



Universidad Católica del Norte  
ver más allá



---

Escuela de Negocios Mineros  
Dirección de Postgrado

**“PROPONER UN MODELO PARA  
MANTENIMIENTOS PLANIFICADOS CON  
DETENCIÓN DE PLANTA EN OPERACIONES  
MINERAS”**

*Proyecto de tesis para optar al grado académico de  
Magíster en Gestión Minera.*

*Profesor Guía: Ernesto Gramsch*

**Carlos Ríos  
Nibaldo Flores  
Rodrigo Rojas**

*Antofagasta, Agosto de 2013*

## **AGRADECIMIENTOS**

A nuestras familias por su comprensión y apoyo.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN .....	<u>56</u>
INTRODUCCIÓN .....	<u>67</u>
CAPÍTULO I: INVESTIGACIÓN PROPUESTA .....	8
1.1. FORMULACIÓN GENERAL .....	8
1.2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	9
1.3. OBJETIVOS.....	9
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	9
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	9
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	10
2.1. Mantenimiento. Historia y definición .....	10
2.2. Mantenimiento, Confiabilidad, Mantenibilidad, y Disponibilidad (CMD). .....	18
2.3. Detención de Planta. ....	21
2.4. Organización de una Detención de Planta. ....	25
2.5. Construcción del Modelo .....	26
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA .....	34
3.1. Tipo de Investigación.....	34
3.2. Antecedentes Preliminares .....	35
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN .....	36
4.1. Situación Compañía XX .....	36
4.2. Situación Compañía XY .....	54
4.3. Situación Compañía XZ.....	72
4.4. Análisis Modelos Existentes mediante Factores Críticos de Éxito .....	75
4.5. Modelo Propuesto.....	<u>8281</u>
4.6. Matriz de Comparación entre Empresas y el Modelo Propuesto .....	<u>9995</u>
CONCLUSIONES .....	<u>10096</u>
BIBLIOGRAFÍA .....	<u>10399</u>
ANEXO A: Tipos de Investigación .....	<u>105401</u>
Investigación Descriptiva.....	<u>105401</u>
Investigación Exploratoria .....	<u>113409</u>

| Investigación Explicativa..... ~~11410~~

**ÍNDICE DE ILUSTRACIONES**

Figura 1: Evolución Histórica del Mantenimiento .....	12
Figura 2: Modelo de Planificación de Shut Down empresa XZ.....	74
Figura 3: Matriz de Comparación entre Empresas y Modelo Propuesto .....	<u>9995</u>

## **RESUMEN**

El presente trabajo propone un modelo para mantenimientos planificados con detención de planta, con el fin de brindar pautas para la planificación e implementación de las mantenciones de equipos y maquinarias de las instalaciones de una planta de procesos en una determinada faena minera. Los “Shut Down” entregan la oportunidad única para intervenir los equipos que no están disponibles durante la operación normal. El modelo propuesto permite dar un enfoque en relación a la práctica óptima para la preparación del plan, la ejecución del mantenimiento planificado y el análisis post mantenimiento. Como también identificar los roles claves involucrados en la preparación y ejecución de los mantenimientos planificados.

## INTRODUCCIÓN

Todas las compañías mineras se ven enfrentadas al gran desafío de mantener buenos indicadores en su gestión y están permanentemente, bajo una creciente presión encontrándose obligadas a alcanzar altos valores de producción con exigentes niveles de calidad cumpliendo con los plazos de entrega. Lo que las obliga a contar con un sistema de mantenimiento para asegurar lo anteriormente mencionado. Lo anteriormente señalado, obliga a las empresas a mantener el sistema de producción funcionando con el mejor nivel de confiabilidad posible, disminuir la frecuencia y gravedad de las fallas, con una operación libre de accidentes, mitigando el impacto del medio ambiente y mantener costos competitivos.

Uno de los principales problemas del mantenimiento y de las operaciones mineras es que existe una gran brecha entre la planificación y ejecución de un mantenimiento planificado con detención de planta o “Shut Down” . Estas brechas impactan negativamente los planes de producción, los indicadores de seguridad, muchas veces con trabajos de mala calidad, retrasos importantes en el término del mantenimiento planificado. Muchas de las compañías mineras ni siquiera cuentan con un procedimiento para esta importante actividad del proceso y que puede generar importantes pérdidas para la Empresa.

El propósito de este modelo es proporcionar un enfoque en relación a la práctica óptima para la preparación del plan, la ejecución de los mantenimientos planificados y el análisis post mantenimiento de equipos y maquinarias de sus instalaciones en Operaciones Mineras.

El modelo contiene **cuatro etapas**. Cada una contiene procedimientos y listas de control que apuntan a minimizar el riesgo asociado a la incapacidad de alcanzar los objetivos establecidos en el mantenimiento planificado.

Las etapas definidas son:

**Etapas 1: Planificación del Mantenimiento**

**Etapas 2: Ejecución del Mantenimiento**

**Etapas 3: Post Mantenimiento Planificado**

**Etapas 4: Indicadores Claves de Desempeño (KPIs)**

El modelo también identifica los roles claves involucrados en la preparación y ejecución de los mantenimientos planificados. El modelo puede ser aplicado para mantenimientos planificados con detención de planta en Operaciones Mineras.

