

**REPÚBLICA DE CUBA  
MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO  
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”  
FACULTAD DE METALURGIA Y ELECTROMECAÁNICA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**TRABAJO DE DIPLOMA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO**

**Modificación al sistema de mantenimiento preventivo  
planificado del turboaerador 124 A de la planta  
lixiviación y lavado en la empresa Ernesto Che Guevara.**

**Autor: Yunielki Seleme Peña**

**Tutores: Prof. Asist., Ing. Amauris Gilbert Hernández**

**Prof. Asist., Lic. Marjoris Utria Jiménez. Ms. C**

**“AÑO 57 DE LA REVOLUCIÓN”**

**MOA, 2015**

## *Declaración de Autoridad*

*Yo: Yunielkí Seleme Peña*

*Autor de este Trabajo de Diploma y los tutores Amauris Gilbert Hernández y Marjoris Utria Jiménez, certificamos la propiedad intelectual a favor del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa y a la empresa Comandante Ernesto Che Guevara, hacer uso del mismo en la finalidad que estime conveniente.*

---

*Diplomante: Yunielkí Seleme Peña*

---

*Tutor: Ing. Amauris Gilbert Hernández*

---

*Tutor: Ms. C. Marjoris Utria Jiménez.*

## *Pensamiento*

*La sabiduría fortalece al sabio más que diez poderosos que haya en una ciudad.*

*Salomón.*

## *Agradecimientos*

*Gracias:*

*A Dios ante todo pues me ha dado la dirección y la constancia para llegar hasta aquí, porque en medio de todas las circunstancias su mano me ha sostenido.*

*A las personas que más han deseado que logre mis sueños:*

*Mis padres: Salvador Seleme Ge y Dora Elva Peña Jiménez.*

*Mis abuelos: Remigio Peña y Elva Rosa Jiménez Leyva.*

*A mi familia de forma general, pues todos han aportado su ayuda para que cumpla mi meta.*

*A mi tutores por su dedicación y entrega para que esto fuera posible.*

*A mis amigos: Alfonso Delfino y Liubert Betancourt por su apoyo incondicional y palabras de aliento que nunca faltan.*

*A mis hermanos en la fe por la atención que siempre han tenido.*

*A mis compañeros de aula y profesores por su ayuda siempre dispuesta.*

*A los que de una forma u otra me han ayudado y brindado sus servicios*

*Para que este, mi deseo, se hiciera realidad.*

*A todos, muchas gracias.*

## ***Dedicatoria***

*A Dios por la fuerza y la salud que me ha dado para que hoy pudiera cumplir con unos de mis deseos.*

*A mis padres Salvador Seleme Ge y Dora Elva Peña Jiménez por la responsabilidad, la atención y la dedicación que han tenido.*

*A mis abuelos Remigio Peña y Elva Rosa Jiménez por invertir su vida en mí.*

*A mis hermanos Onelio y Esther por estar siempre a mi lado.*

*A mis hermanos en Cristo porque en los momentos difíciles supieron darme la mano.*

*A mis tutores Amauris Gilbert y Marjoris Utria, por su ayuda incondicional.*

*A mi familia y amigos por llenar de alegría cada momento.*

## **RESUMEN**

El presente trabajo de diploma relaciona en si como puede aplicarse el mantenimiento preventivo planificado a los turboaeradores de la planta de lixiviación y lavado. En este informe también se pone de manifiesto cómo se presenta la vida actual de un turboaerador y además se hace una valoración de como emplear un mejor método para la durabilidad y eficiencia del mismo eliminando así las paradas imprevistas, definiendo los periodos entre intervenciones y reparaciones con una nueva estructura del ciclo de reparaciones que garantiza el estado técnico del equipo. Se realizó la investigación oportuna para el conocimiento del mismo teniendo en cuenta los documentos bibliográficos que recogen a diferentes escritores que han dado su aporte al conocimiento de los diferentes tipos de mantenimiento que se pueden emplear para cualquier tipo de máquina. La aplicación de este método permitió establecer 39 600 horas máquinas como el intervalo entre reparaciones generales.

## **ABSTRACT**

This paper relates the way planned preventive maintenance can be applied to the turboaereators of the leaching and washing plant. In this report it is also shown how the current life of a turboaereators is presented, a valuation for using a better method for the durability and efficiency eliminating this way the accidental stops is also made, defining the periods between interventions and repairs with a new structure of the cycle of repairs that guarantees the equipment technical state. It was carried out the opportune research for its knowledge taking into account the bibliographical documents that pick up different writers that have given their contribution to the knowledge of the different maintenance types that can be used for any machine. The application of this method allowed settling down 39 600 machine hours as the interval among general repairs.

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>1. MARCO TEÓRICO CONTEXTUAL DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	4
1.1. Introducción.....	4
1.2. Generalidades sobre mantenimiento preventivo planificado .....	5
1.2.1. Principales actividades del mantenimiento preventivo planificado.....	6
1.3. Importancia de la organización.....	12
1.4. Ciclo de reparación .....	14
1.5. Estado técnico.....	15
1.5.1 Procedimientos para determinar el estado técnico de un equipo .....	16
1.6. Antecedentes del mantenimiento preventivo planificado.....	16
1.7. Descripción del esquema tecnológico del proceso de lixiviación carbonato amoniacal.....	18
1.8. Principio de funcionamiento de los turboaeradores.....	22
1.9. Principales características de los turboaeradores .....	23
1.9.1. Componentes fundamentales de los turboaeradores .....	24
1.10. Conclusiones del capítulo.....	24
<b>2. MATERIALES Y MÉTODOS DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	25
2.1. Introducción.....	25
2.2. Adecuación del sistema de mantenimiento .....	25
2.2.1. Criterio a nivel de máquina .....	26
2.3. Determinación de estado técnico en mantenimiento preventivo planificado .....	28
2.4. Determinación del ciclo de mantenimiento .....	30
2.5. Conclusiones del capítulo.....	37

<b>3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS</b> .....	38
3.1. Introducción.....	38
3.2. Resultados de la adecuación del sistema de mantenimiento .....	39
3.3. Resultados de la determinación de estado técnico .....	40
3.4. Resultados de la determinación del ciclo de mantenimiento .....	41
3.5. Actividades realizadas durante las intervenciones .....	45
3.6. Análisis económico.....	48
3.7. Análisis ambiental .....	50
3.7.1. Afectaciones a la salud por gases amoniacales .....	51
3.8. Conclusiones del capítulo.....	52
<b>CONCLUSIONES GENERALES</b> .....	54
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	55
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	56
<b>ANEXO</b> .....	I

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la mayor parte de los bienes y servicios se obtienen y se hacen llegar a sus destinatarios mediante unos sistemas de producción distribución o, más brevemente sistemas productivos, a menudo de gran dimensión tanto por el número de personas que trabajan en ellos como por el tamaño y el valor de las instalaciones y equipos que utilizan.

A lo largo de su ciclo de vida cada sistema pasa por diferentes fases. La última de ellas es la de construcción y puesta en marcha, hasta que se alcanza el régimen normal de funcionamiento.

Durante esta última fase, llamada de operación, que es la única auténticamente productiva, el sistema se ve sometido a fallos que entorpecen o, incluso, interrumpen temporal o definitivamente su funcionamiento.

El objeto del mantenimiento es precisamente, reducir la incidencia negativa de dichos fallos, ya sea disminuyendo su número o atenuando sus consecuencias.

Decimos que algo falla cuando deja de brindarnos el servicio que debía darnos o cuando aparecen efectos indeseables, según las especificaciones de diseño con las que fue construido o instalado el bien en cuestión.

En general todo lo que existe, especialmente si es móvil se deteriora, rompe o falla con el correr del tiempo. Puede ser a corto plazo o a muy largo plazo. El solo paso del tiempo provoca en algunos bienes, disminuciones evidentes de sus características, cualidades o prestaciones.

El área del mantenimiento industrial es de esencial importancia en el ámbito de la ejecución de las operaciones en la industria. De un buen mantenimiento depende, no sólo un funcionamiento eficiente de las instalaciones, sino que además, es preciso llevarlo a cabo con rigor para conseguir otros objetivos, como es el control del ciclo de vida de las instalaciones sin alterar los presupuestos destinados a mantenerlas.

Las estrategias convencionales de reparar cuando se produzca la avería ya no son usadas; fueron válidas en el pasado, pero ahora se es consciente de que esperar a que

se produzca la avería para intervenir, es incurrir en unos costos excesivamente elevados (pérdidas de producción, deficiencias en la calidad) y por ello las empresas industriales se plantearon llevar a cabo procesos de prevención de estas roturas mediante un adecuado programa de mantenimiento.

Para que los trabajos de mantenimiento sean eficientes es necesario el control, la planeación del trabajo y la distribución correcta de la fuerza humana, logrando así que se reduzcan costos, tiempo y el paro de las maquinarias (Muñoz, 2003).

**Situación Problémica:**

La empresa comandante Ernesto Che Guevara posee varias plantas para el procesamiento de mineral, una de estas la constituye la planta de lixiviación y lavado, la cual posee una serie de turboaeradores que han presentado dificultades como averías en el piñón de alta del reductor; motores quemados y estancados, desgaste en el impelente, incrustaciones en los baffles y tupición en el distribuidor de aire, fallas que se asocian al sistema de mantenimiento preventivo planificado vigente en el equipo, al presentarse de manera reiteradas.

**Problema:**

El inadecuado sistema de mantenimiento preventivo planificado, implantado al turboaerador 124 A de la planta lixiviación y lavado, que limita la disponibilidad de la planta y la continuidad del proceso productivo en la empresa.

**Objeto de estudio:**

Turboaerador 124 A de la planta de Lixiviación y lavado.

**Campo de acción:**

Mantenimiento preventivo planificado en turboaeradores.

**Objetivo general:**

Modificar el sistema de mantenimiento preventivo planificado del turboaerador 124 A de la planta lixiviación y lavado de la empresa ECG.

