



ISMMM

INSTITUTO SUPERIOR MINERO
METALURGICO DE MOA
DR. ANTONIO NUÑES JIMENEZ

Departamento de Mecánica
Facultad de Metalurgia
Electromecánica

Trabajo de Diploma

En opción al título de

Ingeniero Mecánico

Título: Determinación por medio del procesamiento de datos las dificultades del mantenimiento preventivo planificado al sistema de bombas centrífugas warman 8/6.

Autor: Javier Carballo Pérez

Tutor: Ms.C Jorge Luis Reyes de la Cruz

Consultante: Ing. Jorge Botey Rodríguez

Moa, 2017
“Año 59 de la Revolución”





Declaración de Autoridad

Yo: Javier Carballo Pérez. Autor de este trabajo de diploma titulado: Determinación por medio del procesamiento de datos las dificultades del mantenimiento preventivo al sistema de bombas centrífugas, pertenecientes a la empresa "Comandante Ernesto Che Guevara", certifico su propiedad intelectual a favor del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa "Dr. Antonio Núñez Jiménez", el cual podrá ser uso del mismo par los fines que estime pertinente.

Para que así conste firmamos la presente a los ____ días del
mes de _____ del 2017.

Diplomante: Javier Carballo Pérez

Ms.C. Jorge Luis Reyes de la Cruz



Dedicatoria

Este trabajo está dedicado a mis padres, hermanos y toda la familia, además a todos los amigos que me apoyaron ya que sin su ayuda hubiera sido imposible el desarrollo de este trabajo.

A mi tutor quien me acogió incondicionalmente nutriéndome de su experiencia y conocimiento para llevar a cabo este proyecto. También a nuestra Revolución Cubana, por las posibilidades que me ofrece.



Agradecimiento

Cuando quieres realmente una cosa, todo el Universo conspira para ayudarte a conseguirla. Son muchas las personas que forman parte de ese universo que hizo posible la transformación de este sueño en realidad. En especial quiero agradecer:

A mis padres, hermanos y demás familiares.

A mi tutor Jorge Luis Reyes de la Cruz por su apoyo incondicional para la total realización de este trabajo.

A los profesores del departamento por su apoyo y confianza depositada en mí, ya que hicieron todo lo posible por forjarme como un profesional.

A mis compañeros y amigos del Instituto que realmente me han brindado su apoyo en todos estos cinco años de estudio.



Pensamiento

"...Hay que desarrollar con toda energía la mecánica, rama fundamental para el desarrollo y mantenimiento de la industria..."

Ernesto Che Guevara, escrito y discursos.
Editorial ciencia social. Habana 1977, tomo 6 pág. 97 – 118.



RESUMEN

Este trabajo se ha realizado con el objetivo de aplicar el mantenimiento preventivo planificado al sistema de bombas centrífugas Warman 8/6 en el área de los tanques de contacto en la empresa productora de níquel y cobalto "Comandante Ernesto Che Guevara". Se fundamenta en la realización de un análisis para demostrar la durabilidad y eficiencia del mismo, eliminando así las paradas imprevistas, definiendo los períodos entre reparaciones pequeña y mediana con una nueva estructura del ciclo de reparaciones que garantiza el estado técnico del equipo. Se aplicó los criterios nivel de máquina y nivel de defectos para una correcta determinación del sistema actual de mantenimiento. Luego de la determinación de este método permitió establecer 9 950 horas máquinas de tiempo entre reparaciones pequeñas, 29 850 horas máquinas de tiempo entre reparaciones medianas y 59 700 horas máquinas como el intervalo entre reparaciones generales.



SUMMARY

This work was carried out with the objective of applying planned preventive maintenance to the Warman 8/6 centrifugal pump system in the area of contact tanks in the nickel and cobalt production company "Comandante Ernesto Che Guevara". It was based on an analysis to demonstrate the durability and efficiency of the same, eliminating unforeseen stops, defining the periods between small and medium repairs with a new structure of the repair cycle that guarantees the technical state of the equipment. The machine level and defect level criteria were applied for a correct determination of the current maintenance system. After determining this method, 9 950 hours were established between small repairs, 29 850 hours between medium repairs and 59 700 hours as the interval between general repairs.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I: MARCO TEORICO DE LA INVESTIGACION.....	5
1.1. Introducción.....	5
1.2. Descripción del flujo tecnológico de la UBP de lixiviación y lavado	5
1.2.1. Funcionamiento actual del área de Tanques de contacto	6
1.3. Características técnicas de las bombas centrífugas 8/6.	7
1.3.1. Afectaciones más comunes de las bombas centrífugas warman 8/69	
1.3.2. Incidencia del desgaste y corrosión en las bombas centrífugas... 10	
1.4. Base conceptual del Sistema de Gestión de Mantenimiento, para la propuesta de un sistema de mantenimiento eficiente a las bombas centrífugas warman 8/6.....	12
1.4.1. El modelo del Sistema de Gestión de Mantenimiento (SGM) presenta las propiedades siguientes	13
1.4.3. Clasificaciones de los equipos.....	15
1.5. Selección del sistema de mantenimiento	17
1.5.1. Criterio a nivel de máquina	18
1.5.2. Criterio a nivel de defectos	18
1.6. Antecedentes del mantenimiento preventivo planificado.....	18
1.7. Generalidades sobre mantenimiento preventivo planificado	19
1.7.1. Principales objetivos del mantenimiento preventivo planificado ...	19
1.7.2. Servicio diario del equipo.....	20
1.7.3. Trabajos periódicos	20
1.7.4. Revisión	20
1.7.5. Reparación pequeña	20
1.7.6. Reparación mediana.....	21
1.7.7. Reparación general	21
1.7.8. Reparación imprevista	21
1.7.9. Importancia de la organización	21
1.7.10. Personal de mantenimiento	22
1.7.11. Control de los trabajos de mantenimiento	22
1.7.12. Planificación diaria.....	22

1.7.13.	Sobre o carpeta de los equipos	23
1.8.	Plan global de mantenimiento, estructura del ciclo de reparación y estado técnico	23
1.9.	Ciclo de reparación	24
1.9.1.	Estructura del ciclo de reparación.....	25
1.9.2.	Estado técnico	25
1.10.	Características del Análisis de Criticidad	26
1.11.	Conclusiones.....	27
CAPITULO 2: MATERIALES Y METODOS		28
2.1.	Introducción.....	28
Objetivo del capítulo:.....		28
2.2.	Descripción de la instalación y proceso tecnológico de la planta de lixiviación y lavado.....	28
2.2.1.	Tanques de contacto	28
2.3.	Criterio a nivel de máquina.....	29
2.4.	Criterio a nivel de defectos.....	31
2.5.	Determinación de estado técnico en mantenimiento preventivo planificado	33
2.5.1.	Determinación del ciclo de mantenimiento.	35
2.5.2.	Periodo del ciclo de reparación	42
2.6.	Análisis de criticidad.....	43
2.7.	Conclusiones.....	44
CAPITULO 3: ANALISIS DE LOS RESULTADOS		45
3.1.	Introducción.....	45
3.2.	Resultados de la adecuación a nivel de máquina.	45
3.3.	Resultados de la adecuación a nivel de defectos.	46
3.4.	Resultados de la determinación del estado técnico de las bombas centrífugas warman 8/6.	50
3.5.	Afectaciones realizadas durante las intervenciones.....	54
3.6.	Resultados obtenidos por el comportamiento del análisis de criticidad.	56
3.7.	Análisis económico.....	59
3.7.1.	Cálculo económico	59



3.7.2.	Gasto de salario.....	60
3.7.2.1.	Salario en función de las horas a trabajar para el montaje	60
3.7.3.	Costo total	61
3.8.	Impacto Medio Ambiental.....	61
3.8.1.	Afectaciones a la salud por gases amoniacaes	62
3.8.2.	Medidas de seguridad	63
3.9.	Conclusiones.....	64

INTRODUCCIÓN

El hombre se dio cuenta que para su evolución necesitaba conocer el mundo, desarrollar sus técnicas de vida para así lograr una mejor subsistencia. Para alimentarse llegaron al cabo de utilizar materiales para confeccionar herramientas que le favorecían en la casa de animales y también para fabricar sus viviendas para vivir. Desde que el hombre descubrió las minas hizo uso de ellas, la explotación de estas ha llevado a cabo en nuestros días un gran beneficio para la economía de cualquier país en el mundo. En ella se encuentran diferentes minerales como el hierro, zinc, oro, aluminio, entre otros.

Los países desarrollados como Rusia, Japón, Estados Unidos descubrieron vías para aprovechar esos recursos naturales. Estos países con las necesidades de desarrollo fueron descubriendo las importancias de los minerales. Lo que llevaron a cabo un importante papel con las creaciones de pequeñas fábricas para obtener el mineral. En Cuba, la provincia de Holguín se encuentra el municipio Moa el cual posee una de las zonas mineras del níquel más extensa del país, cuenta con dos fábricas productora del níquel, una de ella es la empresa productora de níquel y cobalto "Comandante Ernesto Che Guevara" que trabaja con tecnología carbonato amoniacal.

Su principio de producción es la obtención de Níquel y Cobalto, presenta un proceso de obtención del mineral, uno de ellos es la Unidad Básica Productiva (UBP) de lixiviación y lavado. Durante este procedimiento se emplean las bombas centrífugas que son empleadas para elevar o transferir líquidos. En definitiva, son máquinas que realizan un trabajo para mantener un líquido en movimiento. Consiguiendo así aumentar la presión cinética del fluido. Podemos clasificar las bombas de infinitas formas, pero se pueden dividir fundamentalmente en dos grupos: Bombas volumétricos o de desplazamiento positivo y Bombas dinámicas o de energía cinética. En este segundo grupo se encuentran, entre otras, las bombas centrífugas que constituyen las máquinas más frecuentes en el proceso de obtención del mineral en la industria niquelífera de moa. En la UBP lixiviación y lavado, en el área de contacto, cuenta con un sistema de 12 bombas que está

destinado a trasegar material pulpa carbonato amoniacal, estas están ubicadas de forma horizontal, presentan desgaste, abrasividad en algunas de sus piezas principales lo que trae como consecuencia baja eficiencia debido a su deterioro progresivo, por lo que es necesario la determinación del sistema de mantenimiento para verificar el estado técnico actual del sistema de bombas. Para esto se utilizan ciertos criterios o procesamiento de datos que nos permiten determinar el sistema de mantenimiento.

Situación Problemática

La empresa "Comandante Ernesto Che Guevara", productora del níquel la cual presenta un proceso de obtención del mineral, una de estas la constituye la UBP de lixiviación y lavado, donde se encuentran situados los tanques de contactos, cuenta con un sistema de 12 bombas centrífugas warman 8/6 que presentan dificultades en averías, corrosión y desgaste en algunas de sus piezas principales impelentes, ejes, voluta. Por lo que este sistema de bombas no cuenta con un plan organizado para la regulación de las principales afectaciones, lo cual proporciona inseguridad en el sistema de mantenimiento. Así como la explotación ineficiente del sistema de bombas, lo que conlleva a un atraso en la producción en la empresa. Las corrosiones en las volutas provocan salideros lo que origina contaminación al medio ambiente.

Problema

Poca efectividad del mantenimiento que incurre en fallas en piezas principales del sistema de bombas centrífugas warman 8/6.

Objeto de estudio

Sistema de bombas centrífugas warman 8/6.

Campo de acción

Procesamiento de datos del mantenimiento preventivo planificado al sistema de bombas centrífugas warman 8/6.

Objetivo general

Determinar a través de criterios niveles máquina y de defectos las dificultades del mantenimiento actual para solucionar las afectaciones del sistema de bombas warman 8/6 de la empresa "Comandante Ernesto Che Guevara".

Hipótesis

Con la identificación por medio del procesamiento de datos se podrá arribar a la determinación de un ciclo de mantenimiento que permita la durabilidad del estado técnico para las bombas centrífugas ubicadas en los tanques de contacto perteneciente a la empresa Ernesto Che Guevara, es posible realizar una estructura del mantenimiento preventivo, regulando el tiempo entre reparaciones pequeñas y medianas.

Objetivos específicos

- Determinar por medio del procesamiento de datos las dificultades del mantenimiento preventivo al sistema de bombas centrífugas warman 8/6.
- Organizar la estructura del ciclo de mantenimiento del sistema de bombas centrífugas warman 8/6.
- Determinar el subsistema adecuado para el comienzo del ciclo de reparación con la utilización de análisis de criticidad.
- Determinar la duración del ciclo de mantenimiento, tiempo entre reparaciones y tiempo entre intervenciones.
- Definir las actividades a ejecutarse durante una reparación pequeña, reparación mediana y reparación general.

Tareas

- Actualización del estado del arte en relación a los niveles de criterios y las características del mantenimiento preventivo planificado en las bombas centrífugas warman 8/6.
- Determinación las principales piezas defectuosas con un grado de ponderación requerido a nivel de defecto.

- Determinación del sistema de mantenimiento según las características funcionales del equipo.
- Descripción a través del análisis de criticidad.
- Establecimiento del estado técnico del sistema de bombas.
- Organización del ciclo de mantenimiento.
- Determinación desde el punto de vista económico, la factibilidad del mantenimiento preventivo al sistema de bombas centrífugas en el área de los tanques de contactos.
- Valoración ambiental asociada a las operaciones del sistema de bombas centrífugas.

CAPITULO I: MARCO TEORICO DE LA INVESTIGACION

1.1. Introducción

La empresa productora de Níquel y Cobalto, lo cual presenta un proceso de obtención del mineral, uno de ellos es la Unidad Básica Productiva (UBP) de lixiviación y lavado. Este proceso se divide en cinco partes, la absorción, el enfriamiento de licor, lavado, la lixiviación y por último contacto. Durante el proceso de contacto se emplean 12 bombas centrífugas del tipo warman 8/6, la cual succiona la pulpa, que alimenta para las 6 serie de I etapa, distribuida por 4 bombas para cada línea de contacto y bombean para un distribuidor de pulpa general donde se ramifica el flujo para 4 series. Estas bombas por su continuo uso requieren un mantenimiento que cumplan con el ciclo de trabajo.

Como objetivo del capítulo: Determinar la fundamentación sobre los criterios de análisis y criticidad para establecer el mantenimiento preventivo planificado al sistema de bombas centrífugas warman 8/6 durante el trasiego de pulpas.