El documento debe estar siempre en vigencia. A medida que se acumula experiencia en el uso del modelo, éste debe ser mejorado y actualizado.

El desarrollo del presente trabajo aborda temas asociados a la **Investigación**, donde se detallan las principales desviaciones actuales, se define la problemática y el impacto en el negocio, como también los objetivos generales y específicos. El **Marco Teórico**, donde se revisan bibliografía de autores que hayan desarrollado estos temas. La **Metodología**, donde se define que tipo utilizar (Descriptiva, Exploratoria o Explicativa). El **Análisis Actual** de empresas que tengan desarrollado algún tipo de modelo o metodología para enfrentar las mantenciones planificadas, para finalmente compararlas entre sí y proponer el modelo que recoja todas las actividades necesarias para el éxito de un Mantenimiento Planificado, que no solo tome las tareas de las empresas estudiadas, sino que también contenga etapas que aseguren el mejoramiento continuo.

## **CAPÍTULO I: INVESTIGACIÓN PROPUESTA**

### **1.1. FORMULACIÓN GENERAL**

Actualmente la mayoría de las compañías mineras no cuenta con un procedimiento claro para abordar los mantenimientos planificados con detención de Planta, lo que lleva a que existan diferentes inconvenientes en esta importante actividad, donde la planta se detiene para mejorar los defectos con que cuenta. Con el fin de eliminarlos y no detener hasta un próximo mantenimiento planificado, pero eso rara vez ocurre porque existen desviaciones que alteran la planificación.

Dentro de las principales desviaciones detectadas en los “Shut Down” se puede mencionar:

- Los mantenimientos planificados no finalizan a tiempo.
- En los mantenimientos planificados no se realiza la totalidad de trabajos planificados.
- No se cuenta con todos los recursos para hacer los trabajos que fueron planificados.
- Ocurren accidentes debido a la falta de planificación
- Los trabajos ejecutados no son de calidad.
- El plan de mantenimiento es entregado en forma tardía a los ejecutores

## **1.2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

Todas las desviaciones u oportunidades mencionadas anteriormente, llevan a generar pérdidas importantes a las compañías mineras, impactando negativamente la operación normal. Las brechas existentes entre lo planificado y lo realmente ejecutado en muchas ocasiones son abismantes, por lo que se hace necesario contar con un modelo estandarizado que permita ajustar estas diferencias y generar un ciclo de mejoramiento continuo de los “Shut Down”.

¿Cuáles son las tareas que deben incluirse en un Plan de Mantenimiento?

## **1.3. OBJETIVOS**

### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Proponer un modelo para mantenimientos planificados con detención de planta en operaciones mineras

### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Los objetivos específicos que pretende alcanzar este trabajo son:

- Revisar los distintos tipos de mantenimiento basado en literatura
- Conocer algunos modelos de mantenimientos planificados utilizados en la industria minera.
- Definir una metodología que permita realizar mejoramiento continuo a los “Shut Down”.
- Describir los aspectos principales de los mantenimientos planificados con detención de planta.
- Proponer algunos indicadores claves de desempeño (KPIs) para medir la efectividad del mantenimiento planificado

## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Mantenimiento. Historia y definición**

La idea de la mantener es hoy consustancial a las empresas y bienes, nadie quiere que su propiedad se deteriore a tal punto que no sea posible utilizarla, ante lo cual nace el mantenimiento como concepto y acción de las organizaciones, empresas y personas.

La historia del mantenimiento, como parte estructural de las empresas, data desde el momento mismo de la aparición de las maquinas, para la producción de bienes y servicios, inclusive desde cuando el hombre forma parte de la energía de dichos equipos (Mora, 2009).

Se reconoce la aparición de los primeros sistemas organizacionales de mantenimiento para sostener las maquinas desde principios del siglo XX, en los Estados Unidos, donde todas las soluciones a fallas y paradas imprevistas de equipos se solucionan vía mantenimiento correctivo (Newbrough, 1982)

“El Mantenimiento es una actividad que está presente desde que el hombre apareció sobre la tierra. Todo lo que usa y fabrica el hombre necesita mantenimiento debido a los procesos de deterioro que son naturales debidos a la utilización o, simplemente, al paso del tiempo y a los efectos del clima y de los fenómenos naturales. Procesos como el desgaste, la corrosión, y la fatiga producen deterioro en las cosas que, para ser neutralizados, requieren de actividades de mantenimiento.” (Gramsch Sanjinés).

De acuerdo con la gran mayoría de autores sobre el tema el mantenimiento es aquella parte primordial de una empresa, emprendimiento, faena etc., que trata de mantener los activos, es decir, los sistemas, equipos, elementos, en la condición que permita que pueda cumplir con su función en todo momento.

Según la Real Academia Española, se define mantenimiento como “el conjunto de operaciones y cuidados necesarios para que instalaciones, edificios, industrias, etc., puedan seguir funcionando adecuadamente”.

La función concreta de mantenimiento es sostener la funcionalidad y el cuerpo de un objeto o aparato productivo para que cumpla su función de producir bienes o servicios (Mora, 2009).

La *European Federation of National Maintenance Societies*, todas las acciones que tienen como objetivo mantener un artículo o restaurarlo a un estado en el cual pueda llevar a cabo alguna función requerida. Estas acciones incluyen la combinación de las acciones técnicas y administrativas correspondientes.