**Hipótesis:**

Si se realiza la modificación de la estructura del ciclo de mantenimiento, se determina la duración del mismo ciclo teniendo en cuenta, tiempo entre reparaciones, tiempo entre intervenciones y se definen las actividades propias de una revisión, reparación pequeña, reparación mediana y reparación general del turboaerador 124 A de la planta lixiviación y lavado, es posible disminuir las intervenciones imprevistas a dicho objeto y garantizar una mayor disponibilidad en la producción de la empresa.

**Objetivos específicos:**

- Establecer la estructura del ciclo de mantenimiento del turboaerador.
- Determinar la duración del ciclo de mantenimiento, tiempo entre reparaciones y tiempo entre intervenciones.
- Definir las actividades a ejecutarse durante una revisión, reparación pequeña; reparación mediana y reparación general.

**Tareas:**

- Actualización del estado del arte en relación a las características del mantenimiento preventivo planificado en los turboaeradores.
- Adecuación del sistema de mantenimiento según las características funcionales del equipo.
- Determinación de estado técnico del turboaerador.
- Determinación del ciclo de mantenimiento.
- Valoración de las pérdidas económicas por concepto de paradas del turboaerador.
- Valoración ambiental asociada a la potencial afectación de operación del turboaerador.

# **1. MARCO TEÓRICO CONTEXTUAL DE LA INVESTIGACIÓN**

## **1.1. Introducción**

Con la construcción de las máquinas y su introducción para multiplicar la limitada labor manual, aparece la tarea de repararlas; sin embargo, en la mayoría de los trabajos en los que se contempla la evolución del mantenimiento, con ciertas variaciones aparece la idea de que el mantenimiento no fue una actividad industrial importante hasta después de la segunda guerra mundial.

En la actualidad el mantenimiento ha ido adquiriendo una importancia creciente; los adelantos tecnológicos han impuesto un mayor grado de mecanización y automatización de la producción, lo que exige un incremento constante de la calidad, por otro lado, la fuerte competencia comercial obliga a alcanzar un alto nivel de confiabilidad del sistema de producción o servicio, a fin de que este pueda responder adecuadamente a los requerimientos del mercado.

El mantenimiento pasa a ser así una especie de sistema de producción o servicio alternativo, cuya gestión corre paralela a este; consecuentemente, ambos sistemas deben ser objetos de similar atención, la esencia empírica demuestra, no obstante, que la mayor atención se centra en la actividad productiva o de servicio propiamente dicha.

La reconversión de la actividad de mantenimiento debe verse, en primera instancia, como la adopción de un sistema que se adapte a las necesidades de cada empresa y particularmente a las características y el estado técnico del equipamiento instalado en ellas.

En el área de mantenimiento existen diversas estrategias para la selección del sistema a aplicar en cada equipo; sin embargo, la mayoría de estas estrategias no tienen en cuenta la naturaleza del fallo; en contraste, este elemento es de vital importancia para un empleo óptimo de los recursos en el área analizada. Otros aspectos que comúnmente no se tienen en cuenta para la selección de las posibles estrategias de mantenimiento a utilizar en cada equipo son el nivel de riesgo que ofrece el fallo para los operarios y calidad del proceso. En mantenimiento, se agrupan una serie de

actividades cuya ejecución permite alcanzar un mayor grado de confiabilidad en los equipos, máquinas, construcciones civiles e instalaciones.

La confiabilidad es la probabilidad de que un producto se desempeñe del modo que se había propuesto, durante un tiempo establecido, bajo condiciones especificadas de operación.

Actualmente existen variados sistemas para encarar el servicio de mantenimiento de las instalaciones en operación, algunos de ellos no solamente centran su atención en la tarea de corregir las fallas, sino que también tratan de actuar antes de la aparición de las mismas haciéndolo tanto sobre los bienes, tal como fueron concebidos, como sobre los que se encuentran en etapa de diseño, introduciendo en estos últimos, las modalidades de simplicidad en el diseño y análisis del mantenimiento (Melgar, 2004).

Se expone como **objetivo** del capítulo: Establecer el estado del arte a partir de la revisión bibliográfica relacionada con el mantenimiento preventivo planificado aplicable a los turboaeradores.

## **1.2. Generalidades sobre mantenimiento preventivo planificado**

Se llama mantenimiento preventivo planificado (MPP) 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.

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.

### **1.2.1. Principales actividades del mantenimiento preventivo planificado**

Servicio diario del equipo	Reparación mediana
Trabajos periódicos	Reparación general
Revisión	Reparación imprevista
Reparación pequeña	

#### **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.

El servicio diario del equipo debe realizarse siguiendo determinado orden:

1. El ajustador de turno debe observar el equipo diariamente al comienzo y al final del turno de trabajo.
2. Después de la observación del equipo debe informarse de existir, todos los defectos localizados.
3. El engrasador de turno debe atender el régimen correcto de lubricación del equipo, cambiando el aceite y limpiando los recipientes en el plazo determinado. Es necesario hacer un plan para el cambio del aceite, lo que facilita esta operación, ya que se puede saber mediante este plan en que equipo y en qué momento se le debe cambiar el aceite.
4. El encargado del mantenimiento de las transmisiones atiende el estado de estas, procediendo cuando estén desgastadas o que presenten síntomas de inminente rotura. También debe darse una debida atención a las protecciones de las transmisiones. Los defectos referidos con anterioridad son aquellos detectados por una inspección visual, que no impiden el funcionamiento del equipo en el proceso de producción, o sea, defectos pequeños de poca importancia, que pueden ser corregidos de acuerdo con la función que esté realizando y por supuesto en el lugar que este situado el equipo en cuestión.

Si el mismo se detiene durante la hora de almuerzo de los trabajadores, entonces se recomienda pertinente realizarle el servicio diario en este tiempo, de otra forma si la planta trabaja varios turnos, se recomienda hacerse cuando acabe el último turno, claro está, siempre que este pequeño defecto, pueda permanecer en el equipo todo este tiempo sin ocasionar daños peores, o de lo contrario se estaría agravando la situación.

En caso de que el equipo este constantemente trabajando es decir, este instalado en línea de producción y para su parada haya que afectar la planta completa o parte de la planta, recomendamos de acuerdo con la magnitud del defecto realizar la parada después del turno o de los turnos de trabajo, y si el personal o dirigente deciden que el equipo no resiste mucho tiempo con el desperfecto, y que puede ocasionar daños peores, entonces hay que realizar una reparación imprevista o de lo contrario la parada sería sin un plazo determinado.

### **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 trabajos son:

1. Limpieza de los equipos que trabajan en condiciones anormales. Para realizar la limpieza de los mecanismos del equipo se efectúa el desmontaje de los mismos si es necesario, quitándole el polvo y otras partículas que se hayan introducido en el periodo de trabajo. La limpieza del equipo se realiza sin violar el proceso de producción utilizando para estos intervalos tecnológicos en el funcionamiento del equipo, los días de descanso.
2. Cambio del aceite del sistema de lubricación del equipo. Este trabajo se cumple según el plan al que se ha hecho referencia anteriormente.
3. Comprobación de la precisión de las holguras y otros factores, que se realiza siempre después de las reparaciones.

## **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. La revisión aunque similar al servicio diario del equipo no es igual a este, ya que gracias a ella se puede determinar el volumen de trabajo necesario para la reparación del equipo. Además la revisión no se hace diariamente, como el servicio diario del equipo, sino periódicamente según el plan

Los trabajos que se pueden realizar durante la revisión son:

1. Comprobación de los mecanismos, embrague.
2. Comprobación del funcionamiento del sistema de lubricación.
3. Comprobación del calentamiento no excesivo de las partes giratorias del equipo.
4. Comprobación de la holgura entre las uniones móviles y regulación de los mecanismos. En algunos casos la revisión se realiza con la separación parcial y limpieza de algunos mecanismos.

## **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. Durante la reparación pequeña, mediante la sustitución o reparación de una pequeña cantidad de piezas y con la regulación de los mecanismos que garantiza la explotación normal del equipo hasta la reparación siguiente.

Durante la misma se cambia o se reparan aquellas piezas cuyo plazo de servicio es igual o menor que el periodo de tiempo entre esta reparación y la próxima, entre otras palabras, si durante una reparación pequeña encontramos una pieza que por el estado en que se encuentra, se sabe que va a romperse o alterar el funcionamiento del equipo, es necesario el cambio o reparación de la pieza en cuestión, ya que su plazo de servicio es menor que el periodo de tiempo entre esta reparación y la próxima. Con esto se evita una avería, lo que significaría para el equipo para su reparación en un momento no previsto por el plan.

Durante la reparación pequeña el equipo no funciona y se realizan los siguientes trabajos:

1. Desmontaje parcial del equipo: desmontaje de dos o tres mecanismos.
2. Limpieza del equipo, limpieza de las piezas de los mecanismos desmontados.
3. Desmontaje parcial, rectificación de la superficie de trabajo, escrepado de los cojinetes si estos son de deslizamiento, ajuste y regulación de los mismos.
4. Comprobación de la holgura y los árboles y cojinetes, sustitución de los cojinetes desgastados, regulación de los cojinetes (rodamientos).
5. Desmontaje del embrague de fricción y regulación del mismo.
6. Sustitución de la rueda dentada con dientes rotos o reparación de la rueda si es posible.
7. Sustitución de los elementos de fijación rotos o desgastados (chavetas, tornillos, tuercas).
8. Sustitución de las tuercas desgastadas de los tornillos principales y reparación de la rosca de los mismos.
9. Comprobación de los mecanismos de control y corrección de los defectos localizables.
10. Comprobar la fijación del sistema de anclaje.
11. Comprobación y reparación de los sistemas de lubricación y refrigeración.
12. Determinación de las piezas que exigen su sustitución durante la próxima reparación.
13. Comprobar el alineamiento y las holguras.
14. Prueba del equipo en marcha sin carga, comprobación del ruido, vibración y del calentamiento luego de probar con carga.

Debe tenerse en cuenta que durante la reparación pequeña se realizan aquellos trabajos mencionados con anterioridad que sean necesarios ejecutar. El volumen de la reparación pequeña es un 20 % de la reparación general.