1.2. Descripción del flujo tecnológico de la UBP de lixiviación y lavado

La pulpa del mineral reducido, desde los tanques de contacto pasa por dos sistemas paralelos de cuatro etapas de lixiviación a contracorriente. La lixiviación se realiza con el licor carbonato – amoniacal en los espesadores por medio de aeración de la pulpa con el aire. Después de la cuarta etapa de lixiviación, la pulpa de mineral se dirige a dos sistemas paralelos de lavado. El lavado también se realiza con el licor de carbonato amoniacal por el método de contracorriente en los espesadores. El licor enriquecido en níquel y cobalto, se envía a la Planta de Recuperación de Amoníaco para filtrarlo en los filtros de placas, y así limpiarlo de hierro y la pulpa de desecho se suministra a la planta de recuperación de amoníaco donde se extrae el níquel en forma de carbonato básico y se recupera el amoníaco. El licor de la primera y la segunda etapa de lixiviación se enfrían en los intercambiadores de calor con el agua y se dirige a la Planta de Hornos de Reducción de mineral para mezclarse con el mineral reducido. (Figueredo, 2010)

1.2.1. Funcionamiento actual del área de Tanques de contacto

Esta área tiene como objetivo recibir el mineral reducido de la Unidad Básica de Producción de Hornos de Reducción descargado por los enfriadores rotatorios de mineral a una temperatura menor de 260°C , y mezclarlo en las canales de contacto con licor frío procedente de los enfriadores de licor con temperatura de $(25 - 33)^{\circ}\text{C}$, formándose de esta forma una pulpa con relación líquido-sólido de 6,3/1, y temperatura $\leq 40^{\circ}\text{C}$, llegando por gravedad a los tanques de agitación, donde se alcanza una densidad de $(1130 \text{ a } 1140) \text{ g/L}$, de estos tanques de agitación la pulpa es succionada por bombas centrífugas e impulsada para la primera etapa de turboaereadores. Para realizar estas funciones el área cuenta con 3 series de contacto (A, B y C), que reciben el mineral de 4 enfriadores rotatorios por cada serie de contacto, y cada serie cuenta con 2 canales de contacto, 2 tanques de agitación mecánica de 70 m^3 de capacidad, con un diámetro de $4,80 \text{ m}$ y una altura de $3,86 \text{ m}$ y 4 bombas centrífugas por serie, que son las encargadas de trasegar la pulpa formada, una parte al Distribuidor General, el cual ramifica el flujo de pulpa a 4 series de turboaereadores de 6 series que cuenta la primera etapa de Turboaereadores y la otra parte a las restantes dos series, las cuales reciben la pulpa a través de dos bombas, una para cada serie en cuestión. En esta área se opera generalmente con 12 bombas, una canal y un tanque de agitación por serie, el resto de las instalaciones se mantienen de reserva. El nivel promedio al que deben trabajar los tanques es de 2 m de altura con respecto a su base, debido a que las bombas no deben operar en vacío. En esta área aparece también el sello hidráulico para los gases amoniacales, así como un soporte para medir el nivel de los tanques y una abertura circular para el mecanismo de accionamiento y el agitador. La velocidad de rotación del agitador llega a 55 min^{-1} y en régimen permanente, su corriente está entre 30 y 40 A. (Figueredo, 2010). (Figura.1. anexo 3)

Licor: Líquido que está compuesto por carbonato de amonio, hidróxido de amoníaco y agua, pudiendo tener o no disuelto cantidades determinadas de níquel y cobalto entre otros compuestos.

Pulpa: Mezcla formada por licor y mineral reducido en cualquier parte del circuito.

1.3. Características técnicas de las bombas centrífugas 8/6.

El diseño de bombas centrífugas encierra una combinación de matemática, conocimiento acumulado de fabricantes y experimentación. Las diferencias entre una bomba de agua centrífuga y una bomba de pulpa centrífuga son muchas, pero la diferencia principal es que una bomba de pulpa es diseñada para manejar sólidos. Las bombas que trasiegan pulpa son equipos más robustos de geometrías más complejas y materiales con mayor resistencia al desgaste. (Gbetognon, 2008).

Trasiega la pulpa de caudal $350 - 360 \text{ m}^3/\text{h}$, a una presión de descarga de 5 kgf/cm^2 , a una temperatura de $38-40^\circ\text{C}$ y una densidad de $1130 \div 1140 \text{ kg/m}^3$. La potencia del motor es de 121 Kw (polea grande) y 131 Kw (polea chiquita), frecuencia del motor $1180 \div 1200 \text{ min}^{-1}$, la eficiencia del 80 %.

En la siguiente Figura 1.2 permite apreciar una vista preliminar de las bombas centrífugas Warman 8/6.

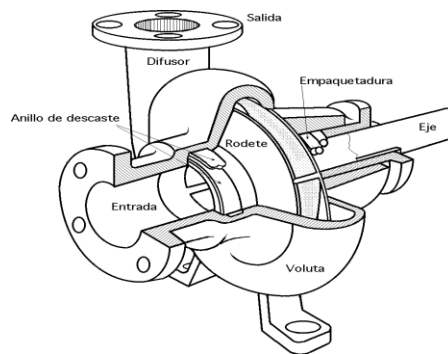


Figura 1.2 bomba warman 8/6 para el trasiego de Pulpas. Fuente (catálogo de la bomba warman 8/6).

Algunos de los principales elementos que constan una instalación, una tubería de aspiración, rodete, la voluta.

Tubería de aspiración, que concluye prácticamente en la brida de aspiración.

El impulsor o rodete, formado por un conjunto de álabes que pueden adoptar diversas formas, según la misión a que vaya a ser destinada la bomba, los cuales giran dentro de una carcasa circular.

El rodete es accionado por un motor, y va unido solidariamente al eje, siendo la parte móvil de la bomba.

El líquido penetra axialmente por la tubería de aspiración hasta la entrada del rodete, experimentando un cambio de dirección más o menos brusco, pasando a radial, (en las centrífugas), o permaneciendo axial, (en las axiales), acelerándose y absorbiendo un trabajo.

Los álabes del rodete someten a las partículas de líquido a un movimiento de rotación muy rápido, siendo proyectadas hacia el exterior por la fuerza centrífuga, creando una altura dinámica de forma que abandonan el rodete hacia la voluta a gran velocidad, aumentando también su presión en el impulsor según la distancia al eje. La elevación del líquido se produce por la reacción entre éste y el rodete sometido al movimiento de rotación.

La voluta es un órgano fijo que está dispuesta en forma de caracol alrededor del rodete, a su salida, de tal manera que la separación entre ella y el rodete es mínima en la parte superior, y va aumentando hasta que las partículas líquidas se encuentran frente a la abertura de impulsión. Su misión es la de recoger el líquido que abandona el rodete a gran velocidad, cambiar la dirección de su movimiento y encaminarle hacia la brida de impulsión de la bomba.

La voluta es también un transformador de energía, ya que frena la velocidad del líquido, transformando parte de la energía dinámica creada en el rodete en energía de presión, que crece a medida que el espacio entre el rodete y la carcasa aumenta, presión que se suma a la alcanzada por el líquido en el rodete.

En algunas bombas existe, a la salida del rodete, una corona directriz de álabes que guía el líquido a la salida del rodete antes de introducirlo en la voluta.

Una tubería de impulsión, instalada a la salida de la voluta, por la que el líquido es evacuado a la presión y velocidad creadas en la bomba.

Motor, con una potencia de $121kW$, número de revolución igual a 1200 min^{-1} y un amperaje de 192 A. (Catálogo de la bomba warman 8/6).

Las fallas ocurren debido al continuo uso de trabajo de las bombas sin un planificado mantenimiento. Por esto algunas de las principales piezas se ven afectadas a veces en su totalidad, como son la voluta presenta abrasividad por corrosión y desgaste lo que provoca salideros al ocurrir las fallas, el eje, el impelente se ven afectados también por la densidad de pulpas, características de la misma. (Gbetognon, 2008).

1.3.1. Afectaciones más comunes de las bombas centrífugas warman 8/6.

Las fallas de las bombas las ocasionan con mucha frecuencia los ingenieros y operadores de la planta que no reconocen las limitaciones inherentes de capacidad en las bombas centrífugas. Cuando se opera una bomba en un punto que no sea el de flujo de máxima eficiencia, se producen anomalías hidráulicas en la voluta y el impulsor. Estas anomalías, se ven también en el eje, rodete, cuello de aspiración, estas ocurren en todas las bombas centrífugas, pueden ocasionar aspereza hidráulica, impulsos de vibración, flexiones del eje y menor duración de cojinetes y sellos mecánicos, así como mayor desgaste y corrosión de las piezas principales debido a la explotación excesiva de trabajo sin un mantenimiento sistemático. (Sierra 2004).

Cavitación en las bombas centrífugas.

Las bombas centrífugas funcionan con normalidad si la presión absoluta a la entrada del rodete no está por debajo de un determinado valor; cuando el líquido a bombear se mueve en una región donde la presión es menor que su presión de vapor, vaporiza en forma de burbujas en su seno, las cuales son arrastradas junto con el líquido hasta una región donde se alcanza una presión más elevada y allí desaparecen; a este fenómeno se le conoce como cavitación, cuyas consecuencias se describen a continuación. Si a la entrada del rodete la presión

es inferior a la presión parcial del vapor p_v se forman las burbujas de vapor que disminuyen el espacio utilizable para el paso del líquido, también Perturban la continuidad del flujo debido al desprendimiento de gases y vapores disueltos. (Pedro, 2017).

Descripción del fenómeno de cavitación

La cavitación es un fenómeno típico de las bombas y turbinas hidráulicas (flujo incomprensible, de agua o de otro líquido), la cavitación afecta a los alaves, pese a que su causa y efectos han sido estudiados ampliamente a lo largo de los años, todavía hoy dan lugar a serios problemas de funcionamiento.

Según Pedro (2017) la cavitación se puede clasificar según la forma en que se produce, el grado de desarrollo y la forma de manifestarse macroscópicamente. Según la forma cavitación de vapor se produce debida a la disminución local de la presión, puede ser hidrodinámica creadas por depresiones locales debidas a la aceleración del fluido o acústica, debida a ondas de presión transmitidas en el fluido, cavitación gaseosa aumento de las temperaturas, inducir vibración local de las partículas. Según el grado de desarrollo cavitación incipiente, es la etapa inicial donde empieza a ser visible la formación de burbujas, la desarrollada es la etapa en la que se tiene un número elevado de burbujas lo suficientemente como para producir una modificación. Por otra parte la cavitación cuando se tiene una superficie solida sumergida. Según su manifestación macroscópica burbujas aisladas cuando el número es muy denso da lugar a la llamada cavitación, cavitación de láminas, de vórtice, de estría, esta última es un tipo de burbujas en la que la nucleación de las mismas se produce siguiendo una línea.

1.3.2. Incidencia del desgaste y corrosión en las bombas centrífugas.

Debido a las características de trabajo que están sometidas, estas presentan problemas en algunas de sus piezas principales, voluta, rodete, eje, cuello de aspiración provocando desgaste, no es más que la pérdida progresiva del material en la superficie de trabajo como resultado de la fricción y el movimiento relativo. El desgaste tiene tres etapas o periodos. Se clasifica en dos grupos moderados

cuando ocurre en las capas superficiales de los materiales, las partículas son muy pequeñas y se encuentran en el orden de los nanómetros. El otro es cuando es severo existe un fuerte contacto entre los metales y la superficie presenta radiadura profunda marcas escoriaciones protuberancias y las partículas del desgaste están en el orden de las decimas de milímetros. (Augusto, 1999).

El desgaste tiene tres etapas o periodos.

1-Zona o etapa de asentamiento: Se caracteriza por una alta velocidad e intensidad del desgaste en este periodo puede llegar hacer de $30 \div 60\%$ del desgaste permisible durante este periodo el desgaste se produce en los picos más altos. Con el tiempo el are de contacto real aumenta y disminuye el desgaste.

2- Zona o período de desgaste normal: En esta zona existe una mayor área de contacto real y la velocidad del desgaste se hace prácticamente constante.

3-Zona o desgaste catastrófico: La magnitud del desgaste supera lo admisible, lo que se refleja en el aumento de ruido, temperatura y vibraciones, el equipo entra en periodo y averías y los costos aumentan considerablemente.

Tabla 1.1 Tipos de desgastes contra la superficie desgastada.

Tipos de desgastes	Aspectos de la superficie desgastada
Fatiga superficial	Grietas, caries
Abrasivo	Excoriación, arañazos, ralladuras
Adhesivo	Protuberancia, escamas, caries
Corrosivo	Productos de reacción (partículas)

Características de la corrosión en el deterioro de piezas.

El fenómeno corrosión se define como el deterioro de los materiales a causa de alguna reacción con el medio ambiente en que son usados. La corrosión es la destrucción lenta y progresiva de un material producida por un agente exterior que puede ser aire húmedo, producto químico, etc. Se produce por acción electroquímica (con o sin fuerza electromotriz exterior aplicada), por acción puramente química o por acción bioquímica. Este fenómeno no siempre involucra un cambio de peso o un deterioro visible, ya que muchas formas de corrosión se

manifiestan por un cambio de las propiedades de los materiales, disminuyendo su resistencia. (Augusto, 1999).

Determinación de la corrosión en los metales

La mayoría de los metales se encuentran en estado natural formando parte de minerales, ya sea como óxido o metales. El mineral común de hierro se asemeja a la herrumbre. El motivo por el cual se produce la corrosión es que, cuando se modifica o altera la estructura de los elementos de la naturaleza, éstos tienden a volver a su estado original, por ejemplo, el hierro se encuentra en la naturaleza en forma de óxidos, sulfuros y carbonatos, semejantes a la herrumbre. Para convertir estos en hierro metálico se debe emplear energía y esta misma energía es la que se libera cuando el hierro se convierte en herrumbre debido a la corrosión. En efecto, es la energía que guarda el metal durante el proceso de refinación lo que hace posible el proceso de corrosión.

Según (Liesa, 1990) Los tipos de corrosión son los siguientes

- Corrosión General o Uniforme: Es aquella corrosión que se produce con el adelgazamiento uniforme producto de la pérdida regular del metal superficial.
- Corrosión Localizada: Este tipo de corrosión es en donde la pérdida de metal ocurre en áreas discretas o localizadas.
- Corrosión atmosférica: Se produce por la reacción del metal con los elementos presentes en la atmósfera como lo son el oxígeno, el agua, la sal y elementos contaminantes atmosféricos. En la corrosión atmosférica se pueden identificar diferentes ambientes con características particulares de contaminación.

1.4. Base conceptual del Sistema de Gestión de Mantenimiento, para la propuesta de un sistema de mantenimiento eficiente a las bombas centrífugas warman 8/6.

La base conceptual del Sistema de Gestión de Mantenimiento, es la totalidad de las acciones técnicas, organizativas y económicas encaminadas a garantizar y mejorar los indicadores técnico-económicos del subsistema productivo como son:

seguridad, fiabilidad, vida útil, disponibilidad técnica, rendimiento, calidad y costos de mantenimiento en el proceso productivo, con el fin de producir bienes y servicios. En esta definición se encuentran reflejados los principios que se consideran básicos en el mantenimiento. Los objetivos del mantenimiento están subordinados a las exigencias de la producción principal. Las funciones de mantenimiento tienen que fundamentarse en conocimientos técnicos, organizativos y económicos. La organización del mantenimiento tiene carácter sistémico. (Arex, 1996).

Los objetivos y alcance del Sistema de Gestión de Mantenimiento son los siguientes:

1. Lograr en el subsistema productivo de una industria una adecuada seguridad, fiabilidad, disponibilidad técnica, rendimiento y calidad de la producción al más bajo costo de mantenimiento posible.
2. Incrementar la vida útil de los activos fijos tangibles, la productividad y la rentabilidad de la empresa.
3. Facilitar la toma de decisiones de forma eficiente.

Funciones: se expresan a través de las funciones fundamentales de las subdivisiones organizativas de la actividad de mantenimiento en la empresa.