El mantenimiento en su evolución histórica y tecnológica ha pasado por épocas que marcan su desarrollo a través de industrialización de los países y de los avances tecnológicos de las diferentes ciencias que concurren al mantenimiento, tales como la aparición de las maquinas, evolución de las armas, la construcción de las líneas de montaje, la sustitución de la fuerza motriz de hombres y animales por el vapor, y luego por la combustión interna; para pasar a la industria de la aviación y la era espacial, para estar hoy de la mano de avances tecnológicos vertiginosos. En general, el mundo actual tiene unos ritmos de crecimiento exponenciales, lo que obliga a los mantenedores de estos tiempos a manejar un espectro amplio y profundo de conocimiento para mantener la funcionalidad confiable de los mecanismos y máquinas de producción (Mora, 2009).

Etapas del Mantenimiento, evolución histórica, figura 1

		Producción - Manufactura		Mantenimiento e ingeniería de fabricas	
Etapa	Sucedo aprox.	Orientación hacia	Necesidad específica	Orientación hacia	Objetivo que pretende
I	antes 1950	El producto	Generar el producto	Hacer acciones correctivas	Reparar fallos imprevistos
II	Entre 1950 y 1959	La producción	Estructurar sistema productivo	Aplicar acciones planeadas	Prevenir, predecir y reparar fallos
III	Entre 1960 y 1980	La productividad	Optimizar la producción	Establecer tácticas de mantenimiento	Gestar y operar bajo un sistema organizado
IV	Entre 1981 y 1995	La competitividad	Mejorar índices mundiales	Implementar una estrategia	Medir costos, CMD, compararse, predecir índices, etc.
V	Entre 1996 y 2003	La Innovación tecnológica			
VI	Desde 2004	Gestión y operación integral de activos en forma coordinada entre ambas dependencias, anticiparse a las necesidades de los equipos y de los clientes de mantenimientos – Predicciones – Pronósticos – Gestión de Activos			

Fuente : Mora,2009

Figura 1: Evolución Histórica del Mantenimiento

Sin embargo el mantenimiento se ha dividido, con la finalidad de abordar en forma específica, aquellas tareas que se realizan con determinadas estrategias, recursos y en períodos de tiempo diferenciado pero complementario de la labor de mantención, es así como encontramos:

- a) El Mantenimiento de Conservación: Es aquel que persigue la restauración de la función de un sistema, equipo o elemento que se ha visto deteriorado por el uso y las condiciones de trabajo y que a su vez se puede subdividir en :
  - i. **Mantenimiento correctivo:** Es aquel que corrige los defectos o averías observados, el cual generalmente se caracteriza por su forma reactiva y no planificada, lo cual no permite darse cuenta de las causas que originan una falla o defecto, que no permite determinar si el sistema, equipo o elemento ha fallado por mala operación, por mantención deficiente, por sobre exigencia, etc., es posible identificar

este mantenimiento con la continua reparación urgente de componentes o equipos, que han fallado previamente.

1. **Mantenimiento correctivo inmediato:** Es el que se realiza inmediatamente de constatar la avería y defecto, con los medios disponibles, destinados a ese fin.
  2. **Mantenimiento correctivo diferido:** Es aquel por el cual, al producirse la avería o defecto, se detiene la instalación, equipo o elemento de que se trate, para posteriormente efectuar la reparación, una vez que se cuenta con los medios para ello.
  3. **Mantenimiento correctivo planificado:** Es aquel que consiste en la reparación de un equipo o componente que no se realiza con urgencia, ya que su detención normalmente no afecta la línea de producción, o se cuenta con un reemplazo que entrara en servicio en vez del equipo o componente fallado, sino que con un plan previo, que permite disponer del personal, repuestos y documentos técnicos necesarios para realizarlo.
- ii. **Mantenimiento preventivo:** Es el que está destinado a garantizar la fiabilidad de equipos en funcionamiento antes de que pueda producirse un accidente o avería por deterioro. Para llevar a cabo este tipo de mantenimiento, es necesario contar con programas establecidos de inspección y revisión de los sistemas, equipos y componentes críticos de la planta, realizados en base a las recomendaciones establecidas por los fabricantes en los respectivos manuales, y las experiencias de mantenedores y operadores de los mismos. Se debe contar además con un sistema de análisis de falla que permita tener seguimiento de ellas en el tiempo, tal como lo indica en su manual de mantenimiento el Ingeniero Ernesto Gramsch “El mantenimiento preventivo constituye un alto porcentaje del total del trabajo de mantenimiento, más del 80%. Se ejecuta en un 99% tal como estaba programado. Se hace seguimiento a las reparaciones

ejecutadas como resultado de las inspecciones de mantenimiento preventivo y, especialmente, del mantenimiento predictivo. Se analiza permanentemente el rendimiento de la actividad para verificar que está dando frutos en la eliminación de las fallas y emergencias. Se producen, registran y analizan datos para obtener información útil para la gestión”. Otra definición indica que es aquel mantenimiento “basado en el tiempo, consiste en reacondicionar o sustituir a intervalos regulares de tiempo un equipo o sus componentes, independiente de su estado en ese momento. El mantenimiento preventivo es el que realiza según datos entregados por los fabricantes y los cuales establecen en determinados momentos ya sea de acuerdo a determinadas horas de uso, repeticiones de una actividad, se de bien realizar determinadas tareas para evitar los entorpecimientos de las actividades específicas. El mantenimiento preventivo tiene como finalidad reducir al mínimo la probabilidad de fallas, las paradas preventivas y los servicios programados, esto se lleva a cabo con el objetivo de detectar la falla y asegurar el funcionamiento correcto de un bien.” (Pinzón, 2008)