### **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. Durante la reparación mediana se sustituyen o reparan aquellas piezas cuyo plazo de servicio es igual o menor que el periodo de tiempo que media entre esta reparación y la próxima, o cuyo plazo de servicio es igual o menor que el periodo de tiempo que media entre dos reparaciones medianas. Durante la reparación mediana el equipo no funciona y se realizan los siguientes trabajos:

1. Los previstos para la reparación pequeña.
2. Desmontaje de los mecanismos.
3. Sustitución de las ruedas dentadas desgastadas en las transmisiones de ruedas y tornillo sinfín.
4. Pintar los recipientes de aceite y exteriormente el equipo.
5. Comprobar los huelgos y alineamiento.

Debe tenerse en cuenta que durante la reparación media se realizan aquellos trabajos mencionados anteriormente que sean necesarios realizar. El volumen de la reparación media es un 60 % de la reparación general.

### **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. Si se dispone de un taller para ejecutar este tipo de

reparación es conveniente levantar el equipo y trasladarlo, por el contrario si la reparación se efectúa en el mismo lugar donde se encuentra el equipo, no es recomendable el levantamiento de sus cimientos.

Durante la reparación general se realizan los trabajos siguientes:

1. Los previstos para la reparación media.
2. Desmontaje total del equipo.
3. Reparación del sistema de lubricación y del sistema hidráulico.
4. Rectificación o escrepado de toda la superficie.
5. Comprobación y corrección de los defectos del equipo.
6. Comprobación de holguras y alineamiento.

### **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.

A continuación se relacionan algunas causas posibles de averías:

1. Mala lubricación.
2. Sobre carga del equipo.
3. Defectos de operación y tecnológicos.
4. Ciclo de reparación inadecuado.
5. Mala calidad de la reparación anterior.
6. Caída o exceso de voltaje.
7. Fallos en la red del sistema eléctrico.
8. Desperfectos provocados por agentes químicos externos.

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).

### **1.3. 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. Y 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 imponerle 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.

#### **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.

#### **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.

### **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.

### **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.

### **Plan global de mantenimiento**

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).

#### **1.4. 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.

### **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).

### **1.5. 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.

#### **1.5.1 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).

#### **1.6. Antecedentes del 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.

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).

De acuerdo a Nava (2006) las principales características del mantenimiento preventivo son las siguientes: Establecer un programa continuo que deberá ser establecido y operado por personas que están capacitadas en el mantenimiento del equipo. Preparar lista de verificación que también deberá ser realizada por personas que conozcan de mantenimiento, donde dichas listas deben ser utilizadas para hacerles inspecciones programadas en forma regular. Y planear si es a corto o largo plazo la revisión del equipo, a corto plazo se refiere a que el equipo deberá ser revisado en un mínimo tiempo estipulado, para que siga siendo productivo, a largo plazo este afectaría normalmente el equipo de servicio de la planta.

Los sistemas de organización del mantenimiento técnico y la reparación de la maquinaria contemplan un conjunto de operaciones que deben recibir los equipos en su periodo de explotación o vida útil, para mantener y restablecer su capacidad de trabajo. Este sistema de mantenimiento y reparación de la maquinaria lo componen las actividades de asentamiento, chequeo técnico, mantenimiento técnico, reparación y la conservación (Daquinta, 2004).

Morrow (1986) clasifica el mantenimiento preventivo de la siguiente manera. Mantenimiento preventivo rutinario: es aquel donde se dan una serie de instrucciones precisas para atender de forma satisfactoria el equipo y a su vez para atender el equipo en forma frecuente y estable. Mantenimiento programado periódico: se basa en instrucciones de mantenimiento de los fabricantes, para obtener y realizar en cada ciclo la revisión y sustitución de los elementos más importante de los equipos. Mantenimiento analítico: es el análisis de fallas que indica cuándo se debe aplicar las actividades de mantenimiento para prever las fallas de equipo.

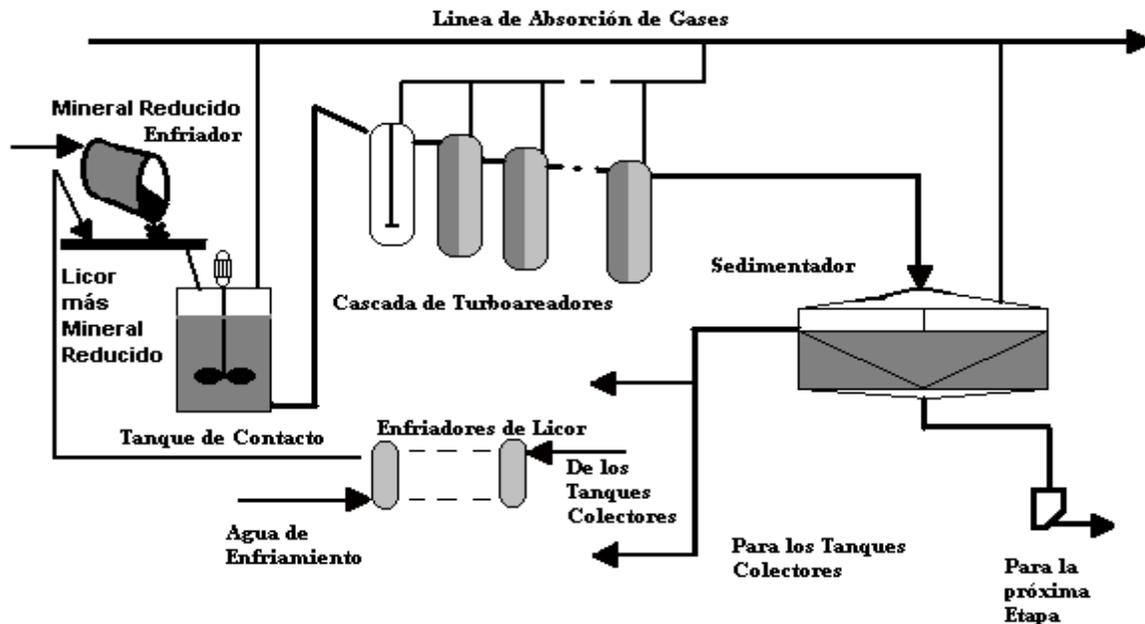
Gilbert y Palacios (2013) realizan la evaluación del sistema de gestión de la calidad de mantenimiento en varias empresas del territorio holguinero, dividiendo el sistema de gestión en porciones llamadas áreas de actuación, las que a su vez eran subdivididas en lo que llamarían funciones, donde la ponderación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

Ferrer (2014) muestra cómo puede aplicarse el mantenimiento preventivo planificado a un reductor de velocidad de grúas indias de extracción de mineral. En el trabajo se realizó una propuesta de la estructura del ciclo de reparación y se definen los periodos entre intervenciones y reparaciones.

### **1.7. Descripción del esquema tecnológico del proceso de lixiviación carbonato amoniacal**

El mineral reducido desde cada horno se recoge en un transportador rotatorio, que lo lleva al enfriador de tambor sumergido parcialmente en agua para enfriarlo hasta 503 K

(230°C) y mezclarlo con licor amoniacal de retorno en el canal de pre-lixiviación del cual pasa al tanque de contacto o tina mezcladora, (Figura 1.1).



**Figura 1.1** Esquema tecnológico del proceso de lixiviación carbonato amoniacal.

**Fuente:** (Guzman, 2001)

Ya en la planta de lixiviación y lavado, el mineral pasa a través de tres sistemas paralelos de lixiviación de dos etapas a contracorriente, la lixiviación se lleva a cabo con licor carbonato amoniacal que contiene el 6 % de amoníaco y 3 % de ácido carbónico mediante la creación de la pulpa.

En cada etapa de la lixiviación se encuentran turboaeradores y sedimentadores conectados en serie. El turboaerador o reactor químico es alimentado por un flujo continuo con agitación intensa, cuya función primaria es inyectar aire a baja presión, cuya magnitud va a estar regida por el tonelaje de mineral que entregan los hornos de reducción.

Este aire es introducido por la parte inferior del reactor en forma de burbujas pequeñas y su cantidad debe ser el triple del que se absorbe en la parte superior del mismo, a fin de garantizar las reacciones de oxidación del níquel, hierro y cobalto, así como una presión negativa, establecida por los ciclones de tiro inducido en cada reactor, debido a

que si fuese mayor, arrastraría pulpa para el circuito de absorción, y si fuese menor, traería consigo el llamado fenómeno de "turbo positivo", que provoca escapes de amoníaco a la atmósfera.

Es preciso también enfatizar, que la temperatura de la pulpa y la densidad es muy importante en este proceso de reacciones porque afecta la cantidad de magnesio que entra en la solución, la misma también afecta la solubilidad del hierro en general. Cuanta más alta fuera la temperatura, mayor será la cantidad de hierro disuelto inicialmente. Cuanto más baja fuera la temperatura de la pulpa, mayor será la disolución de oxígeno procedente del aire, introducido a los turboaeradores. La velocidad de disolución del oxígeno gobierna el proceso de las reacciones de lixiviación. De ahí la importancia del control de la temperatura de la pulpa que sale del tanque de contacto y llega a los turboaeradores.

Los reactores químicos o turboaeradores están dispuestos en cascada, divididos en dos series de lixiviación: la primera cascada, consta con ocho reactores y la segunda con siete, de tal forma que la pulpa entra a la primera etapa y pasa por los turboaeradores correspondientes por gravedad. La comunicación entre cada uno de ellos es por reboso.

Después de la cascada de turboaeradores de cada etapa, y antes de caer por gravedad al sedimentador, la pulpa pasa a través de un electroimán (floculador) con el objetivo de aglomerar las partículas de hierro magnético y de esta forma, aumentar la velocidad de sedimentación.

En el sedimentador ocurre una separación del licor y de los sólidos, donde el licor, producto de la lixiviación, rico en níquel y cobalto, se obtiene por reboso, siendo bombeado una parte para recuperación de amoníaco y la otra parte para la sección de enfriamiento o tanques colectores, con el objetivo de incorporarse nuevamente al proceso por el sistema de los tanques de contacto. Los sólidos sedimentados son llevados para el cono central y tirado fuera por la parte inferior del mismo, en forma de pulpa. Luego de la segunda etapa de lixiviación las colas se dividen y se dirigen hacia dos sistemas paralelos de cinco etapas de lavado.

