La rectificación (TPM): determina la acción inmediata que debe ejecutar el operador para limitar los efectos de las fallas o para restaurar la capacidad operacional inmediatamente, además de las acciones de mantenimiento requeridas para rectificar la falla.

- Determinación del porcentaje de fallas: si existe suficiente información, el porcentaje de falla o la probabilidad de cada falla deben ser definidas. De esta manera puede cuantificarse la proporción de fracaso total o la probabilidad de falla asociada con un efecto de un modo de falla.
- Análisis crítico: nos permite determinar una medida que combina la severidad o impacto de la falla con la probabilidad de que ocurra. Este análisis puede ser cualitativo o cuantitativo.
- Acción correctiva: define cambios en el diseño operando procedimientos o planes de prueba que reducen las probabilidades críticas de fallas.

d. Diagrama de Pareto.

Es un gráfico de barras verticales ordenadas de mayor a menor importancia, estas barras representan datos específicos correspondientes a un problema determinado, la barra más alta está del lado izquierdo y la más pequeña se encuentra hacia la derecha. Ayuda a dirigir mayor atención y esfuerzo a problemas realmente importantes, o bien, determina las principales causas que contribuyen a un problema determinado y así convertir las cosas difíciles en sencillas (Maynard, 2006). Este principio es aplicable en cualquier campo, en la investigación y eliminación de causas de un problema. (citado por C. García, 2015, p. 52).

2.3 Conceptual

El trabajo de investigación comprende las diferentes alternativas de estudio del tipo, técnica y gestión de mantenimiento, estas se han evaluado y definido las adecuadas para obtener los resultados de incremento de la disponibilidad de máquinas en el proceso de fabricación de bombas centrífugas, para el cual se considera.

2.3.1 Selección de máquinas críticas.

Para la selección de las máquinas críticas se ha revisado literaturas para diferentes tipos de planta.

Para Gardella (2008, p. 122), la denominación del valor de criticidad de variables de aspectos operativos está basada en la seguridad, la calidad, la producción y el mantenimiento, y los niveles de impacto están valoradas de 1 al 4.

Por otro lado, según Sergio Coy (2016, p. 41) muestra una técnica de análisis cualitativo de la criticidad, dada por el producto del impacto total por la frecuencia de falla, siendo el impacto total la suma de los puntajes del costo de reparación, impacto de seguridad, impacto ambiental más el producto del nivel de producción por el tiempo promedio entre falla.

La tabla 4. se toma de referencia para elaborar y desarrollar la forma de evaluación de las máquinas críticas de la empresa en estudio.

En la tabla 3 toman en cuenta el impacto ambiental, mientras que en la tabla 4 no lo considera, al tener la parte del impacto ambiental controlada en la empresa, sin embargo, el impacto de la calidad no está controlada, y esto si afecta a la productividad y la rentabilidad, por tanto, se considera en el estudio.

De la misma forma se toma en cuenta el nivel de los repuestos críticos de las máquinas en evaluación en ves del tiempo promedio para reparar que lo muestra la tabla 4. Se sustenta esto debida a que es el repuesto critico la que condiciona el tiempo de reparación en las máquinas de la empresa en estudio.

Tabla 3. Metodología de análisis de criticidad.

ESTIMACIÓN DE PUNTAJES	FRECUENCIA DE FALLA (todo tipo de falla)	
	Menos de una por año	1
	Entre 1 y 12 por año (1 interrupción mensual)	3
	Entre 13 y 26 por año (1 interrupción cada 2 semanas)	4
	Entre 27 y 52 por año (1 interrupción semanal)	6
	Más de 52 por año (Mas de una interrupción semanal)	12
	1.- NIVEL DE PRODUCCIÓN	
	0 - 100 bbls/día	1
	101 - 1.000 bbls/día	2
	1.001 a 5.000 bbls/día	4
5.001 a 10.000 bbls/día	6	
10.001 a 20.000 bbls/día	9	
Más de 20.000 bbls/día	12	
2.- TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR		
Menos de 4 horas	1	
Entre 4 y 8 horas	2	
Entre 8 y 24 horas	4	
Más de 24 horas	6	
3.- COSTO DE REPARACIÓN		
Menos de 100.000 USD	5	
Entre 100.001 - 200.000 USD	10	
Más de 200.000 USD	25	
4.- IMPACTO EN LA SEGURIDAD		
Si	35	
No	0	
5.- IMPACTO AMBIENTAL		
Si	30	
No	0	

Fuente: Sergio Coy (2016).

La tabla 4, muestra el modelo estándar de encuesta utilizado en la empresa de fabricación de bombas centrifugas, para establecer la criticidad de sus máquinas y equipos, considerando la diversidad de los involucrados se ha tenido cuidado en los detalles, para que la información sea la más perfecta posible, reflejando así la más cercana criticidad de las máquinas y equipos de planta, para definir más adelante el modelo adecuado rentable de gestión de mantenimiento de cada equipo.

En el caso de la frecuencia de falla se está tomando como valor de uno, ya que gran parte de los equipos no tienen registrado fallas por el corto tiempo de haber levantado información.

Tabla 4. Encuesta de evaluación de criticidad.

ENCUESTA DE EVALUACION DE CRITICIDAD DE EQUIPOS					
CONFIABILIDAD OPERACIONAL					
AREA:	EQUIPO:			FECHA:	
PERSONA ENTREVISTADA	IMPACTO PRODUCTIVO	NIVEL DE REPUESTOS CRÍTICOS	IMPACTO COSTO REPARACIÓN	IMPACTO DE CALIDAD	IMPACTO SEGURIDAD
MAESTRO ELECTRICISTA					
MAESTRO MECÁNICO					
MAESTRO HIDRÁULICO					
MAESTRO ELECTRÓNICO					
SUPERVISOR DE PRODUCCIÓN					
SUPERVISOR DE MANTENIMIENTO					
SUPERVISOR DE CALIDAD					
JEFE DE PRODUCCIÓN					
JEFE DE SEGURIDAD					
JEFE DE MANTENIMIENTO					
JEFE DE PLANTA					
INDICACIONES:					
1. CADA VALOR ES EVALUADO DE 1 AL 10, DONDE 1 ES DE MENOR IMPACTO Y 10 EL MAYOR					
2. AREA: SE LLENA EL AREA DONDE ESTA UBICADO EL EQUIPO					
3. EQUIPO: NOMBRE DEL EQUIPO A EVALUAR					
ENCUESTADOR:					

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la tabla 4, la encuesta indica el equipo, el área donde está ubicado el equipo, la persona entrevistada y la fecha de ejecución. El orden en el que se listan no tiene ninguna relación con su nivel de criticidad, dado que es esa la información que arrojarán los resultados. Las columnas de: impacto productivo, impacto costo de reparación, nivel de repuestos críticos, impacto de calidad e impacto en seguridad, son los criterios a tomar en cuenta en el análisis. Los valores no aparecen registrados por ser un ejemplo, los pesos asignados a cada sistema son establecidos según rangos predeterminados (criterios de evaluación).

La criticidad de equipo está basada en una fórmula que relaciona la frecuencia de falla por su consecuencia, y se estimará un valor para cada equipo.

Los valores de criticidad obtenidos serán ordenados de mayor a menor, y serán graficados utilizando diagramas de barra, lo cual permitirá de forma fácil visualizar la distribución descendente de los sistemas evaluados.

La distribución de barras, en la mayoría de los casos, permitirá establecer de forma fácil tres zonas específicas: alta criticidad, mediana criticidad y baja criticidad. Esta información es la que permite orientar la toma de decisiones, enfocando los esfuerzos en la zona de alta criticidad, donde se ubica la mejor oportunidad de agregar valor y aumentar la rentabilidad del negocio.

Criterios de Evaluación.

Para dar la puntuación a cada uno de los criterios empleados en el análisis de criticidad.

La definición de cada criterio es:

- Frecuencia de falla: son las veces que falla cualquier componente del sistema en una unidad de tiempo.
- Impacto productivo: es el porcentaje de producción que se afecta cuando ocurre la falla, incluyendo lucro cesante.

Tabla 5. Criterios empleados en el análisis de criticidad.

CRITICIDAD = Frecuencia de Falla * Consecuencia									
Cada factor es evaluado del 1 - 10									
El valor máximo de Criticidad que se puede alcanzar es = 130									
Se está tomando el factor de "frecuencia de falla" como = 1, al no tener mucha información									
Dónde:									
<i>Consecuencia = (IMPACTO PRODUCTIVO * NIVEL DE REPUESTOS CRITICOS) + IMPACTO COSTO DE REPARACION + IMPACTO SEGURIDAD + IMPACTO DE CALIDAD</i>									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>RANGO</th> <th>CALIFICACION</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">130-100</td> <td style="text-align: center;">CRÍTICO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">99-70</td> <td style="text-align: center;">IMPORTANTE</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">69-1</td> <td style="text-align: center;">PRESCINDIBLE</td> </tr> </tbody> </table>		RANGO	CALIFICACION	130-100	CRÍTICO	99-70	IMPORTANTE	69-1	PRESCINDIBLE
RANGO	CALIFICACION								
130-100	CRÍTICO								
99-70	IMPORTANTE								
69-1	PRESCINDIBLE								

Fuente: Elaboración propia.

- Nivel de repuestos críticos: es la capacidad que se tiene para atender cuando ocurre la falla.
- Impacto Costo de reparación: costo de horas hombre y repuestos
- Impacto de Calidad: posibilidad de ocurrencia de eventos en que la pieza producida resulte rechazado o reprocesado.
- Impacto en seguridad: posibilidad de ocurrencia de eventos no deseados con daños a personas.

La fórmula permite sobre la base de los valores utilizados y plasmados en la encuesta, definir una puntuación para cada equipo, lo cual realizando el ordenamiento descendente permitirá obtener la lista de los equipos más críticos.

A continuación, se muestran los resultados de la criticidad de los equipos por áreas.

Tabla 6. Lista de equipos críticos de fundición.

LISTA DE EQUIPOS CRÍTICOS DE FUNDICIÓN									
It	Descripción de Máquina	FRECUENCIA FALLAS	IMPACTO PRODUCTIVO	NIVEL DE REPUESTOS CRÍTICOS	IMPACTO COSTO REPARACIÓN	IMPACTO DE CALIDAD	IMPACTO DE SEGURIDAD	CONSECUENCIA	CRITICIDAD
1	HORNO DE INDUCCION N° 2	1	10	9	8	8	10	116	116
2	HORNO DE INDUCCION N° 1	1	9	10	8	8	10	116	116
3	PUENTE GRUA	1	10	9	10	5	10	115	115
4	ESPECTROMETRO	1	10	9	9	10	5	114	114
5	TORRE DE ENFRIAMIENTO H1	1	8	9	7	4	10	93	93
6	TORRE DE ENFRIAMIENTO H2	1	8	9	7	4	10	93	93
7	GRANALLADORA GIRATORIA	1	8	9	9	4	10	95	95
8	HORNO DE TRATAMIENTO 80kw	1	9	7	7	10	8	88	88
9	SISTEMA DE BASCULACION H1	1	9	7	5	5	10	83	83
10	SISTEMA DE BASCULACION H2	1	9	7	5	5	10	83	83
11	SISTEMA DE BASCULACION H3	1	9	7	5	5	10	83	83
12	MEZCLADORA CONTINUA N°1	1	8	8	5	8	5	82	82
13	HORNO DE INDUCCION N° 3	1	7	8	8	8	8	80	80
14	CASETA DE ARENADO	1	8	7	6	4	9	75	75
15	DESGASIFICADORA	1	7	7	6	9	8	72	72
16	HORNO PARA ALUMINIO 300KG	1	8	6	8	6	9	71	71
17	MAQUINA SOLDAR MIG MAG	1	7	7	6	4	8	67	67
18	MAQUINA DE SOLDAR TIG	1	7	7	6	4	6	65	65
19	CALENTADOR DE CAYANA 01	1	8	6	5	2	9	64	64
20	SOPLADORA DE LLAMAS - QUEMADOR	1	8	6	6	2	8	64	64
21	CORTE POR PLASMA N°1	1	7	7	5	2	6	62	62
22	HORNO DE TRATAMIENTO N° 2	1	8	5	5	6	8	59	59
23	CASETA DE GRANALLADO	1	4	7	5	4	9	46	46
24	MEZCLADORA DE PINTURA	1	6	5	4	4	5	43	43
25	MEZCLADORA DE ARENA 4KW	1	4	6	6	6	5	41	41
26	MAQUINA DE SOLDAR POR ARCO N°2	1	5	5	5	4	5	39	39
27	MAQUINA SOLDAR PORTATIL	1	5	5	5	4	5	39	39
28	SOPLADORA DE ALMAS	1	4	4	4	6	4	30	30
29	ESMERIL DE BANCO	1	3	3	2	2	4	17	17

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7. Lista de equipos críticos de maestranza.

LISTA DE EQUIPOS CRÍTICOS DE MAESTRANZA									
It	Descripción de Máquina	FRECUENCIA FALLAS	IMPACTO PRODUCTIVO	NIVEL DE REPUESTOS CRÍTICOS	IMPACTO COSTO REPARACIÓN	IMPACTO DE CALIDAD	IMPACTO DE SEGURIDAD	CONSECUENCIA	CRITICIDAD
1	TORNO CNC VERTICAL GV-12	1	9	10	9	10	6	105	105
2	TORNO CNC VERTICAL GV-78	1	9	9	9	10	6	96	96
3	TORNO CNC N°1	1	9	9	9	10	6	96	96
4	TORNO CNC N°2	1	9	9	9	10	6	96	96
5	TORNO CNC N°3	1	9	9	9	10	6	96	96
6	CENTRO MECANIZADO N°1	1	7	9	9	10	6	78	78
7	CENTRO MECANIZADO N°2	1	7	9	9	10	6	78	78
8	CENTRO MECANIZADO N°3	1	7	9	9	10	6	78	78
9	TORNO VERTICAL N°2	1	9	6	6	8	8	68	68
10	TORNO VERTICAL N°3	1	9	6	6	8	8	68	68
11	TORNO VERTICAL N°1	1	7	7	7	10	8	64	64
12	TORNO CONVENCIONAL N°1	1	7	6	6	8	8	56	56
13	TORNO CONVENCIONAL N°2	1	7	6	6	8	8	56	56
14	TORNO CONVENCIONAL N°3	1	7	6	6	8	8	56	56
15	TORNO CONVENCIONAL N°4	1	7	6	6	8	8	56	56
16	TORNO CONVENCIONAL N°5	1	7	6	6	8	8	56	56
17	TORNO CONVENCIONAL N°6	1	7	6	6	8	8	56	56
18	TORNO CONVENCIONAL N°7	1	7	6	6	8	8	56	56
19	TORNO CONVENCIONAL N°8	1	7	6	6	8	8	56	56
20	TORNO CONVENCIONAL N°9	1	7	6	6	8	8	56	56
21	SIERRA CINTA HORIZONTAL	1	8	5	5	8	8	53	53
22	RECTIFICADORA CIRCULAR	1	7	5	8	8	9	52	52
23	CORTE POR HILO N°1	1	5	7	5	8	5	45	45
24	CORTE POR HILO N°2	1	5	7	5	8	5	45	45
25	CORTE POR HILO N°3	1	5	7	5	8	5	45	45
26	FRESADORA N°2	1	5	5	4	8	8	37	37
27	FRESADORA N°1	1	5	5	4	8	8	37	37
28	TALADRO RADIAL	1	5	4	3	8	7	30	30
29	TALADRO VERTICAL	1	5	4	3	8	4	27	27
30	ESMERIL DE BANCO	1	4	4	1	4	7	24	24
31	BRAZO ROSCADOR N°1	1	3	3	4	4	5	18	18
32	BRAZO ROSCADOR N°2	1	3	3	4	4	5	18	18

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8. Lista de equipos críticos del área de servicio.

LISTA DE EQUIPOS CRÍTICOS DE ÁREA DE SERVICIO									
It	Descripción de Máquina	FRECUENCIA FALLAS	IMPACTO PRODUCTIVO	NIVEL DE REPUESTOS CRÍTICOS	IMPACTO COSTO REPARACION	IMPACTO DE CALIDAD	IMPACTO SEGURIDAD	CONSECUENCIA	CRITICIDAD
1	SUB ESTACION 10000V	1	10	10	10	10	10	130	130
2	COMPRESORA KAESER AS30	1	10	8	9	10	9	108	108
3	COMPRESORA KAESER 20HP	1	10	8	9	10	9	108	108
4	SUB ESTACION 220V	1	9	8	9	7	10	98	98
5	VARIADOR DE VELOCIDAD 750HP	1	9	8	9	8	8	97	97
6	TRANSFORMADOR 100KVA	1	9	8	6	10	9	97	97
7	GRUPO ELECTROGENO 410KW	1	9	8	9	6	8	95	95
8	MONTACARGA TOYOTA P2	1	10	7	10	5	10	95	95
9	GRUPO ELECTROGENO 110KW	1	9	8	8	6	8	94	94
15	APILADORA	1	9	8	6	7	6	91	91
10	MONTACARGA CAT P1	1	9	7	8	7	8	86	86
11	ARRANCADOR POZA DE PRUEBA	1	9	7	7	7	8	85	85
12	GRUPO ELECTROGENO 125KVA	1	8	7	8	7	10	81	81
13	MONTACARGA TOYOTA P3	1	8	7	10	5	10	81	81
14	BANCO DE CONDENSADORES	1	6	7	8	9	10	69	69

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9. Lista de equipos críticos del área de calidad.

LISTA DE EQUIPOS CRÍTICOS DEL AREA DE CALIDAD									
It	Descripción de Máquina	FRECUENCIA FALLAS	IMPACTO PRODUCTIVO	NIVEL DE REPUESTOS CRÍTICOS	IMPACTO COSTO REPARACIÓN	IMPACTO DE CALIDAD	IMPACTO DE SEGURIDAD	CONSECUENCIA	CRITICIDAD
1	BRAZO TRIDIMENCIONAL	1	8	8	8	10	8	90	90
2	EQUIPO DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS	1	7	7	6	7	7	69	69
3	MICROSCOPIO	1	7	6	6	7	3	58	58
4	DURÓMETRO	1	7	5	5	7	8	55	55
5	LÁMPARA ULTRAVIOLETA	1	7	5	4	7	5	51	51
6	CARRETILLA HIDRÁULICA 2	1	5	4	4	7	4	35	35

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10. Lista de equipos críticos del área de modelería.

LISTA DE EQUIPOS CRÍTICOS DE MODELERIA									
It	Descripción de Máquina	FRECUENCIA FALLAS	IMPACTO PRODUCTIVO	NIVEL DE REPUESTOS CRÍTICOS	IMPACTO COSTO REPARACIÓN	IMPACTO DE CALIDAD	IMPACTO DE SEGURIDAD	CONSECUENCIA	CRITICIDAD
1	ROUTER N°1	1	7	9	9	8	7	87	87
2	ROUTER N°2	1	7	9	9	8	7	87	87
3	ROUTER N°3	1	7	9	9	8	7	87	87
4	ROUTER N°4	1	7	9	9	6	7	85	85
5	ROUTER N°5	1	7	9	9	6	7	85	85
6	SIERRA CINTA VERTICAL	1	9	7	3	5	9	80	80
7	GARLOPA DE BANCO	1	9	4	4	5	5	50	50
8	LIJADORA	1	7	4	4	5	5	42	42
9	TORNO PARALELO	1	5	4	4	5	4	33	33
10	AFILADORA	1	4	4	4	5	4	29	29
11	ESMERIL DE BANCO	1	4	3	3	5	5	25	25

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11. Lista de equipos críticos de montaje.

LISTA DE EQUIPOS CRÍTICOS DE MONTAJE									
It	Descripción de Máquina	FRECUENCIA FALLAS	IMPACTO PRODUCTIVO	NIVEL DE REPUESTOS CRÍTICOS	IMPACTO COSTO REPARACIÓN	IMPACTO DE CALIDAD	IMPACTO DE SEGURIDAD	CONSECUENCIA	CRITICIDAD
1	PUENTE GRUA GRU-02	1	10	8	10	10	10	110	110
2	MAQUINA SOLDADORA AUTOM. TIG	1	9	8	6	7	7	92	92
3	HORNO ELECTRICO 1	1	9	7	5	7	8	83	83
4	HORNO ELECTRICO 2	1	9	7	5	7	8	83	83
5	MESA DE BALANCEO 1.5HP	1	9	6	6	6	10	76	76
6	MESA DE BALANCEO 15HP	1	9	6	6	6	10	76	76
7	HORNO ELECTRICO 3	1	9	5	6	6	8	65	65
8	ROLADORA AUTOMATICA ACABADO	1	7	6	8	6	4	60	60
9	PRENSA HIDRAULICA	1	8	5	6	4	7	57	57
10	CALENTADOR DE RODAJE N°1	1	6	6	6	4	4	50	50
11	CALENTADOR DE RODAJE N°2	1	6	6	6	4	4	50	50
12	ROLADORA DE PERFILES	1	6	7	6	4	4	56	56
13	MAQUINA DE SOLDAR POR ARCO N°1	1	5	5	6	4	5	40	40
14	TALADRO DE BANCO	1	5	4	4	4	5	33	33
15	MAQUINA REBOBINADORA	1	4	4	4	4	4	28	28
16	VARIADOR ABB 110KW	1	7	7	8	4	6	67	67

Fuente: Elaboración propia.

Relación de Máquinas según Criticidad.

Del cálculo de la criticidad obtenido de las tablas de lista de equipos, se tienen los tres grupos; 1) Crítico, 2) Importante y 3) Prescindible.

Tabla 12 Equipos Críticos: 09 Equipos.

LISTA DE EQUIPOS CRÍTICOS DE PLANTA EN GENERAL (100 A 130)				
It	Descripción de Máquina	FRECUENCIA FALLAS	CONSECUENCIA	CRITICIDAD
1	TORNO CNC VERTICAL GV-12	1	105	105
2	HORNO DE INDUCCION N° 2	1	116	116
3	HORNO DE INDUCCION N° 3	1	116	116
4	PUENTE GRUA GRU-01	1	115	115
5	ESPECTROMETRO	1	114	114
6	SUB ESTACION 10000V	1	130	130
7	COMPRESORA KAESER AS30	1	108	108
8	COMPRESORA KAESER 20HP	1	108	108
9	PUENTE GRUA GRU-02	1	110	110

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13 Equipos Importantes: 42 Equipos.