Organización: para llevar a cabo las funciones que permitan el cumplimiento de los objetivos, debe existir una estructura organizativa que lo permita, aunque muchas de las funciones a cumplir se deberán desarrollar en cooperación con otras áreas de la empresa.

Automatización: si la actividad de mantenimiento está debidamente organizada, la implantación de un sistema de gestión informatizada será una herramienta inestimable de ayuda para la toma de decisiones, de manera que estas se fundamenten en datos concretos, cuantificables y procesados de manera rápida y confiable, dejando el menor margen a factores subjetivos. (Arex, 1996).

1.4.1. El modelo del Sistema de Gestión de Mantenimiento (SGM) presenta las propiedades siguientes

1. Corresponde con las exigencias del proceso productivo en concreto.

2. Se caracteriza por integrar armónicamente cuatro subsistemas de base (Recursos Humanos, Aseguramiento, Planificación, Organización, Control e Información y Tecnológico).
3. Lleva a cambios cualitativos y cuantitativos dentro del proceso productivo.
4. Corresponde con las exigencias de aseguramiento de los elementos de los subsistemas integrantes.
5. Es flexible a cambios y automejoras en correspondencia con los adelantos científico-técnico de la industria y asimila de manera rápida los cambios provenientes de la producción principal y de otros clientes (entorno) adaptándose a éstos.
6. Satisface las expectativas de reducir los costos de acción directa en el mantenimiento actual y de inactividad por causa de averías o reparaciones planificadas, erradicar los precios del incumplimiento, y mejorar los indicadores de eficiencia del proceso productivo.
7. Es capaz de interactuar de forma independiente con el sistema de mayor envergadura y relacionarse con el resto de los sistemas de la empresa tales como: producción, calidad, contabilidad, recursos humanos, aprovisionamiento y otros, lo que le permitirá tomar decisiones rápidas y adecuadas.
8. Es capaz de desarrollar sus funciones y cumplir sus objetivos con los recursos necesarios a un costo razonable.
9. Permite la creatividad disciplinada y la innovación, así como apoyar y estimular las ideas y sugerencias de los involucrados.
10. Es susceptible de mejoras basadas en la retroalimentación de sus resultados en cada período de evaluación. El sistema no debe considerarse como un producto acabado, sino que permitirá ser modificado y mejorado continuamente.

El SGM está diseñado para planificar, organizar, ejecutar, regular, registrar, controlar, evaluar, analizar, diagnosticar y predecir todos los servicios técnicos u otras actividades necesarias para lograr los objetivos y metas trazadas en la planeación estratégica en los centrales azucareros cubanos, tanto en el período de zafra como en el de reparaciones, y se caracteriza por integrar armónicamente cuatro subsistemas de base ya identificados (Recursos Humanos, Aseguramiento, Planificación, Organización, Control e Información y Tecnológico).

1.4.2. Direcciones fundamentales de trabajo para la implantación del subsistema

Para la implantación del subsistema es necesario desarrollar el trabajo en las direcciones siguientes:

1. Establecimiento de una política de diferenciación de equipos.
2. Organización del Sistema Alterno de Mantenimiento para las diferentes máquinas y equipos del central
3. Implementación de las técnicas de mantenimiento preventivo.
4. Establecimiento de una organización científica para la ejecución de los servicios técnicos a las máquinas, equipos e instalaciones del central.
5. Establecimiento de políticas de recuperación, innovación, renovación y desarrollo de los activos fijos tangibles del central.
6. Establecimiento de los estudios de fiabilidad y calidad en la explotación y mantenimiento del subsistema productivo.

1.4.3. Clasificaciones de los equipos

2. Críticos.
3. Fundamentales.
4. Convencionales.
5. Auxiliares.

Equipos críticos: Son aquellos que al dejar de funcionar detienen completamente la producción del central.

Equipos fundamentales: Son aquellos que poseen la máxima importancia dentro del proceso productivo (imprescindibles), son irremplazables, de alta complejidad, alto nivel de utilización, empleo continuo y tienen alta influencia en la seguridad operacional de la planta.

Equipos convencionales: Son aquellos que limitan la producción, de media complejidad, de un nivel de utilización medio, reemplazables y con bajo grado de automatización.

Equipos auxiliares: Son técnicamente simples, poco utilizados y se emplean en funciones auxiliares del proceso.

Los equipos fundamentales son aquellos que cumplen los requisitos siguientes:

- Imposibilidad tecnológica de ser sustituidos.
- Alta precisión operacional.
- Alto grado de automatización.
- Alta complejidad.
- Son utilizados por encima del 90% de su capacidad.
- Trabajan en producción continua de tres turnos.
- Gran influencia en la seguridad operacional.
- Alto precio.

Los equipos convencionales son aquellos que cumplen los requisitos siguientes

- Existen en cantidad suficiente para garantizar su sustitución sin afectar el proceso productivo.
- Son de accionamiento mecánico y con un menor grado de automatización.
- Tienen complejidad moderada.
- Trabajan hasta el 90% de su capacidad.

Los equipos auxiliares son aquellos que cumplen los requisitos siguientes

- Existencia en gran cantidad.
- Son técnicamente simples.
- Son empleados en servicios auxiliares.
- Tienen un bajo valor.
- Son utilizados de forma esporádica.

Es importante destacar que no es necesario que un equipo cumpla todos los requisitos señalados para ser clasificado en un determinado grupo; en muchos casos depende de la experiencia de los especialistas y mecánicos.

1.5. Selección del sistema de mantenimiento

El mantenimiento preventivo a partir de los datos suministrados por el fabricante con el objetivo de elevar la eficiencia de los mantenimientos, reducir el consumo de piezas de repuesto y elevar la disponibilidad técnica, existe una tendencia actual de aplicar nuevos sistemas de sistemas de mantenimiento, entre los cuales se encuentran

- Mantenimiento preventivo definido estadísticamente (fiabilidad)
- Mantenimiento preventivo con medición de parámetros síntomas
- Mantenimiento predictivo
- Mantenimiento por condición

Dependiendo del tipo de máquina, las características de la producción asociada y la importancia de esta en el proceso productivo, entre otros factores, se debe determinar el sistema de mantenimiento más adecuado para cada máquina, de ahí la importancia de disponer de una metodología para su determinación.

Debe considerarse además como aspecto esencial el hecho de que la influencia del diagnóstico en la rentabilidad es significativa solo cuando se vincula con el sistema de mantenimiento óptimo. Es importante destacar en este sentido la incidencia económica de la selección adecuada del sistema de mantenimiento ya que es posible que después de realizar inversiones considerables en equipamiento y modificación de las estructuras existentes, el nuevo sistema de mantenimiento no cumpla con las expectativas que justificaron su uso. Para la selección del sistema de mantenimiento se han propuesto diferentes metodologías, las cuales analizan con distintas particularidades, diferentes criterios que aplicados a la máquina como un todo permiten determinar qué sistema de mantenimiento es el más conveniente.

Para la selección del sistema de mantenimiento se utilizarán dos niveles de análisis: el criterio a nivel de máquina y el criterio a nivel de defecto.

1.5.1. Criterio a nivel de máquina

Evalúa la máquina como un todo, teniendo en cuenta los aspectos más significativos de la misma. Para ello utiliza una serie de coeficientes que cuantifican cada uno de los aspectos a valorar.

1.5.2. Criterio a nivel de defectos

El Criterio a nivel de defectos se emplea para un análisis más profundo de la máquina, ya que existen defectos cuyo comportamiento es tan determinístico en el tiempo que permiten estimar su grado de desarrollo directamente en función del tiempo de explotación. Considerando esto se hace necesario seleccionar el sistema de mantenimiento no sólo analizando la máquina como un todo, sino también analizando las particularidades de los defectos principales. (Arex, 1996).

1.6. Antecedentes del mantenimiento preventivo planificado

Navarrete (1986) establece un procedimiento que permite definir la estructura del ciclo de reparación en función de la duración teórica del ciclo de mantenimiento, y de los coeficientes que contemplan el régimen de trabajo y el tipo de producción; el mismo permite la determinación de los tiempos de intervención y reparación, pero se ve limitado por la reducida variedad de equipos analizados que muestran una estructura claramente definida.

Luna (1982) expone que el éxito del sistema preventivo planificado consiste en que luego de que el equipo ha realizado ciertas labores, debe dejar de trabajar para realizarle un tipo de mantenimiento dado, de acuerdo con un plan confeccionado previamente. Además, recalca que el conjunto de operaciones incluidas en cada mantenimiento debe ser obligatoriamente ejecutado. La principal deficiencia de este trabajo está relacionada con la confección del plan de mantenimiento, ya que, aunque se menciona no se muestra evidencia física ni procedimiento alguno para su elaboración. Para realizar el mantenimiento preventivo se precisa de un conjunto de acciones que de una manera planificada y programada se apliquen a los equipos, con el fin de prevenir y corregir condiciones

desfavorables, asegurado de esta manera que la calidad de servicio permanezca dentro de los límites establecidos (Pista, 1993).

Gilbert y Palacios (2013) realizan la evaluación del sistema de gestión de la calidad de mantenimiento en varias empresas del territorio holguinero, dividiendo el sistema de gestión en porciones llamadas áreas de actuación, las que a su vez eran subdivididas en lo que llamarían funciones, donde la ponderación más elevada se le otorga a la ingeniería de mantenimiento, presentando la mayor jerarquía el mantenimiento preventivo planificado.

Bangueses y Gorris (2006) plantean que el mantenimiento preventivo puede ser definido como la conservación planeada de fábrica y equipo, que permitiendo inspecciones periódicas descubren condiciones defectuosas y reducen costos. Por lo que se considera una actividad programada e iniciada independiente de la condición actual del grupo y de la necesidad obvia de su reparación. Por lo tanto, se deben aplicar programas acordes con la tecnología y equipos, garantizando de esta forma la operación óptima de ellos en los procesos.

1.7. Generalidades sobre mantenimiento preventivo planificado

Se llama mantenimiento preventivo planificado a todo el conjunto de medidas de carácter técnico y organizativo, mediante las cuales se lleva a cabo el mantenimiento y la reparación de los equipos. Estas medidas son elaboradas previamente según el plan que asegura el trabajo ininterrumpido de los equipos. De esta manera el equipo se encuentra siempre en buen estado, ya que es sometido a reparaciones periódicas que eliminan en gran parte las averías con la consiguiente economización de trabajo y material. (Seleme, 2015).

1.7.1. Principales objetivos del mantenimiento preventivo planificado

- Mantener al equipo en un estado que asegure su rendimiento eficaz.
- Evitar los casos de roturas imprevistas que ocasionan las fallas en el equipo.
- Reducir los gastos invertidos en la reparación del equipo.

Las principales actividades del mantenimiento preventivo planificado

Estas actividades cumplen el objetivo de comprobar el estado técnico del equipo, cumple requisitos como observar el equipo diariamente, atender al régimen correcto de lubricación, comprobar las partes y componentes del equipo.

1.7.2. Servicio diario del equipo

El objetivo del servicio diario del equipo es comprobar el estado técnico del equipo, de los mecanismos de dirección, de los elementos de lubricación y refrigeración, así como comprobar el cumplimiento de las normas de trabajo por parte de los obreros.

Debe realizarse, el ajustador de turno debe observar el equipo diariamente al comienzo y al final del turno de trabajo, de existir problemas informar.

1.7.3. Trabajos periódicos

Existen otros trabajos llamados periódicos debido a que se hacen cada determinado tiempo y que realizan los ajustadores de servicio, según un plan previamente elaborado. Estos son limpieza de los equipos que trabajan en condiciones anormales, cambio del aceite del sistema de lubricación del equipo, comprobación de la precisión de las holguras y otros factores.

1.7.4. Revisión

La revisión se realiza entre una reparación y otra, según el plan correspondiente al equipo. Su propósito es comprobar el estado de este y determinar los preparativos que hay que hacer para la próxima reparación. Los trabajos que se pueden realizar, comprobación de los mecanismos, comprobación el funcionamiento del sistema de lubricación.

1.7.5. Reparación pequeña

La reparación pequeña debido al mínimo volumen de trabajo que durante ella se realiza, es un tipo de reparación preventiva, es decir, es una reparación para prevenir posibles defectos del equipo. Desmontaje parcial del equipo, limpieza del equipo.

1.7.6. Reparación mediana

La reparación mediana es la reparación durante la cual se realiza una cantidad de trabajo mayor que la reparación pequeña. Durante ella el equipo se desmonta parcialmente y mediante la reparación o sustitución de las piezas en mal estado se garantiza la precisión necesaria, potencia y productividad del equipo hasta la próxima reparación planificada.

1.7.7. Reparación general

La reparación general es la reparación planificada de máximo volumen de trabajo, durante la cual se realiza el desmontaje total del equipo, la sustitución o reparación de todas las piezas y todos los mecanismos desgastados, así como la reparación de las piezas básicas del equipo mediante la reparación general se garantiza la fiabilidad, potencia y productividad del equipo. Los previstos son desmontaje total del equipo.

1.7.8. Reparación imprevista

Además de las reparaciones planificadas se realizan las reparaciones imprevistas, estas se efectúan cuando ocurre alguna avería. La reparación que es necesaria realizar después de una avería depende de la magnitud de la misma y puede tener la extensión de una reparación pequeña, mediana o general y en esos casos especiales puede ser necesaria la reposición del equipo. Algunas causas posibles de averías mala lubricación, defectos de operación y tecnológicos, Caída o exceso de voltaje. Las averías deben ser investigadas a los efectos de determinar sus causas y tomar medidas pendientes a evitar su repetición en el futuro (Navarrete, 1986).

1.7.9. Importancia de la organización

En una fábrica nueva una vez que se ha terminado la construcción, existe un periodo de tiempo durante el cual el trabajo de mantenimiento se limita a cuestiones rutinarias poco importantes y a diversos ajustes de los equipos nuevos. Esto provoca una tendencia a resolver los trabajos de mantenimiento a medida

que se presentan. Después que se haya seguido este procedimiento durante algún tiempo, la variedad de los trabajos diarios que hay que realizar darán la impresión de que es imposible organizarlos y planificarlos. Esto es un error, es cierto que las tareas que se presentan son muy variables de un día a otro por lo que la organización tiene que ser flexible. No es posible imponérsele a cada fábrica un sistema determinado, porque el desarrollo de los métodos y procedimientos es un proceso gradual que hay que adaptar a las necesidades particulares de cada caso.

1.7.10. Personal de mantenimiento

Un requisito fundamental para conseguir un mantenimiento adecuado es disponer de un número suficiente pero no excesivo de operarios de cada oficio para hacer frente a la demanda máxima cuando es posible prever esta demanda, pero cuando la naturaleza de los trabajos implica su pronta realización, el traslado provisional de algunos operarios desde la producción a mantenimiento puede eliminar la necesidad de mantener un personal numeroso permanente.

1.7.11. Control de los trabajos de mantenimiento

El registro fundamental del mantenimiento es la atención rápida y correcta al equipo cuando la soliciten los operarios que trabajen con él, al mismo tiempo que un cuidado periódico para reducir al mínimo la necesidad de esas solicitudes. Como consecuencia de la estructura de organización de cada fábrica o centro de producción a los trabajos de mantenimiento se asignan un grupo determinado de obreros o brigadas que existen con este fin pero esto no implica que los operarios no tengan que saber sobre los equipos, sino que deben poner su interés en el objetivo común de obtener condiciones favorables de funcionamiento y en informar rápidamente cuando sospechen de algún defecto.