En el mantenimiento preventivo podemos distinguir a su vez:

1. **Mantenimiento programado:** Es el que también podemos llamar planificado y que se realiza por un programa de revisiones, por tiempo de funcionamiento, kilometraje, etc. “En este tipo de mantenimiento, se hace énfasis en la protección de bienes o equipos, teniendo en cuenta las recomendaciones de los fabricantes, la frecuencia de utilización, si trabajan o no en condiciones normales de diseño, se incluyen las inspecciones, los reemplazos de partes que estén próximas a cumplir su vida útil. Durante las actividades que están programadas, se siguen las instrucciones detalladas sobre los trabajos a

realizar para reducir la probabilidad de que se presenten fallas durante el periodo que se sigue hasta el nuevo servicio” (Pinzón, 2008).

2. **Mantenimiento predictivo:** Es aquel que realiza las intervenciones prediciendo el momento en que el equipo quedara fuera de servicio mediante un seguimiento de su funcionamiento determinando su evolución, y por tanto el momento en el que las reparaciones deben efectuarse. Este mantenimiento es un avance con respecto al mantenimiento clásico ya que incorpora el análisis de los equipos, como se indica en “El siguiente paso en la tecnología de mantenimiento fue la llegada del mantenimiento predictivo, basado en la determinación del estado de la máquina en operación: La técnica está basada en el hecho que la mayoría de las partes de la máquina darán un tipo de aviso antes de que fallen. Para percibir los síntomas con que la máquina nos está advirtiendo requiere varias pruebas no destructivas, tal como análisis de aceite, análisis de desgaste de partículas, análisis de vibraciones y medición de temperaturas.

El uso de estas técnicas, para determinar el estado de la máquina dará como resultado un mantenimiento mucho más eficiente, en comparación con los tipos de mantenimiento anteriores. El mantenimiento predictivo permite que la gerencia de la planta tenga el control de las máquinas y de los programas de mantenimiento y no al revés. En una planta donde se usa el mantenimiento predictivo el estado general de las máquinas esta conocido en cualquier momento y una planificación más precisa será posible.

El mantenimiento predictivo usa varias disciplinas. La más importante de estas es el análisis periódico de vibraciones. Se ha demostrado varias veces que de todas las pruebas no destructivas, que se pueden llevar a cabo en una máquina, la firma de vibraciones proporciona la cantidad de información más importante acerca de su funcionamiento interno.

En algunas máquinas que podrían afectar de manera adversa las operaciones de la planta si llegarían a fallar, se puede instalar un monitor de vibración continuo. En este monitor, una alarma se prenderá cuando el nivel de vibraciones rebasa un valor predeterminado. De esta manera se evitan fallas que progresan rápidamente, y causan un paro catastrófico. La mayoría del equipo moderno, accionado por turbinas se vigila de esta manera. El análisis de aceite y el análisis de partículas de desgaste son partes importantes de los programas predictivos modernos, especialmente en equipo crítico o muy caro. La termografía es la medición de temperaturas de superficie por detección infrarroja. Es muy útil en la detección de problemas en interruptores y áreas de acceso difícil. Análisis de la firma de motor es otra técnica muy útil que permite detectar barras de rotor agrietadas o rotas, con el motor en operación. La prueba de sobretensión de los estatores de motor se usa para detectar una falla incipiente en el aislamiento eléctrico. (Bodre, 2009)

El mantenimiento basado en la predicción tiene una gran aceptación, debido a sus ventajas: “La ventaja más

importante del mantenimiento predictivo de equipo industrial mecánico es un grado de preparación más alto de la planta, debido a una confiabilidad más alta del equipo. El establecer una tendencia sobre tiempo de las fallas que se empiezan a desarrollar se puede hacer con precisión y las operaciones de mantenimiento se pueden planificar de tal manera que coincidan con paros programados de la planta. Muchas industrias reportan incrementos de productividad del 2% al 10% debido a prácticas de mantenimiento predictivo. Se espera porcentajes de incremento similares de la disponibilidad para misiones en sistemas navales. Otra ventaja del mantenimiento predictivo son los gastos reducidos para refacciones y mano de obra. La reparación de una máquina con una falla en servicio costará diez veces lo que cuesta una reparación anticipada y programada. Un gran número de máquinas presentan fallas al arrancar, debido a defectos que provienen de una instalación incorrecta. Las técnicas predictivas se pueden usar para asegurar una alineación correcta y la integridad general de la máquina instalada, cuando se pone en servicio. La aceptación de maquinaria nueva está basada para muchas plantas en la luz verde proporcionada por el análisis de vibraciones. El mantenimiento predictivo reduce la probabilidad de un paro catastrófico, y esto será una seguridad incrementada para los trabajadores. Hubo muchos casos de heridos y muertos debido a fallas repentinas en las máquinas. (Bodre, 2009)

3. **Mantenimiento de oportunidad:** Es el que aprovecha las paradas o periodos de no uso de los equipos que sin haber

fallado se encuentran disponibles para mantención; tales como fallas en los equipos o sistemas aguas arriba, para realizar las operaciones de mantenimiento, realizando las revisiones o reparaciones necesarias para garantizar el buen funcionamiento de los equipos en el nuevo periodo de utilización.