LISTA DE EQUIPOS IMPORTANTES DE PLANTA GENERAL (70 A 99)									
It	Descripción de Máquina	FRECUENCIA FALLAS	IMPACTO PRODUCTIVO	NIVEL DE REPUESTOS CRÍTICOS	IMPACTO COSTO REPARACIÓN	IMPACTO DE CALIDAD	IMPACTO DE SEGURIDAD	CONSECUENCIA	CRITICIDAD IMPORTANTE
1	TORRE DE ENFRIAMIENTO H1	1	8	9	7	4	10	93	93
2	TORRE DE ENFRIAMIENTO H2	1	8	9	7	4	10	93	93
3	GRANALLADORA GIRATORIA	1	8	9	9	4	10	95	95
4	HORNO DE TRATAMIENTO 80kw	1	9	7	7	10	8	88	88
5	SISTEMA DE BASCULACION H1	1	9	7	5	5	10	83	83
6	SISTEMA DE BASCULACION H2	1	9	7	5	5	10	83	83
7	SISTEMA DE BASCULACION H3	1	9	7	5	5	10	83	83
8	MEZCLADORA CONTINUA N°1	1	8	8	5	8	5	82	82
9	HORNO DE INDUCCION N° 1	1	7	8	8	8	8	80	80
10	CASETA DE ARENADO	1	8	7	6	4	9	75	75
11	DESGASIFICADORA	1	7	7	6	9	8	72	72

12	HORNO PARA ALUMINIO 300KG	1	8	6	8	6	9	71	71
13	TORNO CNC VERTICAL GV-78	1	9	9	9	10	6	96	96
14	TORNO CNC N°1	1	9	9	9	10	6	96	96
15	TORNO CNC N°2	1	9	9	9	10	6	96	96
16	TORNO CNC N°3	1	9	9	9	10	6	96	96
17	CENTRO MECANIZADO N°1	1	7	9	9	10	6	78	78
18	CENTRO MECANIZADO N°2	1	7	9	9	10	6	78	78
19	CENTRO MECANIZADO N°3	1	7	9	9	10	6	78	78
20	SUB ESTACION 220V	1	9	8	9	7	10	98	98
21	VARIADOR DE VELOCIDAD 750HP	1	9	8	9	8	8	97	97
22	TRANSFORMADOR 100KVA	1	9	8	6	10	9	97	97
23	GRUPO ELECTROGENO 410KW	1	9	8	9	6	8	95	95
24	MONTACARGA TOYOTA P2	1	10	7	10	5	10	95	95
25	GRUPO ELECTROGENO 110KW	1	9	8	8	6	8	94	94
26	APILADORA	1	9	8	6	7	6	91	91
27	MONTACARGA CAT P1	1	9	7	8	7	8	86	86
28	ARRANCADOR POZA DE PRUEBA	1	9	7	7	7	8	85	85
29	GRUPO ELECTROGENO 125KVA	1	8	7	8	7	10	81	81
30	MONTACARGA TOYOTA P3	1	8	7	10	5	10	81	81
31	ROUTER N°1	1	7	9	9	8	7	87	87
32	ROUTER N°2	1	7	9	9	8	7	87	87
33	ROUTER N°3	1	7	9	9	8	7	87	87
34	ROUTER N°4	1	7	9	9	6	7	85	85
35	ROUTER N°5	1	7	9	9	6	7	85	85
36	SIERRA CINTA VERTICAL	1	9	7	3	5	9	80	80
37	MAQUINA SOLDADORA AUTOM. TIG	1	9	8	6	7	7	92	92
38	HORNO ELECTRICO 1	1	9	7	5	7	8	83	83
39	HORNO ELECTRICO 2	1	9	7	5	7	8	83	83
40	MESA DE BALANCEO 1.5HP	1	9	6	6	6	10	76	76
41	MESA DE BALANCEO 15HP	1	9	6	6	6	10	76	76
42	BRAZO TRIDIMENCIONAL	1	8	8	8	10	8	90	90

Fuente: Elaboración propia.

Los equipos prescindibles son aquellos que no es necesario realizarle servicio programado salvo las tareas resultado de la inspección de rutina realizada.

Tabla 14. Equipos Prescindibles: 57 Equipos.

MODELO DE MANTENIMIENTO DE EQUIPO									
EQUIPOS PRESCINDIBLES PLANTA GENERAL (1 A 69)									
It	Descripción de Máquina	FRECUENCIA FALLAS	IMPACTO PRODUCTIVO	NIVEL DE REPUESTOS CRITICOS	IMPACTO COSTO REPARACIÓN	IMPACTO DE CALIDAD	IMPACTO DE SEGURIDAD	CONSECUENCIA	CRITICIDAD PRESCINDIBLE
1	EQUIPO DE PARTICULAS MAGNETICAS	1	7	7	6	7	7	69	69
2	MICROSCOPIO	1	7	6	6	7	3	58	58
3	DUROMETRO	1	7	5	5	7	8	55	55
4	LAMPARA ULTRAVIOLETA	1	7	5	4	7	5	51	51
5	CARRETILLA HIDRAULICA 2	1	5	4	4	7	4	35	35
6	MAQUINA SOLDAR MIG MAG	1	7	7	6	4	8	67	67
7	MAQUINA DE SOLDAR TIG	1	7	7	6	4	6	65	65
8	CALENTADOR DE CAYANA 01	1	8	6	5	2	9	64	64
9	SOPLADORA DE LLAMAS - QUEMADOR	1	8	6	6	2	8	64	64
10	CORTE POR PLASMA N°1	1	7	7	5	2	6	62	62
11	HORNO DE TRATAMIENTO N° 2	1	8	5	5	6	8	59	59
12	CASETA DE GRANALLADO	1	4	9	9	4	8	57	57
13	MEZCLADORA DE PINTURA	1	6	6	6	6	8	56	56
14	MEZCLADORA DE ARENA 4KW	1	4	7	5	4	9	46	46
15	MAQUINA DE SOLDAR POR ARCO N°2	1	6	5	4	4	5	43	43
16	MAQUINA SOLDAR PORTATIL	1	4	6	6	6	5	41	41
17	SOPLADORA DE ALMAS	1	5	5	5	4	5	39	39
18	ESMERIL DE BANCO	1	5	5	5	4	5	39	39
19	HORNO ELECTRICO 3	1	9	5	6	6	8	65	65
20	ROLADORA AUTOMATICA ACABADO	1	7	6	8	6	4	60	60
21	PRENSA HIDRAULICA	1	8	5	6	4	7	57	57
22	CALENTADOR DE RODAJE N°1	1	6	6	6	4	4	50	50
23	CALENTADOR DE RODAJE N°2	1	6	6	6	4	4	50	50
24	ROLADORA DE PERFILES	1	6	7	6	4	4	56	56
25	MAQUINA DE SOLDAR POR ARCO N°1	1	5	5	6	4	5	40	40
26	TALADRO DE BANCO	1	5	4	4	4	5	33	33
27	MAQUINA REBOBINADORA	1	4	4	4	4	4	28	28
28	VARIADOR ABB 110KW	1	7	7	8	4	6	67	67
29	GARLOPA DE BANCO	1	9	4	4	5	5	50	50

30	LIJADORA	1	7	4	4	5	5	42	42
31	TORNO PARALELO	1	5	4	4	5	4	33	33
32	AFILADORA	1	4	4	4	5	4	29	29
33	ESMERIL DE BANCO	1	4	3	3	5	5	25	25
34	TORNO VERTICAL N°2	1	9	6	6	8	8	68	68
35	TORNO VERTICAL N°3	1	9	6	6	8	8	68	68
36	TORNO VERTICAL N°1	1	6	7	7	10	5	64	64
37	TORNO CONVENCIONAL N°1	1	7	6	6	8	8	56	56
38	TORNO CONVENCIONAL N°2	1	7	6	6	8	8	56	56
39	TORNO CONVENCIONAL N°3	1	7	6	6	8	8	56	56
40	TORNO CONVENCIONAL N°4	1	7	6	6	8	8	56	56
41	TORNO CONVENCIONAL N°5	1	7	6	6	8	8	56	56
42	TORNO CONVENCIONAL N°6	1	7	6	6	8	8	56	56
43	TORNO CONVENCIONAL N°7	1	7	6	6	8	8	56	56
44	TORNO CONVENCIONAL N°8	1	7	6	6	8	8	56	56
45	TORNO CONVENCIONAL N°9	1	7	6	6	8	8	56	56
46	SIERRA CINTA HORIZONTAL	1	8	5	5	8	8	53	53
47	RECTIFICADORA CIRCULAR	1	7	5	8	8	9	52	52
48	CORTE POR HILO N°1	1	5	7	5	8	5	45	45
49	CORTE POR HILO N°2	1	5	7	5	8	5	45	45
50	CORTE POR HILO N°3	1	5	7	5	8	5	45	45
51	FRESADORA N°2	1	5	5	4	8	8	37	37
52	FRESADORA N°1	1	5	5	4	8	8	37	37
53	TALADRO RADIAL	1	5	4	3	8	7	30	30
54	TALADRO VERTICAL	1	5	4	3	8	4	27	27
55	ESMERIL DE BANCO	1	4	4	1	4	7	24	24
56	BRAZO ROSCADOR N°1	1	3	3	4	4	5	18	18
57	BRAZO ROSCADOR N°2	1	3	3	4	4	5	18	18

Fuente: Elaboración propia.

2.3.2 Modelos posibles de mantenimiento de máquinas.

El área de mantenimiento cobra mayor importancia para el logro de los objetivos estratégicos de las organizaciones por los elevados costos de los activos, debido a los altos niveles de automatización y la seguridad y salud de los trabajadores junto a la protección del medio ambiente.

Para tener un mayor aprovechamiento de los recursos del área de mantenimiento y dar efectividad y rentabilidad al área, se establece los modelos posibles para cada máquina, ya que no es rentable ni eficiente

aplicar todos los tipos de mantenimiento a cada máquina, o un solo tipo a cada máquina.

Cada uno de los modelos que se presenta a continuación incluyen tres actividades: lubricación, mantenimiento menor e inspecciones visuales. Se propone de esta manera ya que por la aplicación está demostrado su rentabilidad. Se debe de inspeccionar por lo menos una vez al mes, lubricar con su lubricante adecuado, realizar orden, limpieza y ajustes primarios en cada máquina periódicamente.

Con la puntualización detallada y hacerlos mucho más efectivo y rentable, se definen los siguientes modelos posibles de mantenimiento para cada máquina.

- a. Modelo de Mantenimiento Correctivo.
- b. Modelo de Mantenimiento de Baja Disponibilidad o Condicional.
- c. Modelo de mantenimiento de Media Disponibilidad o Sistemático.
- d. Modelo de Mantenimiento de Alta Disponibilidad.

a. Modelo de Mantenimiento Correctivo.

Este modelo es aplicable a equipos con más bajo nivel de criticidad, cuyas fallas presentadas no afectan a la producción, ni económico ni técnico, en este equipo no es necesario dedicar mayor esfuerzo ni recurso, su disponibilidad está comprendida entre el 84% y el 88%, las tareas que comprende son las siguientes:

- ✓ Mantenimiento menor.
- ✓ Lubricación.

- ✓ Inspecciones visuales.
- ✓ Reparación de averías.

b. Modelo de Mantenimiento de Baja Disponibilidad o Condicional

Este modelo es aplicable a equipos de poco uso, que a pesar de ser importante en el sistema de producción tiene baja probabilidad de falla, incluye las actividades del modelo anterior y la realización de pruebas y ensayos que condicionaran un trabajo posterior, si se descubre una anomalía se programara su intervención, su disponibilidad está comprendida entre el 88% y el 92%, comprende:

- ✓ Mantenimiento menor.
- ✓ Lubricación.
- ✓ Inspecciones visuales.
- ✓ Reparación de averías.
- ✓ Mantenimiento condicional.

c. Modelo de media disponibilidad o sistemático.

Este modelo es aplicable a equipos de disponibilidad media, de cierta importancia en el sistema de producción, y cuyas averías causan algún trastorno, incluye las actividades del modelo anterior y un conjunto de tareas que se realizaran sin importar la condición del

equipo, su disponibilidad está comprendida entre el 92 y el 96%, comprende:

- ✓ Mantenimiento menor.
- ✓ Lubricación.
- ✓ Inspecciones visuales.
- ✓ Reparación de averías.
- ✓ Mantenimiento condicional.
- ✓ Mantenimiento preventivo sistemático.

d. Modelo de alta disponibilidad.

Este modelo es el más exigente y aplicable a equipos de disponibilidad que está comprendida entre el 96 y el 100%, la razón principal es el alto costo de producción que tiene una avería, para mantener estos equipos hay que usar técnicas de mantenimiento predictivo que nos permita conocer el estado del equipo en marcha con paradas programadas generalmente anuales. En estas paradas de mantenimiento mayor se cambian las piezas que posiblemente fallen en el curso de un año, se preparan con tiempo, y no necesariamente son las mismas tareas todos los años. En este modelo se tiende a ser cero averías, y comprende:

- ✓ Mantenimiento menor.
- ✓ Lubricación.

- ✓ Inspecciones visuales.
- ✓ Reparación de averías.
- ✓ Mantenimiento condicional.
- ✓ Mantenimiento preventivo sistemático.
- ✓ Mantenimiento mayor.

A continuación, se detalla lo que comprende cada ítem de los modelos de mantenimiento de los equipos de la planta de fabricación de bombas centrífugas.

Mantenimiento Menor. - Actividades realizadas por el operario mediante instructivos de operación de cada máquina que son entregadas en su ingreso y capacitadas y entrenados en su periodo de inducción, y a los operarios actuales mediante capacitación y entrenamiento. Estas consisten en ejecutar tareas básicas de orden y limpieza de la máquina y ajustes menores, que en un principio podrían ser las causas de grandes fallas más adelante si no se controlan, generándose fricción, aflojamientos, desgastes y vibración en el peor de los casos. Estos problemas pequeños, suelen repentinamente convertirse en grandes, de allí su importancia.

Lubricación. - Actividad realizada por técnicos de mantenimiento y operarios capacitados y entrenados en las máquinas que van a operar, de acuerdo a la característica y cantidad a aplicar ya sea en recipiente o local, para asegurar la operación realizado la función del lubricante que es de limpiar, refrigerar, lubricar, y sellar en algunos casos cuando se trate de elementos hidráulicos como pistones,

bombas y motores hidráulicos. En los sistemas abiertos se tienen la lubricación de las guías de deslizamientos horizontal, vertical y transversal, así como en zonas localizadas de chumaceras y apoyos rodantes.

Inspecciones visuales. - Actividad realizada por técnicos de mantenimiento y operarios capacitados y entrenados en las máquinas que van a operar, en caso del operario se debe realizar con la maquina apagada, encendida y al finalizar la labor, durante la operación de a máquina deben estar pendientes de olores y ruidos fuera de lo normal. En el caso de los técnicos de mantenimiento en operación lo harán de manera más profunda posiblemente aplicando algunas herramientas necesarias como amperímetro, termómetro infrarrojo, entre otras, con la maquina parada verificarán zonas de deslizamiento, desgastes, sin destapar la máquina.

Reparación de averías. - En caso de avería de una máquina esta debe ser atendida de manera más rápida y segura posible, para ello se debe contar con herramientas especiales si fuera posible para algunos trabajos especiales, hay dos formas de atender el servicio una definitiva con la reparación completa, restableciendo las condiciones iniciales de la máquina, y la otra, de manera parcial para no detener demasiado el proceso y evitar el mayor lucro cesante, hasta que se dé un espacio de tiempo donde se pueda resolver la avería definitivamente. No solamente hay que tener las herramientas adecuadas sino también prever los repuestos cíclicos de recambios que frecuentemente se cambian. N el caso de máquinas importantes y críticas se recomienda tener los repuestos y las herramientas lo más cercano posible y evitar demasiado tiempo en la reparación.

Mantenimiento condicional. - Actividad programada de mantenimiento que consiste en evaluar el estado de la máquina

mediante pruebas de operación e inspección más minuciosa que si encuentran anomalías se deben de reprogramar cuando se tengan los materiales y repuestos para su atención, si todo está bien no se reprograma ninguna actividad.

Mantenimiento preventivo sistemático. - Actividad programada de mantenimiento que consiste en realizar tareas sistemáticas establecidas y definidas mediante el manual de máquinas o experiencia de los técnicos más experimentados, que no necesariamente tienen que ver con el tiempo que lleva operando o el estado de las partes y piezas sobre los que se trabaja, a diferencia del mantenimiento condicional que para realizar una tarea debe presentarse algunos indicios de falla. Ejemplo; los hornos de inducción, tornos CNC, etc.

Mantenimiento mayor. - Actividad programada de mantenimiento que consiste en ejecutar tareas predictivas previas para analizar el estado de la máquina, garantizando su operatividad, y además del cambio de repuestos que les tocan durante el próximo año de tal manera que dé continuidad a la operación de la máquina y se tenga una confiabilidad alta, mayor al 96%. Ejemplo, transformador de subestación, compresores de aire, etc.

Selección de Modelo de Mantenimiento de Máquinas en planta de fabricación de bombas centrífugas

Para optimizar los recursos que presenta el modelo de mantenimiento de equipos de la planta de fabricación de bombas centrífugas, se toman en cuenta lo siguiente; en primer lugar, la criticidad del equipo que ya la tenemos de las tablas anteriores, seguidamente es necesario determinar los costos de hora parada del equipo, que incluye los propios de la operación adicionado de lo

compromete en la línea de proceso, y finalmente el costo promedio de reparación que incluye la mano de obra , los materiales, las herramientas y si hubiera servicios de terceros.

La *criticidad* de máquinas en la planta de fabricación de bombas centrífugas determina tres tipos; *critica, importante y prescindible*;

Secuencia de selección del modelo de mantenimiento:

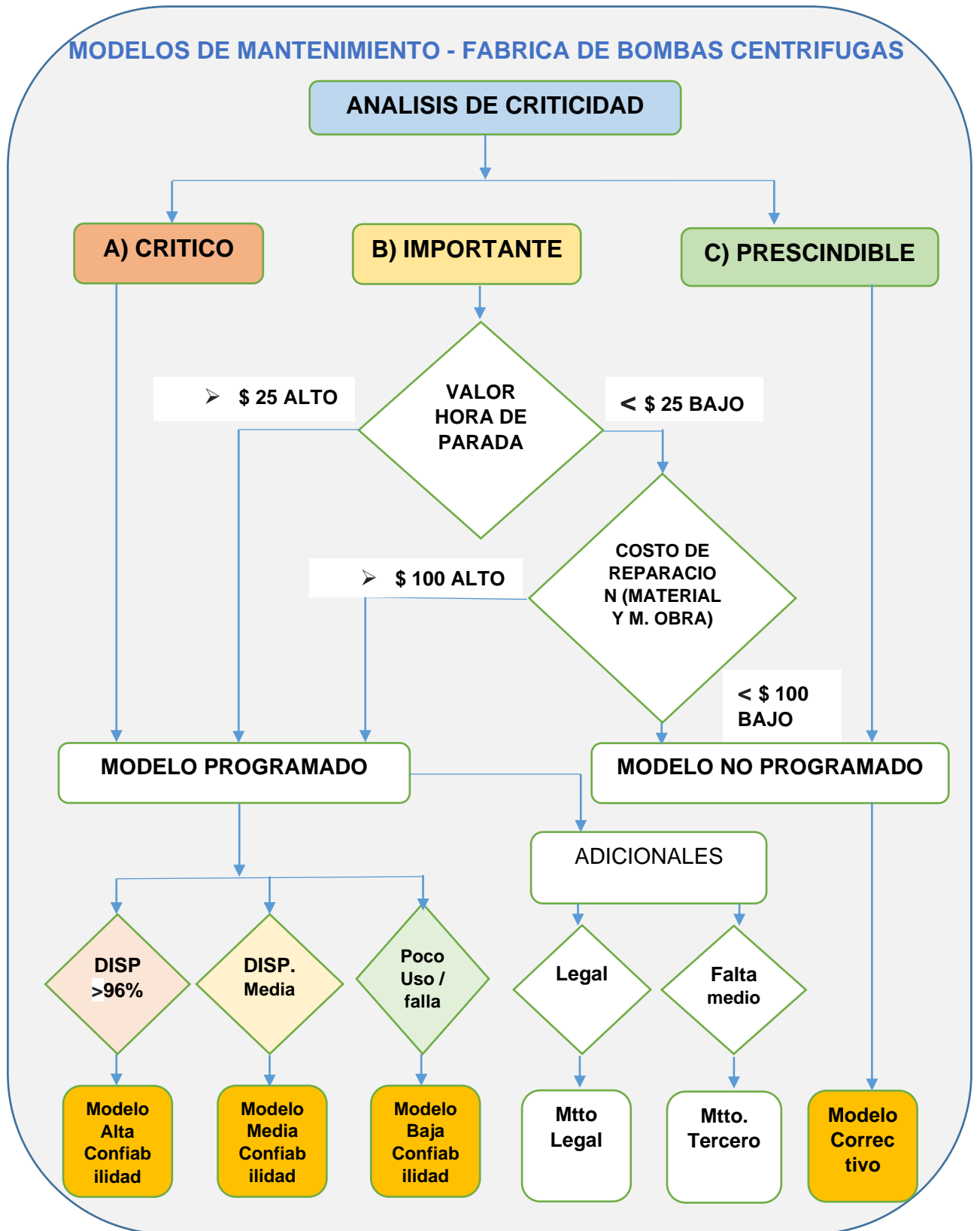
Si el equipo es **crítico** pasa a ser un modelo programado, y esta puede ser de alta disponibilidad (mayor de 96%), media disponibilidad (entre 92% a 96%) o baja disponibilidad (entre 88% a 92%), la selección depende del equipo; si tiene standby, si es costoso su reparación, si tiene baja probabilidad de falla o paraliza otras actividades.

Si el equipo es **importante** tiene que pasar por dos filtros; uno de costos de parada (lucro cesante) y costo de reparación promedio del equipo. Si el costo de hora parada es alto pasa a ser modelo programado y se comporta como el caso anterior de crítico, si es bajo el costo de la hora parada tiene que pasar otro filtro de costo de reparación promedio, si es alto pasa a ser modelo programado realizándose el mismo criterio de la maquina critica, si es bajo pasa a ser modelo no programado.

Para el caso de los equipos **prescindibles** estos serán de modelo no programado y en consecuencia de modelo correctivo, correspondiendo los servicios básicos que tienen los demás modelos, los cuales son; Mantenimiento menor, Lubricación, Inspecciones visuales, y Reparación de averías.

A continuación, se presenta el grafico que determinó el modelo de mantenimiento de los equipos de la fábrica de bombas centrífugas.

Imagen 8. Modelo de mantenimiento de máquina.



Fuente: Elaboración propia.

Se adjunta los cuadros de los modelos de mantenimiento de los equipos críticos, importantes y prescindibles.

De acuerdo a los costos establecidos de la hora parada y el costo de reparación de la máquina promedio por la empresa de fabricación de bombas centrífugas se muestra los siguientes cuadros.

Tabla 15. Modelo de mantenimiento de máquinas críticas.

MODELO DE MANTENIMIENTO DE EQUIPO								
EQUIPOS CRÍTICOS DE PLANTA EN GENERAL (100 A 130)								
It	Descripción de Maquina	CRITICIDAD	COSTO HORA PARADA (\$)	COSTO DE REPARACION (\$)	DISPONIBILIDAD MAYOR A 96%	DISPONIBILIDAD 92 A 96%	DISPONIBILIDAD DE 88 A 92%	MODELO CORRECTIVO
1	TORNO CNC VERTICAL GV-12	105	50	150		SI		
2	HORNO DE INDUCCION N° 2	116	270	300		SI		
3	HORNO DE INDUCCION N° 1	116	140	200		SI		
4	PUENTE GRUA	115	150	450		SI		
5	ESPECTROMETRO	114	270	800	SI			
6	SUB ESTACION 10000V	130	500	480	SI			
7	COMPRESORA KAESER AS30	108	270	240	SI			
8	COMPRESORA KAESER 20HP	108	150	180	SI			
9	PUENTE GRUA GRU-02	110	80	300		SI		

Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 15. muestra 09 equipos, de los cuales 04 equipos han sido seleccionados en el Modelo de Alta Confiabilidad mayor al 96%

Espectrómetro. - Equipo único en la línea de fundición que determina la calidad de la muestra antes de fundir, que paraliza el área.

Subestación eléctrica 10kV. – La subestación de 10kV/440V paraliza toda la planta de fundición, maestranza y modeleria.

Compresor COM-01.- paraliza toda la planta de fundición, maestranza y modeleria.