1.7.12. Planificación diaria

Para coordinar bien los trabajos de mantenimiento es preferible planificar lo que haya que ejecutar al día siguiente. Se hace a veces la objeción de que los casos

urgentes hacen que no sea factible ese sistema, en realidad el hecho de que se presentan a menudo casos urgentes indica un incorrecto sistema de mantenimiento o un control defectuoso. Siempre ocurrirán casos de urgencia pero pueden reducirse del 10 al 20 % de la totalidad de la tarea. El plan diario de trabajo muestra el punto donde se encuentra cada brigada y la labor que está realizando y hace que sea más fácil obtener ayuda en caso de urgencia con la menor perturbación posible.

1.7.13. Sobre o carpeta de los equipos

En la carpeta de cada equipo se anotan todos los detalles de los trabajos de mantenimiento y reparación realizados en el equipo. La función principal de la carpeta del equipo es poder saber en cualquier momento, todos los trabajos o cambios que se han realizado en el mismo. En él debe aparecer la estructura del ciclo de reparación del equipo, el tiempo de duración del ciclo, los tiempos entre operaciones y reparaciones, la planificación del mantenimiento del equipo, el control de horas trabajadas mensual por el equipo, la carta de lubricación y las indicaciones al respecto. Todos estos datos van unidos a los documentos técnicos del equipo para formar lo que pudiera llamarse historia del equipo. El control de horas trabajadas por el equipo es necesario puesto que de esta manera se puede saber cuándo corresponde algún trabajo de mantenimiento al equipo. También esto facilita mucho los trabajos de control en las condiciones actuales de la industria, donde no es preciso el número de horas trabajadas en un turno, así como los turnos que se trabaja en el mes. Cada vez que se efectúe un trabajo de mantenimiento a un equipo debe añadirse a la carpeta una tarjeta indicando o explicando todo el trabajo realizado, así como las piezas sustituidas y próximas a sustituir.

1.8. Plan global de mantenimiento, estructura del ciclo de reparación y estado técnico

El plan de mantenimiento se prepara de manera global para todo el año indicando lo que ha de hacerse por mes. En este plan figuran todas las máquinas, equipos e

instalaciones indicando el tipo de mantenimiento (reparación pequeña, revisión, reparación mediana y general), que corresponde en cada uno de los meses.

El tipo de mantenimiento y su fecha se determinan sobre la base de la planificación que se hace con antelación sobre el número de horas que ha trabajado el equipo, basado en la estructura del ciclo y la duración de este, es decir, después de establecer la estructura del ciclo, el tiempo de duración del mismo en horas y cuantos turnos trabajará el equipo, es que se puede planificar los distintos trabajos de mantenimiento, así como su fecha (Navarrete, 1986).

1.9. Ciclo de reparación

El ciclo de reparación constituye la parte más importante del mantenimiento preventivo planificado. La elección de un ciclo adecuado significa un mejor aprovechamiento del equipo, seguridad para el flujo de producción, ahorro de tiempo, ahorro de piezas, materiales y mano de obra. Ciclo de reparación (T) se denomina al periodo de tiempo de trabajo del equipo, expresado en horas-máquinas, entre dos reparaciones generales consecutivas o en un equipo nuevo, desde su puesta en marcha hasta la primera reparación general. Las operaciones a realizar en el ciclo han sido divididas en cuatro categorías: revisión (R), reparación pequeña (P), reparación mediana (M) y reparación general (G). El tiempo que se invierte en las revisiones y durante las reparaciones no forman parte del ciclo, ya que un mismo trabajo puede tener mayor o menor duración en talleres diferentes. Cada máquina o equipo puede pasar por varios ciclos de reparación durante su vida útil, dependiendo esto de su carácter obsoleto. Cada tipo de ciclo tiene su estructura propia, la cual fija el número y los tipos de revisiones y reparaciones que se realizarán en el equipo dado.

En muchos casos se utilizan también en la producción diferentes equipos especiales, para los cuales será necesario emplear de la misma forma un ciclo adoptado de forma especial. En el ciclo a aplicar en cada equipo debería determinarse en cada área de producción, analizado individualmente los equipos, eligiendo, el tipo que debe corresponder. La duración del ciclo de reparación en

horas-máquinas depende de las características constructivas del equipo, condiciones de explotación, tipo de producción y otras.

1.9.1. Estructura del ciclo de reparación

Se denomina al orden de las intervenciones planificadas dispuestas consecutivamente. La duración del ciclo de reparación y el periodo entre intervenciones se establece sobre la base del trabajo real de los equipos, expresado en horas-máquinas. En empresas donde el grado de organización permita un óptimo aprovechamiento de los equipos, se puede aceptar el tiempo corregido por el coeficiente de aprovechamiento, o sea en dependencia de cuantos turnos trabaja el equipo y bajo qué condiciones (Navarrete, 1986).

1.9.2. Estado técnico

Un aspecto importante que se debe observar para planificar la actividad de mantenimiento es el conocimiento previo del estado técnico del equipo, por lo que se hace necesario efectuar una serie de trabajos iniciales para su evaluación.

El estado técnico de un equipo se define como las condiciones técnicas y funcionales que posee el equipo en un momento dado. Por tanto, el estado técnico de cualquier equipo está en función del tiempo. Para determinar el mismo se efectúa una revisión previa a cada equipo donde participan los técnicos de mayor experiencia y calificación y está dirigida a detectar el grado de desgaste de las diferentes partes y mecanismos de las máquinas.

El éxito de la determinación del estado técnico radica en el nivel de responsabilidad y exigencia con que se haya realizado la defectación.

Esta inspección contempla:

1. Consumo de energía.
2. Funcionamiento del elemento motriz y del acoplamiento.
3. Estado de la carcasa del equipo.

4. Funcionamiento de los mecanismos de regulación y mando.
5. Funcionamiento de los órganos de trabajo.
6. Estado de las transmisiones (correas, cadenas, engranajes).
7. Estado de conservación de los instrumentos que indican los parámetros de funcionamiento del equipo.
8. Nivel de ruido, vibraciones, temperatura.
9. Otros parámetros que el experto considere importantes.

Procedimientos para determinar el estado técnico de un equipo

El procedimiento actual de mayor aceptación en el mundo para la determinación del estado técnico del equipamiento industrial lo constituye la monitoreo constante de los parámetros estructurales y funcionales de las máquinas a través de novedosas técnicas de diagnóstico (análisis de vibraciones, termografías, análisis de aceites, líquidos penetrantes y otros).

Sin embargo, el alto costo de instalación e implementación de este tipo de sistema, restringe su aplicación solo a aquellos casos donde se justifique su utilización técnica y económica (Aguado, 2008).

1.10. Características del Análisis de Criticidad

Es una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones. Este se realiza definiendo un alcance y un propósito para su análisis, estableciendo criterios de importancia (seguridad, ambiente, producción, costo unitario de producción, costos de operación y mantenimiento, calidad). Seleccionando un método de evaluación para jerarquizarla selección de sistema objeto de análisis. El análisis de criticidad se emprende cuando hay que fijar prioridades, administrar recursos escasos, necesidad de crear valor, cuando el costo de oportunidad no es conocido, por lo que se busca determinar impacto en el negocio. (Amendola, 2003).

De acuerdo a su propósito, se pueden agrupar, control de riesgos, continuidad operacional, mantenibilidad, reparación, calidad producto, diseño, valor agregado, impacto ambiental, seguridad y múltiples.

El objetivo de un análisis de criticidad es establecer un método que sirva de instrumento de ayuda en la determinación de la jerarquía de procesos, sistemas y equipos de una planta compleja, permitiendo subdividir los elementos en secciones que puedan ser manejadas de manera controlada y auditable. Desde el punto de vista matemático la criticidad se puede expresar como

Criticidad = Frecuencia x Consecuencia

Donde la frecuencia está asociada al número de eventos o fallas que presenta el sistema o proceso evaluado y, la consecuencia está referida con: el impacto y flexibilidad operacional, los costos de reparación y los impactos en seguridad y ambiente.

1.11. Conclusiones

- Se logró la fundamentación sobre los criterios de análisis nivel de máquina y de defecto.
- Se abordó acerca del análisis de criticidad como método de jerarquizar el sistema.
- Se adquirió las principales características del mantenimiento preventivo planificado a las bombas centrífugas warman 8/6, definiendo las acciones que deben acometerse para que el mismo se ejecute correctamente.

CAPITULO 2: MATERIALES Y METODOS

2.1. Introducción

El presente capítulo desarrolla una metodología de cálculo que permita demostrar la hipótesis científica para dar solución a los problemas científicos que se establecieron en el capítulo 1 con el propósito de garantizar el objetivo general.

Objetivo del capítulo: Desarrollar la metodología de trabajo por medio del procesamiento de datos y de criticidad para determinar el sistema de mantenimiento preventivo planificado.

2.2. Descripción de la instalación y proceso tecnológico de la planta de lixiviación y lavado

El proceso tecnológico en esta planta se divide en tres áreas por las distintas operaciones que debe de llevar a cabo cada una de las etapas del proceso. Estas son: El área de contacto, la Lixiviación y el Lavado. Pero como nuestro trabajo se desarrolla en el área de contacto, es necesario describir la instalación y el proceso tecnológico de esta área, donde están instaladas las bombas.

2.2.1. Tanques de contacto

Según Jespere (2008) esta área tiene como objetivo recibir el mineral reducido de la Unidad Básica de Producción de Hornos de Reducción descargado por los enfriadores rotatorios de mineral a una temperatura menor de 260°C , y mezclarlo en las canales de contacto con licor frío procedente de los enfriadores de licor con temperatura de $(25 \text{ a } 33)^{\circ}\text{C}$, formándose de esta forma una pulpa con relación líquido-sólido de 6,3/1, y temperatura $\leq 40^{\circ}\text{C}$, llegando por gravedad a los tanques de agitación, donde se alcanza una densidad de $(1130 \text{ a } 1140) \text{ kg/m}^3$, de estos tanque de agitación la pulpa es succionada por bombas centrífuga e impulsada para la primera etapa de turboaeradores. Para realizar estas funciones el área cuenta con 3 series de contacto (A, B y C), que reciben el mineral de 4 enfriadores rotatorios por cada serie de contacto, y cada serie cuenta con 2 canales de contacto, 2 tanques de agitación mecánica de 70 m^3 de capacidad y 4

bombas centrífugas, que son las encargadas de trasegar la pulpa formada, una parte al DI general, el cual ramifica el flujo de pulpa a 4 series de turboaereadores de 6 series que cuenta la primera etapa de TA y la otra parte a las restantes dos series, la cual reciben la pulpa a través de dos bombas una para cada serie en cuestión. Las bombas que se designan para trasegar la pulpa directamente desde los tanques de agitación a las series II B y II C de turboaereadores de primera etapa, pueden ser las siguientes: (01; 02) C, (01; 02) B y 03 A. Existen 12 bombas que operan en esta área de contacto que son del tipo warman 8/6. Estas bombas presentan problemas en algunas de sus piezas principales, por ello es necesario hacer una valoración de los principales defectos del equipo para determinar los problemas del mantenimiento.

Para la selección del sistema de mantenimiento utilizaremos dos niveles de análisis: el criterio a nivel de máquina y el criterio a nivel de defecto y el análisis de criticidad para seleccionar en el sistema bombas el subsistema que requiera primero el mantenimiento.

2.3. Criterio a nivel de máquina

Evalúa la máquina como un todo, teniendo en cuenta los aspectos más significativos de la misma. Para ello utiliza una serie de coeficientes que cuantifican cada uno de los aspectos a valorar. Se denominan elevado costo de adquisición de la máquina, alto costo por concepto de pérdidas de producción, no existencia de duplicado de la máquina, posibilidad de efectuar mediciones de control de parámetros globales tales como: Niveles totales de vibración, temperatura, flujo, graves consecuencias económicas de una rotura para la máquina. Considera que el deterioro de una de sus partes debido a un fallo haría muy costosa su reparación. A continuación, se caracterizan estos aspectos más generalizados, para ellos se utiliza la (Tabla 2.1).

Tabla 2.1 Coeficiente a nivel de máquina

Coeficientes	Comprende
C1	Elevado costo de adquisición de la máquina
C2	Alto costo por concepto de pérdidas de producción
C3	No existencia de duplicado de la máquina
C4	Posibilidad de efectuar un diagnóstico de la máquina con la instrumentación disponible
C5	Posibilidad de efectuar mediciones de control de parámetros globales tales como: Niveles totales de vibración, temperatura, flujo.
C6	Elevado costo de mantenimiento de la máquina. Aquí se incluyen los gastos materiales y de recursos humanos en un determinado período de tiempo.
C7	Elevadas pérdidas de vida útil debido al desarme. Se refiere a máquinas que por sus características técnicas constructivas sufren deterioro de su estado técnico con el desarme.
C8	Graves consecuencias económicas de una rotura para la máquina. Considera que el deterioro de una de sus partes debido a un fallo haría muy costosa su reparación.

Evalúa la máquina como un todo, teniendo en cuenta los aspectos más significativos de la misma. Para ello utiliza una serie de coeficientes que cuantifican cada uno de los aspectos a valorar.

Los coeficientes que cumplen con la condición descrita adoptan el valor 1

Los coeficientes que no cumplen la condición adoptan el valor 0

Posteriormente se determinan los siguientes coeficientes:

Coeficiente de mantenimiento predictivo

$$C_{pred} = \frac{C1+C2+C3+C6}{4} \quad 2.1$$

Coeficiente de mantenimiento correctivo/preventivo

$$C_{corr/pre} = \frac{C_{pérdidas}+C_{fallas}}{5} \quad 2.2$$

dónde:

$$C_{p\acute{e}rdidas} = C1 + C2 + C6 \quad 2.3$$

$$C_{fallos} = C7 + C8 \quad 2.4$$

Para evaluar el criterio a nivel de maquina es necesario conocer una serie de coeficientes que cuantifican cada uno de los aspectos a valorar, para ello se utiliza la (Tabla 2.2) como regla de selección, valores de los coeficientes y sistema de mantenimiento.

Tabla 2.2 Reglas de selección

VALOR DE LOS COEFICIENTES	SISTEMA DE MANTENIMIENTO
$C_{corr/prev} = 0$	Correctivo
$C_{pred} \leq 0.25 \quad C7 = 1$	Preventivo según índices de fiabilidad
$C_{pred} > 0.5 \quad C4 = 0 \quad C5 = 1$	Preventivo con medición de parámetros síntomas
$0.25 \leq C_{pred} \leq 0.5 \quad C4 = 1$ y/o $C5 = 1$	
$C_{pred} \geq 0.5 \quad C4 = 1$	
	Predictivo

Podemos apreciar los coeficientes $C_{pred} > 0.5 \quad C4 = 0 \quad C5 = 1$ y $0.25 \leq C_{pred} \leq 0.5 \quad C4 = 1$ y/o $C5 = 1$, al calcularse los valores entran dentro de estos rangos, entonces se puede seleccionar un sistema de mantenimiento correcto.