- b) **Mantenimiento de actualización:** Es aquel que se preocupa de disminuir la brecha tecnológica que se crea entre la fecha de diseño del proyecto y construcción, y la fecha de operación o actualidad, que inevitablemente mostrarán los equipos, y que aumentara con el transcurso del tiempo, también puede abarcar las nuevas exigencias de producción que harán necesario contar con equipos nuevos o mejorados.

## **2.2. Mantenimiento, Confiabilidad, Mantenibilidad, y Disponibilidad (CMD).**

Confiabilidad, “Una filosofía de gestión del mantenimiento, en la cual un equipo multidisciplinario de trabajo, se encarga de optimizar la confiabilidad operacional de un sistema que funciona bajo condiciones de trabajo definidas, estableciendo las actividades más efectivas de mantenimiento en función de la criticidad de los activos pertenecientes a dicho sistema”. Anthony Smith.

La confiabilidad puede ser definida como la “confianza” que se tiene de que un componente, equipo o sistema desempeñe su función básica, durante un período de tiempo preestablecido, bajo condiciones estándares de operación. Otra definición importante de confiabilidad es; probabilidad de que un ítem pueda desempeñar su función requerida durante un intervalo de tiempo establecido y bajo condiciones de uso definidas. La mantenibilidad se puede definir como la expectativa que se tiene de que un equipo o sistema pueda ser colocado en condiciones de operación dentro de un periodo de tiempo establecido, cuando la acción de mantenimiento es ejecutada de acuerdo con procedimientos prescritos. La disponibilidad, objetivo principal del

mantenimiento, puede ser definida como la confianza de que un componente o sistema que sufrió mantenimiento, ejerza su función satisfactoriamente para un tiempo dado. En la práctica, la disponibilidad se expresa como el porcentaje de tiempo en que el sistema está listo para operar o producir, esto en sistemas que operan continuamente (Mesa Grajales, 2006).

La confiabilidad se asocia también a la calidad del mantenimiento y es una forma técnica de medirlo, lo mismo ocurre con la mantenibilidad que dice relación con las reparaciones y la disponibilidad termina siendo una relación matemática entre las anteriores. La confiabilidad se mide a partir del número y duración de las fallas, la mantenibilidad se cuantifica a partir de la cantidad y de la duración de las reparaciones, mientras que la disponibilidad se mide a partir de la confiabilidad y de la mantenibilidad (Mora, 2009)

$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Confiabilidad}}{\text{Confiabilidad} + \text{Mantenibilidad}}$ <p style="text-align: center; margin: 0;">. (Mora, 2009)</p>
--

La confiabilidad, la mantenibilidad y la disponibilidad son prácticamente las únicas medidas técnicas y científicas fundamentadas en cálculos matemáticos, estadísticos y probabilísticos que tiene el mantenimiento para su análisis (Mora, 2007b) y su evaluación integral y específica. Por medio del CMD es como se pueden planear, organizar, dirigir, ejecutar, y controlar totalmente la gestión y la operación del mantenimiento (Mora, 2009).

El CMD tiene directa relación con la falla de un sistema, equipo o componente, definida como la pérdida total o parcial de la capacidad para realizar las funciones para lo cual fueron diseñados y que a su vez se clasifica como crítica, aquellas que causan pérdida completa de funcionalidad y disponibilidad del equipo; degradantes aquellas que no son críticas aún pero afectan las condiciones de la capacidad de producción; las fallas incipientes son aquellas que no afectan la disponibilidad, ni la funcionalidad, ni la

capacidad de producción, pero pueden transformarse en degradantes si no se elimina la causa de la falla y finalmente las fallas desconocidas (Mora, 2009).

Veamos ahora las ecuaciones matemáticas que se utilizan en el ámbito operacional para el cálculo de estos dos parámetros, en función de los tiempos de mantenimiento:

La confiabilidad operacional  $C_o$  se puede calcular de la siguiente forma:

$$R(t) = e^{-\int \lambda(t) dt}$$

Cuando  $\lambda$  es constante esta expresión queda como

$$R(t) = e^{-\lambda * t}$$

$\lambda = k$

Esta fórmula es muy simple de usar siempre que se de la condición indicada. El gráfico acumulado de fallas permite saber gráficamente (visualmente) cuando la tasa de fallas es constante y, por lo tanto, con que datos se puede calcular la confiabilidad con esta fórmula.

La disponibilidad Operacional  $D_o$  se puede calcular de la siguiente forma

$$D_o = \text{MUT} / (\text{MUT} + \text{MTTR})$$

Donde:

MTBF (Mean Time Between Failures): Es el Tiempo promedio entre Fallas

MTTR (Mean Time To Repair): Es el Tiempo Promedio para Reparar

MUT (Mean Up Time): es Tiempo Promedio en Operación (arriba) o Tiempo promedio para fallar (MTTF)

Asimismo si un componente tiene un 95% de Mantenibilidad en una hora, entonces habrá un 95% de probabilidad de que ese componente sea reparado exitosamente en una hora.