Compresor COM-02.- paraliza toda la planta de montaje, acabados, revestimiento, pintura y pruebas.

Tabla 16. Modelo de mantenimiento de máquinas importantes.

MODELO DE MANTENIMIENTO DE EQUIPO								
EQUIPOS IMPORTANTES PLANTA GENERAL (70 A 99)								
It	Descripción de Maquina	CRITICIDAD	COSTO HORA PARADA (\$)	COSTO DE REPARACION (\$)	DISPONIBILIDAD MAYOR A 96%	DISPONIBILIDAD 92 A 96%	DISPONIBILIDAD DE 88 A 92%	MODELO CORRECTIVO
1	TORRE DE ENFRIAMIENTO H1	93	22	110			SI	
2	TORRE DE ENFRIAMIENTO H2	93	30	120			SI	
3	GRANALLADORA GIRATORIA	95	32	140		SI		
4	HORNO DE TRATAMIENTO 80kw	88	40	150		SI		
5	SISTEMA DE BASCULACION H1	83	22	115			SI	
6	SISTEMA DE BASCULACION H2	83	22	115			SI	
7	SISTEMA DE BASCULACION H3	83	15	55				SI
8	MEZCLADORA CONTINUA N°1	82	30	120		SI		
9	HORNO DE INDUCCION N° 3	80	45	55			SI	
10	CASETA DE ARENADO	75	22	80				SI
11	DESGASIFICADORA	72	15	55				SI
12	HORNO PARA ALUMINIO 300KG	71	42	120		SI		
13	TORNO CNC VERTICAL GV-78	96	30	220		SI		
14	TORNO CNC N°1	96	22	200			SI	
15	TORNO CNC N°2	96	22	200			SI	
16	TORNO CNC N°3	96	22	200			SI	
17	CENTRO MECANIZADO N°1	78	20	200			SI	
18	CENTRO MECANIZADO N°2	78	20	200			SI	
19	CENTRO MECANIZADO N°3	78	20	200			SI	
20	SUB ESTACION 220V	98	200	105		SI		
21	VARIADOR 750HP	97	160	130		SI		
22	TRANSFORMADOR 100KVA	97	60	55			SI	
23	GRUPO ELECTROGENO 410KW	95	160	55		SI		
24	MONTACARGA TOYOTA P2	95	55	150		SI		
25	GRUPO ELECTROGENO 110KW	94	85	120		SI		
26	MONTACARGA CAT P1	86	35	125			SI	
27	ARRANCADOR PRUEBA	85	180	55		SI		
28	GRUPO ELECTROGENO 125KVA	81	180	60		SI		
29	MONTACARGA TOYOTA P3	81	55	150		SI		
30	ROUTER N°1	87	22	120			SI	
31	ROUTER N°2	87	22	120			SI	
32	ROUTER N°3	87	22	120			SI	
33	ROUTER N°4	85	22	120			SI	
34	ROUTER N°5	85	22	120			SI	
35	SIERRA CINTA VERTICAL	80	15	55				SI
36	SOLDADORA AUTOM. TIG	92	22	105			SI	
37	HORNO ELECTRICO 1	83	75	55			SI	
38	HORNO ELECTRICO 2	83	75	55			SI	

39	MESA DE BALANCEO 1.5HP	76	60	55			SI	
40	MESA DE BALANCEO 15HP	76	90	55			SI	
41	BRAZO TRIDIMENCIONAL	90	30	115			SI	
42	APILADORA	91	40	160		SI		

Fuente: elaboración propia.

Se completa en la Tabla 15 con los 05 equipos que corresponden al Modelo de Mantenimiento Sistémico (disponibilidad del 92 al 96%).

Tabla 17 Modelo de mantenimiento de máquinas Prescindibles.

MODELO DE MANTENIMIENTO DE EQUIPO								
EQUIPOS PRESCINDIBLES PLANTA GENERAL (0 A 69)								
It	Descripción de Maquina	CRITICIDAD	COSTO HORA PARADA (\$)	COSTO DE REPARACION (\$)	DISPONIBILIDAD MAYOR A 96%	DISPONIBILIDAD 92 A 96%	DISPONIBILIDAD DE 88 A 92%	MODELO CORRECTIVO
1	EQ. PARTICULAS MAGNETICAS	69	15	45				SI
2	MICROSCOPIO	58	12	15				SI
3	DUROMETRO	55	14	10				SI
4	LAMPARA ULTRAVIOLETA	51	15	55				SI
5	CARRETILLA HIDRAULICA 2	35	10	50				SI
6	MAQUINA SOLDAR MIG MAG	67	14	95				SI
7	MAQUINA DE SOLDAR TIG	65	14	90				SI
8	CALENTADOR DE CAYANA 01	64	12	30				SI
9	SOPLADORA QUEMADOR	64	12	25				SI
10	CORTE POR PLASMA N°1	62	15	80				SI
11	HORNO DE TRATAMIENTO N°2	59	25	95				SI
12	CASETA DE GRANALLADO	46	24	25				SI
13	MEZCLADORA DE PINTURA	43	20	25				SI
14	MEZCLADORA DE ARENA 4KW	41	20	29				SI
15	MAQUINA DE SOLDAR POR ARCO N°2	39	20	30				SI
16	MAQUINA SOLDAR PORTATIL	39	18	24				SI
17	SOPLADORA DE ALMAS	30	16	55				SI
18	ESMERIL DE BANCO	20	10	15				SI
19	HORNO ELECTRICO 3	65	25	35				SI
20	ROLADORA AUTOM. ACABADO	60	15	28				SI
21	PRENSA HIDRAULICA	57	15	29				SI
22	CALENTADOR DE RODAJE N°1	50	10	22				SI
23	CALENTADOR DE RODAJE N°2	50	10	22				SI
24	ROLADORA DE PERFILES	56	15	25				SI
25	SOLDADORA POR ARCO N°1	40	20	30				SI
26	TALADRO DE BANCO	33	10	20				SI
27	MAQUINA REBOBINADORA	28	15	35				SI
28	VARIADOR ABB 110KW	67	24	65				SI
29	GARLOPA DE BANCO	50	12	25				SI
30	LIJADORA	42	10	20				SI

31	TORNO PARALELO	33	12	25				SI
32	AFILADORA	29	10	18				SI
33	ESMERIL DE BANCO	25	10	30				SI
34	TORNO VERTICAL N°2	68	17	60				SI
35	TORNO VERTICAL N°3	68	17	60				SI
36	TORNO VERTICAL N°1	64	19	60				SI
37	TORNO CONVENCIONAL N°1	56	15	55				SI
38	TORNO CONVENCIONAL N°2	56	15	55				SI
39	TORNO CONVENCIONAL N°3	56	15	55				SI
40	TORNO CONVENCIONAL N°4	56	15	55				SI
41	TORNO CONVENCIONAL N°5	56	18	65				SI
42	TORNO CONVENCIONAL N°6	56	15	55				SI
43	TORNO CONVENCIONAL N°7	56	15	55				SI
44	TORNO CONVENCIONAL N°8	56	15	55				SI
45	TORNO CONVENCIONAL N°9	56	15	55				SI
46	SIERRA CINTA HORIZONTAL	53	10	60				SI
47	RECTIFICADORA CIRCULAR	52	18	30				SI
48	CORTE POR HILO N°1	45	10	30				SI
49	CORTE POR HILO N°2	45	10	30				SI
50	CORTE POR HILO N°3	45	10	30				SI
51	FRESADORA N°2	37	12	25				SI
52	FRESADORA N°1	37	10	25				SI
53	TALADRO RADIAL	30	10	25				SI
54	TALADRO VERTICAL	27	8	25				SI
55	ESMERIL DE BANCO	24	5	20				SI
56	BRAZO ROSCADOR N°1	18	5	18				SI
57	BRAZO ROSCADOR N°2	18	5	18				SI

Fuente: elaboración propia.

Con las tablas 16 y 17 se completan los modelos de mantenimientos para cada máquina de la empresa de fabricación de bombas centrífugas, para el cual se establecerá el programa el mantenimiento según modelo establecido. A continuación, el resumen de las maquinas según modelo de mantenimiento establecido.

a. Modelo de Mantenimiento de Alta Disponibilidad (96 al 100%).

1	ESPECTROMETRO ESP-01
2	SUB ESTACION 10000V SUB-01
3	COMPRESORA KAESER AS30 COM-01
4	COMPRESORA KAESER 20HP COM-02

b. Modelo de mantenimiento de Media Disponibilidad o Sistemático
(92 al 96%).

1	TORNO CNC VERTICAL GV-12
2	HORNO DE INDUCCION N° 2
3	HORNO DE INDUCCION N° 1
4	PUENTE GRUA GRU-01
5	PUENTE GRUA GRU-02
6	GRANALLADORA GIRATORIA
7	HORNO DE TRATAMIENTO 80kw
8	MEZCLADORA CONTINUA N°1
9	HORNO PARA ALUMINIO 300KG
10	TORNO CNC VERTICAL GV-78
11	SUB ESTACION 220V
12	VARIADOR DE VELOCIDAD 750HP
13	GRUPO ELECTROGENO 410KW
14	MONTACARGA TOYOTA P2
15	GRUPO ELECTROGENO 110KW
16	ARRANCADOR POZA DE PRUEBA
17	GRUPO ELECTROGENO 125KVA
18	MONTACARGA TOYOTA P3
19	APILADORA

c. Modelo de Mantenimiento de Baja Disponibilidad o Condicional
(88 al 92%).

1	TORRE DE ENFRIAMIENTO H1
2	TORRE DE ENFRIAMIENTO H2
3	SISTEMA DE BASCULACION H1
4	SISTEMA DE BASCULACION H2
5	HORNO DE INDUCCION N° 3
6	TORNO CNC N°1
7	TORNO CNC N°2
8	TORNO CNC N°3
9	CENTRO MECANIZADO N°1
10	CENTRO MECANIZADO N°2
11	CENTRO MECANIZADO N°3
12	TRANSFORMADOR 100KVA
13	MONTACARGA CAT P1
14	ROUTER N°1

15	ROUTER N°2
16	ROUTER N°3
17	ROUTER N°4
18	ROUTER N°5
19	MAQUINA SOLDADORA AUTOM. TIG
20	HORNO ELECTRICO 1
21	HORNO ELECTRICO 2
22	MESA DE BALANCEO 1.5HP
23	MESA DE BALANCEO 15HP
24	BRAZO TRIDIMENCIONAL

d. Modelo de Mantenimiento Correctivo (menor a 88%).

1	EQUIPO DE PARTICULAS MAGNETICAS
2	MICROSCOPIO
3	DUROMETRO
4	LAMPARA ULTRAVIOLETA
5	CARRETILLA HIDRAULICA 2
6	MAQUINA SOLDAR MIG MAG
7	MAQUINA DE SOLDAR TIG
8	CALENTADOR DE CAYANA 01
9	SOPLADORA DE LLAMAS - QUEMADOR
10	CORTE POR PLASMA N°1
11	HORNO DE TRATAMIENTO N°2
12	CASETA DE GRANALLADO
13	MEZCLADORA DE PINTURA
14	MEZCLADORA DE ARENA 4KW
15	MAQUINA DE SOLDAR POR ARCO N°2
16	MAQUINA SOLDAR PORTATIL
17	SOPLADORA DE ALMAS
18	ESMERIL DE BANCO N°1
19	HORNO ELECTRICO 3
20	ROLADORA AUTOMATICA ACABADO
21	PRENSA HIDRAULICA
22	CALENTADOR DE RODAJE N°1
23	CALENTADOR DE RODAJE N°2
24	ROLADORA DE PERFILES
25	SOLDADORA POR ARCO N°1
26	TALADRO DE BANCO
27	MAQUINA REBOBINADORA
28	VARIADOR ABB 110KW

29	GARLOPA DE BANCO
30	LIJADORA
31	TORNO PARALELO
32	AFILADORA
33	ESMERIL DE BANCO N°2
34	SISTEMA DE BASCULACION H3
35	CASETA DE ARENADO
36	DESGASIFICADORA
37	SIERRA CINTA VERTICAL
38	TORNO VERTICAL N°2
39	TORNO VERTICAL N°3
40	TORNO VERTICAL N°1
41	TORNO CONVENCIONAL N°1
42	TORNO CONVENCIONAL N°2
43	TORNO CONVENCIONAL N°3
44	TORNO CONVENCIONAL N°4
45	TORNO CONVENCIONAL N°5
46	TORNO CONVENCIONAL N°6
47	TORNO CONVENCIONAL N°7
48	TORNO CONVENCIONAL N°8
49	TORNO CONVENCIONAL N°9
50	SIERRA CINTA HORIZONTAL
51	RECTIFICADORA CIRCULAR
52	CORTE POR HILO N°1
53	CORTE POR HILO N°2
54	CORTE POR HILO N°3
55	FRESADORA N°2
56	FRESADORA N°1
57	TALADRO RADIAL
58	TALADRO VERTICAL
59	ESMERIL DE BANCO
60	BRAZO ROSCADOR N°1
61	BRAZO ROSCADOR N°2

Se complementa el diseño del plan de mantenimiento con dos consideraciones muy importantes que afectan a algunos equipos en particular, en primer lugar, a los equipos que están afectos a normativas legales que regulan su mantenimiento, obligando a realizarlo con una periodicidad establecida. En segundo lugar, están las actividades de mantenimiento que no podemos realizarlos con

personal propio o contratado, estas deben ser realizados por el fabricante, distribuidor o especialista del equipo.

Mantenimiento legal.

Equipos que están sometidos a normativas legales o regulaciones por parte de la administración, sobre todo las que competen a seguridad de los trabajadores e instalaciones.

Ejemplo, mantenimiento de los pozos de tierra de las instalaciones, máquinas y equipos. En el caso de la empresa en estudio se realiza el mantenimiento anual de los pozos de tierra.

Mantenimiento de terceros especialista.

El servicio de mantenimiento se realiza por un especialista, al no tener los recursos suficientes y necesarios, debiendo ser lo mínimo necesario, ya que generalmente es la más cara.

Ejemplo, Mantenimiento de la subestación eléctrica alta tensión, mantenimiento de compresores de aire, puente grúa, etc.

2.3.3 Selección de máquinas nuevas para incrementar la disponibilidad.

La técnica utilizada de la gestión de mantenimiento de proponer alternativas de instalación de máquinas nuevas hasta donde sea técnica y económicamente posible, incidiendo en las máquinas que son “cuello de botella” es decir a aquellas máquinas que casi nunca paran. Que están del 80 al 100% operando, estas al no operar disminuyen el proceso de producción, incrementando los tiempos de espera y disminuyendo la productividad, esto genera un incremento en el costo final de las piezas de las bombas, asimismo evaluar si es necesario instalar máquinas en stand by para evitar pérdidas de producción por paradas imprevistas.

De la misma forma, debido a una propuesta ambiciosa del área de ventas existe un incremento de producción, y se debe de hacer el incremento de máquinas para cubrir el programa anual establecido para el año en curso.

Las máquinas que se instalaron en el periodo de estudio se muestran en el siguiente cuadro:

Tabla 18. Máquinas que ingresaron el 2018

MAQUINAS QUE INGRESARON 2018			
ITEM	AREA: FUNDICION	SUSTENTO	MODELO M
1	HORNO DE TRATAMIENTO A GAS	INCREMENTO DE PRODUCCION	BAJA CONF.
2	HORNO DE INDUCCION N° 4	INCREMENTO DE PRODUCCION	BAJA CONF.
3	HORNO DE INDUCCION N° 5	INCREMENTO DE PRODUCCION	BAJA CONF.
4	COQUILLADORA	RECORTE DE TIEMPO DE PROCESO	BAJA CONF.
5	TOLVA PRENSA EN VERDE 1	RECORTE DE TIEMPO DE PROCESO	BAJA CONF.
6	TOLVA PRENSA EN VERDE 2	RECORTE DE TIEMPO DE PROCESO	BAJA CONF.
7	MEZCLADORA CONTINUA N°2	MAQUINA EN STAND BY	BAJA CONF.
8	MINICARGADOR BOBCAT 570	INCREMENTO DE PRODUCCION	BAJA CONF.
9	MEZCLADORA DE ARENA 20HP	MAQUINA EN STAND BY	BAJA CONF.
10	HORNO ELECTRICO P/ALMAS	MEJORA DE CALIDAD	BAJA CONF.
AREA: MAESTRANZA			
11	CENTRO TORNO HORIZ. CME-05	REDUCCION DE TRABAJO DE TERCERO	MEDIA CONF.
12	BRAZO GIRATORIO CNC CME-04	REDUCCION DE TRABAJO DE TERCERO	MEDIA CONF.
13	MANDRINADORA MAN-01	REDUCCION DE TRABAJO DE TERCERO	MEDIA CONF.
14	TORNO CNC GS 20 CNC-04	INCREMENTO DE PRODUCCIÓN	MEDIA CONF.
15	FRESADORA CNC FRE-03	INCREMENTO DE PRODUCCIÓN	MEDIA CONF.
16	TORNO CONVENCIONAL TOR-10	INCREMENTO DE PRODUCCIÓN	BAJA CONF.
17	TORNO CONVENCIONAL TOR-11	INCREMENTO DE PRODUCCIÓN	BAJA CONF.
18	TORNO CONVENCIONAL TOR-12	INCREMENTO DE PRODUCCIÓN	BAJA CONF.
19	TORNO CONVENCIONAL TOR-13	INCREMENTO DE PRODUCCIÓN	BAJA CONF.
20	TORNO CONVENCIONAL TOR-14	INCREMENTO DE PRODUCCIÓN	BAJA CONF.
21	TORNO CONVENCIONAL TOR-15	INCREMENTO DE PRODUCCIÓN	BAJA CONF.
22	TORNO CONVENCIONAL TOR-16	INCREMENTO DE PRODUCCIÓN	BAJA CONF.
23	TORNO CONVENCIONAL TOR-17	INCREMENTO DE PRODUCCIÓN	BAJA CONF.
AREA: MODELERIA			
24	ROUTER N° 6	INCREMENTO DE PRODUCCIÓN	MEDIA CONF.
AREA: MONTAJE			
25	HORNO ELECTRICO P/MOTORES	INCREMENTO DE PRODUCCIÓN	BAJA CONF.
26	HORNO ELECTRICO P/REVESTIMIENTO	REDUCCIÓN DE TIEMPO DE PROCESO	BAJA CONF.

Fuente: elaboración propia.

En el año 2018 se ha tenido un incremento de la producción de 9 a 22 toneladas mensual de mineral procesado en partes y piezas de las bombas centrifugas. Para el año 2019 se tiene un pronóstico de incremento debido a la proyección de llegar a 40 toneladas, debido a la futura exportación a países de Sudamérica, para el cual se está invirtiendo en la adquisición de las siguientes máquinas para el año 2019 de acuerdo al sustento en el siguiente cuadro.

Tabla 19. Máquinas que ingresaran el 2019.

MAQUINAS QUE INGRESARAN 2019			
ITEM	AREA: SERVICIO	SUSTENTO	MODELO M
1	TRANSFORMADOR 800KVA SUB-01	INCREMENTO DE PRODUCCIÓN	ALTA CONF.
2	COMPRESORA KAESER 30HP COM-03	INCREMENTO DE PRODUCCIÓN	MEDIA CONF.
3	COMPRESORA KAESER 30HP COM-04	INCREMENTO DE PRODUCCIÓN	MEDIA CONF.
4	APILADORA P/MAESTRANZA	MAQUINA EN STAND BY	BAJA CONF.
5	MONTACARGA TOYOTA P2/P3	MAQUINA EN STAND BY	BAJA CONF.
6	PUENTE GRUA P/ MAESTRANZA	REDUCCIÓN DE TIEMPO DE ESPERA	BAJA CONF.
AREA: FUNDICION			
7	HORNO P/ALUMINIO 300 KG GLP	INCREMENTO DE PRODUCCIÓN	BAJA CONF.
8	DESGASIFICADOR DES-02	INCREMENTO DE PRODUCCIÓN	BAJA CONF.
9	HORNO TRATAMIENTO 50 KW	INCREMENTO DE PRODUCCIÓN	BAJA CONF.
10	RECUPERADORA DE ARENA	AHORRO EN ARENA 80%	BAJA CONF.
11	ZARANDA DE ARENA	AHORRO EN ARENA 80%	BAJA CONF.
12	TOLVA DE ARENA NUEVA	AHORRO EN ARENA 80%	BAJA CONF.
13	TOLVA DE ARENA RECUPERADA	AHORRO EN ARENA 80%	BAJA CONF.
AREA: MAESTRANZA			
14	TORNO CNC HORIZONTAL CNC-05	INCREMENTO DE PRODUCCIÓN	MEDIA CONF.
15	TORNO CNC HORIZONTAL CNC-06	MAQUINA EN STAND BY	MEDIA CONF.
16	TORNO CNC VERTICAL TVE-07	INCREMENTO DE PRODUCCIÓN	MEDIA CONF.
17	TORNO CNC VERTICAL TVE-08	MAQUINA EN STAND BY	MEDIA CONF.
18	TORNO CONVENCIONAL N°18	INCREMENTO DE PRODUCCIÓN	BAJA CONF.
19	TORNO CONVENCIONAL N°19	INCREMENTO DE PRODUCCIÓN	BAJA CONF.
20	TORNO CONVENCIONAL N°20	INCREMENTO DE PRODUCCIÓN	BAJA CONF.
21	TORNO CONVENCIONAL N°21	INCREMENTO DE PRODUCCIÓN	BAJA CONF.
22	TORNO CONVENCIONAL N°22	INCREMENTO DE PRODUCCIÓN	BAJA CONF.
23	TORNO CONVENCIONAL N°23	MAQUINA EN STAND BY	BAJA CONF.
24	TORNO CONVENCIONAL N°24	MAQUINA EN STAND BY	BAJA CONF.
25	TORNO CONVENCIONAL N°25	MAQUINA EN STAND BY	BAJA CONF.

Fuente: elaboración propia.

2.3.4 Capacitación y entrenamiento para incrementar la disponibilidad.

Para cerrar el ciclo de incremento de la disponibilidad de máquinas se planteó un plan de capacitación y entrenamiento para el personal involucrado en la operación y mantenimiento.

El objetivo principal la capacitación y entrenamiento del personal involucrado es que se adecuen de manera rápida y eficientemente a los diferentes cambios para la aplicación del nuevo modelo de mantenimiento de las máquinas y equipos que se realizan en presente estudio.

Para ello, se ha considerado los siguientes puntos:

- a. Capacitación y entrenamiento de máquinas críticas de planta.
- b. Capacitación y entrenamiento de los modelos de mantenimiento de máquinas y equipos.
- c. Capacitación y entrenamiento de lubricación de máquinas y equipos.
- d. Capacitación y entrenamiento de lista de inspección “check list” de máquinas.

En el siguiente cuadro se muestra el plan de capacitación y entrenamiento al personal de operación y mantenimiento de máquinas, en los cuatro temas importantes para incrementar la disponibilidad de planta.

Tabla 20. Plan de capacitación y entrenamiento.