El licor se evacua desde el sistema de lixiviación y lavado por dos puntos en forma de licor producto después de la primera etapa de lixiviación; y en forma de la fase líquida de la pulpa de cola desde la quinta etapa de lavado. Este licor producto y la pulpa de colas se bombean a la planta de recuperación de amoníaco donde se extrae el níquel en forma de carbonato básico y se recupera el amoníaco.

Partes del licor proveniente desde la segunda etapa de lixiviación, la primera etapa y de los tanques colectores se enfría en los enfriadores de licor con agua y se dirigen al canal de pre lixiviación para mezclarse con el mineral laterítico reducido.

El licor producto pasa por tres etapas de aeración en la planta de recuperación de amoníaco, con el fin de oxidar y precipitar el hierro, el cual es filtrado y enviado a los alambiques y pasando de plato a plato es tratado con vapor que se introduce a contracorriente por la parte inferior.

Durante este proceso el amoníaco se elimina del licor y se precipita el carbonato básico de níquel (C.B.N.). La pulpa de carbonato es enviada a los espesadores, el reboso de los mismos es filtrado en los filtros de cartuchos y el flujo de la parte inferior en los discos de vacío. La pulpa de cola es enviada para ser destilada en los alambiques y el producto de desecho se bombea al depósito de colas.

Los gases de la destilación del licor producto y de las pulpas de colas después de haberse enfriado previamente, se envían al sistema de absorción para obtener un licor amoniacal fuerte. Este sistema está compuesto por cuatro líneas paralelas de torres de absorción unidas en serie que son regadas tanto con agua como con licor de retorno y que constituyen la primera etapa de absorción.

El licor amoniacal fuerte obtenido en el sistema de absorción se emplea en el sistema de lavado y se alimenta a la tercera etapa, la pérdida de amoníaco se compensa suministrando  $\text{NH}_4\text{OH}$  del depósito al sistema de absorción. Otro componente que forma parte de la planta de lixiviación es lo que se conoce en la empresa como la Planta de cobalto, la cual constituye un esquema corto de la misma. En ésta se obtiene Ni y Co en forma de sulfuro como resultado de la dosificación del licor producto con hidrosulfuro de amonio, rebajando el contenido de cobalto en el producto final de la planta de sínter.

En la actualidad ha pasado a ser un producto de salida más de la Empresa con un mercado estable.

### **1.8. Principio de funcionamiento de los turboaeradores**

El área de lixiviación opera con seis series de turboaeradores en la I y II etapa, que tienen como función la de lixiviar con el fin de oxigenar, para obtener la oxidación del níquel (Ni) y el cobalto (Co) del mineral reducido, con el aire de baja presión proveniente del área de compresores, donde cada serie tiene una caja distribuidora que ramifica el flujo de pulpa suministrados del área de contacto, en dos miniseries formada por una cascada de cuatros turboaeradores, y en algunos casos por tres turboaeradores solamente. Las miniseries están formadas de la siguiente manera:

Miniseries I A (101, 102, 103, 104)	Miniseries II A (113, 114, 115, 116)
Miniseries I A (105, 106, 107, 108)	Miniseries II A (117, 118, 119)
Miniseries I B (101, 102, 103, 104)	Miniseries II B (113, 114, 115, 116)
Miniseries I B (105, 106, 107, 108)	Miniseries II B (117,118,119)
Miniseries I C (101, 102, 103, 104)	Miniseries II C (113, 114, 115, 116)
Miniseries I C (105, 106, 107, 108)	Miniseries II C (117, 118, 119)

Las miniseries que forman la serie (II B y II C) reciben la pulpa de contacto directamente sin pasar por el distribuidor general, a través de dos bombas, una para cada serie respectivamente.

En la descarga de los últimos turboaeradores de cada miniseries se encuentra un electroimán, que tiene el objetivo de magnetizar las partículas de hierro (Fe) y formar fúculos para aumentar la velocidad de sedimentación, pasando luego a la separación de fase mediante cuatros sedimentadores, donde tres operan y uno se mantiene de reserva. Los sedimentadores 109 A, 109 B, 109 C son los que operan normalmente como sedimentadores de lixiviación, manteniéndose el sedimentador 120 A de reserva. La pulpa descargada de los turboaeradores 119 A, B y C, y 116 A, B y C por gravedad llegan hacia una caja de transferencia, que a través de cuatros bombas centrífugas envían la pulpa a un distribuidor general de tres chorros, ubicado cerca de la descarga

del turboaeradores 104 B y 108 B, el cual distribuye la pulpa a los tres sedimentadores que normalmente operan en I etapa (sedimentadores 109 A, B, C ó 120 A), el resto de la pulpa descargada por los turboaeradores en las últimas miniseries restante (IA, IB y IC), descargan también en los sedimentadores 109 A, B y C respectivamente, es de notar que cuando se utiliza el sedimentador 120 A como primera etapa, el esquema de descarga de los turboaeradores hacia los sedimentadores sufre variaciones.

La pulpa descargada por los turboaeradores 127 y 130 es magnetizada y son enviada a dos sedimentadores (131 A y B ó C dos en operación y uno de reserva) ubicado en la III etapa de sedimentación de lixiviación, donde ocurre la separación de las fases líquidas y sólidas respectivamente, el reboso de estos dos sedimentadores es enviado completamente al distribuidor general 135 para diluir la pulpa de fondo de los sedimentadores de la primera etapa de sedimentación de lixiviación (sedimentadores 109 A, B, C o 120 A). La pulpa de fondo de estos sedimentadores 131 (A; B o C) es enviada al distribuidor general 200 del área de lavado (Díaz, 2007).

### **1.9. Principales características de los turboaeradores**

El accionamiento de los turboaeradores parte de un motor eléctrico de 55 kW y 1760  $\text{min}^{-1}$  acoplado a un reductor de velocidad con relación de transmisión (i) de 22,8 y 77,2  $\text{min}^{-1}$  de salida, de marca Echesa. El tanque de 4 m diámetro y una altura de 5 m poseen una capacidad de 63  $\text{m}^3$ . La altura total de los turboaeradores desde la base del tanque hasta el motoreductor es de 8,35 m, el material empleado en su construcción depende de la ubicación en la serie, pues se utiliza el acero inoxidable para el primero de cada serie y acero al carbono en el resto de los turboaeradores.

Algunos aspectos que se deben garantizar para el buen funcionamiento de los turboaeradores están asociados, a que se garantice una adecuada agitación de la pulpa de mineral y un alto grado de turbulencia. Las concentraciones de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) deben de estar entre los 75 y 85 gramos por litros y el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) de 42 gramos por litros aproximadamente, lo cual debe lograrse para una temperatura cercana a los 45° C.

### **1.9.1. Componentes fundamentales de los turboaeradores**

Los turboaeradores han sido proyectados y construidos para ser accionados por un motor eléctrico, en conjunto a un reductor de velocidad acoplado al eje central, del cual conecta el impelente. Otros elementos como el ciclón de limpieza de gases, el distribuidor de aire, el bajante de descarga y el depósito del mineral reducido forman un módulo entre sí, conectados sólidamente con el fin de realizar una operación determinada y con la finalidad de aumentar su labor productiva.

### **1.10. Conclusiones del capítulo**

- Se realizó una descripción de las características del mantenimiento preventivo planificado aplicable a los turboaeradores, definiendo las acciones que deben acometerse para que el mismo se ejecute correctamente, mostrando el desglose específico de cada intervención.
- El desarrollo del esquema tecnológico aplicado en la planta de lixiviación y lavado evidencia, la importancia de los turboaeradores dentro del proceso productivo, justificándose la necesidad de una adecuada planificación del mantenimiento preventivo planificado, como vía de garantizar la disponibilidad de la planta.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS DE LA INVESTIGACIÓN

### 2.1. Introducción

La actividad fundamental de la empresa industrial es desarrollar la producción de determinados productos con arreglo a su plan de producción, teniendo en cuenta los factores que sobre ellas inciden, como los requisitos de mantenimiento. La correcta organización del mantenimiento de los fondos básicos productivos, es una de las condiciones principales del aseguramiento de la capacidad de trabajo y de elevación del nivel de utilización de las capacidades de producción de la empresa.

Cuando los medios de producción se deterioran, afectan el proceso productivo provocando reducción o paralización de este, tiempos improductivos de las máquinas y de los trabajadores, retrasos en otros procesos, aumento de los desperdicios, costo efectivo de las reparaciones necesarias e incumplimiento de los compromisos de entrega de la producción. El deterioro, desde un punto de vista práctico, no puede ser evitado totalmente, pero si puede ir siendo compensado para contrarrestar sus efectos negativos. La actividad que evita o compensa el deterioro de los medios de producción es el mantenimiento. Las reparaciones se consideran parte del mantenimiento. Por lo tanto se puede destacar que el mantenimiento es importante debido a las estrategias que este puede solucionar (Portuondo, 1983).

La organización del mantenimiento debe dar como respuesta la decisión en cuanto a la selección del sistema de mantenimiento a emplear. Existen múltiples tendencias para establecer los sistemas de mantenimiento y generalmente se seleccionan atendiendo a la política de la empresa y los requerimientos de calidad, seguridad y mercado, además de las características del proceso productivo (Ferrer, 2014).

Se define como **objetivo** del capítulo: Establecer la metodología para la modificación al sistema de mantenimiento preventivo planificado del turboaerador.

### 2.2. Adecuación del sistema de mantenimiento

Aun cuando en nuestras industrias se ha instaurado 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 procedimientos de sistemas de mantenimiento, entre los cuales se encuentran:

Mantenimiento preventivo definido estadísticamente (fiabilidad).

Mantenimiento preventivo con medición de parámetros y 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 se 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 utilizará el criterio a nivel de máquina (Morrow, 1986).

### **2.2.1. 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, lo cual se realiza de la siguiente forma:

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 de 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.

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

Los coeficientes que no cumplen la condición adoptan el valor de 0.