2.4. Criterio a nivel de defectos

El Criterio a nivel de defectos se emplea para un análisis más profundo de la máquina, ya que existen defectos cuyo comportamiento es tan determinístico en el tiempo que permiten estimar su grado de desarrollo directamente en función del tiempo de explotación. Considerando esto se hace necesario seleccionar el sistema de mantenimiento no sólo analizando las bombas como un todo, sino también analizando las particularidades de los defectos principales. El criterio a nivel de defectos considera los siguientes aspectos en relación con la máquina (Tabla 2.3).

Tabla 2.3 Coeficiente a nivel de defectos

Coeficientes	Comprende
$C1$	Carácter aleatorio de las averías en función del tiempo
$C2$	Graves consecuencias para la máquina de ocurrir una avería
$C3$	Elevado tiempo de reparación de la máquina
$C4$	Elevado costo de reparación de la máquina
$C5$	Elevado costo por concepto de pérdidas de producción
$C6$	Posibilidad de diagnosticar y predecir la aparición de averías

El criterio a nivel de defectos considera los siguientes aspectos en relación con la máquina:

La evaluación de la máquina a través de estos aspectos da lugar a los coeficientes Wc , la misma se realiza de acuerdo al siguiente convenio:

0: Desestima la importancia del criterio.

9: Le asigna la máxima validez.

Una vez finalizada la ponderación de los valores $Vi;j$, se determina los Coeficientes sumarios para cada criterio Vci los cuales nos dan una idea de la influencia de estos en la máquina. Para realizar el cálculo se emplea la siguiente expresión:

$$Vci = \frac{\sum_{j=1}^{nd} Wdj \times Vij}{2 \times nd} \quad 2.5$$

Siendo

nd : Número de defectos evaluados

Wdj : Coeficiente de ponderación del defecto j

También se determina el Coeficiente de mantenimiento predictivo de cada defecto ($Cpredj$), posibilidad de implementar técnicas asociadas al mismo para detectar esos defectos.

$$Cpredj = \frac{\sum_{i=1}^{nc} Wci \times Vij}{9 \times nc} \quad 2.6$$

nc : Número de criterios considerados

W_{ci} : Coeficiente de ponderación para cada criterio

Posteriormente se calcula el Coeficiente de mantenimiento predictivo para la bomba centrífuga warman 8/6 (C_{predB}).

$$C_{predB} = \frac{\sum_{j=1}^{nd} C_{predj}}{nd} \quad 2.7$$

Para el criterio a nivel de defecto se emplea un análisis más profundo a las bombas centrífugas, el cual requiere diferentes coeficientes que se exponen en la (Tabla 2.2).

Tabla 2.4 Reglas de selección

VALOR DE LOS COEFICIENTES	SISTEMA DE MANTENIMIENTO
$VC1 < 0.5$ $VC2 \leq 0.3$ $VC4 \leq 0.3$	Correctivo
$VC1 < 0.5$ $VC2 \leq 0.3$	Preventivo según el fabricante o según índices de fiabilidad
$VC1 < 0.5$ $VC2 \geq 0.3$	Preventivo con medición de parámetros síntomas
$VC1 > 0.5$ $VC6 \neq 1$	Preventivo combinado con Predictivo
$VC1 \geq 0.5$ $VC6 \geq 0.5$ $C_{pred} > 0.5$	Predictivo

La regla de selección a nivel de defecto requiere comparar los resultados obtenidos para seleccionar el sistema de mantenimiento.

2.5. Determinación de estado técnico en mantenimiento preventivo planificado

En el mantenimiento preventivo planificado el procedimiento que se sigue para la determinación del estado técnico es muy sencillo y útil, al terminarse la revisión previa, se hace una valoración del equipo que puede ser de buena, regular, mala o muy mala. Para esto es necesario determinar el porcentaje de eficiencia del equipo, donde existen pasos intermedios de obligatorio cálculo, como puede ser:

$$Z_i = e \times c \quad 2.8$$

Donde

Z_i : Calificación de los elementos con igual evaluación.

e : Número de elementos con igual evaluación.

c : Coeficiente que contempla el estado actual del elemento; [Adimensional].

$c = 1$ Si el elemento es evaluado es bueno.

$c = 8$ Si el elemento es evaluado es regular.

$c = 0,6$ Si el elemento es evaluado es malo

$c = 0,4$ Si el elemento es evaluado es muy malo.

Luego de multiplicar la cantidad de elementos según la evaluación obtenida se procede a sumar estos productos mediante la ecuación:

$$Z = \sum_{i=1}^n Zi \quad 2.9$$

Donde

Z : Calificación total de los elementos evaluados.

Al fraccionar este resultado entre la cantidad de elementos evaluados y afectándolo por 100 se obtiene el grado de eficiencia del equipo a su condición inicial, lo anteriormente expuesto se evalúa η empleando la expresión siguiente:

$$\eta = \frac{Z}{n} \times 100 \quad 2.10$$

A partir de

η = Eficiencia obtenida al efectuar la defectación %.

n = Número de elementos evaluados del equipo.

Para clasificar el estado técnico del equipo de acuerdo con la eficiencia que se obtuvo al efectuar la defectación es necesario tomar como referencia la analogía siguiente:

Eficiencia actual	Estado técnico
90 – 100 %	Bueno
75 – 89 %	Regular
50 – 74 %	Malo

menos del 50%

Muy Malo

Para establecer el ciclo de reparación a equipos que se encuentran en funcionamiento es necesario definir la actividad por la que se va a comenzar. Para tales casos puede seguirse la siguiente regla:

Equipos cuyos estado técnico sea	Se recomienda empezar por
Bueno	Revisiones
Regular	Reparación pequeña
Malo	Reparación medianas
Muy malo	Reparación Generales

2.5.1. Determinación del ciclo de mantenimiento.

Por ciclo de mantenimiento se entiende la cantidad y secuencia de los diferentes servicios de mantenimiento que se llevan a cabo en un equipo entre dos reparaciones generales, o entre la puesta en marcha y la primera reparación general, en caso de ser un equipo recién instalado. Esto constituye la parte más importante del mantenimiento preventivo, ya que se aprovecha mejor al equipo, hay seguridad en la producción, ahorro de tiempo, de mano de obra, materiales.

1. Digestores de pulpa y máquinas especiales en la industria del papel.

Revisiones: 120; Reparaciones Pequeñas: 110; Reparaciones Medianas: 9
Reparaciones Generales: 1

G-11P-M-11P-M-11P-M-11P-M-11P-M-11P-M-11P-M-11P-M-11P-G

2. Máquinas de papel, de deshidratación, máquinas de fabricar cartón y máquinas de vapor.

Revisiones: 0; Reparaciones Pequeñas: 301; Reparaciones Medianas: 6;
Reparaciones Generales: 1

G-43P-M-43P-M-43P-M-43P-M-43P-M-43P-M-43P-G

3. Motores eléctricos que funcionan en ambientes nocivos o desfavorables (humedad, ácidos, etc.), o que estén en malas condiciones técnicas.

Revisiones: 0; Reparaciones Pequeñas: 3; Reparaciones Medianas: 0;
Reparaciones Generales: 1

G-P-P-P-G

4. Bombas de vacío, compresores, sopladores y motores eléctricos que funcionen en ambiente normal o que estén en buenas condiciones técnicas.

Revisiones: 12; Reparaciones Pequeñas: 5; Reparaciones Medianas: 0;
Reparaciones Generales: 1

G-2R-P-2R-P-2R-P-2R-P-2R-P-2R-G

5. Máquinas herramientas de corte: tornos, fresadoras, cepilladoras, etc.

Revisiones: 8; Reparaciones Pequeñas: 2; Reparaciones Medianas: 1;
Reparaciones Generales: 1

G-2R-P-2R-M-2R-P-2R-G

6. Desmenuzadoras.

Revisiones: 12; Reparaciones Pequeñas: 2; Reparaciones Medianas: 1;
Reparaciones Generales: 1

G-3R-P-3R-M-3R-P-3R-G

7. Equipos de carga y transporte, conductores y transportadores de correas.

Revisiones: 12; Reparaciones Pequeñas: 4; Reparaciones Medianas: 1;
Reparaciones Generales: 1

G-2R-P-2R-P-M-P-2R-P-2R-G

8. Correas transportadoras.

Revisiones: 12; Reparaciones Pequeñas: 3; Reparaciones Medianas: 2;
Reparaciones Generales: 1

G-P-M-P-M-G

9. Líneas automáticas que tienen máquinas con las guías de las bancadas templadas, equipos de elaboración de madera, máquinas de corte de metal para desbastado, máquinas de soldadura y equipos de empaquetado.

Revisiones: 18; Reparaciones Pequeñas: 6; Revisiones Medianas: 2;
Reparaciones Generales: 1

G-2R-P-2R-P-2R-M-2R-P-2R-P-2R-M-2R-P-2R-P-2R-G

10. Equipos de prensa y equipos de carga y transporte

Revisiones: 6; Reparaciones Pequeñas: 4; Reparaciones Medianas: 1;
Reparaciones Generales: 1

G-R-P-R-P-R-M-R-P-R-P-R-G

11. Máquinas de metal ligeras y pequeñas, equipos térmicos, prensas hidráulicas para encolado, prensado y otras operaciones, equipos anticorrosivos, equipos automáticos de repetición y de tolva, transportadores de fuga y distribución de equipos de lavado, máquinas de corte de madera.

Revisiones: 9; Reparaciones Pequeñas: 6; Reparaciones Medianas: 2;
Reparaciones Generales: 1

G-R-P-R-P-R-M-R-P-R-P-R-M-R-P-R-P-R-G

12. Transportadores elevadores, cablearías, equipos de transporte, tuberías y otras maquinarias en fábricas químicas y especiales.

Revisiones: 12; Reparaciones Pequeñas: 9; Reparaciones Medianas: 2;
Reparaciones Generales: 1

G-R-P-R-P-R-P-R-M-R-P-R-P-R-P-R-M-R-P-R-P-R-P-R-G

13. Máquinas de corte de metal grandes y pesadas, transportadores, elevadores y correas de elevadores, transportadores automáticos, equipos de control, prensas mecánicas, cortadoras grandes.

Revisiones: 27; Reparaciones Pequeñas: 6; Reparaciones Medianas: 2;
Reparaciones Generales: 1

G-3R-P-3R-P-3R-M-3R-P-3R-P-3R-M-3R-P-3R-P-3R-G

14. Máquinas de corte de metal para el acabado.

Revisiones: 18; Reparaciones Pequeñas: 6; Reparaciones Medianas: 2;
Reparaciones Generales: 1

G-2R-P-2R-P-2R-M-2R-P-2R-P-2R-M-2R-P-2R-P-2R-G

15. Equipos de carga, transporte, grúas, monorraíles y diferenciales eléctricos.

Revisiones: 36; Reparaciones Pequeñas: 6; Reparaciones Medianas: 2;
Reparaciones Generales: 1

G-4R-P-4R-P-4R-M-4R-P-4R-P-4R-M-4R-P-4R-P-4R-G

16. Equipos de Prensa.

Revisiones: 24; Reparaciones Pequeñas: 2; Reparaciones Medianas: 1;
Reparaciones Generales: 1

G-4R-P-4R-M-4R-P-4R-G

17. Compresores móviles, bombas centrífugas, bombas para arena (martillos, etc.), celdas de flotación.

Revisiones: 0; Reparaciones Pequeñas: 4; Reparaciones Medianas: 1;
Reparaciones Generales: 1

G-P-P-M-P-P-G

18. Ventiladores, bombas de ácidos, etc.

Revisiones: 0; Reparaciones Pequeñas: 6; Reparaciones Medianas: 1;
Reparaciones Generales: 1

G-P-P-P-M-P-P-P-G

19. Reductores de velocidad, recomendándose que trabajen 24 horas, donde la

Revisión se hace cada 6 meses, la Reparación Pequeña cada 2 años, la Mediana, cada 3 años y la General cada 6 años.

6 Revisiones c/6 meses G-R-P-R-P-R-M-R-P-R-P-R-G

4 Reparaciones Pequeñas c/1 año

1 Reparación Mediana c/3 años

1 Reparación General c/6 años

8 Revisiones c/6 meses

2 Reparaciones Pequeñas c/1 año

1 Reparación Mediana c/3 años G-R-R-P-R-R-M-R-R-P-R-R-G 1
Reparación General c/6 años

20. Torres de cemento de refrigeración, compresores estacionarios, generadores, winches grandes y pequeños, etc.

Revisiones: 0; Reparaciones Pequeñas: 8; Reparaciones Medianas: 1;
Reparaciones Generales: 1

G-P-P-P-P-M-P-P-P-P-G

21. Torres de madera para refrigeración.

Revisiones: 0; Reparaciones Pequeñas: 12; Reparaciones Medianas: 1;
Reparaciones Generales: 1

G-P-P-P-P-P-P-M-P-P-P-P-P-P-G

22. Tanques.

Revisiones: 0; Reparaciones Pequeñas: 12; Reparaciones Medianas: 1;
Reparaciones Generales: 1

G-P-P-P-P-P-P-M-P-P-P-P-P-P-G

23. Equipos de clasificación, masas de concentración, etc.

Revisiones: 0; Reparaciones Pequeñas: 3; Reparaciones Medianas: 2;
Reparaciones Generales: 1

G-P-M-P-M-P-G

24. Rectificadores de Corriente.

Revisiones: 0; Reparaciones Pequeñas: 18; Reparaciones Medianas: 5;
Reparaciones Generales: 1

G-P-P-P-M-P-P-P-M-P-P-P-M-P-P-P-M-P-P-P-M-P-P-P-G

25. Todas las calderas de vapor (generadores de vapor).

Revisiones: 0; Reparaciones Pequeñas: 10; Reparaciones Medianas: 4;
Reparaciones Generales: 1

G-P-P-M-P-P-M-P-P-M-P-P-M-P-P-G

26. Grúas, ascensores, montacargas, elevadores, máquinas de elevación,
malacates.

Revisiones: 9; Reparaciones Pequeñas: 8; Reparaciones Medianas: 1;
Reparaciones Generales: 0

G-R-P-R-P-R-P-R-P-R-M-R-P-R-P-R-P-R-P-R-G

27. Hornos (a los ladrillos refractarios)

Revisiones: 0; Reparaciones Pequeñas: 0; Reparaciones Medianas: 0;
Reparaciones Generales: 1

G-G

Después de confeccionarse el ciclo de mantenimiento es necesario determinar la duración del mismo. La duración del ciclo de mantenimiento (T) es el tiempo que media entre dos reparaciones generales, es decir, el tiempo neto que debe funcionar el equipo entre dos reparaciones generales, descontando el tiempo que se invierte en reparaciones y revisiones. Este se expresa en horas/máquina. Cuando se establece el ciclo de mantenimiento de un equipo y su duración, hay

que tener en cuenta la cantidad y secuencia de los diferentes servicios que pueden acometerse desde una reparación general a otra y su estado técnico el cual indicará por qué tipo de servicio debe comenzar el ciclo. Para determinar o elegir la duración del ciclo de mantenimiento, si no poseemos otra información, podemos utilizar la siguiente recomendación en tabla. (Tabla.1. anexo 1)

La duración del ciclo de mantenimiento (T) se determina a partir de los grupos que estén ubicados los equipos y horas entre reparaciones generales que les corresponden por la regla de selección.