PLAN DE CAPACITACIÓN Y ENTRENAMIENTO DE PERSONAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO 2018																			
IT	TEMA	PERSONAL	N°	ENERO				FEBRERO				MARZO				ABRIL			
				1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	MAQUINAS CRITICAS DE PLANTA	OP MAESTRANZA	48	P	P														
		OP. FUNDICION	28	P	P														
		OP. MONTAJE	32		P	P													
		OP. MODELERIA	12		P	P													
		TEC. MANTTO	10			P	P												
2	MODELO DE MANTENIMIENTO	OP MAESTRANZA	48			P	P												
		OP. FUNDICION	28				P	P											
		OP. MONTAJE	32				P	P											
		OP. MODELERIA	12					P	P										
		TEC. MANTTO	10					P	P										
3	LUBRICACION DE MAQUINAS	OP MAESTRANZA	48						P	P									
		OP. FUNDICION	28						P	P									
		OP. MONTAJE	32							P	P								
		OP. MODELERIA	12							P	P								
		TEC. MANTTO	10								P	P							
4	CHECK LIST DE MAQUINAS	OP MAESTRANZA	48									P	P						
		OP. FUNDICION	28										P	P					
		OP. MONTAJE	32										P	P					
		OP. MODELERIA	12											P	P				
		TEC. MANTTO	10												P	P			

En el anexo 13 será evaluado el instructor de la capacitación.

Fuente: elaboración propia.

Terminado la capacitación y entrenamiento del personal de operación y mantenimiento de máquinas en los cuatro temas, se desarrolló una evaluación de la capacitación para ver el nivel de conocimiento y aprendizaje, llegando en algunos colaboradores a reforzar hasta llegar al nivel satisfactorio (de acuerdo).

Se adjunta en los anexos del presente estudio la lista de inspección “check list” de máquinas y equipos, así como también incluye la lista de inspección de lubricación de máquinas.

Tabla 21. Nivel de capacitación y entrenamiento.

NIVEL DE CAPACITACIÓN Y ENTRENAMIENTO DE PERSONAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO					
IT	TEMA	PERSONAL	N°	FECHA ABRIL 2018	
				NIVEL: DE ACUERDO	COMPLETAMENTE DE ACUERDO
1	MAQUINAS CRITICAS DE PLANTA	OP MAESTRANZA	48	15	33
		OP. FUNDICION	28	9	19
		OP. MONTAJE	32	11	21
		OP. MODELERIA	12	5	7
		TEC. MANTTO	10	2	8
2	MODELO DE MANTENIMIENTO	OP MAESTRANZA	48	13	35
		OP. FUNDICION	28	11	17
		OP. MONTAJE	32	10	22
		OP. MODELERIA	12	4	8
		TEC. MANTTO	10	4	6
3	LUBRICACION DE MAQUINAS	OP MAESTRANZA	48	10	38
		OP. FUNDICION	28	10	18
		OP. MONTAJE	32	12	20
		OP. MODELERIA	12	4	8
		TEC. MANTTO	10	3	7
4	CHECK LIST DE MAQUINAS	OP MAESTRANZA	48	12	36
		OP. FUNDICION	28	9	19
		OP. MONTAJE	32	9	23
		OP. MODELERIA	12	3	9
		TEC. MANTTO	10	3	7

Fuente: elaboración propia.

2.3.5 Cálculo de la disponibilidad de planta.

Cálculo de la disponibilidad de planta del año 2017.

Considerando los diferentes modelos de mantenimiento de máquinas y equipos desarrollados en el proyecto de investigación se tiene los siguientes cuadros en relación a la disponibilidad de los grupos de máquinas según modelo.

La Disponibilidad de planta en el año 2017 según modelo de “Alta Disponibilidad” se muestra en la siguiente tabla 22. Mostrando la disponibilidad de cada máquina anualmente, la disponibilidad mensual

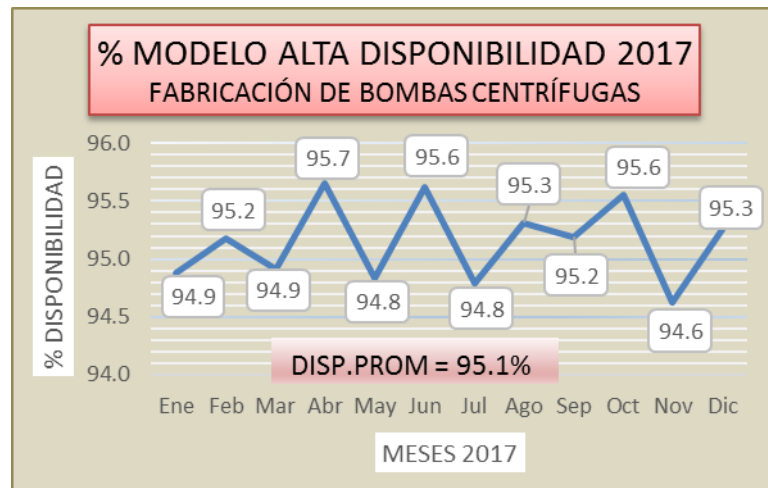
del total del modelo de mantenimiento de máquinas, el tiempo promedio entre fallas “MTBF” y el tiempo promedio de reparación “MTTR”.

Tabla 22. Modelo Alta Disponibilidad de máquinas 2017.

DISPONIBILIDAD DE MAQUINAS - MODELO ALTA DISPONIBILIDAD 2017															META 96-100%		
IT	MAQUINA	LINEA	HORAS PARADAS MENSUAL POR MAQUINA												Disp	MTTR	MTBF
			Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic			
ALTA DISPONIBILIDAD																	
1	ESPECTROMET ESP-01	FUNDICION	18	8	13	8	10	8	8	16	7	8	6	7	95.1	7.8	152.2
2	SUB ESTACION SUB-01	SERVICIO	10	11	16	8	13	9	15	8	12	13	18	13	93.9	9.7	150.3
3	COMPRESOR COM-01	SERVICIO	7	8	7	8	12	10	8	7	10	8	7	8	95.8	3.2	74.2
4	COMPRESOR COM-02	SERVICIO	6	10	8	8	8	8	9	8	11	8	12	10	95.6	3.3	71.7
DISPONIBILIDAD MES		(%)	94.9	95.2	94.9	95.7	94.8	95.6	94.8	95.3	95.2	95.6	94.6	95.3			
DISPONIBILIDAD 2017		(%)	95.1														
															MTTR PROM	MTBF PROM	
															6.0	112.1	

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 6. Modelo Alta Disponibilidad de máquinas 2017.



Fuente: Elaboración propia.

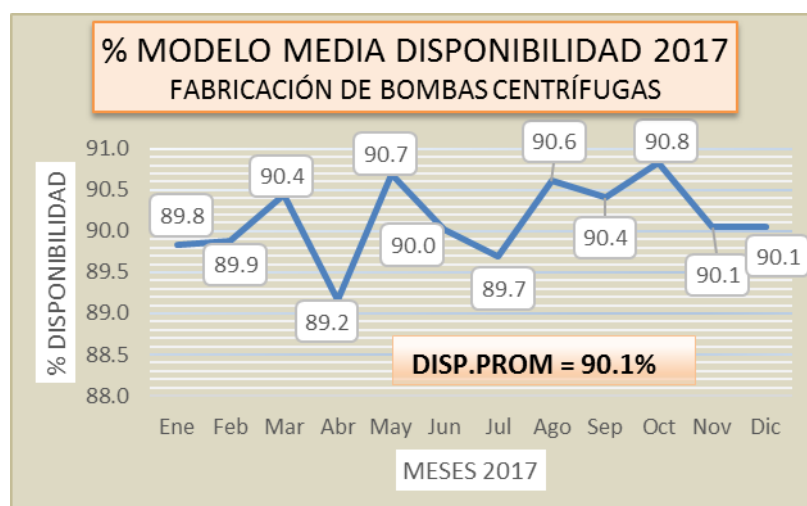
La Disponibilidad de planta en el año 2017 según modelo de “Media Disponibilidad” se muestra en la siguiente tabla 23.

Tabla 23. Modelo Media Disponibilidad de máquinas 2017.

DISPONIBILIDAD DE MAQUINAS - MODELO MEDIA DISPONIBILIDAD 2017															META 92-96%		
IT	MAQUINA	LINEA	HORAS PARADAS MENSUAL POR MAQUINA												Disp	MTTR	MTBF
			MEDIA DISPONIBILIDAD														
			Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic			
1	HORNO P/AL. HOR-06	FUNDICION	18	9	17	15	19	20	17	15	17	18	17	19	91.6	11.2	122.2
2	HORNO INDU. HOR-01	FUNDICION	15	19	20	17	15	17	18	22	13	15	17	16	91.5	9.7	104.6
3	HORNO INDU. HOR-02	FUNDICION	17	15	17	18	17	13	15	17	16	17	16	17	91.9	8.9	100.2
4	GRANALLAD. GRA-01	FUNDICION	30	26	31	32	30	31	28	29	31	30	28	27	85.3	6.8	39.4
5	HORNO TRAT. HTT-01	FUNDICION	31	32	30	31	28	29	31	30	28	27	30	31	85.1	8.3	47.5
6	MEZCLADOR CON. N°1	FUNDICION	30	31	32	30	31	28	29	31	30	28	27	30	85.1	10.5	60.1
7	TORNO CNC V. TVE-04	MAESTRA	21	20	19	21	20	18	15	21	22	18	22	21	90.1	6.8	61.8
8	TORNO CNC V. TVE-05	MAESTRA	19	21	20	18	15	21	22	18	22	21	21	21	90.0	6.6	60.0
9	VARIADOR VAR-01	MONTAJE	15	19	20	17	15	17	18	22	13	15	17	16	91.5	5.5	59.4
10	PUENTE GRUA GRU-01	SERVICIO	23	24	23	18	25	24	19	23	25	23	24	23	88.6	6.7	51.9
11	PUENTE GRUA GRU-02	SERVICIO	19	20	17	15	17	18	17	13	15	17	17	17	91.6	5.5	59.4
12	SUB ESTACION SUB-02	SERVICIO	17	17	17	17	17	17	22	17	17	17	17	17	91.3	5.2	54.8
13	GRUPO ELECTR. GEL-01	SERVICIO	17	9	19	20	17	15	19	9	17	13	15	17	92.2	8.5	100.6
14	MONTACARGA MON-01	SERVICIO	21	17	19	20	17	15	17	18	22	13	17	15	91.2	6.4	66.3
15	GRUPO ELECTR. GEL-02	SERVICIO	17	19	20	17	15	17	18	17	13	15	17	16	91.6	9.1	100.0
16	ARRANCADOR ARR-01	SERVICIO	20	17	15	17	18	20	17	15	17	18	17	15	91.4	10.8	115.5
17	GRUPO ELECTR. GEL-03	SERVICIO	17	17	17	17	17	20	17	15	17	18	17	18	91.4	8.6	91.4
18	MONTACARGA MON-02	SERVICIO	19	21	20	18	15	21	22	18	22	21	20	21	90.1	6.8	61.8
19	APILADORA API-01	SERVICIO	20	16	19	21	20	18	15	21	22	18	22	21	90.3	7.1	65.7
DISPONIBILIDAD MES		(%)	89.8	89.9	90.4	89.2	90.7	90.0	89.7	90.6	90.4	90.8	90.1	90.1	MTTR PROM	MTBF PROM	
DISPONIBILIDAD 2017		(%)	90.1													7.8	74.9

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 7. Modelo Media Disponibilidad de máquinas 2017.



Fuente: Elaboración propia.

La Disponibilidad de planta en el año 2017 según modelo de “Baja Disponibilidad” se muestra en la siguiente tabla 24.

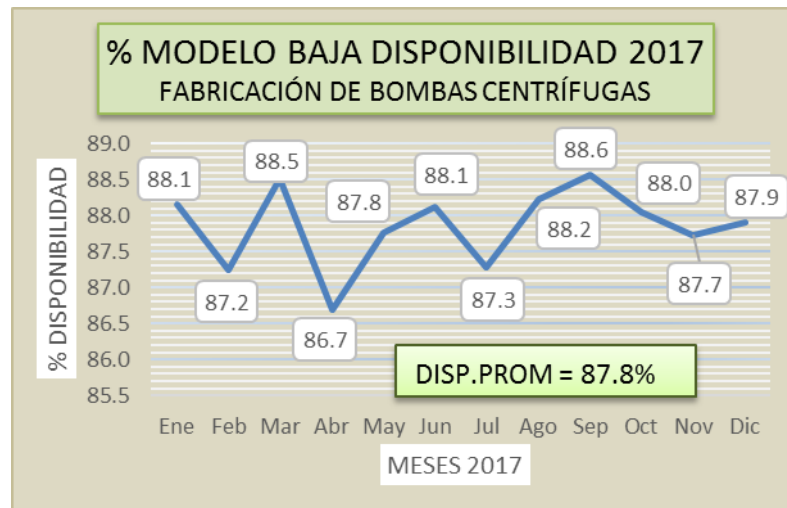
Tabla 24. Modelo Baja Disponibilidad de máquinas 2017.

DISPONIBILIDAD DE MAQUINAS - MODELO BAJA DISPONIBILIDAD 2017															META 88-92%		
IT	MAQUINA	LINEA	HORAS PARADAS MENSUAL POR MAQUINA														
BAJA DISPONIBILIDAD			Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Disp	MTTR	MTBF
1	TORRE ENFR.TEN-01	FUNDICION	28	26	28	30	28	24	28	31	24	27	28	27	86.3	15.0	94.1
2	TORRE ENFR.TEN-02	FUNDICION	30	28	24	28	31	24	27	28	24	28	31	23	86.4	15.5	98.8
3	SISTEMA BASCUL. H1	FUNDICION	28	30	28	24	28	30	28	24	28	31	24	25	86.3	10.6	66.8
4	SISTEMA BASCUL. H2	FUNDICION	28	28	30	28	24	28	31	24	27	28	25	26	86.4	10.2	64.8
5	HORNO INDU. HOR-03	FUNDICION	18	24	22	24	21	24	19	24	25	18	24	22	89.0	11.5	92.8
6	TORNO CNC N°1	MAESTRANZA	24	28	31	24	28	27	28	31	24	27	28	25	86.5	7.7	49.4
7	TORNO CNC N°2	MAESTRANZA	28	24	28	30	23	28	24	28	30	28	24	26	86.6	7.5	48.3
8	TORNO CNC N°3	MAESTRANZA	28	22	31	28	27	27	28	24	28	31	24	21	86.7	7.6	49.5
9	CENTRO MEC. CME-01	MAESTRANZA	28	28	24	28	31	24	27	28	28	28	28	27	86.3	7.8	49.3
10	CENTRO MEC. CME-02	MAESTRANZA	23	30	28	24	28	26	28	24	28	28	28	30	86.5	6.5	41.5
11	CENTRO MEC. CME-03	MAESTRANZA	28	28	30	28	29	28	31	24	28	28	28	28	85.9	8.7	52.9
12	TRANSFORM TRA-01	SERVICIO	18	12	24	21	24	19	24	25	18	24	23	23	89.4	10.6	89.4
13	MONTACAR MON-03	SERVICIO	26	28	23	26	30	26	25	26	22	26	27	25	87.1	7.6	51.0
14	ROUTER ROU-01	MODELERIA	24	22	24	21	24	19	24	25	18	24	23	23	88.7	6.2	48.4
15	ROUTER ROU-02	MODELERIA	24	24	22	24	21	24	19	24	25	18	24	25	88.6	6.4	49.4
16	ROUTER ROU-03	MODELERIA	22	24	21	24	19	24	25	18	24	23	24	23	88.7	6.2	48.4
17	ROUTER ROU-04	MODELERIA	21	24	19	24	25	21	24	19	24	25	18	23	88.9	5.9	47.4
18	ROUTER ROU-05	MODELERIA	21	21	24	19	24	25	18	24	24	17	24	21	89.1	5.7	46.5
19	SOLDAD TIG SOL-01	MONTAJE	24	18	24	21	24	19	24	25	18	24	16	25	89.1	5.8	47.5
20	HORNO ELEC HTE-01	MONTAJE	23	26	30	26	25	26	24	25	26	30	26	25	87.0	8.2	54.9
21	HORNO ELEC HTE-02	MONTAJE	20	26	23	26	30	26	25	26	23	26	25	26	87.4	6.2	42.8
22	BALANCEAD BAL-01	MONTAJE	21	24	19	24	25	18	24	21	19	24	25	24	88.8	5.4	42.6
23	BALANCEAD BAL-02	MONTAJE	19	24	25	21	24	19	18	21	24	19	24	25	89.0	5.2	41.9
24	BRAZO TRID. BRA-01	CALIDAD	15	19	14	15	18	14	13	19	12	15	18	13	92.3	5.8	69.2
DISPONIBILIDAD MES (%)			88.1	87.2	88.5	86.7	87.8	88.1	87.3	88.2	88.6	88.0	87.7	87.9			
DISPONIBILIDAD 2017 (%)			87.8													MTTR PROM	MTBF PROM
																8.1	57.8

Fuente: Elaboración propia.

La tendencia de la gráfica del modelo de baja disponibilidad de máquinas del 2017 se muestra en el gráfico 8.

Gráfico 8. Modelo Baja Disponibilidad de máquinas 2017.



Fuente: Elaboración propia.

La Disponibilidad de planta en el año 2017 según Modelo Correctivo se muestra en la siguiente tabla 25.

Tabla 25. Modelo Correctivo de máquinas 2017.

DISPONIBILIDAD DE MAQUINAS - MODELO CORRECTIVO 2017															META 84-88%			
IT	MAQUINA	LINEA	HORAS PARADAS MENSUAL POR MAQUINA												Disp	MTTR	MTBF	
			Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic				
	CORRECTIVO																	
1	CALENT. CAY. CCA-01	FUNDICION	30	33	31	30	32	30	27	31	30	32	30	28	84.8	7.6	42.4	
2	HORNO ELEC. HTE-04	FUNDICION	33	27	30	26	30	32	31	30	32	28	30	30	85.0	7.3	41.7	
3	CORTE PLASMA N°1	FUNDICION	28	29	29	29	27	29	26	29	28	29	21	29	86.1	6.7	41.3	
4	MEZCLADOR PINTURA	FUNDICION	28	29	30	29	26	29	28	29	21	29	29	29	86.0	6.6	40.5	
5	MEZCLADOR AR. 4KW	FUNDICION	33	29	33	32	30	33	31	34	33	29	32	34	84.0	7.4	38.8	
6	DESGASIFICADORA	FUNDICION	28	27	29	26	29	28	29	21	29	34	29	29	85.9	6.4	38.9	
7	SISTEMA BASCUL. H3	FUNDICION	28	29	31	29	26	29	28	29	21	29	29	22	86.3	6.1	38.3	

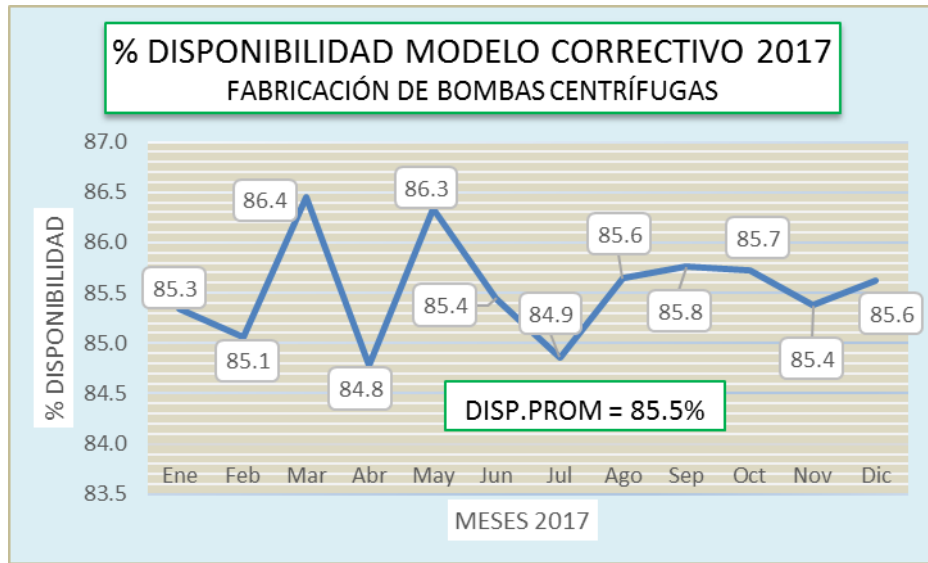
8	SOLDAD MIG SOL-02	FUNDICION	28	29	34	29	26	29	28	29	21	29	34	28	85.7	6.3	37.4	
9	SOLDAD TIG SOL-03	FUNDICION	28	29	29	27	29	26	29	28	29	21	29	29	86.1	5.9	36.9	
10	SOLDADORA SOL-04	FUNDICION	27	29	32	29	29	27	29	26	29	28	29	21	86.0	5.9	36.2	
11	TORNO VER. TVE-01	MAESTRAN	33	27	34	26	30	32	31	30	32	30	31	28	84.8	6.3	35.1	
12	TORNO VER TVE-02	MAESTRAN	30	33	27	30	26	30	25	31	30	32	30	26	85.4	5.9	34.7	
13	TORNO VER TVE-03	MAESTRAN	30	30	33	27	30	26	30	32	31	30	32	30	85.0	6.0	34.0	
14	TORNO CONV TOR-01	MAESTRAN	30	30	30	24	27	30	26	30	32	31	31	25	85.6	5.7	33.7	
15	TORNO CONV TOR-02	MAESTRAN	30	33	27	30	26	30	28	31	30	32	30	25	85.3	6.5	37.9	
16	TORNO CONV TOR-03	MAESTRAN	30	27	30	26	30	32	31	30	32	30	29	30	85.1	7.4	42.6	
17	TORNO CONV TOR-04	MAESTRAN	31	27	30	26	30	32	28	30	32	30	23	34	85.3	6.4	37.2	
18	TORNO CONV TOR-05	MAESTRAN	27	30	26	30	32	31	30	32	30	28	30	36	84.9	6.2	35.1	
19	TORNO CONV TOR-06	MAESTRAN	30	30	33	30	26	30	28	31	29	32	30	29	85.1	6.8	38.5	
20	TORNO CONV TOR-07	MAESTRAN	30	28	30	27	30	26	30	32	31	30	32	30	85.2	6.5	37.2	
21	TORNO CONV TOR-08	MAESTRAN	30	27	30	26	30	32	31	30	32	30	23	26	85.5	6.7	39.5	
22	TORNO CONV TOR-09	MAESTRAN	27	30	26	31	30	26	30	32	31	29	32	30	85.3	8.2	47.6	
23	CORTE POR HILO N°1	MAESTRAN	30	29	27	30	26	30	32	31	30	32	22	34	85.3	6.8	39.4	
24	CORTE POR HILO N°2	MAESTRAN	24	30	28	27	30	26	30	32	31	30	32	30	85.4	5.6	33.1	
25	FRESADORA N°1	MAESTRAN	30	22	30	28	27	30	34	30	32	30	31	29	85.3	6.7	38.6	
26	FRESADORA N°2	MAESTRAN	31	27	25	26	30	32	31	30	32	24	30	27	85.6	6.6	39.5	
27	HORNO ELEC HTE-03	MONTAJE	27	30	23	27	30	26	30	32	31	30	32	30	85.5	9.7	57.0	
28	REBOBINADOR. REB-01	MONTAJE	28	24	28	27	23	28	24	30	28	31	28	25	86.5	7.2	46.1	
29	VARIADOR VAR-02	MONTAJE	31	28	24	28	27	23	28	24	30	32	28	31	86.1	9.5	59.0	
DISPONIBILIDAD MES			(%)	85.3	85.1	86.4	84.8	86.3	85.4	84.9	85.6	85.8	85.7	85.4	85.6		MTTR PROM	MTBF PROM
DISPONIBILIDAD 2017			(%)	85.5													6.8	39.9

Fuente: Elaboración propia.