Posteriormente se determinan los siguientes coeficientes:

Coeficiente de mantenimiento predictivo

$$C_{PRED} = \frac{C_1 + C_2 + C_3 + C_6}{4} \quad 2.1$$

Coeficiente de mantenimiento correctivo/preventivo

$$C_{CORR/PREV} = \frac{C_{PERDIDAS} + C_{FALLAS}}{5} \quad 2.2$$

Siendo:

$$C_{PERDIDAS} = C_1 + C_2 + C_6 \quad 2.3$$

$$C_{FALLAS} = C_7 + C_8 \quad 2.4$$

**Tabla 2.1** Reglas de selección.

VALOR DE LOS COEFICIENTES	SISTEMA DE MANTENIMIENTO
$C_{CORR/PREV} = 0$	Correctivo
$C_{PRED} \leq 0,25$ <span style="float: right;"><math>C7 = 1</math></span>	Preventivo según índices de fiabilidad
$C_{PRED} > 0,5$ <span style="float: left;"><math>C4 = 0</math></span> <span style="float: right;"><math>C5 = 1</math></span>	Preventivo con medición de parámetros y síntomas
$0,25 \leq C_{PRED} \leq 0,5$ $C4 = 1$ <span style="float: right;">y/o <math>C5 = 1</math></span>	
$C_{PRED} \geq 0,5$ <span style="float: right;"><math>C4 = 1</math></span>	Predictivo

### 2.3. 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:

$$Z_i = e * c \tag{2.5}$$

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 evaluado es bueno.

$c = 0,8$  Si el elemento evaluado es regular.

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

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

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

$$Z = \sum_{i=1}^n Z_i \quad 2.6$$

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 respecto a su condición inicial, lo anteriormente expuesto se evalúa empleando la expresión siguiente:

$$\eta = \frac{Z}{n} * 100 \quad 2.7$$

Donde:

$\eta$ : 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:

<b>Eficiencia actual</b>	<b>Estado técnico</b>
90 – 100 %	Bueno
75 – 89 %	Regular
50 – 74 %	Malo
Menos del 50 %	Muy mal

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:

<b>Equipos cuyo estado técnico sea</b>	<b>Se recomienda comenzar por</b>
Bueno	Revisión

Regular	Reparación pequeña
Malo	Reparación mediana
Muy mal	Reparación general

#### **2.4. 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 y materiales.

La estructura frecuentemente la brinda el fabricante o brinda los elementos de mantenimiento necesarios para confeccionarla. El especialista puede además auxiliarse de estructuras de equipos similares cuando no se posea información al respecto o de metodologías de cálculo empleando coeficientes. A continuación brindaremos estructuras típicas de ciclos de mantenimiento para máquinas y equipos industriales que pudieran servir de referencia (González, 2005).

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

Revisiones: 110; Reparaciones Pequeñas: 0; Reparaciones Medianas: 9

G-11R-M-11R-M-11R-M-11R-M-11R-M-11R-M-11R-M-11R-M-11R-M-11R-G

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

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

G-43R-M-43R-M-43R-M-43R-M-43R-M-43R-M-43R-G

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

Revisiones: 5; Reparaciones Pequeñas: 4; Reparaciones Medianas: 0

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

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

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

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

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

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

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

6. Desmenuzadoras.

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

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

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

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

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

8. Correas transportadoras.

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

G-R-R-P-R-R-P-R-R-M-R-R-P-R-R-P-R-R-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: 12; Reparaciones Pequeñas: 8; Revisiones Medianas: 3

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

10. Equipos de prensa y equipos de carga y transporte.

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

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

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

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

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

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

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

14. Máquinas de corte de metal para el acabado.

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

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

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

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

G-6R-P-6R-P-M-6R-P-6R-P-M-6R-P-6R-G

16. Equipos de Prensa.

Revisiones: 15; Reparaciones Pequeñas: 2; Reparaciones Medianas: 1

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

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

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

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

18. Ventiladores, bombas de ácidos.

Revisiones: 0; Reparaciones Pequeñas: 6; Reparaciones Medianas: 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.

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

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

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

22. Tanques.

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

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

23. Equipos de clasificación, masas de concentración.

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

G-P-M-P-M-P-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. Para establecer el ciclo de reparación a equipos que se encuentran en funcionamiento es necesario tener en cuenta por dónde comenzar, o sea, si se comienza por una revisión o si se comienza por una reparación. Esto es para determinar o elegir la duración del ciclo de mantenimiento, podemos utilizar la siguiente recomendación:

**Tabla 2.2.** Horas entre reparaciones generales.

<b>Grupo</b>	<b>De</b>	<b>A</b>
1	2 880	5 760
2	5 760	7 200
3	7 200	88 640
4	8 640	11 520
5	11 520	14 000
6	14 000	17 280
7	17 280	20 160
8	20 160	20 600
9	20 600	23 040
10	23 040	25 900
11	25 900	29 800
12	29 800	32 400
13	32 400	36 000
14	36 000	43 200
15	43 200	50 400
16	50 400	57 600
17	57 600	64 800
18	64 800	72 000
19	72 000	66 400
20	66 400	100800
21	100800	115200
22	115200	129600

23	129600	144000
----	--------	--------

Equipos que pueden incluirse en los grupos anteriores:

- Transformadores eléctricos de corriente y voltaje (14- 19).
- Generadores eléctricos (6).
- Rectificadores eléctricos secos y de mercurio (19).
- Dínamos (9).
- Vehículos de acumuladores (locomotoras y otros) (5).
- Motores eléctricos que trabajan en malas condiciones ambientales (8).
- Motores eléctricos que trabajan en condiciones muy favorables (13).
- Reductores de velocidad (9).
- Equipos de alza y carga, grúas monorraíles, diferenciales eléctricos, grúas volantes de mando mecánico y grúas de puente (1-16).
- Prensas hidráulicas (3-11).
- Sierras de bastidor, máquinas recortadoras cuadriláteras, lijadoras, pulidoras, cepilladoras, sierras circulares, sinfines, tornos horizontales, taladros con avance manual (5-12).
- Equipos evaporadores, filtros, calandrias, refinadoras de disco cónico (9).
- Caustificadoras, clasificadoras de ciclón, agitadores de propela, prensas de empaquetar (14).
- Filtros espaciadores para la caustificación, digestores (6).
- Digestores fijos, verticales, horizontales, tanques de licor (19).
- Tanques y depósitos en general de productos químicos (19).
- Equipos para la refinación de petróleo por destilación atmosférica y por Craqueo estático (1).
- Instalaciones para tratamientos de agua (19).
- Calderas de vapor (14).
- Turbinas de vapor (6).
- Bombas centrífugas, incluyendo las de ácidos (3).
- Equipos de corte de metales (4-19).

- Compresores móviles que trabajan en condiciones desventajosas (4).
- Compresores estáticos (9).
- Torres de enfriamiento de agua de madera (14).
- Torres de enfriamiento de agua de cemento (15).

El rango establecido de la duración del ciclo de reparación es amplio y la elección se realiza en función del estado técnico del equipo, años de instalado, opinión de los operadores, datos técnicos y estadísticos.

### **Periodos 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).

$$trm = \frac{T}{NM + 1} \quad 2.8$$

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

$$tr = \frac{T}{NP + NM + 1} \quad 2.9$$

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

$$to = \frac{T}{NR + NP + NM + 1} \quad 2.10$$

Donde:

*trm*: Periodo que transcurre entre dos reparaciones medianas consecutivas; [horas-máquinas].

*tr*: Periodo que transcurre entre dos reparaciones consecutivas; [horas-máquinas].

*tr*: Periodo que transcurre entre dos servicios de mantenimiento cualesquiera; [horas-máquinas].

*T* : Duración del ciclo de reparación; [horas-máquinas].

*NR*: Cantidad de revisiones.

*NP*: Cantidad de reparaciones pequeñas.

*NM*: Cantidad de reparaciones medianas.

## **2.5. Conclusiones del capítulo**

- Quedó establecida la metodología que permite mediante su implementación, la modificación al sistema de mantenimiento preventivo planificado del turboaerador, de forma que se garantice su explotación durante el proceso productivo.
- A través del procedimiento desarrollado se logra fundamentar la propuesta de modificación al sistema de mantenimiento preventivo planificado del turboaerador, estableciéndose una estructura adecuada del ciclo de reparación.

### 3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

#### 3.1. Introducción

Durante mucho tiempo se utilizó el mantenimiento correctivo como único sistema. En el mismo la planificación del mantenimiento es nula, ya que se realizan las reparaciones luego de producirse la falla, disminuyendo grandemente la disponibilidad de los equipos con la consiguiente afectación de la gestión empresarial. El mantenimiento correctivo evolucionó desde el imprevisto hacia el mantenimiento correctivo programado, donde a pesar de que se sigue realizando la reparación después de la avería, esta última es esperada con todos los medios necesarios preparados para disminuir el tiempo de parada del equipo.

Este tipo de mantenimiento no planificado no satisface las necesidades de la producción y se comenzó a trabajar con el mantenimiento preventivo, conocido fundamentalmente como MPP, el cual se basa en la planificación de trabajos y actividades para lograr mantener el buen estado de capacidad de trabajo e intervenir con anterioridad a la falla. Dicha planificación se realiza teniendo en cuenta las experiencias del operario, los históricos de las máquinas y siguiendo las normas y especificaciones de los fabricantes o proveedores.

En los capítulos precedentes fueron estudiados los patrones, las ecuaciones y los procedimientos, que permiten establecer los fundamentos del mantenimiento preventivo planificado aplicable a los turboaeradores. Además se brindó la forma de determinar el periodo entre reparaciones e intervenciones explicado metódicamente. Para estos análisis del trabajo presente es de mucha importancia establecer en qué medida esta ha contribuido al desarrollo. El correcto estudio, permite afirmar las bases para los trabajos que se desarrollen sobre la temática en estos equipos, teniendo su significativa en la economía, la sociedad y el medio ambiente.

Se declara como **objetivo** del capítulo: Realizar el análisis de los resultados siguiendo la metodología planteada en el capítulo anterior.