Algunos equipos que pueden incluirse en los grupos anteriores:

- 1- Transformadores eléctricos de corriente y voltaje (14-19).
- 2- Generadores eléctricos (6).
- 3- Rectificadores eléctricos secos y de mercurio (19).
- 4- Dínamos (9).
- 5- Vehículos de acumuladores (locomotoras y otros) (5).
- 6- Motores eléctricos que trabajan en malas condiciones ambientales (8).
- 7- Motores eléctricos que trabajan en condiciones muy favorables (13).
- 8- Reductores de velocidad (9).
- 9- Equipos de alza y carga (grúas monorraíles, diferenciales eléctricos, grúas volantes de mando mecánico y grúas de puente) (1-16).
- 10- Prensas hidráulicas (3-11).
- 11- Sierras de bastidor, máquinas recortadoras cuadriláteras, lijadoras, pulidoras, cepilladoras, sierras circulares, sinfines, tornos horizontales, taladros con avance manual (5-12). (Según el material que elabora).
- 12- Equipos evaporadores, filtros, calandrias, refinadoras de disco cónico (9).
- 13- Caustificadoras, clasificadoras de ciclón, agitadores de propela, prensas de

empaquetar (14).

14- Filtros espaciadores para la caustificación, digestores (6).

15- Digestores fijos, verticales, horizontales, tanques de licor (19).

16- Tanques y depósitos en general de productos químicos (19).

17- Equipos para la refinación de petróleo por destilación atmosférica y por Craqueo estático (1).

18- Instalaciones para tratamientos de agua (19).

19- Calderas de vapor (14).

20- Turbinas de vapor (6).

21- Bombas centrífugas, incluyendo las de ácidos (3).

22- Equipos de corte de metales (4-19).

23- Compresores móviles que trabajan en condiciones desventajosas (4).

24- Compresores estáticos (9).

25- Torres de enfriamiento de agua de madera (14).

26- Torres de enfriamiento de agua de cemento (15).

2.5.2. Periodo del ciclo de reparación

Una vez definido la estructura del ciclo de mantenimiento y su duración se podrá conocer el tiempo entre dos servicios consecutivos y entre dos reparaciones. Para ello pueden utilizarse los siguientes criterios:

Periodo entre reparaciones medianas. Se denomina al periodo de trabajo del equipo expresado en horas máquinas, entre dos reparaciones medianas consecutivas planificadas (Portuondo, 1983).

$$t_{rm} = \frac{T}{NM+1} \quad 2.11$$

Periodo entre reparaciones. Se denomina al periodo de trabajo del equipo expresado en horas maquinas entre dos reparaciones planificadas.

$$t_r = \frac{T}{NP+NM+1} \quad 2.12$$

Periodo entre intervenciones. Se denomina al periodo de tiempo de trabajo del equipo entre dos intervenciones, o sea entre dos revisiones inmediatas entre una reparación y una revisión. Para el cálculo de la duración entre intervenciones se utiliza la fórmula:

$$t_0 = \frac{T}{NR+NP+NM+1} \quad 2.13$$

Según

t_{rm} : Periodo que transcurre entre dos reparaciones medianas consecutivas, horas-maquinas.

t_r : Periodo que transcurre entre dos reparaciones consecutivas, horas-maquinas.

t_r : Periodo que transcurre entre dos servicios de mantenimiento cualesquiera, horas máquinas.

T : Duración del ciclo de reparación, horas maquinas.

NR : Cantidad de revisiones.

NP : Cantidad de reparaciones pequeñas.

NM : Cantidad de reparaciones medianas.

2.6. Análisis de criticidad

El análisis de criticidad se aplica en cualquier conjunto de procesos, plantas, sistemas, equipos y/o componentes que requieran ser jerarquizados en función de su impacto en el proceso o negocio donde formen parte. Sus áreas comunes de aplicación se orientan a establecer programas de implantación y prioridades. La criticidad se puede expresar de la siguiente forma, ecuación 2.14. (Tabla.2. anexo 2)

$$C = \frac{[(TPPR \times Imp. Prod.) + Costo Rep. + Imp. Seg. + Imp. Amb.]}{Frec. Falla} \times 2.14$$

Frecuencia de fallas: Son las veces que falla cualquier componente del sistema.

Impacto operacional: Es el porcentaje de producción que se afecta cuando ocurre la falla.

Tiempo promedio para reparar: Es el tiempo para reparar la falla.

Costo de reparación: Costo de fallas.

Impacto de seguridad: Posibilidad de ocurrencia de eventos no deseados con daños a personas.

Impacto ambiental: Posibilidad de ocurrencia de eventos no deseados con daños al ambiente.

2.7. Conclusiones

- A través del procesamiento de datos se logra fundamentar las principales características de elegir un sistema de mantenimiento.
- Se estableció el análisis de criticidad, caracterizando sus principales aspectos frecuencias de fallas, tiempo promedio para reparar.
- Quedo establecida la metodología que permite mediante su implementación al sistema de bombas centrífugas, de forma que garantice su explotación durante el proceso productivo.

CAPITULO 3: ANALISIS DE LOS RESULTADOS

3.1. Introducción

Las bombas centrífugas 8/6, cuando operan en condiciones de trabajo muy corrosivo debido a las características de la pulpa, provoca desgaste y corrosión en algunas de sus piezas, provocando un bajo rendimiento económico para la empresa.

Como objetivo de capítulo: Presentar los resultados obtenidos, siguiendo la metodología de cálculo del capítulo anterior, analizando la valoración económica e impacto ambiental y descripción del flujo tecnológico del sistema de bombas centrífugas warman 8/6.

3.2. Resultados de la adecuación a nivel de máquina.

Teniendo en cuenta los aspectos significativos, para ello se utilizan una serie de coeficientes (tabla 2.1), donde se logrará un cuantioso análisis de los resultados en la (tabla 3.1).

Tabla 3.1 Coeficiente de evaluación según el criterio a nivel de máquina.

Coeficientes	Comprende	Valor
C1	Elevado costo de adquisición de la máquina	1
C2	Alto costo por concepto de pérdidas de producción	1
C3	No existencia de duplicado de la máquina	0
C4	Posibilidad de efectuar un diagnóstico de la máquina con la instrumentación disponible	1
C5	Posibilidad de efectuar mediciones de control de parámetros globales	1
C6	Elevado costo de mantenimiento de la máquina	1
C7	Elevadas pérdidas de vida útil debido al desarme	0
C8	Graves consecuencias económicas de una rotura	1

En la tabla 3.1 muestra los valores alcanzado por cada uno de los coeficientes que considera el criterio a nivel de máquina, C1 elevado costo de adquisición de la máquina es 1 por el elevado costo de adquisición de la bombas, C2 alto costo por

concepto de pérdidas de producción debido a los fallos que incurren las bombas es 1, C_4 existe la instrumentación disponible para efectuar el diagnóstico de las bombas 1, C_6 por lo que existe un elevado costo de mantenimiento a las bombas por un elevado precio de las piezas 1. Los coeficientes que toman el valor de cero, no cumplen los requisitos necesarios para la selección. Se realiza a través de un diagnóstico técnico-práctico con el jefe de mantenimiento de UBP, caracterizando el nivel de trabajo de las bombas. Para los coeficientes de selección se observan en la (Tabla 3.2).

Tabla 3.2 Coeficientes de selección

Coeficiente	Ecuación	Valor
C_{pred}	2.1	0,75
$C_{corr/prev}$	2.2	0,6
$C_{pérdidas}$	2.3	2
C_{fallos}	2.4	1

Al comprobar el criterio a nivel de máquina se realiza una determinación del mantenimiento, con la utilización de la regla de selección (tabla 2.2), el sistema de mantenimiento es Predictivo con valores de $C_{pred} \geq 0,5$.

3.3. Resultados de la adecuación a nivel de defectos.

Se emplea para un análisis más profundo de la máquina, ya que existen defectos cuyo comportamiento es tan determinístico en el tiempo que permiten estimar su grado de desarrollo directamente en función del tiempo de explotación, para ello se utiliza una serie de coeficientes (tabla 2.3), donde se pone de manifiesto graves consecuencias para la máquina de ocurrir una avería, elevado costo de adquisición, elevado costo por pérdida de producción. A continuación, en la (Tabla 3.3), se muestra la evaluación de las bombas a través de estos aspectos.

Tabla 3.3 Coeficiente de evaluación según el criterio a nivel de defectos

Coeficientes	Comprende	Valor
$C1$	presentan un carácter aleatorio de avería en función del tiempo	1
$C2$	El taller tiene mucha demanda	0
$C3$	No obedece a la falta de piezas	0
$C4$	Se determina a través de la reparación	0
$C5$	Elevado costo por concepto de pérdidas de producción	1
$C6$	Posibilidad de diagnosticar y predecir la aparición de averías	1

Este criterio permite estimar su grado de desarrollo directamente en función del tiempo de explotación. De acuerdo al número de defectos que más incidan en el comportamiento de las bombas, se seleccionan cuidadosamente de acuerdo a la importancia real que tienen estos en el funcionamiento de las bombas, esto se realiza utilizando una escala de 0 a 9, con lo que se obtienen los coeficientes de ponderación Wc . Después se establece la relación entre cada uno de los criterios y los defectos analizados, para ello es necesario evaluar cada defecto según los criterios $C1, C2, C3, C4, C5, C6$, Para conformar la matriz Criterio – Defecto. Los resultados se muestran en la (Tabla 3.4).

Tabla 3.4 Determinación de los coeficientes para cada criterio

Coeficientes para cada Criterio - Defecto						
Cantad de Defecto	$C1$	$C2$	$C3$	$C4$	$C5$	$C6$
$D1$	1	1	1	1	1	1
$D2$	1	1	0	1	1	0
$D3$	0	0	0	0	0	1
$D4$	0	1	0	0	1	1
$\sum V_{ci}$	$V_{c1} = 0,44$	$V_{c2} = 0,6$	$V_{c3} = 0,2$	$V_{c4} = 0,4$	$V_{c5} = 0,6$	$V_{c6} = 0,6$

Una vez terminada la ponderación de los valores se determina los coeficientes sumarios para cada criterio, la influencia de los coeficientes para cada criterio en la bomba centrífuga warman 8/6. Utilizando la ecuación 2.5.

También es necesario definir los defectos que más inciden en el comportamiento de las bombas centrífugas warman 8/6. Los mismos se deben seleccionarse cuidadosamente de acuerdo a la importancia real que tienen estos en el funcionamiento. Los defectos se denotaran con la letra *d*. En la (Tabla 3.5) se muestran los resultados de la cantidad de defectos.

Tabla 3.5 Cantidad de defectos en las bombas centrifugas warman 8/6

Cantidad Defectos	de	Piezas principales	Valor
<i>D1</i>		Desgaste por abrasión de la volutas	$Wd1 = 8$
<i>D2</i>		Deterioro a causa del desgaste de los rodets	$Wd2 = 8$
<i>D3</i>		Desgaste de los ejes	$Wd3 = 6$
<i>D4</i>		Corrosión sobre los cuellos de aspiración	$Wd4 = 8$

Para la selección de los mismos, esto se realizó utilizando una escala, se obtienen los coeficientes de ponderación. El primer defecto es el desgaste por abrasión de las volutas, toma un valor de coeficiente de ponderación de 8, el segundo deterioro a causa del desgaste de los rodets con coeficiente de 8, el tercero desgaste de los ejes, toma valor de 6 y por último la corrosión sobre los cuellos de aspiración tiene un valor de coeficiente de ponderación de 8.

Posteriormente de ver evaluado cada coeficiente y defectos se determina los coeficientes de mantenimiento predictivo de cada defecto $Cpredj$ ofrece la posibilidad de implementar técnicas asociadas al mismo para detectar esos defectos. Por consiguiente se calcula el coeficiente de mantenimiento predictivo para la bomba centrífuga warman 8/6 $Cpredb$.

La evaluación de la bomba a través de estos aspectos, da lugar a los coeficientes Wc , se realiza de acuerdo al convenio siguiente, desestima la importancia del

criterio 0 y le asigna la máxima validez 9. En la siguiente tabla se muestra los coeficientes de mantenimiento predictivo de cada defecto.

Tabla 3.6 Coeficiente de mantenimiento predictivo de cada defecto C_{predj}

Coeficiente	Valor	C1	C2	C3	C4	C5	C6
$Wc1$	9	1	0	0	0	1	1
$Wc2$	3	1	0	0	0	1	1
$Wc3$	2	1	0	0	0	1	1
$Wc4$	3	1	0	0	0	1	1
$Wc5$	8	1	0	0	0	1	1
$Wc6$	7	1	0	0	0	1	1
Total C_{predj}		0,88	0	0	0	0,88	0,88

Los coeficientes de mantenimiento predictivo de cada defecto se analizan según los valores de ponderación para cada coeficiente, $C_{pred1} = 0,88$, $C_{pred2} = 0$, $C_{pred3} = 0$, $C_{pred4} = 0$, $C_{pred5} = 0,88$, $C_{pred6} = 0,88$, estos parámetros se calcularon utilizando la ecuación 2.6.

Posteriormente del análisis de criterio a nivel de defecto, se aplicó la regla de selección (Tabla 2.4).

Tabla 3.7 Coeficientes de selección

Coeficiente	Ecuación	Valor
Vci	2.5	$Vc1 = 0,44$ $Vc2 = 0,66$ $Vc3 = 0,22$ $Vc4 = 0,44$ $Vc5 = 0,66$ $Vc6 = 0,61$
C_{predj}	2.6	$C_{pred1} = 0,88$ $C_{pred2} = 0$ $C_{pred3} = 0$ $C_{pred4} = 0$ $C_{pred5} = 0,88$ $C_{pred6} = 0,88$
C_{predB}	2.7	$C_{predB} = 0,66$

Se recomienda el sistema de mantenimiento preventivo planificado con mediciones de parámetros y síntomas $V_{c1} < 0,5$, $V_{c2} \geq 0,3$. Por lo que se arriba a la conclusión que el criterio que coincide con el mantenimiento actual es el de defecto aplicable a este sistema de bombas centrífugas warman 8/6, para aplicar el sistema de mantenimiento preventivo planificado.

3.4. Resultados de la determinación del estado técnico de las bombas centrífugas warman 8/6.

El Mantenimiento Preventivo Planificado implica la restauración de la capacidad de trabajo de los equipos (presión, potencia, rendimiento) y de su comportamiento (índices de consumo), mediante el mantenimiento técnico racional, cambio y reparación de las piezas y conjuntos desgastados realizados conforme a un plan de elaborado con anterioridad (Portuondo Pichardo).

Después de un análisis del equipo, se somete a evaluar el defectado de las partes componentes, por elementos se estableció el valor correspondiente en la (tabla 3.8).

Tabla 3.8 Partes componentes de las bombas centrífugas Warman 8/6

Cantidad elementos	de	Elementos evaluados	Valor
1		Volutas	0,6
2		Ejes	0,6
3		Cuellos de aspiración	0,8
4		Rodetes	0,6
5		Difusores	0,8
6		Anillo de descate	0,8
7		Soporte de cojinetes	1
8		Empaquetaduras	1
9		Sellos mecánicos	1

Una vez evaluado las partes y componentes se aprecia los resultados, como malos fueron evaluados tres, regulares tres, bueno tres y por ultimo de muy malo ninguno, por lo que se utilizó la ecuación 2.8.