La tendencia de la gráfica del modelo de disponibilidad de máquinas Modelo Correctivo 2017 se muestra en el grafico 9.

Al no tener mucha incidencia en el proceso de fabricación de bombas centrífugas no se considera en el cálculo de la disponibilidad de planta total.

Gráfico 9. Disponibilidad de máquinas Modelo Correctivo 2017.



Fuente: Elaboración propia.

Calculo de la disponibilidad de planta del año 2018.

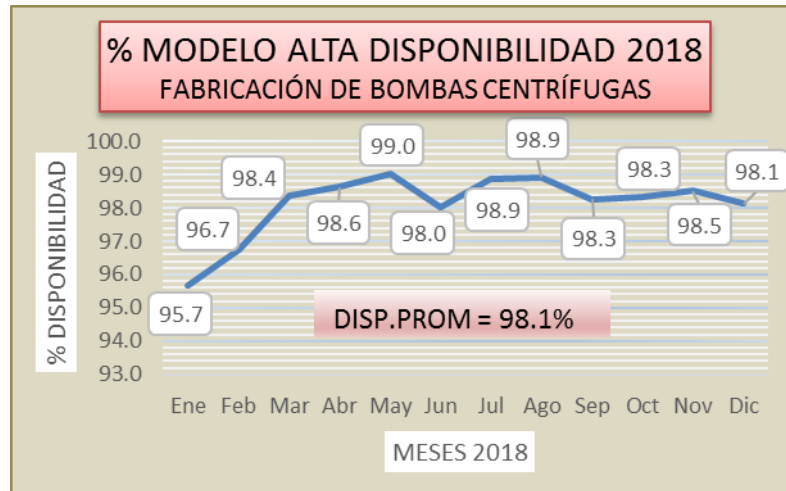
La Disponibilidad de planta en el año 2018 según modelo de “Alta Disponibilidad” se muestra en la siguiente tabla 26.

Tabla 26. Modelo Alta Disponibilidad de máquinas 2018.

DISPONIBILIDAD DE MAQUINAS - MODELO ALTA DISPONIBILIDAD 2018														META 96-100%			
IT	MAQUINA	LINEA	HORAS PARADAS MENSUAL POR MAQUINA												Disp	MTTR	MTBF
ALTA DISPONIBILIDAD			Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic			
1	ESPECTROMET ESP-01	FUNDICION	12	3	2	3	0	4	2	0	7	0	4	6	98.2	4.8	261.9
2	SUB ESTACION SUB-01	SERVICIO	10	4	2	2	0	4	0	2	0	4	0	3	98.7	4.4	338.4
3	COMPRESORA COM-01	SERVICIO	6	11	7	2	4	6	4	3	5	6	3	2	97.5	3.7	146.3
4	COMPRESORA COM-02	SERVICIO	8	7	2	4	4	2	3	4	2	4	5	4	98.0	3.3	156.7
DISPONIBILIDAD MES		(%)	95.7	96.7	98.4	98.6	99.0	98.0	98.9	98.9	98.3	98.3	98.5	98.1		MTTR PROM	MTBF PROM
DISPONIBILIDAD 2018		(%)	98.1												4.0	225.8	

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 10. Modelo Alta Disponibilidad de máquinas 2018.



Fuente: Elaboración propia.

La Disponibilidad de planta en el año 2018 según modelo de “Media Disponibilidad” se muestra en la siguiente tabla 27.

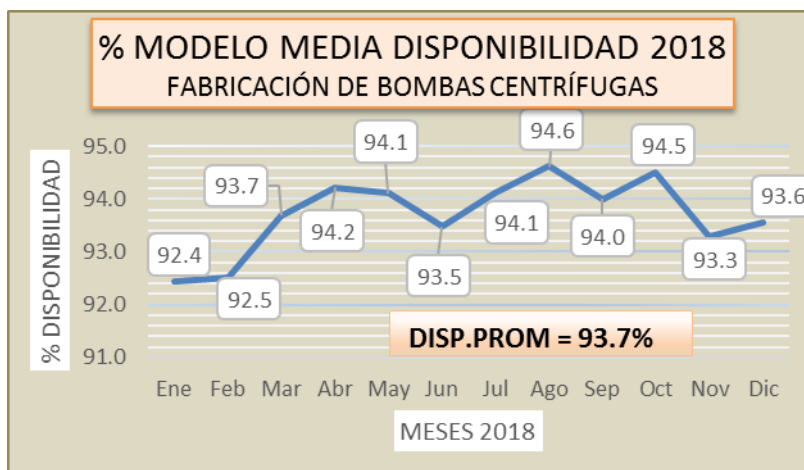
Tabla 27. Modelo Media Disponibilidad de máquinas 2018.

DISPONIBILIDAD DE MAQUINAS - MODELO MEDIA DISPONIBILIDAD 2018														META 92-96%			
IT	MAQUINA	LINEA	HORAS PARADAS MENSUAL POR MAQUINA												Disp	MTTR	MTBF
MEDIA DISPONIBILIDAD			Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic			
1	HORNO F/AL. HOR-06	FUNDICION	12	9	17	15	19	4	17	15	17	18	17	19	92.5	9.9	123.4
2	HORNO INDU. HOR-01	FUNDICION	15	14	16	17	15	17	18	9	13	15	17	16	92.4	8.7	105.6
3	HORNO INDU. HOR-02	FUNDICION	17	15	17	8	17	13	15	9	16	17	16	17	92.6	8.0	101.0
4	GRANALLADOR GRA-01	FUNDICION	24	29	15	29	28	18	22	21	32	30	28	27	87.4	5.8	40.3
5	HORNO TRAT. HTT-01	FUNDICION	31	32	30	15	28	28	18	22	21	15	18	31	88.0	6.7	49.1
6	MEZCLADOR CON. N°1	FUNDICION	9	15	15	5	18	22	21	15	22	6	9	24	92.5	5.3	65.3
7	TORNO CNC V. TVE-04	MAESTRANZA	21	5	19	21	6	18	15	21	7	18	22	9	92.4	5.2	63.4
8	TORNO CNC V. TVE-05	MAESTRANZA	19	15	14	9	15	8	14	18	9	21	15	18	92.7	4.9	61.8
9	CENTRO M.HO. CME-05	MAESTRANZA	11	10	4	0	5	6	0	6	5	0	6	6	97.5	4.5	180.1
10	EQ. GIR. CNC CME-04	MAESTRANZA	10	6	0	5	6	6	5	0	6	0	7	5	97.7	5.1	213.1
11	MANDRINO MAN-01	MAESTRANZA	9	8	6	0	5	6	6	8	4	3	9	11	96.9	5.8	178.8
12	TORNO CNC G CNC-04	MAESTRANZA	8	11	5	9	0	6	0	5	6	6	8	0	97.3	5.3	194.7
13	FRESAD CNC FRE-03	MAESTRANZA	9	10	3	5	9	0	6	0	5	6	6	10	97.1	6.3	211.9
14	ROUTER N° 6	MODELERIA	12	12	5	0	6	5	5	9	5	4	7	9	96.7	6.6	193.4
15	VARIADOR VAR-01	MONTAJE	9	19	8	17	15	17	9	6	13	15	9	16	93.6	4.1	60.7
16	PUENT GRUA GRU-01	SERVICIO	23	16	9	18	8	18	19	9	7	12	8	6	93.6	3.7	54.8
17	PUENT GRUA GRU-02	SERVICIO	19	20	19	8	17	15	17	9	6	13	15	8	93.1	4.5	60.4
18	SUB ESTACION SUB-02	SERVICIO	17	17	16	9	18	18	6	19	9	7	12	17	93.1	4.1	55.9
19	GRUPO ELEC. GEL-01	SERVICIO	17	9	19	19	8	17	15	17	9	6	13	15	93.2	7.5	101.6
20	MONTACARG MON-01	SERVICIO	21	17	19	16	9	18	8	6	19	9	7	12	93.3	4.9	67.8
21	GRUPO ELEC. GEL-02	SERVICIO	19	8	17	15	17	9	6	13	15	15	17	8	93.4	7.2	101.9
22	ARRANCADOR ARR-01	SERVICIO	16	9	18	8	6	19	9	7	12	18	17	15	93.6	8.1	118.2

23	GRUPO ELEC. GEL-03	SERVICIO	17	19	8	17	15	17	9	6	13	15	17	9	93.3	6.8	93.3
24	MONTACARG MON-02	SERVICIO	19	16	9	18	8	12	19	9	7	8	17	6	93.8	4.2	64.3
25	APILADORA API-01	SERVICIO	9	18	8	6	8	9	15	21	22	9	18	8	93.7	4.6	68.2
DISPONIBILIDAD MES		(%)	92.4	92.5	93.7	94.2	94.1	93.5	94.1	94.6	94.0	94.5	93.3	93.6		MTTR PROM	MTBF PROM
DISPONIBILIDAD 2018		(%)	93.7												5.9	105.2	

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 11. Modelo Media Disponibilidad de máquinas 2018.



Fuente: Elaboración propia.

La Disponibilidad de planta en el año 2018 según modelo de “Baja Disponibilidad” se muestra en la siguiente tabla 28.

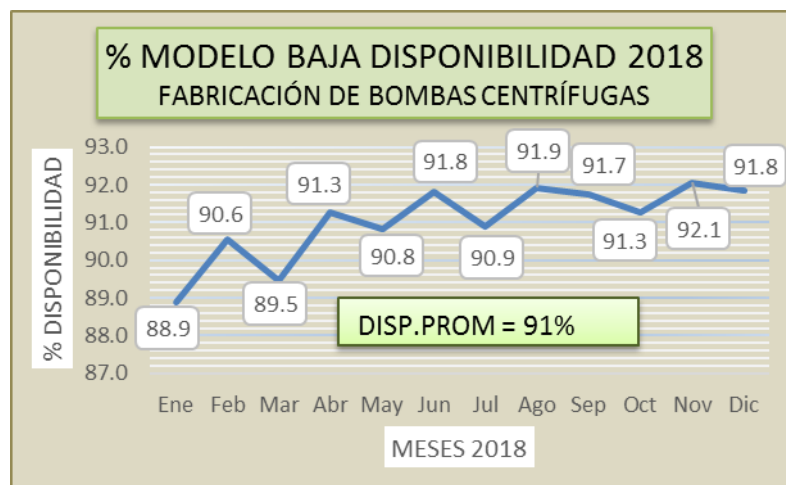
Tabla 28. Modelo Baja Disponibilidad de máquinas 2018.

DISPONIBILIDAD DE MAQUINAS - MODELO BAJA DISPONIBILIDAD 2018														META 88-92%			
IT	MAQUINA	LINEA	HORAS PARADAS MENSUAL POR MAQUINA												Disp	MTTR	MTBF
			Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic			
BAJA DISPONIBILIDAD																	
1	TORRE ENFR.TEN-01	FUNDICION	28	28	30	28	24	28	31	24	27	28	25	26	86.4	14.9	94.2
2	TORRE ENFR.TEN-02	FUNDICION	30	24	37	24	33	24	32	24	25	18	24	22	86.8	15.1	99.2
3	SISTEMA BASC. H1	FUNDICION	34	12	28	24	28	30	28	24	28	31	24	25	86.8	10.2	67.2
4	SISTEMA BASC. H2	FUNDICION	29	28	34	28	24	28	34	24	27	28	25	26	86.0	10.5	64.5
5	HORNO IND. HOR-03	FUNDICION	28	30	43	24	28	21	28	24	20	24	24	22	86.8	13.7	90.6
6	HORNO GAS HTT-03	FUNDICION	18	12	10	9	16	8	18	9	14	9	8	4	94.4	13.5	226.5
7	HORNO DE IND N° 4	FUNDICION	18	13	22	9	18	14	9	16	8	15	3	9	93.6	17.1	249.6
8	HORNO DE IND N° 5	FUNDICION	16	5	21	12	12	7	12	6	7	16	8	4	94.8	12.6	227.4
9	COQUILLADORA	FUNDICION	17	9	15	9	18	17	15	8	9	13	4	8	94.1	17.8	282.3

10	TOLVA PRENS TPV-01	FUNDICION	16	13	16	16	23	11	9	8	14	15	7	4	93.7	15.2	224.8
11	TOLVA PRENS TPV-02	FUNDICION	15	5	18	14	10	8	12	6	8	13	2	9	95.0	10.9	207.3
12	MEZCL CONT MEZ-02	FUNDICION	15	9	15	8	9	9	8	14	9	12	4	9	95.0	13.4	253.2
13	MINICARGAD MIN-01	FUNDICION	14	12	15	16	8	9	12	4	8	12	7	4	95.0	12.1	227.9
14	MEZCLADOR MEZ-01	FUNDICION	17	10	23	9	15	12	8	8	13	15	0	9	94.2	17.4	282.6
15	HORNO ELEC HOR-05	FUNDICION	12	9	12	9	11	9	11	9	0	9	4	0	96.0	8.6	209.5
16	TORNO CNC N°1	MAESTRANZA	34	21	32	24	28	27	28	31	24	27	28	25	86.3	7.8	49.3
17	TORNO CNC N°2	MAESTRANZA	35	34	28	30	23	28	24	28	30	28	24	26	85.9	7.9	48.0
18	TORNO CNC N°3	MAESTRANZA	35	28	31	28	33	27	28	24	28	31	24	21	85.9	8.0	49.1
19	CENTRO MEC. CME-01	MAESTRANZA	33	31	36	28	31	24	27	28	28	28	28	27	85.5	8.3	48.8
20	CENTRO MEC. CME-02	MAESTRANZA	32	30	28	24	28	26	28	24	28	32	28	30	85.9	6.8	41.2
21	CENTRO MEC. CME-03	MAESTRANZA	38	36	30	28	29	28	31	24	28	33	28	28	85.0	9.3	52.3
22	TORNO CONV. TOR-10	MAESTRANZA	12	15	16	8	5	14	12	6	4	12	11	9	94.8	15.5	284.5
23	TORNO CONV. TOR-11	MAESTRANZA	17	13	9	6	8	8	16	9	4	8	4	6	95.5	10.8	229.2
24	TORNO CONV. TOR-12	MAESTRANZA	24	18	12	5	15	8	12	4	13	9	6	8	94.4	12.2	206.0
25	TORNO CONV. TOR-13	MAESTRANZA	19	12	8	8	5	4	13	9	6	8	12	4	95.5	12.0	254.7
26	TORNO CONV. TOR-14	MAESTRANZA	16	9	15	7	4	13	9	9	8	11	8	9	95.1	11.8	228.2
27	TORNO CONV. TOR-15	MAESTRANZA	23	8	12	8	9	4	11	7	8	8	7	6	95.4	13.9	286.1
28	TORNO CONV. TOR-16	MAESTRANZA	13	9	14	4	13	9	10	8	13	8	9	4	95.3	10.4	207.8
29	TORNO CONV. TOR-17	MAESTRANZA	18	9	11	5	16	0	4	13	9	9	8	8	95.4	9.2	190.8
30	TRANSFORM TRA-01	SERVICIO	25	18	24	23	24	19	24	25	18	24	23	23	88.8	11.3	88.8
31	MONTACAR MON-03	SERVICIO	26	22	26	27	30	26	25	26	22	26	27	25	87.2	7.5	51.0
32	ROUTER ROU-01	MODELERIA	25	18	24	23	24	19	24	25	18	24	23	23	88.8	6.1	48.4
33	ROUTER ROU-02	MODELERIA	24	25	18	24	21	24	19	24	25	18	24	25	88.7	6.3	49.5
34	ROUTER ROU-03	MODELERIA	28	24	23	24	19	24	25	18	24	23	24	23	88.4	6.3	48.2
35	ROUTER ROU-04	MODELERIA	25	24	25	18	25	21	24	19	24	25	18	23	88.7	6.0	47.3
36	ROUTER ROU-05	MODELERIA	23	24	26	24	18	14	13	19	24	17	24	21	89.7	5.4	46.8
37	SOLDADTIG SOL-01	MONTAJE	25	27	24	16	24	19	24	25	18	24	16	25	88.9	5.9	47.4
38	HORNO ELECT HTE-01	MONTAJE	26	19	13	19	25	14	15	18	14	13	19	25	90.8	5.8	57.4
39	HORNO ELECT HTE-02	MONTAJE	32	23	26	25	30	26	25	26	23	26	25	26	87.0	6.4	42.6
40	BALANCEAD. BAL-01	MONTAJE	26	18	13	19	25	14	15	18	14	13	19	24	90.9	4.4	43.6
41	BALANCEAD. BAL-02	MONTAJE	19	24	19	24	18	14	13	19	24	19	24	25	89.9	4.7	42.3
42	HORNO ELECT HTE-06	MONTAJE	24	12	21	21	6	10	15	11	8	10	11	13	93.3	14.7	203.5
43	HORNO ELECT HTE-07	MONTAJE	18	9	11	13	9	6	8	13	9	9	8	9	94.9	12.2	227.8
44	BRAZO TRIDIM BRA-01	CALIDAD	15	19	14	17	19	16	13	21	14	17	20	16	91.6	6.3	68.7
DISPONIBILIDAD MES		(%)	88.9	90.6	89.5	91.3	90.8	91.8	90.9	91.9	91.7	91.3	92.1	91.8		MTTR PROM	MTBF PROM
DISPONIBILIDAD 2018		(%)	91.0													10.4	138.6

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 12. Modelo Baja Disponibilidad de máquinas 2018.



Fuente: Elaboración propia.

La Disponibilidad de planta en el año 2018 según Modelo Correctivo se muestra en la siguiente tabla 29.

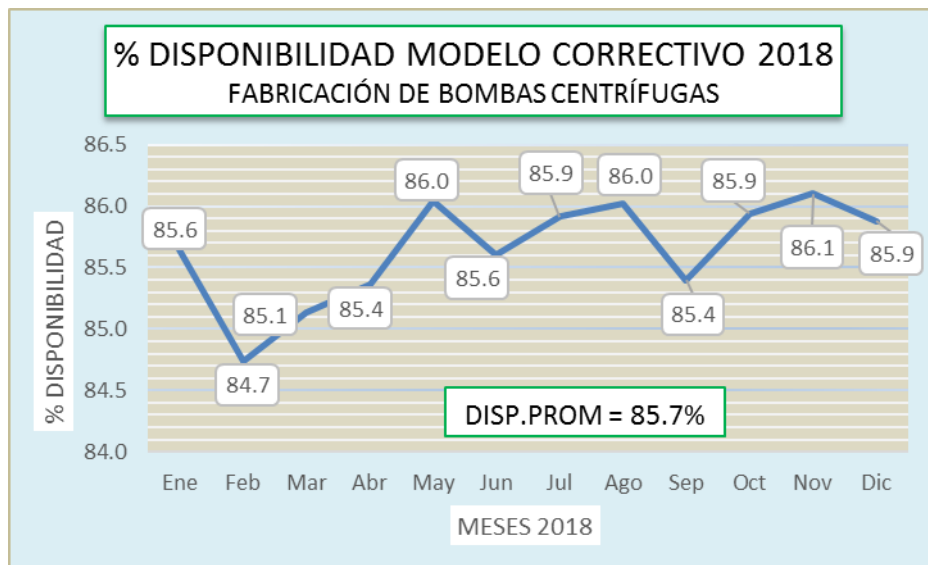
Tabla 29. Modelo Correctivo de máquinas 2018.

DISPONIBILIDAD DE MAQUINAS - MODELO CORRECTIVO 2018															META 84-88%		
IT	MAQUINA	LINEA	HORAS PARADAS MENSUAL POR MAQUINA												Disp	MTRR	MTBF
			Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic			
CORRECTIVO																	
1	CALENT. CAY CCA-01	FUNDICION	30	27	31	30	32	30	28	29	28	31	25	29	85.4	7.3	42.7
2	HORNO TRAT. HTT-02	FUNDICION	32	31	30	32	28	30	26	27	29	27	26	24	85.8	7.0	42.0
3	CORTE PLASMA N°1	FUNDICION	33	26	29	28	29	21	23	29	28	31	40	26	85.7	6.9	41.1
4	MEZC PINTU.MEZ-03	FUNDICION	29	28	29	21	29	29	28	24	28	26	25	28	86.5	6.4	40.7
5	MEZCLADOR MEZ-04	FUNDICION	33	31	34	33	29	32	28	29	24	28	23	29	85.3	6.8	39.4
6	DESGASIFICADORA	FUNDICION	32	29	21	29	34	29	29	28	31	25	29	24	85.8	6.4	38.9
7	SISTEMA BASIC H3	FUNDICION	29	28	29	21	29	29	27	29	27	26	24	22	86.7	5.9	38.5
8	SOLD MIG M SOL-02	FUNDICION	29	28	29	21	29	34	29	29	28	31	25	29	85.8	6.2	37.4
9	SOLD TIG SOL-03	FUNDICION	26	29	28	31	25	29	24	27	29	27	26	24	86.5	5.8	37.1
10	SOLD ARCO SOL-04	FUNDICION	27	27	29	27	26	24	29	29	28	31	23	26	86.4	5.7	36.4
11	TORNO VER TVE-01	MAESTRANZA	30	27	26	29	23	26	28	24	28	26	25	28	86.7	5.5	35.9
12	TORNO VER TVE-02	MAESTRANZA	30	39	28	26	25	30	28	30	18	28	23	29	86.1	7.6	47.0
13	TORNO VER TVE-03	MAESTRANZA	34	29	24	28	23	29	30	22	31	30	32	30	85.8	6.2	37.4
14	TORNO CONV. TOR-01	MAESTRANZA	30	26	30	32	31	31	25	30	32	31	31	25	85.3	6.6	37.9
15	TORNO CONV. TOR-02	MAESTRANZA	30	28	31	30	32	30	25	31	30	32	30	25	85.3	6.6	37.9
16	TORNO CONV. TOR-03	MAESTRANZA	32	31	30	32	30	29	30	30	32	30	29	30	84.8	7.6	42.4
17	TORNO CONV. TOR-04	MAESTRANZA	32	28	30	32	30	23	23	30	32	30	23	34	85.5	6.3	37.3

18	TORNO CONV. TOR-05	MAESTRANZA	31	30	32	30	28	30	36	32	30	28	30	36	84.5	6.4	34.9
19	TORNO CONV. TOR-06	MAESTRANZA	30	28	31	29	32	30	29	31	29	32	30	29	85.0	7.5	42.5
20	TORNO CONV. TOR-07	MAESTRANZA	26	30	32	31	30	32	30	32	31	30	32	30	84.8	6.7	37.0
21	TORNO CONV. TOR-08	MAESTRANZA	32	31	30	32	30	23	26	30	29	30	23	26	85.8	6.6	39.6
22	TORNO CONV. TOR-09	MAESTRANZA	26	30	32	31	29	32	30	32	31	29	32	30	84.8	8.5	47.3
23	CORTE POR HILO N°1	MAESTRANZA	30	32	31	30	32	22	34	31	30	32	22	34	85.0	7.7	43.4
24	CORTE POR HILO N°2	MAESTRANZA	26	30	32	31	30	32	30	32	31	30	32	30	84.8	7.0	39.1
25	FRESADORA N°1	MAESTRANZA	30	34	30	32	30	31	29	30	32	30	31	29	84.7	6.9	38.3
26	FRESADORA N°2	MAESTRANZA	40	31	30	32	24	30	27	30	32	24	30	27	85.1	6.9	39.3
27	HORNO ELEC HTE-03	MONTAJE	26	30	40	31	30	32	30	32	31	30	29	30	84.5	8.2	45.1
28	REBOBINAD REB-01	MONTAJE	28	24	30	28	31	28	25	30	28	31	28	25	86.0	7.5	45.9
29	VARIADOR VAR-02	MONTAJE	23	28	24	30	32	28	31	24	30	32	28	31	85.8	9.7	58.8
DISPONIBILIDAD MES		(%)	85.6	84.7	85.1	85.4	86.0	85.6	85.9	86.0	85.4	85.9	86.1	85.9		MTTR PROM	MTBF PROM
DISPONIBILIDAD 2018		(%)	85.6												6.9	40.7	

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 13. Disponibilidad de máquinas Modelo Correctivo 2018.