### 3.2. Resultados de la adecuación del sistema de mantenimiento

El turboaerador se constituye en un equipo de elevado costo de adquisición, además las paradas por fallas y averías del mismo provocan pérdidas considerables en la producción, ya que el equipo forma parte del flujo tecnológico encargado del movimiento de la pulpa mineral. Los costos de mantenimiento de la máquina son elevados, sobre todo debe de compararse con los beneficios que genera. Se ha demostrado que el arme y desarme del equipo no influye significativamente en su duración; y al fallar un elemento del mismo es posible su recuperación con grandes afectaciones económicas (ver anexo 1 pagina 56).

**Tabla 3.1** Coeficientes de evaluación según criterio a nivel de máquinas.

<b>Coeficiente</b>	<b>Comprende</b>	<b>Valor</b>
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	1
C4	Posibilidad de efectuar un diagnóstico de la máquina con la instrumentación disponible	0
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 para la máquina	1

En la Tabla 3.1 se muestra el valor alcanzado por cada uno de los coeficientes que considera el criterio a nivel de máquina, utilizado para realizar la adecuación del sistema de mantenimiento. De ahí que se pueda determinar la magnitud de los coeficientes predictivo y correctivo/preventivo expuestos en la tabla 3.2.

**Tabla 3.2** Coeficientes de selección.

Coeficiente	Ecuación	Valor
$C_{PRED}$	2.1	1
$C_{CORR/PREV}$	2.2	0,8

Según los índices alcanzados en la tabla 3.2 obtenidos en correspondencia con la metodología propuesta en el capítulo anterior, el sistema de mantenimiento que debe aplicarse al turboaerador según las condiciones objetivas existentes es el mantenimiento preventivo, coincidiendo con el sistema de mantenimiento actual del turboaerador.

### 3.3. Resultados de la determinación de estado técnico

Realizado el defectado de las partes componentes del turboaerador evaluando por elementos, se estableció el valor correspondiente en la tabla 3.3 luego de la inspección técnica.

**Tabla 3.3** Partes componentes del turboaerador.

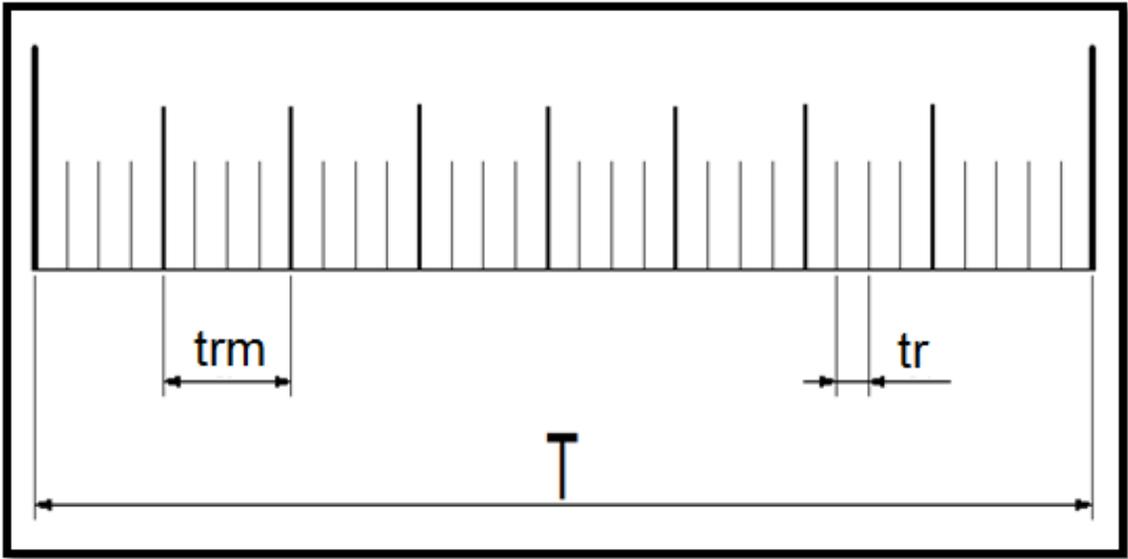
No.	Elementos evaluados	C
1	Motor	1
2	Reductor	0,8
3	Acoplamiento	1
4	Impelente	0,8
5	Barra	1
6	Ciclón	0,8
7	Tanque	0,6
8	Deflector	0,8
9	Baffle	0,8
10	Ducto de descarga	0,8
11	Burbujeador	0,8
12	Vigas de soporte	0,6
13	Rodamientos	1

De los elementos del turboaerador cuatro fueron evaluados de buenos, siete de regular, dos de malos y de muy malo ninguno, por lo que al sumar la cantidad de elementos por sus calificaciones se alcanza valores de 10,8 lo que dividido entre la cantidad de elementos evaluados (13) el valor es 0,83 o lo que al afectarlo por 100 se alcanzó una eficiencia del 83 %, lo que indica que el estado técnico del turboaerador es regular, por lo que la próxima intervención que se realice al equipo debe ser una reparación pequeña.

**3.4. Resultados de la determinación del ciclo de mantenimiento**

El ciclo a aplicar en cada equipo deberá determinarse en cada área de producción, analizando individualmente la máquina de trabajo, eligiéndose de acuerdo con la experiencia y datos que se posean del equipo. La duración del ciclo de reparación en horas máquinas depende de las características constructivas del mismo así como condiciones de explotación, tipos de producción y otras, en la figura 3.1 se muestra la estructura del turboaerador.

G-3P-M-3P-M-3P-M-3P-M-3P-M-3P-M-3P-M-4P-G



**Figura 3.1** Estructura actual del ciclo de reparación del turboaerador.

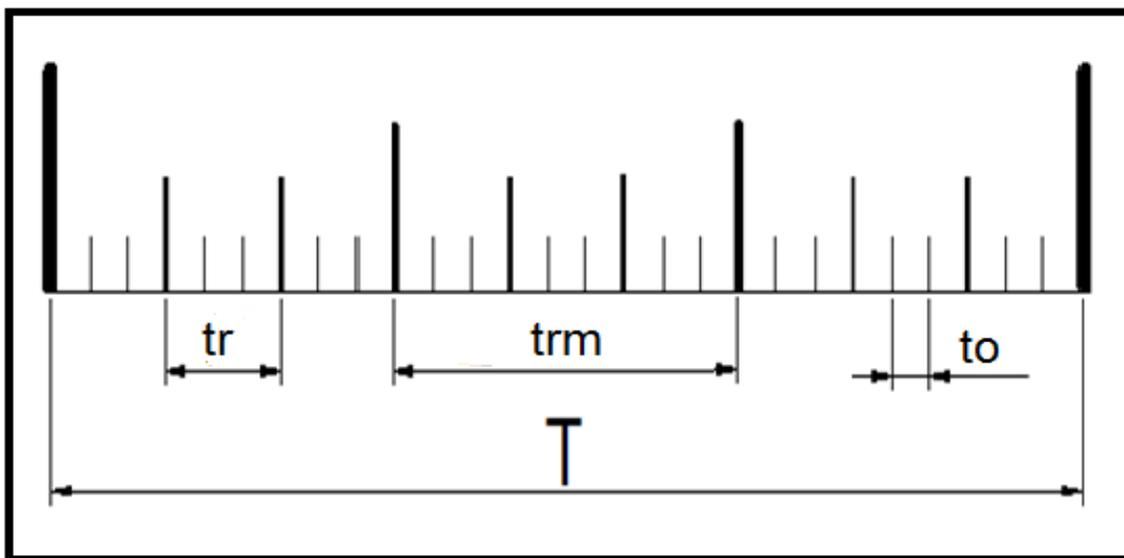
T = 43 800 horas máquinas                      trm = 5 475 horas máquinas

tr = 1 327, 27 horas máquinas

La estructura que se presenta en la figura 3.1 se corresponde con la distribución actual de las actividades realizadas sobre el turboaerador, la misma no muestra correspondencia con la establecida por metodología propuesta en el capítulo anterior. Dicha estructura carece de revisiones, lo cual no es del todo adecuado en equipos que realizan reparaciones generales con tiempos prolongados y trabajan bajo régimen de producción continuo, además es justamente durante esta actividad que se definen los trabajos a realizar durante la próxima reparación. El no considerar las revisiones en la estructura del ciclo de reparación, deriva en que los periodos entre intervenciones y los periodos entre reparaciones sean iguales.

Los turboaeradores aparecen dentro de los equipos que pueden incluirse en el grupo 14, el cual establece un rango de 36 000 a 43 200 horas máquinas entre reparaciones generales, partiendo que el estado técnico del equipo es regular, se determinó como duración del ciclo de mantenimiento 39 600 horas máquinas, el cual se corresponde con el valor medio del rango establecido.

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



**Figura 3.2** Propuesta de estructura del ciclo de reparación para el turboaerador.

$T = 39\ 600$  horas máquinas

$trm = 13\ 200$  horas máquinas

$tr = 4\ 400$  horas máquinas

$to = 1\ 466,66$  horas máquinas

Como se puede observar (Figura 3.2) la propuesta del ciclo de mantenimiento para el turboaerador objeto de estudio contempla 18 revisiones, 6 reparaciones pequeñas y 2 reparaciones medianas. 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 e intervenciones del equipo, siendo estos de 13 200, 4 400 y 1 466,66 horas máquinas respectivamente. Considerando que el equipo trabaja bajo régimen de explotación continúa, se expone que desde la puesta en marcha del mecanismo hasta la próxima reparación general transcurre 1647 días, donde se puede aseverar que las reparaciones medianas deben acometerse cada 549 días, el periodo entre las reparaciones pequeñas tarda 183 días, y el periodo entre intervenciones se ejecuta cada 61 días aproximadamente.

Considerando que el turboaerador entra en operación el 15 de junio de 2015 luego de una reparación general y se adopta la nueva estructura del ciclo de mantenimiento, se puede realizar la distribución de las intervenciones (Tabla 3.4), propia de la propuesta de modificación.