La ecuación clásica de la Mantenibilidad es:

$$M(t) = 1 - e^{-(\mu t)}$$

Cuando  $\mu$  o rate de reparación es constante (Jimenez, 2011)

Las fórmulas anteriores no siempre serán indicativas de la conveniencia de realizar mejoras en la confiabilidad y mantenibilidad, ya que dependerá de cada caso en particular, si dichas mejoras se verán reflejadas en una mayor disponibilidad; ya que la intervención de un sistema o equipo, no siempre será sinónimo de una mejoría en él, ya que las siguientes situaciones pueden darse como resultado:

1. *Tan bueno como nuevo.*
2. *Mejor que antes de fallar, pero peor que nuevo.*
3. *Mejor que nuevo.*
4. *Tan malo como antes de fallar.*
5. *Peor que antes de fallar.*

Corresponderá determinar objetivamente en qué situación ha quedado el activo objeto de intervención, luego de haber restaurado nuevamente sus funciones. De la seriedad de este análisis dependerá la evaluación precisa de la *confiabilidad en el contexto* sin la creación de falsas expectativas de desempeño (Sexto, 2011)

### 2.3. Detención de Planta.

#### a. ¿Qué es?

“Un proyecto de parada de planta es un plan de actividades tendientes a ejecutar trabajos que no pueden ser realizados durante la operación normal de la planta de proceso y principalmente están orientados hacia el reemplazo de partes o componentes por vencimiento de su vida útil,

inspección de equipos, incorporación de mejoras o modificaciones y correcciones de fallos”. (Amendola L. P.)

Una detención de planta desde siempre ha sido vista como un proyecto, y a pesar de que los equipos colocan atención especial en la planeación, programación y control de ellas, los resultados normalmente no satisfacen las expectativas creadas, por lo anterior es necesario tener siempre en cuenta, que detrás de esto, como en toda actividad de las empresas, responden a los resultados financieros de ellas, que como lo indica "El componente que debemos tomar en cuenta en los proyectos de paradas de planta es tener una visión y misión del plan estratégico de inversión. El diseño de este plan lo influyen factores internos y externos que los equipos naturales de trabajo deben tomar en cuenta, tales como aspectos comerciales y financieros de la empresa, los compromisos con los clientes, las proyecciones de flujo de caja y la flexibilidad requerida en cuanto a la fecha de ejecución y duración de la parada. En los proyectos de paradas de planta, la mayor demanda de los recursos llegan cuando una planta es parada por un largo periodo de tiempo, lo que implicaría crear un horario o programa de mantenimiento. Por norma general, una larga lista de trabajo se planifica en un periodo de tiempo. El plan de trabajo debe ser modificado. Se deben contratar equipos especiales para cubrir los trabajos adicionales requeridos y las necesidades especiales.” (Amendola, 2004).

#### **b. Gestión de Detenciones de Planta**

Gestionar una detención de planta implica la intervención de los activos que no están disponibles durante la operación normal, establecer el alcance de la detención mediante la generación de una lista de trabajos, determinar quiénes deben participar estableciendo una matriz de responsabilidad, en la cual se especifiquen los objetivos y metas, y la estrategia de ejecución de los trabajos, como por ejemplo:

“ESTRATEGIA DE LA EJECUCION POR PRIORIDAD DE EQUIPO

- Los problemas conocidos, los trabajos de duración más largos, problemas desconocidos identificados por el proceso durante el funcionamiento (los requisitos del proceso).
- Las reparaciones (el material en el sitio), duración del trabajo, equipo que va fuera de sitio, los requisitos del contratista (como convenido, la parte de la estrategia de la ejecución)
- Equipo requerido primero para la inspección, duración del trabajo, las reparaciones mayores.
- Los equipos requeridos para la inspección del proceso.
- El equipo y trabajo que no afectan otros equipos.” (Luis Amendola P. D., 2004).

c. Metodologías de Gestión Aplicables a las Detenciones de Planta.

Diversas formas, métodos, modelos y estrategias concurren a la gestión de las detenciones de planta, tales como Project Management, Confiabilidad, Método del Camino Critico, RCM, RAM, etc., como una forma de superar los problemas que presentan, permitiendo realizar una mejor planificación mediante estudios tales como “el de la factibilidad de los activos para confirmar la oportunidad de desarrollar la worklist, un estudio técnico para asegurar la factibilidad de la nueva worklist con respecto a los medios y a la habilidad de la organización (el activo puede ser factible, pero fuera del alcance de la organización), un estudio financiero para comprobar si la organización puede permitir financieramente el desarrollo de la worklist de acuerdo a los requerimientos de producción y también, un análisis de seguridad y medio ambiente.” (Luis Amendola P. D., 2005).