Fuente: Elaboración propia.

Los indicadores implementados en la fábrica de bombas centrífugas están basados en los niveles de servicio y de costos. En los niveles de

servicio se tiene ya calculados como son; la disponibilidad, la mantenibilidad y la confiabilidad relacionados con el MTBF y el MTTR, en el siguiente cuadro se complementa los siguientes indicadores.

Tabla 30. Modelo Correctivo de máquinas 2018.

INDICADORES DE GESTION DE MANTENIMIENTO																
IT	INDICADOR	AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	PROM	%VARIACION
1	MAQ PARADAS /DIA	2017	12	8	9	11	10	9	12	10	11	9	11	12	10.3	5.6%
		2018	10	12	11	10	11	10	12	11	10	12	10	12	10.9	
2	HRS PARADAS /N° FALLAS MES	2017	7	8	7	7	8	7	7	6	7	7	6	7	7.0	1.2%
		2018	7	8	7	8	7	7	8	7	6	7	6	7	7.1	
3	% OT CORRECT. /OT TOTAL	2017	74	75	69	70	72	68	65	69	71	65	73	65	69.7	-4.2%
		2018	65	68	65	69	70	65	65	68	65	69	70	62	66.8	
4	% OT PREVENT. /OT TOTAL	2017	21	20	22	19	20	21	20	20	22	19	20	20	20.3	15.2%
		2018	23	22	20	23	20	24	26	23	27	25	25	23	23.4	
5	% OT URGENTE /OT TOTAL	2017	4.6	3.9	3.1	4.8	2.9	4.1	3.2	2.3	2.8	4.8	2.9	4	3.6	-48.6%
		2018	2.7	2	2.2	2.1	1.5	1.9	1.3	2.1	1.9	1.3	2.1	1.2	1.9	
6	% OT EJECUTADO /OT TOTAL	2017	95	96	95	94	95	96	96	95	96	93	95	96	95.2	3.2%
		2018	97	98	97	98	99	99	98	99	98	98	98	99	98.2	
7	TON PRODUCIDO /MES	2017	9.1	10	10.5	10.3	10.8	11.3	11.8	12.3	11.8	12.2	12.4	13	11.3	59.3%
		2018	12.5	13.4	14.3	15.2	17	16.4	18.9	18.8	22.8	20.6	23.1	22.8	18.0	
8	\$ VENTAS / KG PRODUCIDO	2017	43	41	49	47	39	49	43	43	41	49	47	52	45.3	28.2%
		2018	49	51	54	51	56	59	65	62	63	64	59	63	58.0	
9	\$ PRODUCCION / KG PRODUCIDO	2017	41	39	46	46	37	46	41	41	39	47	45	49	43.1	29.2%
		2018	46	49	52	49	53	56	62	60	61	62	57	61	55.7	
10	\$ MANTTO / KG PRODUCIDO	2017	3.3	3	3.1	3.2	3	3.2	3	3.2	3.3	3.2	3.1	3	3.1	-3.5%
		2018	3.1	3	3.1	3	3.1	3	3	3.1	3.1	3	2.9	2.9	3.0	
11	\$ ENERGIA / KG PRODUCIDO	2017	3.3	3.2	3.4	3.2	3.3	3.3	2.9	3.3	3.1	3.2	3.2	2.9	3.2	-26.9%
		2018	2.6	3	2.5	2.7	2.2	2.4	2.1	1.9	2.5	2	2.2	1.9	2.3	

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 30. El indicador Número promedio de máquinas paradas por día se incrementó en un 5.6%, como meta debería bajar, pero como se ha incrementado 26 máquinas en el 2018, debe hacerse seguimiento.

2.4 Definición de términos básicos

- a. **Mantenibilidad de equipos:** mide las actividades realizadas por el área de mantenimiento sobre las máquinas y equipos, que consiste en reparaciones y actividades proactivas, bajo las condiciones planeadas. Se determina de la relación del volumen de trabajo de las reparaciones o actividades planeadas y los tiempos efectivos de ejecución. El objetivo es reducir el tiempo al mínimo con los recursos adecuados para que el costo sea menor.
- b. **Confiabilidad de equipos:** mide las actividades que realiza producción respecto al manejo y operación de las máquinas y equipos, se determina de las medidas básicas en que se apoya, que son los tiempos y cantidades de falla de las máquinas y equipos. El objetivo es alargar el tiempo al máximo entre reparaciones promedio.
- c. **Disponibilidad:** representa la relación obtenida en porcentaje entre el tiempo útil efectivo entre el tiempo total disponible de la máquina o equipo. Este componente está diseñado para tomar en cuenta sólo lo relacionado con el tiempo disponible, excluyendo los paros programados de producción y los eventos de calidad y desempeño.
- d. **Criticidad de equipo:** está basada en una fórmula que relaciona la frecuencia de falla por su consecuencia, y se estima un valor para cada máquina o equipo.
- e. **Frecuencia de falla:** son las veces que falla cualquier componente, máquina o equipo del sistema en una unidad de tiempo. La tendencia es reducir al mínimo posible.

- f. Impacto productivo: es el porcentaje de producción que se afecta cuando ocurre la falla, incluyendo lucro cesante. Se usa para el cálculo de la criticidad de máquina o equipo.
- g. Nivel de repuestos críticos: es la capacidad que se tiene para atender cuando ocurre la falla, tiene un valor alto cuando el repuesto es especial o importado. Se usa para el cálculo de la criticidad de máquina o equipo.
- h. Impacto Costo de reparación: es la magnitud del costo promedio de la suma de los costos de las horas hombre, materiales, herramientas y el servicio de tercero si hubiera. Se usa para el cálculo de la criticidad de máquina o equipo.
- i. Impacto de Calidad: se trata de la magnitud de la posibilidad de ocurrencia de eventos en que la pieza producida resulte rechazado o reprocesado. Se usa para el cálculo de la criticidad de máquina o equipo.
- j. Impacto en seguridad: magnitud del costo incurrido de la posibilidad de ocurrencia de eventos no deseados con daños a personas, materiales y a las máquinas o equipos involucrados. Se usa para el cálculo de la criticidad de máquina o equipo.
- k. Consecuencia de falla: es el producto del impacto productivo por el nivel de repuestos críticos más el impacto del costo de reparación, más el impacto seguridad y más el impacto de calidad. Se usa para el cálculo de la criticidad de máquina o equipo.
- l. Calidad en mantenimiento: es aquel que proporciona la satisfacción total de las necesidades de producción en lo referente a servicio y costo, para el caso del nivel de servicio la disponibilidad es el indicador más

importante que está dado por la proporción del tiempo en que la maquina o equipo está en condiciones de producir.

- m. Mantenimiento Menor. - Actividades realizadas por el operario mediante instructivos de operación de cada máquina que son entregadas en su ingreso y capacitadas y entrenados en su periodo de inducción, y a los operarios actuales mediante capacitación y entrenamiento. Estas consisten en ejecutar tareas básicas de orden y limpieza de la máquina y ajustes menores, que en un principio podrían ser las causas de grandes fallas más adelante si no se controlan, generándose fricción, aflojamientos, desgastes y vibración en el peor de los casos.
- n. Lubricación. - Actividad realizada por técnicos de mantenimiento y operarios capacitados y entrenados en las máquinas que van a operar, de acuerdo a la característica y cantidad a aplicar ya sea en recipiente o local, para asegurar la operación realizado la función del lubricante que es de limpiar, refrigerar, lubricar, y sellar en algunos casos cuando se trate de elementos hidráulicos como pistones, bombas y motores hidráulicos.
- o. Inspecciones visuales. - Actividad realizada por técnicos de mantenimiento y operarios capacitados y entrenados en las máquinas que van a operar, en caso del operario se debe realizar con la maquina apagada, encendida y al finalizar la labor, durante la operación de a máquina deben estar pendientes de olores y ruidos fuera de lo normal.
- p. Reparación de averías. - En caso de avería de una máquina esta debe ser atendida de manera más rápida y segura posible, para ello se debe contar con herramientas especiales si fuera posible para algunos trabajos especiales, hay dos formas de atender el servicio una definitiva con la reparación completa, restableciendo las condiciones iniciales de la máquina, y la otra, de manera parcial para no detener demasiado el

proceso y evitar el mayor lucro cesante, hasta que se dé un espacio de tiempo donde se pueda resolver la avería definitivamente. No solamente hay que tener las herramientas adecuadas sino también prever los repuestos cíclicos de recambios que frecuentemente se cambian. N el caso de máquinas importantes y críticas se recomienda tener los repuestos y las herramientas lo más cercano posible y evitar demasiado tiempo en la reparación.

- q. Mantenimiento condicional. - Actividad programada de mantenimiento que consiste en evaluar el estado de la máquina mediante pruebas de operación e inspección más minuciosa que si encuentran anomalías se deben de reprogramar cuando se tengan los materiales y repuestos para su atención, si todo está bien no se reprograma ninguna actividad.
- r. Mantenimiento preventivo sistemático. - Actividad programada de mantenimiento que consiste en realizar tareas sistemáticas establecidas y definidas mediante el manual de máquinas o experiencia de los técnicos más experimentados, que no necesariamente tienen que ver con el tiempo que lleva operando o el estado de las partes y piezas sobre los que se trabaja, a diferencia del mantenimiento condicional que para realizar una tarea debe presentarse algunos indicios de falla.
- s. Mantenimiento mayor. - Actividad programada de mantenimiento que consiste en ejecutar tareas predictivas previas para analizar el estado de la máquina, garantizando su operatividad, y además del cambio de repuestos que les tocan durante el próximo año de tal manera que dé continuidad a la operación de la máquina y se tenga una confiabilidad alta, mayor al 96%.
- t. Modelo de Mantenimiento Correctivo: Este modelo es aplicable a equipos con más bajo nivel de criticidad, cuyas fallas presentadas no afectan a la producción, ni económico ni técnico, en este equipo no es

necesario dedicar mayor esfuerzo ni recurso, su disponibilidad está comprendida entre el 84% y el 88%, y comprende mantenimiento menor, Lubricación, Inspecciones visuales y Reparación de averías.

- u. Modelo de Mantenimiento de Baja Disponibilidad o Condicional: Este modelo es aplicable a equipos de poco uso, que a pesar de ser importante en el sistema de producción tiene baja probabilidad de falla, incluye las actividades del modelo anterior y la realización de pruebas y ensayos que condicionaran un trabajo posterior, si se descubre una anomalía se programara su intervención, su disponibilidad está comprendida entre el 88% y el 92%, y comprende: Mantenimiento menor, Lubricación, Inspecciones visuales, Reparación de averías y Mantenimiento condicional.
- v. Modelo de media disponibilidad o sistemático: Este modelo es aplicable a equipos de disponibilidad media, de cierta importancia en el sistema de producción, y cuyas averías causan algún trastorno, incluye las actividades del modelo anterior y un conjunto de tareas que se realizaran sin importar la condición del equipo, su disponibilidad está comprendida entre el 92 y el 96%, y comprende: Mantenimiento menor, Lubricación, Inspecciones visuales y Reparación de averías, Mantenimiento condicional y Mantenimiento preventivo sistemático.
- w. Modelo de alta disponibilidad: Este modelo es el más exigente y aplicable a equipos de disponibilidad que está comprendida entre el 96 y el 100%, la razón principal es el alto costo de producción que tiene una avería, para mantener estos equipos hay que usar técnicas de mantenimiento predictivo que nos permita conocer el estado del equipo en marcha con paradas programadas generalmente anuales. En estas paradas de mantenimiento mayor se cambian las piezas que posiblemente fallen en el curso de un año, se preparan con tiempo, y no necesariamente son las mismas tareas todos los años. En este modelo

se tiende a ser cero averías, y comprende: Mantenimiento menor, Lubricación, Inspecciones visuales y Reparación de averías, Mantenimiento condicional, Mantenimiento preventivo sistemático y Mantenimiento mayor.

- x. Mantenimiento legal: Equipos que están sometidos a normativas legales o regulaciones por parte de la administración, sobre todo las que competen a seguridad de los trabajadores e instalaciones.
- y. Mantenimiento de terceros especialista: El servicio de mantenimiento se realiza por un especialista, al no tener los recursos suficientes y necesarios, debiendo ser lo mínimo necesario, ya que generalmente es la más cara.
- z. Procesos orientados al mejoramiento continuo: Consiste en buscar alternativas de mejora en las actividades y procesos de operación y/o mantenimiento de máquinas, mediante aplicaciones de herramientas como, kaizen, just in time, círculos de calidad, diagrama causa efecto, entre otros, llegando a obtener reducción de tiempos, número de secuencia, que inciden en el costo del mismo.
- aa. Mantenimiento autónomo: se basa en actividades realizadas por el operario de la máquina, referidas a la inspección y actividades simples antes, durante y después de operar la máquina.
- bb. Mejora enfocada: actividad realizada por equipo de trabajo interdisciplinarios formados en técnicas de resolución de problemas, que se enfocan principalmente en la efectividad y eliminación de pérdidas.
- cc. Acción paliativa: actividad realizada de manera rápida para restablecer la operatividad de la máquina, se encarga poner operativo el equipo en el menor tiempo posible, garantizando su operación hasta la próxima parada.

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1 Hipótesis

3.1.1 Hipótesis general.

La propuesta de un Modelo de gestión de mantenimiento en una planta de fabricación de bombas centrífugas incidirá favorablemente en el incremento de la disponibilidad de las máquinas.

3.1.2 Hipótesis específicas.

- a. La identificación de las máquinas críticas, influye significativamente en la disponibilidad de máquinas de una planta de fabricación de bombas centrífugas.
- b. El plan de capacitación y entrenamiento del personal involucrado, influye significativamente en la disponibilidad de máquinas de una planta de fabricación de bombas centrífugas.
- c. La implementación de nuevas técnicas de mantenimiento, influye significativamente en la disponibilidad de máquinas de una planta de fabricación de bombas centrífugas.

3.2 Definición conceptual de variables.

Variable Independiente. - Gestión de Mantenimiento: Proceso que involucra estado de las maquinas en operación, la capacitación y

entrenamiento del personal operativo y de mantenimiento y el uso de técnicas de mantenimiento, los cuales influyen en la forma de operación de las máquinas y la producción de la planta de fabricación de bombas centrifugas.

Variable Dependiente. – Disponibilidad de máquinas: Cantidad de tiempo disponible de las máquinas para la producción, debiendo evitarse las paradas imprevistas, según la gerencia de la planta se considera adecuado para la rentabilidad de la empresa una disponibilidad de máquinas mayor al 95% en los próximos cinco años. Para el cálculo se toma en consideración la confiabilidad, la mantenibilidad, el número de máquinas paradas y el tiempo promedio de parada de máquina.

Variable dependiente: $Y =$ Incremento de la disponibilidad de máquinas de una planta de fabricación de bombas centrifugas.

Dimensiones.

- ✓ Disponibilidad de máquinas.
- ✓ Confiabilidad.
- ✓ Mantenibilidad.
- ✓ Maquinas paradas.
- ✓ Tiempo de paradas.
- ✓ Indicadores de gestión.

Variable independiente: $X.=$ Gestión de mantenimiento de las maquinas en una planta de fabricación de bombas centrifugas.

Dimensiones.

- ✓ Maquinas críticas por línea.
- ✓ Capacitación y Entrenamiento del personal.
- ✓ Técnicas de mantenimiento.

3.2.1 Operacionalización de variable.

Definición operacional de la variable.

$$Y = f(X).$$

Tabla 31. Operacionalización de variables.

OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES			METODOLOGÍA	
V1: INDEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES		
Gestión de Mantenimiento.	Máquinas Críticas	N° de máquinas críticas por línea	Tipo de Investigación: Aplicada. Diseño: El diseño es no experimental Nivel: Longitudinal de tendencia	
	Capacitación y entrenamiento	N° personas no capacitadas y entrenadas. Nivel de conocimientos. Nivel de aprendizaje		
	Técnicas de Mantenimiento	Mantenimiento Preventivo. Mantenimiento Predictivo. Mantenimiento Correctivo. Mantenimiento Autónomo		
V2: DEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES		
Disponibilidad de Máquinas	Disponibilidad	MTBF / (MTBF + MTTR)	Población: Maquinas de la planta de fabricación de bombas centrifugas Muestra: Máquinas críticas e importantes de la planta	
	Confiabilidad	MTBF		
	Mantenibilidad	MTTR		
	Maquinas Paradas	N° Maq. Paradas / Día		
	Tiempo promedio de Paradas	Horas paradas Maq./N° fallas		
	Indicadores de gestión			% OTs Correctivos / Total OTs
				% OTs Preventivos / Total OTs
				% OTs Urgentes / Total OTs
				% OTs ejecutadas / Total lanzadas
				Producción (Ton/mes)
		\$ Ventas/ton.mes \$ Producción/ton.mes. \$ Mantenimiento/ton.mes \$ Energía/ton.mes		

Fuente: elaboración propia.

IV. DISEÑO METODOLOGICO.

4.1 Tipo y diseño de la investigación.

Según Cegarra (2011, p.42), sostiene que “la investigación aplicada comprende el conjunto de actividades que tienen por finalidad el descubrir o aplicar conocimientos científicos nuevos, que pueden realizarse en productos y en procesos nuevos utilizables”.

La investigación utilizada fue del tipo aplicada, se relacionó con el uso de las teorías del conocimiento y tecnologías modernas de la gestión de mantenimiento en la mejora de la disponibilidad de máquinas.

El diseño de investigación puede ser experimental y no experimental, y los diseños no experimentales; transeccionales y longitudinales. En el diseño no experimental longitudinal de tendencia, se investiga la serie tiempo de la variable, midiendo su variación temporal. (Tam, Vera, y Oliveros, 2008, p.149).

En nuestro caso el diseño de investigación es no experimental, longitudinal de tendencia, ya que se realizan recolección de datos para calcular la disponibilidad de máquina mensualmente durante el periodo de dos años.

4.2 Método de investigación.

La investigación desarrollada del tipo aplicada y de diseño no experimental, longitudinal de tendencia, tuvo las siguientes etapas; el planeamiento y definición del tema, la organización en la empresa, la

recolección de datos mensualmente, análisis y evaluación de datos e información de los resultados, el alcance de la investigación viene a ser descriptivo, por la experiencia y la información obtenida sirve como referencia para otros trabajos de investigación.

Para el desarrollo de la investigación se ha utilizado información cuantitativa y cualitativa, de las ordenes de trabajo ejecutadas diariamente, para las diferentes maquinas se registraron las horas paradas por máquina resumiendo mensualmente para obtener la disponibilidad de maquina del mes, de la misma forma esta información cuantitativa se utilizo para el cálculo de la disponibilidad mensual y anual, en cuanto a la información cualitativa esta fue utilizada de las encuestas de los trabajadores de mantenimiento y operaciones para la selección de las maquinas críticas, y a la vez para la selección del modelo de mantenimiento que se le realizo a las maquinas y equipos, con el objetivo de incrementar la disponibilidad total de las máquinas de la planta de fabricación de bombas centrifugas.

Los factores considerados para desarrollar el tema, fueron de mi interés y capacidad de conocimientos del tema, además de contar con la disponibilidad de los recursos y el tiempo necesario.

Asimismo, se contó con los requisitos exigidos para el desarrollo del diseño de investigación y la consideración de la utilidad del tema.

4.3 Población y muestra.

Para la presente investigación se ha tomado dos tipos de población y muestra, que nos ayudan con la recolección de información y datos.

La primera viene a estar dado por el personal involucrado del área de operaciones y mantenimiento, que participaron en la encuesta para definir la criticidad de las máquinas. En total fueron 16 personas.

La segunda población está dada por las máquinas, equipos e instalaciones de las tres plantas de la empresa en estudio, con diferentes muestras; para la evaluación de la criticidad de máquinas participaron todas las 108 máquinas y equipos. Para el cálculo de la disponibilidad de máquinas para el año 2017 se tomó la muestra de 76 máquinas y equipos, 32 máquinas no se consideraron por ser no rentables su servicio, el operario en este caso se hizo responsable del equipo. Y para el año 2018 se tomó en 102 máquinas, ya que se incrementaron 26 nuevas máquinas ese año para sus procesos.

4.4 Lugar del estudio.

El lugar de estudio de investigación se encuentra ubicado en la ciudad de Lima, Perú.

4.5 Técnicas e instrumentos para la recolección de la información.

El trabajo se desarrolló principalmente con la información primaria alcanzada por el personal del área de mantenimiento de la empresa de fabricación de bombas centrífugas. Esta información consiste en el historial de paradas de máquinas y equipos de las tres plantas de producción ubicadas en la zona norte de Lima, durante los años 2017 y 2018.

Se utilizó adicionalmente la Encuesta como instrumento de recolección de datos mediante cuestionarios acordes referentes a selección de

criticidad de máquinas, capacitación y entrenamiento de los modelos de mantenimiento.

Entrevista mediante vía personal, telefónica, correo e internet.

Observación mediante medios electrónicos y personal directo.

Lista de chequeo de estado de máquina.

Se recoge las estadísticas de falla, que se encuentra presente en la empresa en estudio, dado que se ha recogido información de 02 años aproximadamente, procediendo al análisis del proyecto integral de las instalaciones en planta considerando la data de los componentes que producción entrega mensualmente.

Se utilizaron los siguientes instrumentos, herramientas y métodos:

- Análisis de criticidad de máquinas.
- Encuesta realizada a personal de planta sobre criticidad de máquinas.
- Modelo de mantenimiento a usar para cada máquina, según estructura del marco teórico.
- Evaluación de disponibilidad en base a las órdenes de trabajo de mantenimiento.

4.6 Análisis y procesamiento de datos.

Se ha considerado realizar la secuencia siguiente para elaborar la estrategia de la investigación.

- Delimitación del problema a investigar, de disponibilidad de máquinas y gestión de mantenimiento.

- Revisión de las bases teóricas relacionados a la disponibilidad de máquinas y la gestión de mantenimiento.
- Recopilar y analizar antecedentes de tesis nacionales e internacionales con referencia a la hipótesis del problema.
- Elaborar un programa de tareas con plazos realizables.

Analizar los resultados obtenidos del trabajo de campo, en función al Problema de Investigación, los Objetivos, la Hipótesis del estudio y el marco teórico del estudio.

El proceso del análisis de los datos se esquematiza en:

Describir el tratamiento estadístico de los datos a través de gráficos, tablas, cuadros, dibujos diagramas, generado por el análisis de los datos para determinar la criticidad de las maquinas como; máquina critica, máquina importante y máquina prescindible.