**Tabla 3.4** Distribución de las intervenciones del turboaerador.

Año	Meses calendario											
	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
2015								R		R		P
2016	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
		R		R		P		R		R		M
2017	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
		R		R		P		R		R		P
2018	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
		R		R		M		R		R		P
2019	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
		R		R		P		R		R		G

La distribución de las intervenciones y reparaciones de la propuesta de modificación del ciclo de reparación, aparece desarrollada en la tabla 3.4, contemplando un periodo

aproximado de 4,5 años, que abarca desde agosto del 2015 a diciembre del 2019, considerando que el equipo comenzó en operación en la fecha fijada. La distribución realizada de las intervenciones muestra total correspondencia a las actividades del ciclo de mantenimiento propuesta en el capítulo anterior.

**Tabla 3.5** Horas necesarias para efectuar las intervenciones del turboaerador.

<b>Tipo de Intervención</b>	<b>Ajuste y montaje</b>	<b>Maquinado</b>	<b>Total</b>
Revisión	0,4	0,1	0,5
Reparación pequeña	1,2	0,8	2
Reparación mediana	2,7	1,3	4
Reparación general	11	5	16

En la tabla 3.5 se muestran las horas necesarias para efectuar las intervenciones del turboaerador, desglosándose los tiempos a emplear entre ajuste y maquinado, en una revisión, reparación pequeña, reparación mediana y reparación general, requiriéndose un total de 0,5; 2; 4 y 16 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 3.6** Horas - hombres requeridas para efectuar las intervenciones del turboaerador.

<b>Tipo de Intervención</b>	<b>Cantidad de Intervenciones</b>	<b>Horas necesarias para</b>		<b>Total</b>
		Ajuste y montaje	Maquinado	
Revisión	18	7,2	1,8	9
Reparación pequeña	6	7,2	4,8	12
Reparación mediana	2	5,4	2,6	8
Reparación general	1	11	5	16
<b>Total de un ciclo</b>	<b>27</b>	<b>30,8</b>	<b>14,2</b>	<b>45</b>

Tomando en cuenta que el equipo se considera de grado de complejidad cuatro, serán necesarias durante su ciclo de reparación 123,2 horas – hombres para ajuste y montaje, 56,8 horas – hombres producto de las actividades de maquinado y 180 horas – hombres en total.

### 3.5. Actividades realizadas durante las intervenciones

Dentro de las intervenciones que se realizan en el mantenimiento preventivo planificado al turboaerador se encuentra la revisión, durante esta práctica el equipo sale de funcionamiento, aislándolo del proceso productivo de la planta ya que en este trabajo su inspección está orientada hacia la información que se brindará para realizar la próxima reparación ya sea 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 nueve líneas de turboaeradores de las cuales seis operan en lixiviación y lavado, una en cobalto y dos líneas se encuentran inhabilitadas; las actividades realizadas durante cada intervención están relacionadas en las tablas 3.7, 3.8, 3.9, 3.10.

**Tabla 3.7** Actividades que se realizan durante una revisión.

No.	Descripción
1	Estado de limpieza del turboaerador
2	Comprobar si existe presencia de ruido en el moto reductor
3	Verificar la temperatura del moto reductor
4	Comprobar el estado de la transmisión
5	Observar el estado técnico de los rodamientos
6	Verificar el nivel de aceite del reductor
7	Revisar si existe orificios en el equipo producto a los componentes químicos
8	Inspeccionar la estructura que soporta al turboaerador
9	Inspeccionar el estado del impelente y del burbujeador.

**Tabla 3.8** Actividades que se realizan durante la reparación pequeña.

<b>No.</b>	<b>Descripción</b>
1	Comprobar la temperatura del reductor
2	Parar el equipo y poner seguro a la botonera
3	Eliminar los salideros de aceite en el reductor
4	Revisión del rodamiento superior
5	Revisión del rodamiento inferior
6	Revisión del acoplamiento del eje central
7	Revisión y mantenimiento de las válvulas
8	Limpieza del sello hidráulico del eje
9	Revisión de la entrada de agua a los sellos laterales
10	Eliminar los salideros de gases existentes
11	Aplicación o completamiento del lubricante nuevo según norma
12	Ajuste del sistema completo
13	Limpieza de la plataforma superior
14	Puesta en marcha

**Tabla 3.9** Actividades que se realizan durante la reparación mediana.

<b>No.</b>	<b>Descripción</b>
1	Comprobar la temperatura del reductor
2	Desconectar el motor
3	Desacoplar el reductor
4	Desmontaje y reparación del reductor
5	Eliminar los salideros de aceite en el reductor
6	Revisión o cambio del rodamiento superior
7	Revisión o cambio del rodamiento inferior
8	Revisión o cambio del eje central
9	Revisión o cambio del acoplamiento del eje central
10	Revisión o cambio del impelente

11	Limpieza del sello hidráulico del eje
12	Achicar y desarenar
13	Revisión o cambio del burbujeador
14	Revisión o cambio del bajante del aire
15	Desmontaje y reparación de las válvulas
16	Revisión de la entrada de agua a los sellos laterales
17	Desmontaje y limpieza del ciclón
18	Eliminar todos los salideros de gases existentes
19	Comprobar la entrada de aire al burbujeador
20	Aplicación de los lubricantes nuevos según normas
21	Ajuste del sistema completo
22	Limpieza de la plataforma superior
23	Comprobar la rotación del mecanismo
24	Puesta en marcha

**Tabla 3.10** Actividades que se realizan durante la reparación general.

<b>No.</b>	<b>Descripción</b>
1	Desconectar el motor
2	Desacoplar el reductor
3	Desmontaje y reparación del reductor
4	Revisión del rodamiento superior
5	Revisión del rodamiento inferior
6	Revisión del eje central
7	Revisión del acoplamiento del eje central
8	Revisión del impelente
9	Limpieza del sello hidráulico del eje
10	Achicar y desarenar
11	Revisión del burbujeador
12	Revisión del bajante del aire

13	Desmontaje y reparación de las válvulas
14	Revisión de la entrada de agua a los sellos laterales
15	Desmontaje y limpieza del ciclón
16	Eliminar todos los salideros de gases existentes
17	Comprobar la entrada de aire al burbujeador
18	Aplicación de los lubricantes nuevos según normas
19	Ajuste del sistema completo
20	Limpieza de la plataforma superior
21	Comprobar la rotación del mecanismo
22	Cambio del mecanismo
23	Cambio del tanque
24	Cambio del deflector
25	Cambio del bafle
26	Cambio del ducto de descarga
27	Cambio del burbujeador
28	Cambio de las vigas que soportan la base
29	Puesta en marcha

Las indicaciones descritas en las tablas 3.7; 3.8; 3.9; 3.10 muestran las actividades que deben ejecutarse durante la revisión, reparación pequeña, reparación mediana y reparación general del turboaerador. 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. Análisis económico**

Para realizar una valoración económica en el área de lixiviación y lavado, se analizan primeramente aquellas pérdidas o gastos que incurren debido a la salida de operación de un turboaerador, teniendo en cuenta las pérdidas ocasionadas solo en el proceso

de achicar el licor y limpiar la pulpa sobrante, se pierde un costo asociado a la mano de obra de 373, 56 CUP+CUC.

Al tener un turboaerador fuera de operación, la pérdida por eficiencia está dada por la entrada y salida del turboaerador donde generalmente se saca la serie completa y es necesario recargar la pulpa hacia las otras series disminuyendo el tiempo de retención.

La segunda etapa posee un total de siete turboaeradores, conociendo que el promedio de la masa de níquel que debe pasar a solución es de 41,29 toneladas y se saca un turboaerador el efecto de pérdida por eficiencia es más significativa, todo esto representa un 3 % de pérdidas de 1, 24 toneladas de níquel para un 94 % de la eficiencia total en la extracción de níquel, hasta la segunda etapa de los turboaeradores teniendo un plan de 97 % con la finalidad de que todo el níquel que pasa a solución, salga como producción.

En la tabla 3.11 se presentan las pérdidas asociadas al amoníaco y al níquel, en dependencia de la etapa que se sitúen los turboaeradores, donde se considera la concentración de cada uno de estos productos.

**Tabla 3.11.** Pérdidas económicas generadas por las paradas de las series de turboaeradores.

<b>Etapa</b>	<b>Elemento</b>	<b>Concentración (g/L)</b>	<b>Volumen (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Masa NH3 (ton)</b>	<b>Masa Ni (ton)</b>
I	Níquel	9, 5	5, 35		0, 0508
	Amoniaco	75	5, 35	0, 40	
II	Níquel	5,0	5, 35		0, 026
	Amoniaco	84	5, 35	0, 449	
III	Níquel	3,0	5, 35		0, 016
	Amoniaco	94	5, 35	0,0503	
	Promedio	Ni			0, 0928
	Promedio	NH3		0, 8993	

Si en el año se sacan siete turboaeradores por motivo de limpieza, debido a la tupición del burbujeador, la suma de las tres etapas respectivamente, representa un total de

níquel perdido, igual a 0, 0928 toneladas y de amoniaco 0, 8993 toneladas. Multiplicando los siete equipos por 1, 24 toneladas de las pérdidas de níquel que representa un turboaerador se pierde aproximadamente al año 8,68 toneladas de níquel.

El valor de las pérdidas totales del níquel están dada por la suma de las pérdidas de níquel por eficiencia, más las pérdidas de níquel por la pulpa lavada, con un valor de 8, 7728 toneladas y las pérdidas totales de amoniaco por la pulpa lavada multiplicada por siete turboaeradores es de 6, 2951 toneladas.

El costo promedio de una tonelada de níquel en lo que transcurre de año es de \$ 13 828, 86 CUC hasta la planta de lixiviación, de manera que si se pierde una tonelada de níquel en esta planta, se estaría perdiendo este valor promedio.

El costo promedio de amoniaco en lo que transcurre el año es de \$ 738,23 CUC.

El valor de los costos totales está dado por la suma, de los costo por níquel perdido más costo por amoniaco perdido más costo de mantenimiento ( $8, 7728 * 13828,86 + 6, 2951 * 738,23 + 373,56$ ), para un valor en el año, de \$ 126 334, 32 mayormente en CUC porque de esta cifra sólo \$ 229,18 es en CUP por pago a los trabajadores.