Hoy en día se pueden encontrar modelos, estrategias, métodos, etc., que han sido combinados para lograr desarrollar detenciones de planta que logren el éxito, en cuanto a los plazos, la mejor utilización de los recursos y la consecución de todas las metas, tal como se expresa a continuación: “El hecho de, planificar y programar los trabajos de

proyectos de paradas de planta a grandes volúmenes de equipos e instalaciones, ha visto en la aplicación de la confiabilidad + Project Management una oportunidad de constantes mejoras y, la posibilidad de plasmar procedimientos cada día más complejos e interdependientes. Esto aunado a “*Las Mejores Prácticas de Organización de Clase Mundial*”, que establecen una integración de las aplicaciones de la confiabilidad + Project Management, que han conllevado a las grandes corporaciones a tomar la decisión de adoptar esta práctica de gestión. La combinación de los métodos de confiabilidad (*RCM, TPM, RBI, OCR, RCA, SIX SIGMA*) + (*Metodología de gestión de paradas de planta*), nos permite obtener ahorros considerables en (*coste, plazo, riesgo, calidad*). La experiencia propia en paradas de plantas en petróleo, gas, petroquímica, cementeras, generación eléctrica y minería y recomendaciones de otros especialistas han resultado muy beneficiosas para las corporaciones que han implementado estas prácticas.” (Amendola, 2004).

La incorporación constante de nuevas herramientas de gestión en las paradas de planta permite contar con una batería de recursos, acorde a la necesidades de planificación de una detención de planta tales como:

- i. **Project Management**, que busca nuevas y novedosas formas de incrementar la confiabilidad, disponibilidad y vida útil de plantas y equipos industriales, siempre a través de un control efectivo de coste, plazo, riesgo y calidad.” (Amendola L. P.).
- ii. **Confiabilidad**, puede ser definida, como la “confianza” que se tiene de que un componente, equipo o sistema desempeñe su función básica, durante un período de tiempo preestablecido, bajo condiciones estándares de operación. Otra definición es la probabilidad de que un ítem pueda desempeñar su función requerida durante un intervalo de tiempo establecido y bajo condiciones de uso definidas.

- iii. **Camino Crítico**, gestión tradicional de los proyectos que permite basar la planificación de una detención de planta sobre los equipos críticos a intervenir.
- iv. **Estructura de Descomposición**, permite realizar una división del proyecto de tal forma de “visualizar el proyecto jerárquicamente en metas, objetivos, actividades y paquetes de trabajo. La WBS (Estructura de Descomposición) facilita las actividades de planificación, presupuesto, programación y control al director de proyecto y a su equipo.” (Amendola & Depool., 2005).

Finalmente se puede indicar que el plan de mantenimiento de una detención de planta, debe ser en el fondo un reflejo del plan de mantenimiento global de una empresa, solo que acotado en el tiempo y con los recursos necesarios para controlar las variables definidas como representativas del éxito o fracaso de lo realizado en una detención de planta. Un proyecto de parada de planta es un plan de actividades tendientes a ejecutar trabajos que no pueden ser realizados durante la operación normal de la planta de proceso y principalmente están orientados hacia el reemplazo de partes o componentes por vencimiento de su vida útil, inspección de equipos, incorporación de mejoras o modificaciones y correcciones de fallos (Amendola L. P.).

#### **2.4. Organización de una Detención de Planta.**

Si no se tiene siempre un eficiente manejo del inventario de repuestos, un oportuno sistema de compras y adquisición de servicios, un correcto manejo de contratos y acreditaciones, una organización de prevención de riesgos capaz de adaptarse a las exigencias temporales de mayor asesoría, y una estructura que pueda mutar durante una detención de planta a una disponibilidad de supervisión de mayor demanda. En resumen la estructura organizacional y la gestión normal deben poder ser capaces de ser la base sólida para los esfuerzos extraordinarios que las demanda la mantención en una detención de planta, “Las paradas de planta programadas para mantenimiento mayor, son el más caro y lento de los proyectos de mantenimiento

debido a la pérdida de la producción y el gasto de la mantención. Pueden ser complejas y a medida que aumenta la complejidad, se vuelven más costosas y difíciles de manejar. Una planta detenida siempre tiene un impacto financiero negativo. El lado positivo no es tan obvio, por lo que se suele pasar por alto. Los impactos positivos son el aumento de equipos activos, fiabilidad, integridad, producción continua, y una reducción en el riesgo de interrupciones no programadas o falla catastrófica.” (John A. McLay).

Vital será contar con los repuestos adecuados y en cantidad requeridos para una detención de planta, lo cual hace imprescindible, contar con un sistema informático de control de bodegas e inventarios, actualizado y confiable. Al control de inventario de partes y repuestos para mantenimiento se le ha prestado poca atención en comparación a los sistemas de control desarrollados para administrar materias primas y productos terminados; ello adquiere relevancia si se observa que en general los materiales usados en las operaciones industriales son costosos y millones de dólares se invierten en inventarios que se constituyen en elementos críticos en la administración de complejos industriales. (Amendola L. , Modelos Mixtos de Confiabilidad, 2004)

## **2.5. Construcción del Modelo**

La idea de desarrollar un modelo, parte de la base de que siempre, la detención de planta debe tener una visión económica, que permita su justificación financiera, lo cual es factible de lograr cuando se utiliza un modelo a modo de estándar de la actividad a desarrollar. Lo anterior se confirma de forma aún más clara en el siguiente párrafo: “Las limitaciones constantes en los flujos de caja de las empresas, obligan a justificar; desde una base económica cada trabajo que se plantee realizar durante una parada de planta, en tal sentido, es importante asegurar que cualquier proyecto que se pretenda ejecutar durante la parada, genere ganancias que deben ser rentables en comparación a la inversión a realizar. Así mismo, esta inversión deberá considerar las pérdidas de oportunidad ocasionadas por el tiempo adicional de ejecución asociado. En otras palabras, si la rentabilidad del proyecto es buena, ésta deberá ser suficiente para cubrir estos costes y, por lo tanto, la actividad propuesta puede ser ejecutada. (Amendola & Tibaie, 2004).”