Los resultados se obtendrán de la evaluación de los datos siguientes:

- 1.- Muestra de Ordenes de trabajo de Mantenimiento de las maquinas del proceso definido 2017 a 2018. Recopilado mes a mes de cada año, separando por los modelos de mantenimiento de cada máquina o equipo.
- 2.- Encuesta a técnicos sobre criticidad de máquinas en el mantenimiento de las áreas de la planta, según el formato de encuesta elaborado en el presente estudio.
- 3.- Encuesta a los Ingenieros de producción de la línea del proceso de fabricación y criticidad de máquinas, de la misma forma según el formato de encuestas. Se tendrá las tres relaciones de máquinas y equipos definido por maquinas críticas, importantes y prescindibles.
- 4.- Reporte de instalación de las nuevas máquinas con tecnología de punta, que por un lado le va a dar mayor rentabilidad al disminuir los tiempos de proceso de operación, y en otros casos le dará confiabilidad

al proceso al tener maquinaria de respaldo de stand by, y en consecuencia se obtendrá una mayor disponibilidad de máquinas en la fabricación de bombas centrifugas.

5.- Determinación de los Modelos de mantenimiento aplicado según la criticidad de las máquinas y los niveles de costos de operación y mantenimiento, así como si es afectado por la parte legal o gestionado por tercero. Esto se define de acuerdo al tipo de proceso que se aplica en la producción de bombas centrifugas, prevaleciendo el incremento de disponibilidad de máquina, los cuellos de botella, haciendo filtros de coto beneficio de las horas paradas de máquinas y el costo de reparación promedio.

6.- Se determina los modelos de mantenimiento como son; modelo de alta disponibilidad, media disponibilidad, baja disponibilidad, y modelo correctivo. Con los datos de las ordenes de trabajo se calcula la disponibilidad de máquinas para los cuatro modelos de mantenimiento del año 2017 y después de la implementación de las mejoras se realiza también el cálculo de la disponibilidad de los cuatro modelos de mantenimiento correspondiente al año 2018.

Finalmente se tendrá un cálculo de la disponibilidad de máquinas críticas, importantes y prescindibles de la planta que se encuentren en los modelos de alta, media, y baja disponibilidad, además de las maquinas prescindibles, que serán comparadas antes y después de la implementación de los modelos de mantenimiento de los equipos para la fabricación de bombas centrifugas.

Se complementa el estudio con un comparativo de los costos de mantenimiento según el año de operación, incidiendo en el nuevo modelo de gestión de mantenimiento, el cual deberá demostrar la justificación de la hipótesis.

V. RESULTADOS.

5.1 Resultados Descriptivos.

Del marco conceptual desarrollado en el capítulo 2 del presente estudio, se tienen los cálculos de las disponibilidades las máquinas y equipos, y estas son; antes (pretest) y después (postest) de implementado el nuevo modelo de gestión de mantenimiento en la planta de fabricación de bombas centrífugas correspondientes a los años 2017 y 2018 respectivamente.

5.1.1 Disponibilidad del antes (pretest) de la implementación del nuevo modelo correspondiente al año 2017, se muestra en la siguiente tabla 32.

Tabla 32. Disponibilidad Total de Planta año 2017.

CALCULO DE LA DISPONIBILIDAD DE PLANTA AÑO 2017													
Modelo Mantto 2017	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Disp
ALTA CONFIABILIDAD	94.9	95.2	94.9	95.7	94.8	95.6	94.8	95.3	95.2	95.6	94.6	95.3	95.1%
MEDIA CONFIABILIDAD	89.8	89.9	90.4	89.2	90.7	90.0	89.7	90.6	90.4	90.8	90.1	90.1	90.1%
BAJA CONFIABILIDAD	88.1	87.2	88.5	86.7	87.8	88.1	87.3	88.2	88.6	88.0	87.7	87.9	87.8%
CORRECTIVO	85.3	85.1	86.4	84.8	86.3	85.4	84.9	85.6	85.8	85.7	85.4	85.6	85.5%
DISPONIBILIDAD TOTAL 2017	87.9	87.5	88.5	87.0	88.3	88.0	87.4	88.2	88.3	88.3	87.8	88.0	87.9%
DISPONIBILIDAD TOTAL PLANTA 2017 = 87.9%													

Fuente: elaboración propia.

Valores estadísticos en el pretest.

Media: 87.9

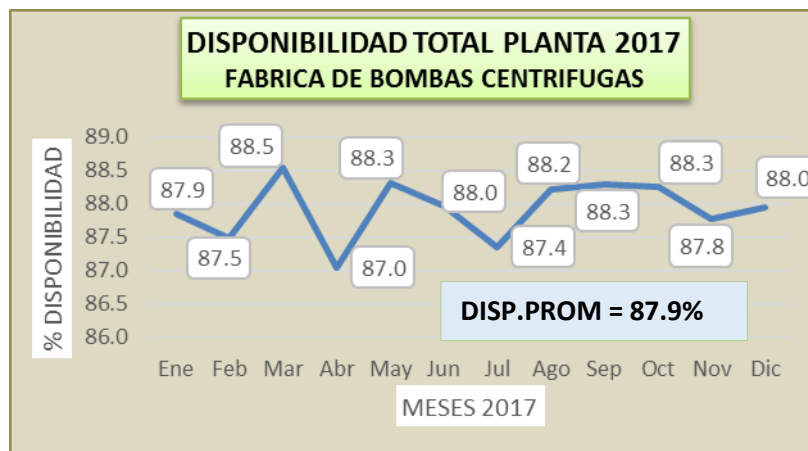
Varianza: 0.1983

Desv. estándar: 0.4454

La tendencia de la disponibilidad de planta del año 2017 se muestra en la gráfica 14, en la que se considera los tres modelos de mantenimiento de alta, media y baja confiabilidad, obteniendo un promedio de 87.9%.

Se hace mención que se está considerando las maquinas del modelo correctivo, al haber evaluado que estas máquinas inciden en los costos de la fabricación de bombas centrífugas.

Gráfico 14. Disponibilidad Total de Planta año 2017.



Fuente: Elaboración propia.

5.1.2 Disponibilidad después (postest) de la implementación del nuevo modelo correspondiente al año 2018, este resultado es consecuencia de la implementación de la mejora del modelo de gestión de mantenimiento, iniciándose con la identificación de las maquinas críticas, importantes y prescindibles, seguido de la identificación de los modelos de gestión de mantenimiento para cada equipo el cual permite utilizar los recursos de manera más efectiva, se complementa con la capacitación y entrenamiento del personal en los temas de las mejoras a implementar, y por último la selección e instalación de nuevas máquinas y equipos que dan respiro a muchas máquinas que ya se encontraban al límite de su capacidad.

Se obtiene el incremento de la disponibilidad de planta en un 2.5%, sino también se incrementa la producción en niveles del 2.5 veces respecto a la producción del año anterior en relación al estudio.

En esta tabla 33, se muestra los incrementos de los cuatro modelos de mantenimiento, en el modelo de alta confiabilidad se incrementa 3%, el de media disponibilidad se incrementa 3.6%, el de baja disponibilidad solo 3.2%, y en el modelo correctivo un incremento de 0.1%, cabe notar que el total se incrementa 2.5%.

Tabla 33. Disponibilidad Total de Planta año 2018.

CALCULO DE LA DISPONIBILIDAD DE PLANTA AÑO 2018														INCREME NTO
Modelo Mantto 2018	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Disp	
ALTA CONFIABILIDAD	95.7	96.7	98.4	98.6	99.0	98.0	98.9	98.9	98.3	98.3	98.5	98.1	98.1%	3.0%
MEDIA CONFIABILIDAD	92.4	92.5	93.7	94.2	94.1	93.5	94.1	94.6	94.0	94.5	93.3	93.6	93.7%	3.6%
BAJA CONFIABILIDAD	88.9	90.6	89.5	91.3	90.8	91.8	90.9	91.9	91.7	91.3	92.1	91.8	91.0%	3.2%
CORRECTIVO	85.6	84.7	85.1	85.4	86.0	85.6	85.9	86.0	85.4	85.9	86.1	85.9	85.6%	0.1%
DISPONIBILIDAD TOTAL 2018	89.1	89.6	89.6	90.6	90.6	90.7	90.6	91.2	90.7	90.8	90.9	90.8	90.4%	2.5%
DISPONIBILIDAD TOTAL PLANTA 2018 = 90.4%														ANUAL

Fuente: elaboración propia.

Valores estadísticos en el posttest.

Media: 90.4

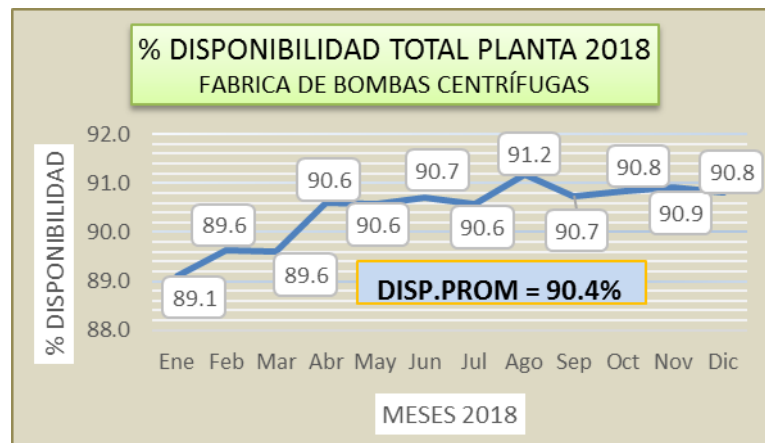
Varianza: 0.4031

Desv. estándar: 0.6349

La tendencia de la disponibilidad de planta del año 2018 después de la implementación de la mejora con los nuevos modelos se muestra en la gráfica 15, de la misma forma se considera los cuatro modelos de mantenimiento de alta, media y baja confiabilidad, además del correctivo, obteniendo un promedio de 90.4%.

Se hace mención que se está considerando las máquinas del modelo correctivo, al haber evaluado que estas máquinas inciden en los costos de la fabricación de bombas centrífugas.

Gráfico 15. Disponibilidad Total de Planta año 2018.



Fuente: Elaboración propia.

5.2 Resultados estadísticos de acuerdo a la naturaleza del problema y la hipótesis.

Siendo la hipótesis general, la propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento la que incidirá favorablemente en el incremento de la disponibilidad de las máquinas en una planta de fabricación de bombas centrífugas, se muestran los resultados estadísticos antes y después de realizado la mejora que toma en cuenta la identificación de máquinas críticas, el plan de capacitación y entrenamiento del personal involucrado y la implementación de nuevas técnicas de mantenimiento.

A continuación, se muestra los resultados estadísticos de las disponibilidades de planta de que corresponden a antes y después de la implementación de la

mejora, en el cual se muestra un incremento de 2.5% de la disponibilidad de máquinas.

DISPONIBILIDAD	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Disp
TOTAL 2017	87.9	87.5	88.5	87.0	88.3	88.0	87.4	88.2	88.3	88.3	87.8	88.0	87.9%

DISPONIBILIDAD	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Disp
TOTAL 2018	89.1	89.6	89.6	90.6	90.6	90.7	90.6	91.2	90.7	90.8	90.9	90.8	90.4%

En las hipótesis específicas de la presente investigación, refiere influencia significativa de la identificación de las máquinas críticas, del plan de capacitación y entrenamiento del personal involucrado y de la implementación de nuevas técnicas de mantenimiento, en la disponibilidad de máquinas de una planta de fabricación de bombas centrífugas.

En los tres casos, se llegaron a implementar juntos; la identificación de las máquinas críticas, del plan de capacitación y entrenamiento del personal involucrado y la implementación de nuevas técnicas de mantenimiento, en el primer mes de enero del 2018.

VI DISCUSION DE RESULTADOS.

6.1 Contratación y demostración de la hipótesis con los resultados.

Hipótesis General.

H0: La propuesta de un Modelo de gestión de mantenimiento en una planta de fabricación de bombas centrífugas no incidirá favorablemente en el incremento de la disponibilidad de las máquinas.

H1: La propuesta de un Modelo de gestión de mantenimiento en una planta de fabricación de bombas centrífugas incidirá favorablemente en el incremento de la disponibilidad de las máquinas.

Según Hernández, Fernández, Baptista (2010) sostiene que la prueba t de Student “es una prueba estadística para evaluar si dos grupos difieren entre sí respecto a sus medias en una variable” (p. 319). Y es la que se adecua al trabajo realizado.

Datos del pretest y post de disponibilidad de máquinas.

Valores estadísticos en el pretest.(disponibilidad 2017)

Media 1: 87.9

Varianza (v1): 0.1983

Desv. estándar: 0.4454

N1: 12

DISPONIBILIDAD	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Disp
TOTAL 2017	87.9	87.5	88.5	87.0	88.3	88.0	87.4	88.2	88.3	88.3	87.8	88.0	87.9%

Valores estadísticos en el postest. (disponibilidad 2018)

Media 2: 90.4
Varianza(v2): 0.4031
Desv. estándar: 0.6349
N2: 12

DISPONIBILIDAD	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Disp
TOTAL 2018	89.1	89.6	89.6	90.6	90.6	90.7	90.6	91.2	90.7	90.8	90.9	90.8	90.4%

De la tabla de distribución t de Student, se establece el grado de libertad de acuerdo a $gl = (n1 + n2) - 2$, donde n1 y n2 son el tamaño de los grupos que se comparan. $Gl = 12 * 12 - 2 = 22$

El nivel de significancia (valor de alfa) permitido igual a 0.05, el valor tabulado de t (valor critico) con 22 grados de libertad. Resulta $t = 2.074$

El valor estadístico de la prueba t1 (tamaño total del efecto) seria:

$$t1 = (\text{media del grupo 1} - \text{media del grupo 2}) / \text{Desviación estándar sopesada}$$

Para el caculo de la desviación estándar sopesada (des) se aplica la formula
 $(\text{des}) = \text{raíz cuadrada } ((n2 - 1) v1 + (n2 - 1) v2) / (n1 + n2 - 2))$

Reemplazando $(\text{des}) = 0.548$, entonces $t1 = (90-4-87.9) / 0.548 = 4.5$

Para saber si se rechaza o no la hipótesis nula, es necesario comparar el valor t1 estimado ($t1 = 4.5$) con el valor t critico o valor en tabla ($t=2.074$).

Decisión. Como el valor t1 estimado ($t1=4.5$) es mayor que el valor t critico o valor en tabla ($t=2.074$), entonces se rechaza la hipótesis nula ($H0$) y se acepta la hipótesis alternativa ($H1$).

Conclusión. Por lo tanto, por ser aceptada la hipótesis H1:

La propuesta de un Modelo de gestión de mantenimiento en una planta de fabricación de bombas centrífugas incidirá favorablemente en el incremento de la disponibilidad de las máquinas.

Hipótesis específicas.

Las tres hipótesis específicas que toma en cuenta la identificación de máquinas críticas, el plan de capacitación y entrenamiento del personal involucrado y la implementación de nuevas técnicas de mantenimiento, fueron implementadas en el primer mes del año 2018 con el nuevo modelo de mantenimiento de las máquinas, por lo tanto, la demostración de las hipótesis específicas está dados por el mismo rango de tiempo de la hipótesis general, es decir la mejora implementada del nuevo modelo de gestión de mantenimiento, que toma en cuenta la identificación de máquinas críticas, el plan de capacitación y entrenamiento del personal involucrado y la implementación de nuevas técnicas de mantenimiento han logrado incrementar la disponibilidad de máquinas en la planta en un 2.5 %.

6.2 Contratación de los resultados con otros estudios similares.

Estos resultados guardan relación con lo que sostiene Ramos (2017, p. 11), en su tesis titulado “Aumento de la disponibilidad mediante la implementación de un plan de mantenimiento preventivo”, indica que logra incrementar la disponibilidad de las maquinas en un 10% implementando el mantenimiento preventivo de las maquinas críticas dentro de su gestión de mantenimiento, de la misma forma para Becerra y Paulino (2012 p. 5), en su tesis de maestría muestra también que “teniendo en cuenta el ciclo óptimo de mantenimiento, se propone la planificación del mantenimiento preventivo para cada equipo crítico, con lo cual se logra el objetivo de optimizar la Gestión del Mantenimiento de los equipos”, la optimización de la gestión de mantenimiento está dada por el ciclo adecuado de la planificación del mantenimiento preventivo, que haciendo las referencias esto se trasmite en una mayor rentabilidad de planta para generar

una mejor gestión de las partes programadas en la producción. Ello es acorde con lo que en este estudio se halla.

Pero en lo que no concuerda el estudio del autor referido Becerra y Paulino (2012 p. 5), con el presente estudio realizado, es que ellas mencionan que “Todas estas deficiencias, ha conllevado a poner en práctica inadecuadas frecuencias o ciclos de mantenimiento de los equipos de la línea de flotación de la planta (cada treinta días), ocasionando pérdidas económicas para la empresa”, en este caso hay exceso de horas hombre del personal de mantenimiento ya que por una u otra razón ha habido mayor programación de horas mensuales para su ejecución, en el caso del estudio realizado ha estado faltando horas de servicio en las maquinas críticas e importantes. De la misma forma en el estudio de Ramos (2017, p. 11), de las 23 máquinas que tienen en la línea de proceso solo se ha implementado el mantenimiento preventivo a 04 máquinas, de las cuales se ha incrementado el 10% de disponibilidad. Esto si no garantiza el incremento integral de la disponibilidad ya que se generarían nuevos cuellos de botella en el proceso, para el cual no ha contemplado el estudio en ese momento. En el caso de nuestro estudio se ha contemplado aplicar el nuevo modelo de gestión de mantenimiento a todas las máquinas y equipos, es por ello que el margen de incremento es menor de solo un 2.9% pero en general a toda la línea de producción de bombas centrifugas.

CONCLUSIONES.

Al culminar el desarrollo del trabajo de investigación se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- Se ha logrado el objetivo de incrementar la disponibilidad de planta con el nuevo modelo de gestión de mantenimiento en un 2.5%, esto ha generado una oportunidad de obtener una mayor rentabilidad del negocio, al instalar máquinas con tecnología de punta, incrementando su producción en 2,5 veces en un año al trabajar en grandes volúmenes.
- Se ha incrementado la disponibilidad de las máquinas críticas que corresponden al modelo de alta confiabilidad, de 95.1 % a 98.1 % siendo su rango establecido entre 96 al 100%. Al darle mayor prioridad y recursos, implementando estrategias adecuadas para cada uno de las máquinas definidas, y aplicando técnicas de mantenimiento preventivo, predictivo, inspecciones y mantenimiento mayor, se ha obtenido una mayor efectividad y agilidad en el servicio, al ubicar las maquinas cuello de botella, las que paralizaban más de la mitad de tu producción en algunos casos, como el transformador de la subestación eléctrica que paralizaba toda la producción.
- Las máquinas importantes que tienen el modelo de media confiabilidad (del 92 al 96%), se ha incrementado su disponibilidad de 90.1 a 93.7%, siendo el grupo que más ha incrementado, al dedicarle recursos que se daban a las máquinas de los modelos de baja disponibilidad y del modelo correctivo, generando un incremento muy importante de su disponibilidad en un 3.6%, ya que aparte de esta mejora, se evita grandes pérdidas de lucro cesante, ya que casos anteriores no se llegaban a entregar las bombas programadas a nuestros clientes.

RECOMENDACIONES.

Antes de terminar, deseo sugerir algunas recomendaciones en base a los resultados y las conclusiones a que se llegó después del presente estudio.

- Es necesario que toda implementación de mejora debe de realizar un plan de capacitación y entrenamiento del personal directamente involucrado, con ello se obtiene una adaptación rápida y comprometida del operario al logro de los resultados.
- Establecer inspecciones rutinarias, los menos costosos en las máquinas que se encuentran en los modelos de baja disponibilidad, que tienen una menor importancia, al tener máquinas alternativas, y en casos extremos se terceriza sin perjudicar económicamente a la empresa, implementar servicios como chequeo de amperajes de los motores en vacío y con carga y compararlos cada período establecido, de la misma forma las temperaturas en puntos establecidos en estas máquinas, con un termómetro infrarrojo que no es alto la inversión, entre otras actividades.
- Para las máquinas del último modelo correctivo de mantenimiento, se recomienda seguir con el mantenimiento menor que también se le llama mantenimiento autónomo, que comprende previa capacitación de limpieza, orden, lubricación y ajustes menores de la máquina. El personal de mantenimiento puede capacitar a los operarios en los tiempos muertos.
- Finalmente se recomienda el uso de este modelo de gestión de mantenimiento en plantas de proceso similar de tal manera que incremente su disponibilidad, su capacidad de producción y la rentabilidad del negocio.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

- BECERRA, Gilberto y PAULINO, Jony. El análisis de confiabilidad como herramienta para optimizar la gestión del mantenimiento preventivo de los equipos de la línea de flotación en un centro minero. Tesis (Maestro en ingeniería con mención en gerencia e ingeniería de mantenimiento). Casapalca: Universidad Nacional de Ingeniería, 2012. 291 pp.
- CEGARRA, José. Metodología de la investigación científica y tecnológica. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, 2011. 353 pp.
- COY, Sergio. Modelo de Gestión de Mantenimiento basado en Costos para Plantas del Sector Plástico. Tesis (Magister Scientiarum en Gerencia de Mantenimiento) Maracaibo Venezuela: Universidad del Zulia, 2016. 138 pp.
- GARCIA, Cesar. Modelo de gestión de mantenimiento para incrementar la calidad en el servicio en el departamento de alta tensión de STC metro de la ciudad de México. Tesis (Maestría en ingeniería industrial). México: Instituto Politécnico Nacional, 2015. 157 pp.
- GARCIA, Santiago. Ingeniería de Mantenimiento. Manual Práctico para la Gestión Eficaz del Mantenimiento Industrial. Madrid: Renovetec, 2012. 690 pp.
ISBN:84-6165-617-2
- GARCIA, Santiago. Organización y Gestión Integral de Mantenimiento. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, 2014. 304 pp.
ISBN:84-7978-548-9
- GARDELLA, Marc. Mejora de metodología RCM a partir del AMFEC e implantación de mantenimiento preventivo y predictivo en plantas de procesos. Tesis (Doctoral). España: Universidad Politécnica de Valencia, ca. 2008. 318 pp.

- GONZÁLEZ, Francisco. Auditoria del Mantenimiento e Indicadores de Gestión. Madrid: Fundación Confemetal Ed, Artegraf S. A., 2004. 260 pp. ISBN 84-96169-36-7
- GUILLÉN, Asdrúbal. Optimización de la efectividad global de los equipos (OEE) a través de estrategias de gestión de mantenimiento Caso: Unidad II de la empresa Negroven, S.A. Tesis (Magíster en Ingeniería Industrial.). Venezuela: Universidad de Carabobo Facultad de Ingeniería, 2015. 217 pp.
- HERNÁNDEZ, Roberto, FERNÁNDEZ, Carlos, BAPTISTA, María del Pilar. Metodología de la Investigación. Quinta Edición. México: Mc Graw Hill/ Interamericana editores S.A. 2010. 613 pp.
- MORA, Luis. Mantenimiento Planeación, Ejecución y Control. Colombia: Editorial Alfaomega Colombiana S.A. 2009. 504 pp. ISBN 978-958-682-769-0.
- MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Edición en español. North Carolina USA: ed. Aladon LLC. 2004. 433 pp. ISBN 09539603-2-3
- NUÑEZ, Oscar. Modelo de gestión de mantenimiento de producción total y su incidencia en el rendimiento de los motores de combustión interna síncronos de las unidades de generación eléctrica en el área de operación. Tesis (Maestría en gestión de operaciones Cohorte 2014). Ecuador: Universidad Técnica de Ambato, 2019. 245 pp.
- PARRA, Carlos, CRESPO, Adolfo. Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada en la gestión de activos. España: Edita INGEMAN, 2012. 260 pp.
- RAMOS, Julio. Aumento de la disponibilidad mediante la implementación de un plan de mantenimiento preventivo a las maquinarias de la empresa Atlanta Metal Drill S.A.C. Tesis (Título de Ingeniero Mecánico). Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo, 2017. 112 pp.
- RETUERTO, Jeanette, TUESTA, Lesly y MONDRAGÓN, Milagros. Propuesta Aplicación De Herramienta Toc-Smed En La Línea De Producción Sólidos De Una Empresa Farmacéutica. Tesis (Magíster en

Supply Chain Management). Lima: Universidad del Pacífico, 2016. 83 pp.