### **3.7. Análisis ambiental**

La empresa comandante Ernesto Che Guevara 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. Ya se sabe que se violan muchas regulaciones internacionales del medio ambiente y se debe tratar de cumplirlas porque hay una gran cantidad de la población del municipio, que vive cerca de las zonas industriales, como es el caso del reparto Rolo Monterrey, Veguita y otras zonas aledañas.

Las principales fuentes de contaminación de la planta de lixiviación y lavado son las que giran en torno a las utilizaciones de gases nocivos como el amoniaco ( $\text{NH}_3$ ), en este caso, los turboaeradores de esta planta presentan, en mayor o menor medida emisiones de este gas dañino para la salud humana.

Los aceites industriales utilizados en el reductor de velocidad del turboaerador, son productos ampliamente empleados en múltiples actividades y sus residuos pueden causar graves afectaciones al medio ambiente y a la salud humana. Estos residuales se convierte en uno de los contaminantes en la actualidad, las molestias que ocasiona el ruido continuo provocado por un deficiente estado técnico del turboaerador, 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.

De ahí que, este trabajo estuviese encaminado a eliminar o disminuir estos factores dañinos para la supervivencia del ser humano y por ende sus consecuencias, que pueden ser de proporciones incalculables, ya que en el caso de los aceites la contaminación puede afectar la tierra, ríos y mares, debido a su baja biodegradabilidad y vertidos a las aguas originan una película impermeable entre la atmósfera y la superficie acuática, que ocasiona una disminución del oxígeno disuelto en el agua. En el caso del ruido engloba una infinidad de problemas que de una u otra forma afecta no solo la salud, sino la capacidad de trabajo y productividad de quienes están expuestos. Y además tener en cuenta a eliminar los derrames de los productos químicos que son altamente contaminantes, no solo para la humanidad sino también para la naturaleza, de esta forma se contribuye a la gran tarea emprendida por la humanidad que es la salvación de nuestro planeta.

### **3.7.1. 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 3.12.** Afectaciones del amoníaco en diferentes concentraciones.

<b>Amoníaco en el aire (ppm)</b>	<b>Efectos</b>
300-500	Concentración máxima tolerable en inhalaciones por corto tiempo (½ - 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. Conclusiones del capítulo**

- Se implantó la estructura básica del ciclo de mantenimiento para el turboaerador, fijando el periodo entre reparaciones generales en 39 600 horas máquinas, periodo

en el cual deben ejecutarse 18 revisiones, 6 reparaciones pequeñas y 2 reparaciones medianas.

- Se definieron las actividades propias de una revisión, reparación pequeña, reparación mediana y reparación general del turboaerador, estableciendo los períodos en los cuales debe ejecutarse.

## **CONCLUSIONES GENERALES**

- La estructura del ciclo de reparación para el turboaerador contempla 18 revisiones, 6 reparaciones pequeñas y 2 reparaciones medianas, ajustado a una duración del ciclo de 39 600 horas máquinas, siendo los periodos de reparación e intervención de 4 400 y 1 466 horas máquinas respectivamente.
- Se establecieron las actividades que deben ejecutarse durante una revisión, reparación pequeña, reparación mediana y reparación general del turboaerador, Donde las revisiones se efectúan con una extensión de 0,5 horas, en la reparación pequeña se emplea un tiempo de 2 horas, para las reparaciones medianas 4 horas y en las reparaciones generales se utilizan 16 horas.
- Las intervenciones realizadas durante el ciclo de reparación del turboaerador requieren de 123,2 horas hombres para ajuste y montaje, 56,8 horas hombres producto de las actividades de maquinado, para un total de 180 horas hombres.

## **RECOMENDACIONES**

- Emplear el informe como guía para incorporar mejoras al sistema de mantenimiento del turboaerador.
- Mantener el equipo bajo políticas preventivas de mantenimiento, siguiendo la estructura y los tiempos determinados del ciclo.
- Extender el estudio y la aplicación de mejoras sobre los métodos de mantenimiento en los turboaeradores.
- De ser necesario, ajustar la duración del ciclo de mantenimiento hasta lograr el funcionamiento ininterrumpido del equipo.
- Considerar en futuras investigaciones, la aplicación de sistemas de mantenimiento más avanzados que puedan ser aplicados a los turboaeradores.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**Aguado, N. 2008.** *Mantenimiento preventivo en máquinas herramientas.*

**Bangueses, M; Gorris, J. 2006.** *Normalización del mantenimiento preventivo.* Madrid.

**Daquinta, L. 2004.** *Mantenimiento y reparación de la maquinaria agrícola.* La Habana : Felix Varela. ISBN 959-258-811-2.

**Díaz, E. 2007.** *Análisis de la disponibilidad de los turboaeradores de la planta lixiviación y lavado de la empresa del níquel comandante Ernesto Che Guevara.* Proyecto de curso. ISMM.

**Ferrer, B. 2014.** *Mantenimiento preventivo en reductor de velocidad de grúas indias de extracción de mineral.* Trabajo de diploma. ISMM.

**Gilbert, A; Palacios, A. 2013.** *Informe de evaluación de la gestión de la calidad en el mantenimiento de la empresa Che Guevara.* Holguín.

**González, F. 2005.** *Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado.* Madrid : Fundación cofemental.

**Guzman, D. 2001.** *Modelación, simulación y control del tanque de contacto y los enfriadores de licor en el proceso de lixiviación carbonato amoniacal.* Tesis doctoral. ISMM.

**Luna, H. 1982.** *Explotación técnica de automóviles.* La Habana : Ediciones Enspes.

**Melgar, R. 2004.** *Implementación de plan de mantenimiento preventivo para máquinas cortadoras - selladoras.* Guatemala.

**Morrow, H. 1986.** *Organization and administration of the maintenance.* Houston.

**Muñoz, B. 2003.** *Mantenimiento industrial.* Madrid

**Nava, J. 2006.** *Teoría de mantenimiento. Definiciones y organización.* Caracas :  
Producciones editoriales C.A.

**Navarrete, E. 1986.** *Mantenimiento industrial.* La Habana : MIR, 1986. ISBN 895-985-  
544.

**Pista, A. 1993.** *Manual de mantenimiento, ingeniería, gestión y organización.*

**Portuondo, F. 1983.** *Economía de empresas industriales.* La Habana : Editorial Pueblo  
y Educación.

# ANEXO

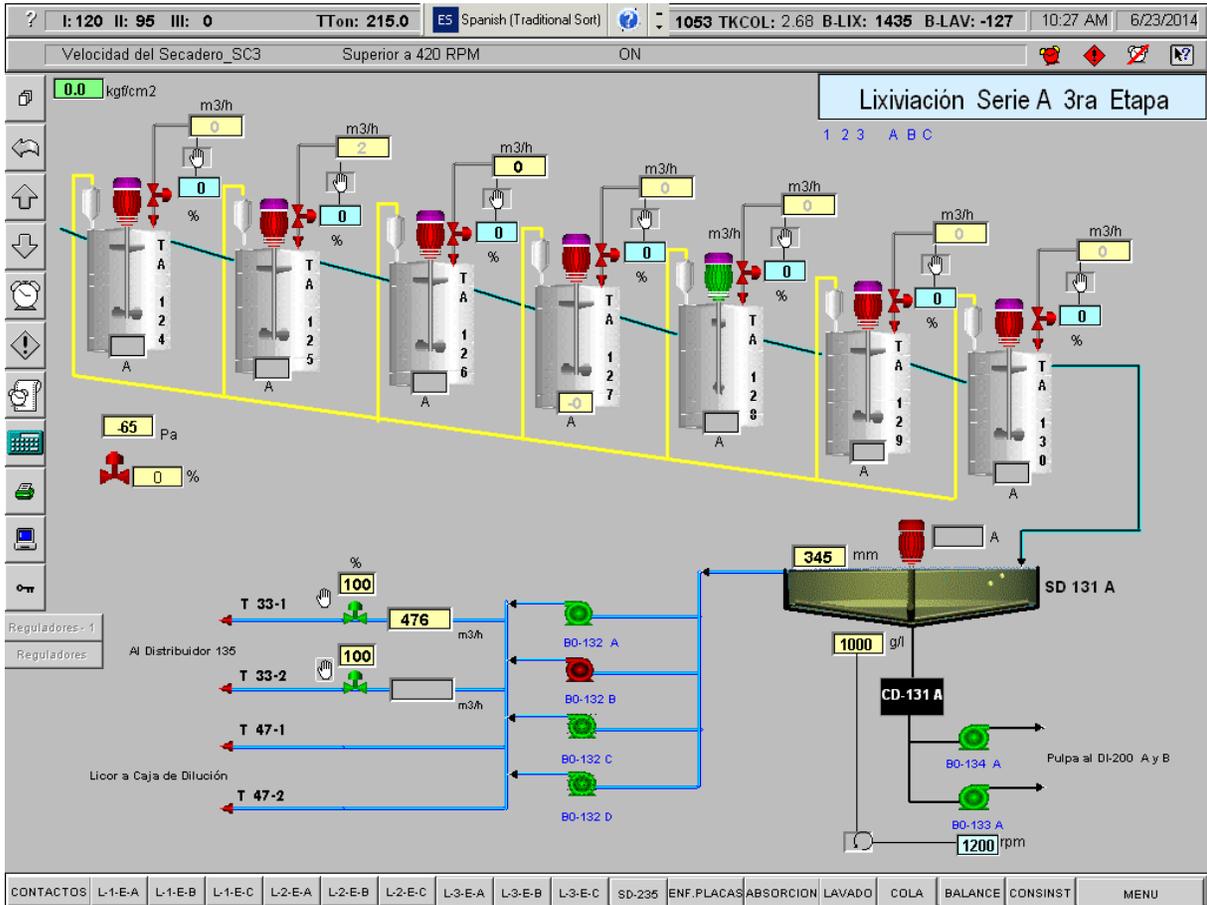


Figura 1.2 Tercera etapa de los turboaeradores de la planta de lixiviación y lavado.