La calificación total de los elementos evaluados representa un rango importante para la determinación del estado técnico del sistema de bombas, lo podemos apreciar en la tabla (3.9), se utilizó la ecuación 2.9 para determinar $Zi(Total)$.

Tabla 3.9 Calificación total de los elementos evaluados.

Elementos evaluados	Resultados
$Zi(malos)$	1,8
$Zi(regulares)$	2,4
$Zi(buenos)$	3
$Zi(muy malos)$	0
$Zi(Total)$	7,2

Los elementos evaluados permite tener una calificación total de 7,2. Luego se pasa a la eficiencia que se obtiene en porciento, es decir con 7,2 de calificación se divide por la cantidad de partes y componentes por lo que se afectó por 100 para obtener la eficiencia actual. Luego de realizar este paso se compara para determinar el estado técnico del equipo y la eficiencia actual, donde se encuentra dentro del rango de (75 – 89 %), donde es posible la selección el equipo de Regular. Ecuación 2.10

La estructura del ciclo de mantenimiento se representa en la figura 3.1 estableciendo las actividades realizadas sobre el sistema de bombas. Las bombas centrífugas aparecen dentro de los equipos que pueden incluirse en el grupo 17, el cual establece un rango de 57 600 a 64 800 *horas máquinas* entre reparaciones generales, partiendo que el estado técnico del equipo es regular, se determinó como duración del ciclo de mantenimiento 59 700 *horas máquinas*, el cual se corresponde con el valor medio del rango establecido.

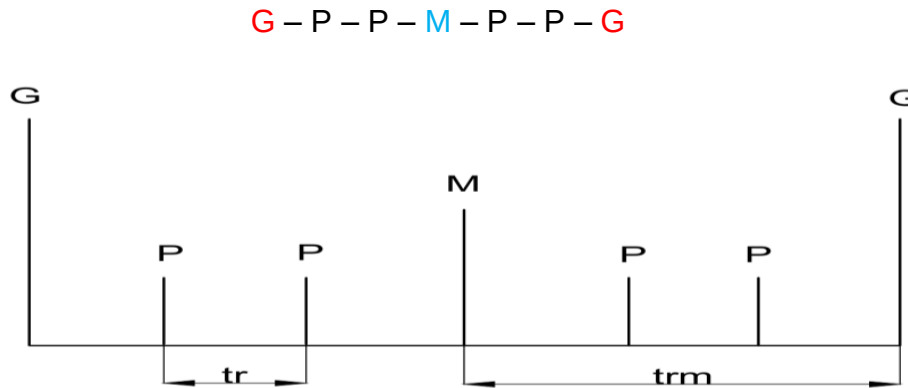


Figura 3.1 Estructura del ciclo de reparación para el sistema de bombas.

El ciclo de mantenimiento para el sistema de bombas centrífugas contempla 0 revisiones, 4 reparaciones pequeñas y 1 reparaciones medianas, 1 general. Fijado el periodo que transcurrirá entre las reparaciones generales, y establecida la estructura del ciclo de mantenimiento; se definieron los periodos entre reparaciones medianas, reparaciones pequeñas del equipo, siendo estos de 29 850, 9 950 *horas máquinas* respectivamente. Considerando que el equipo trabaja bajo régimen de explotación continua, se expone que desde la puesta en marcha del mecanismo hasta la próxima reparación general transcurre 2487,5 días donde se puede aseverar que las reparaciones medianas deben acometerse cada 1244 día, el periodo entre las reparaciones pequeñas tarda 414 días. Ecuación 2.11 y 2.12. Como el ciclo de mantenimiento no requiere periodo entre intervenciones, o sea entre dos intervenciones inmediatas entre una reparación y una revisión, la ecuación 2.13 no requiere de su utilización.

Considerando que el sistema de mantenimiento cumpla con el plan de trabajo, el comienzo seria él 1 de enero de 2018 luego de una reparación general, se puede realizar la distribución de las intervenciones (Tabla 3.8), propia del ciclo de mantenimiento.

Tabla 3.10 Distribución de las intervenciones del sistema de bombas centrífugas.

Año	Meses calendario											
2018	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
	P							P				
2019	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
			M							P		
2020	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
					P							
2021	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
	G											

La distribución de las intervenciones y reparaciones aparece desarrollada en la tabla 3.8, contemplando un periodo aproximado de 3 años y 1 mes, que abarca desde enero de 2018 a enero de 2021, considerando que el equipo comenzó en operación en la fecha fijada.

Por lo que es necesario efectuar las horas entre intervenciones del sistema de bombas para ajustar el montaje, tiempo de maquinado, fijándose así en la (tabla 3.11).

Tabla 3.11 Horas necesarias para efectuar las intervenciones del sistema de bombas centrífugas warman 8/6.

Tipo de Intervención	Ajuste y montaje	Maquinado	Total
Reparación pequeña	1,6	0,9	2,5
Reparación mediana	2,4	1,5	3,9
Reparación general	9	6	15

En la tabla 3.11 se muestra las horas necesarias para efectuar las intervenciones del sistema de bombas, desglosándose los tiempos a emplear entre ajuste y maquinado, en una revisión, reparación pequeña, reparación mediana y reparación general, requiriéndose un total de 2,5; 3,9; y 15 horas respectivamente.

En el cálculo de las horas - hombres considera las horas necesarias que un obrero necesita emplear, para realizar las actividades que se enmarcan dentro del ciclo de mantenimiento.

Tabla 3.12 Horas - hombres requeridas para efectuar las intervenciones del sistema de bombas centrífugas.

Tipo de Intervención	Cantidad de Intervenciones	Horas necesarias para		Total
		Ajuste y montaje	Maquinado	
Reparación pequeña	4	6,4	3,6	14 h
Reparación mediana	1	2,4	2,4	5,8 h
Reparación general	1	9	6	15 h
Total de un ciclo	6	17,8	12	35,8 h

Tomando en cuenta que el equipo se puede clasificar entre los equipos fundamentales, son aquellos que poseen la máxima importancia dentro del proceso productivo (imprescindible), son irremplazables, de alta complejidad, alto nivel de utilización, empleo continuo y tienen alta influencia en la seguridad operacional de la planta., serán necesarias durante su ciclo de reparación 53,4 horas – hombres para ajuste y montaje, 36 horas – hombres producto de las actividades de maquinado y 107,4 horas hombres en total.

3.5. Afectaciones realizadas durante las intervenciones

Dentro de las intervenciones que se realizan en el mantenimiento preventivo planificado al sistema de bombas centrífugas se encuentra la reparación pequeña mediana o general, actividades en el que el equipo debe salir del proceso productivo por mayor periodo, debido a que sus operaciones serán de mayor envergadura producto a la complejidad que se presente en el mismo. Cumpliendo con estas tareas permitirá retribuir su capacidad de trabajo y traería beneficios para la economía de la empresa, la planta cuenta con tres subsistemas conformados por 4 bombas que conforma el sistema de bombas, las actividades

realizadas durante cada intervención están relacionadas en las tablas 3.13, 3.14, 3.15.

Tabla 3.13 Actividades que se realizan durante la reparación pequeña.

No	Descripción
1	Eliminar los salideros en las volutas
2	Comprobar las temperatura de los motores
3	Parar el equipo y poner seguro la botonera
4	Revisión de los acoplamientos
5	Limpieza de los sellos
6	Aplicación o completamiento del lubricante nuevo según norma
7	Ajuste del sistema completo (Verificar salideros, limpieza de área de trabajo)
8	Puesta en marcha

Tabla 3.15 Actividades que se realizan durante la reparación mediana.

No	Descripción
1	Desconectar los motores
2	Verificar los salideros en las volutas
3	Revisión de los rodamientos superiores
4	Revisión de los rodamientos inferiores
5	Revisión de los ejes centrales
6	Revisión de los impelentes
7	Limpiezas de los sellos
8	Revisión de la superficie interiores de las volutas
9	Aplicación de las grasa según normas
10	Ajuste de los mecanismos
11	Puesta en marcha

Tabla 3.14 Actividades que se realizan durante la reparación general

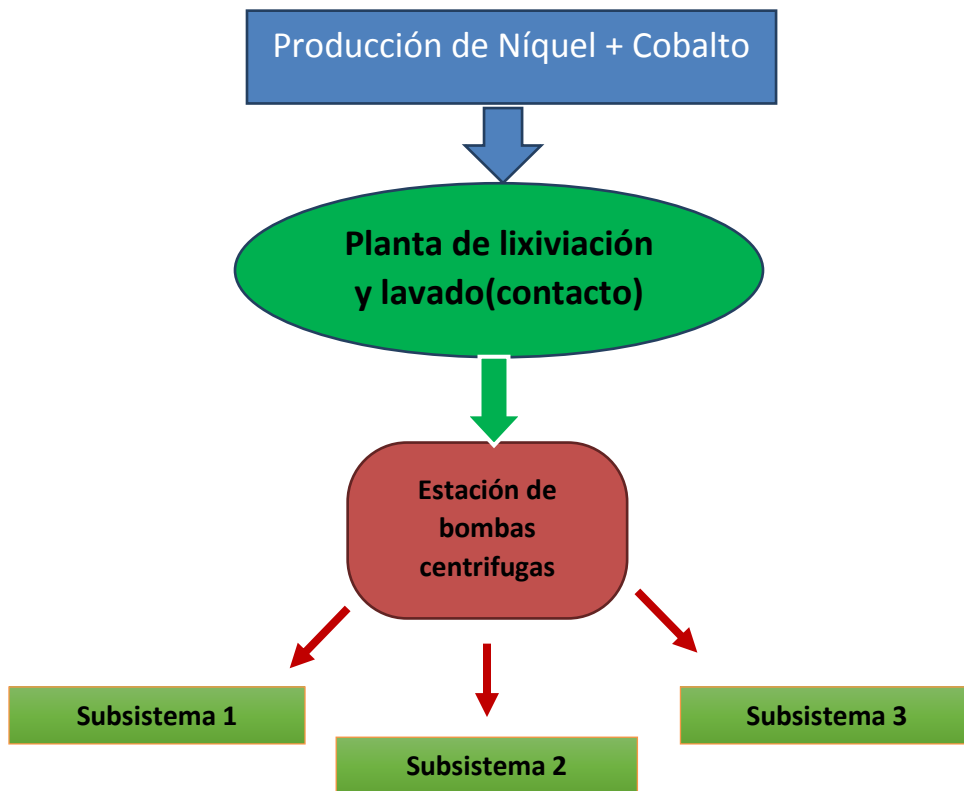
No	Descripción
1	Comprobar las temperaturas de los motores
2	Verificar los salideros en las volutas
3	Desconectar los motores
4	Comprobar los fallos de los motores
5	Desarme de las bombas
6	Revisión de los ejes
7	Revisión de los rodamientos
8	Revisión o cambios de los impelentes
9	Revisión o cambios de los sellos
10	Limpiezas de la superficie exterior e interior de las volutas
11	Aplicación de las grasas según normas
12	Ajuste del sistema completo
13	Comprobar las rotaciones de los mecanismos
14	Puesta en marcha

Se muestran en las tablas 3.13; 3.14; 3.15 las actividades que deben ejecutarse durante la reparación pequeña, reparación mediana y reparación general del sistema de bombas centrífugas. Con el cumplimiento de estas actividades garantiza que luego de cada reparación efectuada, el equipo adquiera la capacidad de trabajo que le garantice su funcionamiento dentro del flujo productivo de la planta, hasta la próxima intervención. La ejecución de estas actividades debe tener carácter obligatorio y no han de prolongarse o violarse los periodos de las intervenciones, que indican su ejecución.

3.6. Resultados obtenidos por el comportamiento del análisis de criticidad.

En el esquema 1 se muestra una jerarquía del sistema de bombas centrífugas que brinda un desglose de los sistemas, subsistemas y elementos o máquinas que componen el subsistema.

Esquema 1: Características del flujo tecnológico del sistema analizado



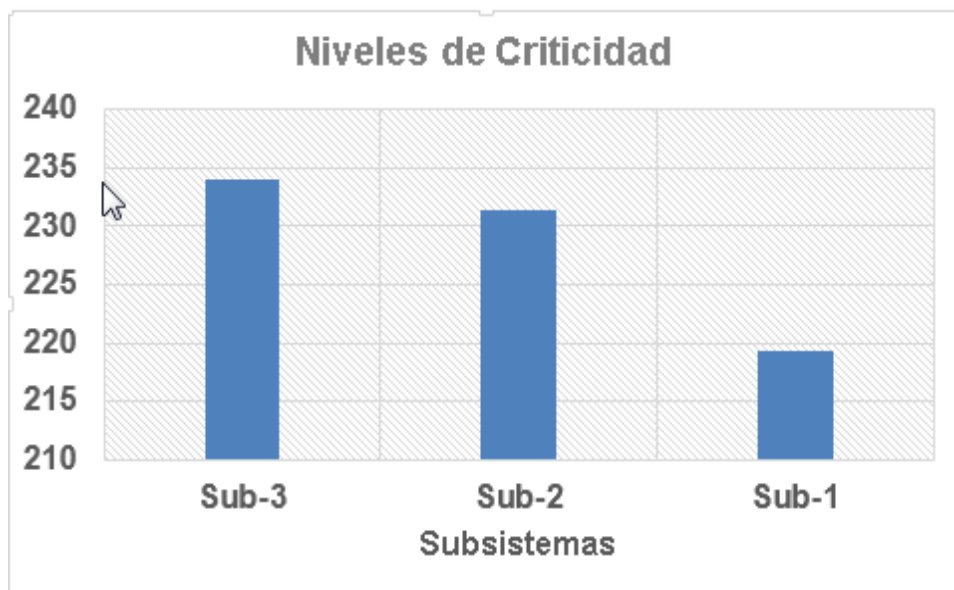
En el esquema anterior muestra las características del proceso productivo de la empresa "Comandante Ernesto Che Guevara", teniendo en cuenta solamente la planta de lixiviación y lavado, en el área de contacto. Se refleja que la producción del níquel más cobalto depende del contacto del mineral con el amoníaco, llegando a un proceso de lixiviación lavado del mineral. Se ubica la estación de bombas centrífugas del área de contacto, estas están situada 4 bombas por subsistemas, habrá una máquina en reposo, que puede definirse como un elemento redundante que forma parte de la conexión en serie del sistema. Teniendo en cuenta las características de estas bombas y su importancia en el flujo productivo se hace necesario analizar los subsistemas para valorar su comportamiento debido aspectos que se señalan posteriormente en la (tabla 3.16).

Tabla 3.16 Resumen del análisis de criticidad

Subsistema	Frecuencia de falla	TPPR	Costo de reparación	Impacto en la seguridad	Impacto ambiental	Impacto en producción	Criticidad
Subsistema 1	3	2	3	35	35	0,05	219,3
Subsistema 2	3	3	5	35	35	0,70	231,3
Subsistema 3	3	4	6	35	35	0,50	234

Los resultados obtenidos en la ecuación 2.14 muestran que el subsistema más crítico es el subsistema 3 con un valor de 234 de criticidad, quedando establecido que será el primero en comenzar la tarea del ciclo de mantenimiento por presentar mayor índice de criticidad. 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, focalizando los esfuerzos en la zona de alta criticidad.