- TAM, Jorge, VERA, Giovanna y OLIVEROS, Ricardo. Tipos, Métodos y Estrategias de Investigación Científica. Perú: Universidad Ricardo Palma, 2008. Pensamiento y Acción 5:145-154. Disponible en http://www.imarpe.pe/imarpe//archivos/articulos/imarpe/oceanografia/adj_modela_pa-5-145-tam-2008-investig.pdf.
- VILLACRÉS, Sergio. Desarrollo de un plan de mantenimiento aplicando la metodología de mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM) para el vehículo hidrocleaner vactor m654 de la empresa etapa EP. Tesis (Magíster en gestión del mantenimiento industrial). Riobamba - Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2016. 98 pp.
- YAÑEZ, M., GÓMEZ, H., VALBUENA, G. Ingeniería de confiabilidad y análisis probabilístico de riesgo. Reliability and risk management S.A, (R2M, S.A). 2004. 332 pp. <http://www.carec.com.pe/biblioteca/biblio/4/81/Lectura.%20Libro%20Completo%20R2M%20CONFIABILIDAD.pdf>

ISBN: 980-12-12-0116-9

ANEXOS.

Anexo 1. Matriz de consistencia.

TEMA: "MODELO DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PARA EL INCREMENTO DE DISPONIBILIDAD DE LAS MÁQUINAS EN UNA PLANTA DE FABRICACIÓN DE BOMBAS CENTRÍFUGAS"						
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES			METODOLOGÍA
¿Cuál será el modelo de gestión de mantenimiento que incremente la disponibilidad de las máquinas en una planta de fabricación de bombas centrífugas?	Proponer un modelo de gestión de mantenimiento que permita lograr el incremento de la disponibilidad de las máquinas en una planta de fabricación de bombas centrífugas	La propuesta de un Modelo de gestión de mantenimiento en una planta de fabricación de bombas centrífugas incidirá favorablemente en el incremento de la disponibilidad de las máquinas.	V1: INDEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	Tipo de Investigación: Aplicada.
			Gestión de Mantenimiento.	Máquinas Críticas	Nº de máquinas críticas por línea y por planta	Diseño: El diseño es no experimental longitudinal
				Capacitación y entrenamiento	Nº personas no capacitadas y entrenadas. Nivel de conocimientos. Nivel de aprendizaje	
			Técnicas de Mantenimiento	Mantenimiento Preventivo. Mantenimiento Predictivo. Mantenimiento Correctivo. Mantenimiento Autónomo	Nivel: de tendencia	
PROBLEMA ESPECIFICO	OBJETIVO ESPECÍFICO	HIPOTESIS ESPECÍFICO	V2: DEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	
¿Cómo influye la determinación de las máquinas críticas en la disponibilidad de maquinas de una planta de fabricación de bombas centrífugas?	Establecer la influencia de la determinación de las máquinas críticas en la disponibilidad de maquinas de una planta de fabricación de bombas centrífugas.	La identificación de las maquinas críticas influye significativamente en la disponibilidad de máquinas de una planta de fabricación de bombas centrífugas.	Disponibilidad de Máquinas	Disponibilidad	MTBF / (MTBF + MTTR)	
				Confiabilidad	MTBF	Población: Máquinas de la planta de fabricación de bombas centrífugas
¿Cómo influye el plan de capacitación y entrenamiento del personal involucrado en la disponibilidad de máquinas de una planta de fabricación de bombas centrífugas?	Establecer la influencia de un plan de capacitación y entrenamiento del personal involucrado en la disponibilidad de máquinas de una planta de fabricación de bombas centrífugas.	El plan de capacitación y entrenamiento del personal involucrado influye significativamente en la disponibilidad de máquinas de una planta de fabricación de bombas centrífugas	Disponibilidad de Máquinas	Mantenibilidad	MTTR	Muestra: Máquinas críticas e importantes de la planta
				Máquinas Paradas	Nº Maq. Paradas / Dia	
¿Cómo influyen las técnicas de mantenimiento a utilizar, en la disponibilidad de máquinas de una planta de fabricación de bombas centrífugas?	Establecer la influencia de las técnicas de mantenimiento a utilizar, en la disponibilidad de máquinas de una planta de fabricación de bombas centrífugas.	La implementación de nuevas técnicas de mantenimiento influye significativamente en la disponibilidad de máquinas de una planta de fabricación de bombas centrífugas	Disponibilidad de Máquinas	Tiempo promedio de Paradas	Horas paradas Maq./ Nºfallas	
				Indicadores de gestión	% OTs Correctivos / Total OTs	
					% OTs Preventivos / Total OTs	
					% OTs Urgentes / Total OTs	
					% OTs ejecutadas / Total lanzadas	
Producción (Ton/mes)						
				\$ Ventas/ton.mes \$ Producción/ton.mes. \$ Manto/ton.mes \$ Energía/ton.mes		

Anexo 2. Validación de instrumento.

ENCUESTA DE EVALUACION DE CRITICIDAD DE EQUIPOS					
CONFIABILIDAD OPERACIONAL					
AREA:	EQUIPO:			FECHA:	
PERSONA ENTREVISTADA	IMPACTO PRODUCTIVO	NIVEL DE REPUESTOS CRÍTICOS	IMPACTO COSTO REPARACIÓN	IMPACTO DE CALIDAD	IMPACTO SEGURIDAD
MAESTRO ELECTRICISTA					
MAESTRO MECÁNICO					
MAESTRO HIDRÁULICO					
MAESTRO ELECTRÓNICO					
SUPERVISOR DE PRODUCCIÓN					
SUPERVISOR DE MANTENIMIENTO					
SUPERVISOR DE CALIDAD					
JEFE DE PRODUCCIÓN					
JEFE DE SEGURIDAD					
JEFE DE MANTENIMIENTO					
JEFE DE PLANTA					
INDICACIONES:					
1. CADA VALOR ES EVALUADO DE 1 AL 10, DONDE 1 ES DE MENOR IMPACTO Y 10 EL MAYOR					
2. AREA: SE LLENA EL AREA DONDE ESTA UBICADO EL EQUIPO					
3. EQUIPO: NOMBRE DEL EQUIPO A EVALUAR					
ENCUESTADOR:					

Anexo 3. Validación de instrumento 1.



Universidad
Nacional del Callao
Ciencia y Tecnología Rumbo al Tercer Milenio

VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- 1.1 Apellidos y Nombres del Experto: *Coronado Reyes Eloy Carlos José*
- 1.2 Cargo e Institución donde labora: *Inspector Mecánica - Pluspetrol.*
- 1.3 Nombre del instrumento motivo de Evaluación: *Formato de Recolección de Datos del Proyecto de Investigación para optar el grado de Magister*
- 1.4 Autor del Instrumento: *Ricardo Rashuamán Flores*

INDICADORES	CRITERIOS	Deficiente 0-20 %	Regular 21-40 %	Bueno 41-60 %	Muy bueno 61-80 %	Excelente 81-100 %
1. CLARIDAD	Esta formulada con lenguaje apropiado				X	
2. OBJETIVIDAD	Esta expresado en conductas observables					X
3. ACTUALIDAD	Adecuado el alcance de ciencia y tecnología				X	
4. ORGANIZACION	Existe una organización lógica					X
5. SUFICIENCIA	Comprende los aspectos de cantidad y calidad					X
6. INTENCIONALIDAD	Adecuado para valorar aspectos del sistema de evaluación y desarrollo de capacidades cognitivas				X	
7. CONSISTENCIA	Basados en aspectos Teóricos científicos de la Tecnología Educativa				X	
8. COHERENCIA	Entre los índices, indicadores y las dimensiones					X
9. METODOLOGIA	La estrategia responde al propósito del diagnóstico.				X	

II. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

... Los registros están de acuerdo con la solución del problema y son aplicables para los equipos del proyecto.

III. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

80 %

Ricardo Rashuamán Flores
43313913

Lima, 15 de abril del 2019

Firma:

Anexo 4. Validación de instrumento 1.1.



**Universidad
Nacional del Callao**
Ciencia y Tecnología Rumbo al Tercer Milenio

VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO

ITEMS	PREGUNTA	APRECIACIÓN		OBSERVACIONES
		SI	NO	
1	¿El instrumento responde al planteamiento del problema?	✓		
2	¿El instrumento responde a los objetivos del problema?	✓		
3	¿Las dimensiones que se han tomado en cuenta son adecuadas para la realización del instrumento?	✓		
4	¿El instrumento responde a la operacionalización de las variables?	✓		
5	¿La estructura que presenta el instrumento es de forma clara y precisa?	✓		
6	¿Los ítems están redactados en forma clara y precisa?	✓		
7	¿El número de ítems es el adecuado?	✓		
8	¿Los ítems del instrumento son válidos?	✓		
9	¿Se debe incrementar el número de ítems?		✓	
10	¿Se debe eliminar algunos ítems?		✓	

Aportes y/o sugerencias:

Se sugiere que todo el personal involucrado en el uso del instrumento tenga una capacitación

.....

.....

.....

43813913

Firma:

Nombre: *Eloy Carlos José Coronado Reyes*

Fecha: *15/04/2019*

Anexo 5. Validación de expertos 1.



Universidad
Nacional del Callao

Ciencia y Tecnología Rumbo al Tercer Milenio

VALIDACIÓN DE EXPERTOS

I. DATOS GENERALES

Nombre: *Eloy Carlos José Coronado Reyes*
Especialidad: *Magister en Gerencia del Mantenimiento.*
Fecha: *15 abril 2019.*

II. OBSERVACIONES EN CUENTA A:

1. FORMA:
.....*Tiene buena relación y coopera mucho con*.....
.....*la resolución del problema*.....
2. CONTENIDO:
.....*Contiene buena información para obtener una*.....
.....*base de datos controlada*.....
3. ESTRUCTURA:
.....*Se relaciona muy bien con la solución del*.....
.....*problema*.....

III. APORTES Y/O SUGERENCIAS:

.....*En proyectos similares, se recomienda su uso*.....
.....

Luego, de revisado el documento procede a su aprobación.

SI

NO


43313913 

Firma:

Nombre: *Eloy Carlos José Coronado Reyes.*

Fecha: *15/04/2019*

Anexo 6. Validación de instrumento 2



**Universidad
Nacional del Callao**
Ciencia y Tecnología Rumbo al Tercer Milenio

VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- 1.1 Apellidos y Nombres del Experto:
 1.2 Cargo e Institución donde labora:
 1.3 Nombre del instrumento motivo de Evaluación: Formato de Recolección de Datos del Proyecto de Investigación para optar el grado de Magister
 1.4 Autor del Instrumento: Ricardo Rashuamán Flores

INDICADORES	CRITERIOS	Deficiente 0 - 20 %	Regular 21- 40 %	Bueno 41-60 %	Muy bueno 61-80 %	Excelente 81-100 %
1. CLARIDAD	Esta formulada con lenguaje apropiado					X
2. OBJETIVIDAD	Esta expresado en conductas observables				X	
3. ACTUALIDAD	Adecuado el alcance de ciencia y tecnología					X
4. ORGANIZACION	Existe una organización lógica				X	
5. SUFICIENCIA	Comprende los aspectos de cantidad y calidad					X
6. INTENCIONALIDAD	Adecuado para valorar aspectos del sistema de evaluación y desarrollo de capacidades cognitivas				X	
7. CONSISTENCIA	Basados en aspectos Teóricos científicos de la Tecnología Educativa				X	
8. COHERENCIA	Entre los índices, indicadores y las dimensiones					X
9. METODOLOGIA	La estrategia responde al propósito del diagnóstico.				X	

II. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

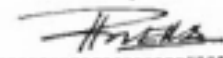
Están de acuerdo las fichas verificables con la necesidad y son aplicables para las máquinas y equipos mencionados en el proyecto

III. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

80 %

Lima, 24 de abril del 2019

Firma:


 PEDRO AUGUSTO
 RIVERA FONSECA
 INGENIERO MECANICO
 Reg. CIP N° 81056

Anexo 7. Validación de instrumento 2.1.



**Universidad
Nacional del Callao**

Ciencia y Tecnología Rumbo al Tercer Milenio


VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO

ITEMS	PREGUNTA	APRECIACIÓN		OBSERVACIONES
		SI	NO	
1	¿El instrumento responde al planteamiento del problema?	✓		
2	¿El instrumento responde a los objetivos del problema?	✓		
3	¿Las dimensiones que se han tomado en cuenta son adecuadas para la realización del instrumento?	✓		
4	¿El instrumento responde a la operacionalización de las variables?	✓		
5	¿La estructura que presenta el instrumento es de forma clara y precisa?	✓		
6	¿Los ítems están redactados en forma clara y precisa?	✓		
7	¿El número de ítems es el adecuado?	✓		
8	¿Los ítems del instrumento son válidos?	✓		
9	¿Se debe incrementar el número de ítems?		✓	
10	¿Se debe eliminar algunos ítems?		✓	

Aportes y/o sugerencias:

Se recomienda dar capacitación a todo el personal que haga uso del instrumento

.....


 PEDRO AUGUSTO
 RIVERA FONSECA
 INGENIERO MECANICO
 Reg. CIP N° 81656

Firma:

Nombre: Pedro Augusto Rivera Fonseca

Fecha: 24/04/ 2019

Anexo 8. Validación de expertos 2.



**Universidad
Nacional del Callao**
Ciencia y Tecnología Rumbo al Tercer Milenio

VALIDACIÓN DE EXPERTOS

I. DATOS GENERALES

Nombre: Pedro Augusto Rivera Fonseca
Especialidad: Magister en Gerencia del Mantenimiento
Fecha: 24 de abril, 2019

II. OBSERVACIONES EN CUENTA A:

1. **FORMA:**
Ayuda mucho a resolver el problema planteado y además tiene muy buena coherencia.
2. **CONTENIDO:**
Tiene la información adecuada, que ayuda a tener un buen control de la base de datos.
3. **ESTRUCTURA:**
Tiene la secuencia que se relaciona perfectamente con la solución del problema.

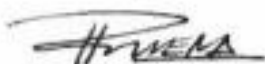
III. APORTES Y/O SUGERENCIAS:

Se recomienda aplicar el instrumento a otros proyectos de mantenimiento
.....
...

Luego, de revisado el documento procede a su aprobación.

SI

NO



PEDRO AUGUSTO
RIVERA FONSECA
INGENIERO MECANICO
Reg. CIP N° 81656



Firma:

Nombre: Pedro Augusto Rivera Fonseca

Fecha: 24/04/ 2019

Anexo 9. Validación de instrumento 3



**Universidad
Nacional del Callao**

Ciencia y Tecnología Rumbo al Tercer Milenio

VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- 1.1 Apellidos y Nombres del Experto: *VILCHEZ VILCHEZ TITO ROBERTO*
 1.2 Cargo e Institución donde labora: *DIRECTOR DE ESCUELA EPIM - UNI*
 1.3 Nombre del instrumento motivo de Evaluación: *Formato de Recolección de Datos del Proyecto de Investigación para optar el grado de Magister*
 1.4 Autor del Instrumento: *Ricardo Rashuamán Flores*

INDICADORES	CRITERIOS	Deficiente 0-20 %	Regular 21-40 %	Bueno 41-60 %	Muy bueno 61-80 %	Excelente 81-100 %
1. CLARIDAD	Esta formulada con lenguaje apropiado					X
2. OBJETIVIDAD	Esta expresado en conductas observables				X	
3. ACTUALIDAD	Adecuado el alcance de ciencia y tecnología				X	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica					X
5. SUFICIENCIA	Comprende los aspectos de cantidad y calidad				X	
6. INTENCIONALIDAD	Adecuado para valorar aspectos del sistema de evaluación y desarrollo de capacidades cognitivas					X
7. CONSISTENCIA	Basados en aspectos Teóricos científicos de la Tecnología Educativa				X	
8. COHERENCIA	Entre los índices, indicadores y las dimensiones					X
9. METODOLOGIA	La estrategia responde al propósito del diagnóstico.				X	

II. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

..Cumple con la aplicabilidad.....

III. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

80 %

Lima, 26 de abril del 2019

Firma:

Anexo 10. Validación de instrumento 3.1.



**Universidad
Nacional del Callao**
Ciencia y Tecnología Rumbo al Tercer Milenio

VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO

ITEMS	PREGUNTA	APRECIACIÓN		OBSERVACIONES
		SI	NO	
1	¿El instrumento responde al planteamiento del problema?	✓		
2	¿El instrumento responde a los objetivos del problema?	✓		
3	¿Las dimensiones que se han tomado en cuenta son adecuadas para la realización del instrumento?	✓		
4	¿El instrumento responde a la operacionalización de las variables?	✓		
5	¿La estructura que presenta el instrumento es de forma clara y precisa?	✓		
6	¿Los ítems están redactados en forma clara y precisa?	✓		
7	¿El número de ítems es el adecuado?	✓		
8	¿Los ítems del instrumento son válidos?	✓		
9	¿Se debe incrementar el número de ítems?		✓	
10	¿Se debe eliminar algunos ítems?		✓	

Aportes y/o sugerencias:

..capacitación al personal que colabora en la realización del trabajo.....
.....
.....
.....

Firma:

Nombre:

VILCHEZ VILCHEZ TITO ROBERTO

Fecha:

26/04/2019

Anexo 11. Validación de expertos 3.



Universidad
Nacional del Callao
Ciencia y Tecnología Rumbo al Tercer Milenio

VALIDACIÓN DE EXPERTOS

I. DATOS GENERALES

Nombre: TITO ROBERTO VILCHEZ VILCHEZ
Especialidad: MAGISTER EN DISEÑO DE MÁQUINAS
Fecha: 26/04/2019

II. OBSERVACIONES EN CUENTA A:

1. FORMA:

.....AYUDA AL ENTENDIMIENTO PARA LA SOLUCIÓN DEL.....
.....PROBLEMA.....

2. CONTENIDO:

.....CONTIENE LA INFORMACIÓN NECESARIA PARA EL.....
.....CONTROL.....

3. ESTRUCTURA:

.....ORGANIZACIÓN ADECUADA PARA LA SOLUCIÓN.....
.....DEL PROBLEMA.....

III. APORTES Y/O SUGERENCIAS:

.....APLICABLE A EMPRESAS CON BUENAS CARACTERÍSTICAS.....
.....EN SUS ACTIVIDADES.....

Luego, de revisado el documento procede a su aprobación.


SI

NO

Firma:

Nombre:

Fecha:


VILCHEZ VILCHEZ TITO ROBERTO

26/04/2019

Anexo 12. Lista de inspección de máquinas “ Check List”.

CHECK LIST OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO (OPERARIO)							
EQUIPO:			CODIGO: OPERARIO:				
ACTIVIDADES DIARIAS	L	M	M	J	V	S	NOTAS
I.- AL INICIO DE LAS LABORES							
1.1 Con el equipo apagado							
Lubricación de Bancada Principal							
Lubricación de Bancada de carro transversal							
Aplicación de Grasa en Puntos de Engrase							
Verificación de nivel de aceite de Caja del sistema hidraulico							
Verificación de nivel de refrigerante							
Chequear montaje de seguro de herramientas							
purga de agua del aire comprimido							
1.2 Con el equipo encendido							
Verificación de lámpara							
Verificación de sistema de enfriamiento							
verificación de Sistema de Lector de Cotas Digital							
verificación de funcionamiento de Bomba de lubricación							
Chequear la presión adecuada de aceite según indicación							
Verificación de ruidos anormales en partes móviles							
II.- AL FINALIZAR LAS LABORES							
Verificación de fugas de aceite y/o refrigerante							
Limpieza de Bancada Principal							
Limpieza de Bancada de Carro transversal							
Limpieza general externa y periferia de la máquina							
Limpieza general interna del área de trabajo en la máquina							
Apagar pantalla y máquina en general							
V°B° Mantto							
ACTIVIDADES SEMANALES							
Rellenado en unidad de mantenimiento del aire comprimido							
Limpieza de filtros							
Rellenado de aceite en caja e inspección del estado							
Rellenado de Refrigerante y chequear grado de suciedad							
Chequear estado y engrase de chuck y mordazas							
Verificación visual de cableado eléctrico							
Verificación del estado de fajas y mangueras							
Verificación de Botón ON/OFF Y PARADA emergencia							
V°B° Mantto							
Materiales Requeridos:							
Cepillo con cerdas de Nylon							
Varsol, trapo, espátula, guantes de latex							
Aceitera Manual con Aceite Shell TONNA S2 M							
Grasera con Grasa Shell GADUS S2 V220							
Tecnico Mantto:							
Observar:							

Anexo 13. Evaluación de capacitaciones.

FABRICA DE BOMBAS CENTRIFUGAS		EVALUACION DE CAPACITACIONES			VERSION: 1
					CODIGO: S/C
					PAGINA: 1 DE 1
NOTA: ENTREGAR AL FINALIZAR LA CAPACITACION PARA MEDIR LA EFICACIA DE LA MISMA					
TEMA	MAQUINAS CRITICAS DE PLANTA	FECHA (dd/mm/aa)	4	1	2018
INSTRUCTOR O FACILITADO	Juan Ramos	LUGAR	Planta 02		
AREA A LA QUE PERTENECE	Maestranza				
Marque "X" en su respuesta de las siguientes afirmaciones, si: 5= COMPLETAMENTE DE ACUERDO; 4= DE 3= NI DE ACUERDO NI EN DESACUERDO; 2= EN DESACUERDO; 1= COMPLETAMENTE EN DESACUERDO.					
1. EVALUACION DEL CONTENIDO:					
1.1 Los objetivos de la capacitación se han cumplido satisfactoriamente.	1	2	3	4	X 5
1.2 El contenido de la capacitación estan de acuerdo a los objetivos planteados y satisfacen las expectativas.	1	2	3	X 4	5
1.3 El nivel de profundidad del contenido de la capacitación fue adecuado.	1	2	3	4	X 5
2. EVALUACION DE LA METODOLOGIA					
2.1 La capacitación está estructurada de modo comprensible.	1	2	3	4	X 5
2.2 La duración de la capacitación ha sido adecuada y ajustado al objetivo.	1	2	3	X 4	5
2.3 El material entregado en la capacitación ha sido útil, adecuado y claro.	1	2	3	4	X 5
3. EVALUACION DE UTILIDAD Y APLICABILIDAD					
3.1 La capacitación ha cumplido sus expectativas de aprendizaje.	1	2	3	4	X 5
3.2 Los conocimientos adquiridos son útiles y aplicables en el campo laboral como herramienta para la mejora.	1	2	3	X 4	5
3.3 La capacitación le proporcionó los conocimientos de acuerdo con los objetivos.	1	2	3	4	X 5
4. EVALUACION DEL INSTRUCTOR					
4.1 El instructor tiene dominio, conocimiento de la materia, facilitando el aprendizaje de los participantes.	1	2	3	X 4	5
4.2 El instructor ha expuesto con claridad, reponiendo adecuadamente a las inquietudes planteadas.	1	2	3	4	X 5
4.3 El instructor ha desarrollado el curso de manera amena, participativa, demostrando capacidad pedagógica.	1	2	3	4	X 5
5. OBSERVACIONES:					