Grafico 3.1 Niveles de criticidad del sistema



Los niveles de criticidad se comportaron de la siguiente forma, el subsistema 1 con un valor de 219,3 siendo el de baja criticidad, el subsistema 2 con un valor de

231,3 donde ocupa el lugar de mediana criticidad y el tercer subsistema de 234 quedando como el mayor criticidad de los tres subsistema que conforman el sistema de bombas centrífugas warman 8/6.

3.7. Análisis económico

El análisis económico de este trabajo se realiza por el método de estimación, que es una de las formas de cálculo asequible para estimar los costos. Este es un método bastante utilizado que permite realizar un análisis, mostrando la viabilidad o factibilidad económica del trabajo realizado y permitiendo tomar decisiones acerca de la ejecución del proyecto.

3.7.1. Cálculo económico

Se necesita hacer una lista en los subsistemas de las cantidades de piezas que se están afectando en un periodo de 1 año debido a la mala planificación del sistema de mantenimiento, incluyendo en ésta: cantidad, costo por unidad en Euros y equivalente en CUC. A continuación, se muestra una tabla con la lista de los subsistemas para la implementación de la propuesta (Ver tabla 3.17). Es importante tener en cuenta que los precios en el mercado mundial varían constantemente, aunque sean en valores relativamente pequeños. Nota: para convertir la moneda de Euros (€) a CUC, se multiplica por 1.37; esto se debe a que un Euro equivale a 1.37 CUC.

Tabla 3.17 Listado de costos totales para los tres subsistemas.

Sistema de bombas	Cantad de piezas	Costo unitario (€)	Costo total (€)	Costo total (CUC)
Subsistema 1	3	22 000,00	66 000,00	90 420,00
Subsistema 2	2	26 000,00	78 000,00	103 860,00
Subsistema 3	3	30 000,00	90 000,00	270 000,00
Importe total			234000,00	467280,00

Los costos unitarios para el primer subsistema tiene un precio de 22 000,00 (€), con un costo total de 90 420,00 (CUC), el segundo subsistema con un costo

unitario de 26 000,00 (€) y con un costo total de 78 000,00 (€) y un importe total de 103 860,00 (CUC), el tercer subsistema 30 000,00 (€) de costo unitario, costo total de 90 000,00 (€), con un importe total de 270 000,00 (CUC). Estos precios fueron tomados de acuerdo al valor actual de las piezas en desperfectos técnicos, esto demuestra que hay varianza en los precios.

3.7.2. Gasto de salario

El gasto de salario se analiza de acuerdo a los parámetros siguientes. El primero está caracterizado por el salario básico (CUC), le sigue el salario por día (CUC) y por último el salario por horas (CUC).

Tabla 3.18 Personal a contratar para realizar la tarea del ciclo de mantenimiento en el sistema de bombas.

Personal	Salario básico (CUC)	Salario × día (CUC)	Salario × hora (CUC)
1-Electricistas de mantenimiento	285,74	11,90	1,48
2-Operarios de mantenimiento	398,44	16,60	2,08
3-Especialistas de mantenimiento general	418,00	17,41	2,18

El personal a contratar para realizar la tarea del ciclo de mantenimiento en el sistema de bombas. Cuenta con un personal de electricistas de mantenimiento que tienen un salario básico de 285,74 (CUC), con un salario por hora de 1,48 (CUC) y tiene planificado un grupo de especialistas de mantenimiento general, salario básico de 418, 00 (CUC), salario por día de 17,41 (CUC), por ultimo presentan un balance de 2,18 (CUC).

3.7.2.1. Salario en función de las horas a trabajar para el montaje

Electricista de mantenimiento A: \$ 300,43

Electricista de mantenimiento B: \$ 403,25

Especialista eléctrico general: \$ 430,35

Gasto total de salario: \$ 1 134,03

3.7.3. Costo total

El costo total de la inversión sería la suma del pago salarial de los trabajadores (por horas trabajadas) y el importe total que representa instalación del sistema de bombas. Para realizar esta operación se deberá convertir la moneda de *CUC* a *CUP* y para ello se multiplica por 25 que es su equivalente en *CUP*.

Importe total de la inversión: 46780,00 *CUC*

Equivalente en CUC: 11 682 000 *CUP*

Costo total = Gasto de salario + Costo total de inversión

Costo total = \$ 1 134,03 + \$ 11 682 000

Costo total = \$ 11683 134,03

3.8. Impacto Medio Ambiental

La empresa afecta al medio ambiente y se pretende reducir este efecto negativo. Solo se logrará creando una conciencia ambiental sólida en la sociedad para así garantizar una vida sana y agradable a las generaciones venideras ya que este es uno de los factores que incide sobre el nivel de la vida de la población de Moa. Las principales fuentes de contaminación de la planta de lixiviación y lavado son las que giran en torno a las utilidades de gases nocivos como el amoníaco (NH_3), en este caso, los turboaeradores (TA) de esta planta presentan, en mayor o menor medida emisiones de este gas dañino para la salud humana. Las grasas y los aceites industriales utilizados en el sistema de bombas son productos ampliamente empleados en múltiples actividades y sus residuos pueden causar graves afectaciones al medio ambiente y a la salud humana. Las molestias que ocasiona el ruido continuo provocado por un deficiente estado técnico de los

motores, pueden ser de distintas índoles y van desde trastornos a la hora de dormir e incapacidad para concentrarse, hasta lesiones en la membrana auditiva, dependiendo de la intensidad y duración del ruido.

3.8.1. Afectaciones a la salud por gases amoniacales

El amoníaco, tanto el líquido como el vapor, es fuertemente irritante para la piel, los ojos y las vías respiratorias. Este es muy tóxico y la exposición a altas concentraciones puede producir quemaduras, cegueras y hasta la muerte. Las concentraciones bajas de amoníaco pueden cortar la respiración, pero sin provocar efectos nocivos. Las concentraciones medias de amoníaco pueden provocar decaimiento, irritación, congestión, hinchazón, entumecimiento de las membranas mucosas de los ojos, nariz y garganta. El líquido produce quemaduras graves, parecidas a las quemaduras cáusticas y estas varían de acuerdo con la concentración de amoníaco y del tiempo que se encuentra expuesta al mismo. Cuando el amoníaco líquido se pone en contacto con la piel, produce congelaciones rápidas e intensas en la zona afectada. La ingestión del amoníaco líquido origina una severa acción corrosiva en la boca, la garganta y el estómago. El amoníaco gaseoso tiene una gran acción irritante en cualquier parte húmeda de los tejidos, da taquicardia (agitación de la respiración y los latidos del corazón respectivamente), son algunos de los efectos originados por la irritación de las vías respiratorias, pudiendo llegar hasta detener la respiración. Este inhalado produce efectos de los tejidos superficiales ya que no es absorbido por el organismo. Debido a la alta solubilidad del amoníaco en el agua, este tiene gran facilidad de disolverse en el sudor del cuerpo humano. En la siguiente tabla se expone las afectaciones del amoníaco en diferentes concentraciones, partículas por millón (ppm).

Tabla 3.19 Afectaciones del amoníaco en diferentes concentraciones

Amoníaco en el aire (ppm)	Efectos
300 - 500	Concentración máxima tolerable en inhalaciones por corto tiempo ($\frac{1}{2}$ - 1 hora)
408	Concentraciones mínimas que causan irritaciones inmediatas en la garganta.
698	Concentraciones mínimas que causan irritaciones inmediatas en los ojos.
1720	Concentraciones mínimas que hacen toser.
2500 - 4500	Concentración peligrosa, incluso por breve tiempo.

A la hora de trabajar en la instalación en estudio o directamente con los turboaeradores, y debido a los efectos contaminantes que se encuentran en la misma se debe tener en cuenta las siguientes medidas de seguridad.

3.8.2. Medidas de seguridad

- Hace falta un suministro de caretas en la planta para prevenir la inhalación de los vapores del amoníaco y para evitar que se ardan a los ojos.
- El personal que trabaja con amoníaco siempre debe tener en cuenta hacia donde circula la dirección del viento para situarse de manera que los vapores del amoníaco sean alejados de él.
- Hay que situar duchas y lavadores de ojos convenientes para que cualquier obrero afectado se aplique grandes cantidades de agua rápidamente. También es necesario utilizar los equipos de protección cuando se requieran.
- Instruir adecuadamente a los trabajadores respecto a los métodos adecuados de manipulación del amoníaco con el objetivo de prevenir el contacto directo del líquido o una exposición imprevista al gas.
- El personal que trabaja con amoníaco siempre debe tener en cuenta hacia donde circula el aire para situarse de manera que éste no bata sobre él, para que los vapores del amoníaco sean alejados del mismo.

➤ Utilizar los medios de protección personal como: careta/gases, botas de goma, guantes de goma y traje de protección química con aire asistido en caso que se requiera.

Unido a las medidas de seguridad está también los medios de protección que por su importancia, es de uso obligatorio en la instalación.

3.9. Conclusiones

- Se determinaron los resultados de la adecuación de los niveles de los criterios, a nivel de máquina $C_{pred} \geq 0,5$ y de defecto $V_{c1} < 0,5$, $V_{c2} \geq 0,3$.
- Se determinaron las actividades propias de una reparación pequeña 9 950 horas máquinas y 29 850 horas máquinas de reparación mediana, estableciendo los periodos en los cuales deben ejecutarse.
- Se analizaron los costos totales para el listado de los tres subsistemas, con un importe total de 467 280,00(CUC).

Conclusiones generales

- La estructura del ciclo de reparación para el sistema de bombas centrífugas contempla 4 reparaciones pequeñas y 1 reparaciones medianas, ajustado a una duración del ciclo de 59 700 *horas máquinas*, siendo los periodos de reparación y reparación mediana de 9 950 *horas maquinas* y 29 850 *horas máquinas* respectivamente.
- Se determinaron las actividades que deben ejecutarse durante una reparación pequeña, reparación mediana y reparación general del sistema de bombas centrífugas, donde la reparación pequeña se emplea un tiempo de 2,5 *horas*, para las reparaciones medianas 3,9 *horas* y en las reparaciones generales se utilizan 15 *horas*.
- Las intervenciones realizadas durante el ciclo de reparación del sistema de bombas centrífugas requieren de 53,4 *horas hombres* para ajuste y montaje, 36 *horas hombres* producto de las actividades de maquinado, para un total de 107,4 *horas hombres*.
- Se precisaron los niveles de criticidad de los tres subsistemas, el primero con un valor de 219,3 de baja criticidad, el segundo de 231,3 de mediana criticidad y el tercero de 234 de alta criticidad.

Recomendaciones

- Utilizar el informe como guía para incorporar mejoras al procedimiento de mantenimiento del sistema de bombas centrífugas.
- Conservar el equipo bajo políticas preventivas de mantenimiento, siguiendo la estructura y los tiempos determinados del ciclo.
- De ser necesario, ajustar la duración del ciclo de mantenimiento hasta lograr el funcionamiento ininterrumpido del equipo.
- Valorar en futuras investigaciones, la aplicación de sistemas de mantenimiento más avanzados que puedan ser aplicados a las bombas centrífugas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Álvarez, G. E. A. Tribología. Fricción, Desgaste y Lubricación. Universidad Central de Las Villas. Facultad de Ingeniería Mecánica. Departamento de Energía. Capítulo III, 1999.
2. Álvarez, G. A. S. Programa de mantenimiento preventivo para la empresa, Escuela de Ingeniería Mecánica Bucaramanga, 2004.
3. Aguado, N. *Mantenimiento preventivo en máquinas herramientas*, 2008.
4. Arex, R. P. Base conceptual del Sistema de Gestión de Mantenimiento, para la propuesta de un sistema de mantenimiento eficiente, 1996.
5. Bangueses, M; Gorris, J. Normalización del mantenimiento preventivo. Madrid, 2006.
6. Bangueses, M; Gorris, J. Normalización del mantenimiento preventivo. Madrid, 2006.
7. Chaviano, J. Informe técnico. Empresa del Níquel “Comandante Ernesto Che Guevara, 2000.
8. Figueredo, J. H. “Estudio para la implementación de variadores de velocidad en accionamientos de bombeo del área de Contactos de la planta de Lixiviación y Lavado de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara”. *Trabajo de diploma* ISMM, 2011.
9. Navarrete, E. 1986. *Mantenimiento industrial*. La Habana: MIR, 1986. ISBN 895-985-544.
10. Gilbert, A; Palacios, A. Informe de evaluación de la gestión de la calidad en el mantenimiento de la empresa Che Guevara. Holguín, 2013.
11. Sierra, P. M. Afectaciones en bombas centrífugas, 2004.
12. Jespere, G. k. Determinación del comportamiento del fluido en las bombas centrífugas warman 8/6 a través de la Dinámica de fluidos Computacional. ISMM. Moa, 2008.
13. Luna, H. *Explotación técnica de automóviles*. La Habana: Ediciones Enspes, 1982.
14. Luis, A. Pro. D. Universidad Politécnica de Valencia, Análisis de criticidad operacional, 2003.
15. Peña, Y. S. “Modificación al sistema de mantenimiento preventivo planificado del turboareador 124 A de la planta lixiviación lavado en

Empresa Comandante Ernesto Che Guevara". Trabajo de diploma ISMM, 2015.

16. Pedro, F. "Cavitación" Conceptos y características de las bombas centrífugas" [En línea], disponible en (<http://www.termica.webhop.info/cavita.pdf>). [Accesado el día 05 de abril de 2017].



ANEXOS

anexo No: 1

Tabla.1. Horas entre reparaciones generales

Grupo	Horas entre las Reparaciones Generales	
1	de 2880	a 5760
2	5760	7200
3	7200	8640
4	8640	11520
5	11520	14000
6	14000	17280
7	17280	20160
8	20160	20600
9	20600	23040
10	23040	25900
11	25900	29800
12	29800	32400
13	32400	36000
14	36000	43200
15	43200	50400
16	50400	57600
17	57600	64800
18	64800	72000
19	72000	66400
20	66400	100800
21	100800	115200
22	115200	129600
23	129600	144000

anexo No: 2

Tabla.2. Guía de criticidad

Frecuencia de falla (todo tipo de falla)	Puntaje
No más de 1 por año	1
Entre 2 y 12 por año	3
Entre 13 y 52 por año	3
Más de 52 por año (Más de 1 interrupción semanal)	6
Tiempo promedio para reparar (TPPR)	Puntaje
Menos de 4 horas	1
Entre 4 y 8 horas	2
Entre 9 y 24 horas	4
Más de 24 horas	6
Impacto en Producción (por falla)	Puntaje
No afecta Producción	0,05
25% de Impacto	0,34
50% de Impacto	0,50
75% de Impacto	0,70
La Impacta Totalmente	1
Costo de reparación	Puntaje
Menos de 25 000 USD	3
Entre 25000 y 50000 USD	5
Entre 51000 y 100000 USD	10
Más de 100000 USD	25
Impacto en la Seguridad Personal	Puntaje
SI	35
NO	0
Impacto Ambiental (Daños a terceros, fuera de la instalación)	Puntaje
SI	30
NO	0

anexo No: 3

Figura.1. Esquema de los tanques de contacto.