Una excelente guía para la construcción de un modelo se encuentra en la Norma ISO 20815:2008(E), que trata sobre “El Aseguramiento de la Producción y Gestión de

la Confiabilidad en la Industria Petrolera, Petroquímica y de Gas Natural”, la cual provee directrices básicas para el desarrollo de proyectos en dicha industria con énfasis en la confiabilidad, las cuales sin embargo son aplicables a cualquier otra, que se interese en obtener altos estándares de calidad. Las industrias de petróleo y gas natural implican grandes costos de inversión de capital y operacionales gastos. La rentabilidad de estas industrias depende de la fiabilidad, disponibilidad y capacidad de mantenimiento de los sistemas y componentes que se utilizan. Por lo tanto, la disponibilidad para la producción óptima en el negocio de petróleo y gas, se requiere un enfoque fiabilidad estandarizada e integrada.

El concepto de aseguramiento de la producción, introducida en esta norma internacional, permite a un común la comprensión con respecto al uso de la tecnología de seguridad en las diversas fases del ciclo de vida y abarca el actividades llevadas a cabo para alcanzar y mantener un nivel de rendimiento que se encuentra en su óptimo en términos de la economía global y, al mismo tiempo, de acuerdo con las condiciones reguladoras y el marco aplicables (20815, ISO, 2008).

Esta norma cubre todos los procesos de las mencionadas industrias, enfocada en el aseguramiento de la producción, sus procesos y actividades asociadas, abarcando el análisis de confiabilidad y mantenimiento de sus componentes.

Proporciona procesos y actividades, requisitos y directrices para la gestión sistemática, planificación efectiva, ejecución y uso del aseguramiento de la producción y tecnología de confiabilidad. Se trata de lograr soluciones rentables para el ciclo de vida de un proyecto de desarrollo de activos estructurado sobre los siguientes elementos principales:

- Gestión de aseguramiento de la producción para la optimización económica de la instalación a través de todas las fases de sus ciclo de vida, teniendo en cuenta también las limitaciones derivadas de la salud, seguridad, medio ambiente, calidad y factores humanos;
- Planificación, ejecución e implementación de la tecnología de la confiabilidad;
- Aplicación de la información de mantenimiento y confiabilidad.
- Confiabilidad basada en la mejora del diseño y operación. (20815, ISO, 2008)

Permite relacionar como medidas operacionales las estrategias de mantenimiento y el soporte de mantenimiento, del aseguramiento de producción y en la parte dedicada a la optimización de los procesos hace una exhaustiva revisión de las restricciones y marco general que la afectan. El principio fundamental para la optimización del diseño o selección entre soluciones alternativas es la optimización económica, dadas las limitaciones y condiciones generales. El logro de alto rendimiento es de limitada importancia a menos que se consideran los costos asociados. Esta norma internacional, por lo tanto, puede ser considerada junto con ISO 15663 (todas las partes).

Ejemplos de las limitaciones y condiciones que afectan el proceso de optimización son

- Disposiciones legales sobre salud legales y regulaciones ambientales;
- Requisitos para equipo de seguridad resultantes del análisis de riesgo y los criterios aceptados en general de la seguridad;
- Requisitos diseño o funcionamiento dados por las normas legales y otras regulaciones;
- Limitaciones del proyecto , tales como presupuesto, tiempo de implementación, acuerdos nacionales e internacionales;
- Condiciones – en los contratos de venta;
- Limitaciones técnicas

El proceso de optimización puede verse como una serie de pasos como sigue

- a) Evaluar los requerimientos del proyecto y generar diseños que son capaces de cumplir con los requisitos el proyecto.
- b) Identificar todos los requisitos de marco legal, regulatorio y que se aplican al proyecto.
- c) Predecir los parámetros apropiados de aseguramiento de la producción.

- d) Identificar la solución del diseño recomendado: basada en un valuación/análisis económico, tal como el valor presente neto u otro criterio de optimización.
- e) Al aplicar el proceso de optimización, tenga en cuenta que la ejecución del proceso de optimización requiere que el aseguramiento de la producción y la función de confiabilidad sea abordada por un equipo calificado de miembros.
- f) Si es necesario, el proceso puede ser iterativo, donde la alternativa seleccionada es identificada entre las alternativas de solución y mejorada. El proceso iterativo es típico para las fases cerradas o de umbral de la ejecución de un proyecto.
- g) Análisis de sensibilidad se pueden realizar para tener en cuenta la incertidumbre en los parámetros de entrada importantes. (20815, ISO, 2008).

Establece también una clasificación de riesgo, que es necesaria para a su vez categorizar las actividades a realizar, indicando cuales afectan en mayor o menor grado la ejecución de un proyecto, considerando los diferentes factores que dicha actividad conlleva. Es necesario definir el nivel de esfuerzo para invertir en un programa de aseguramiento de la producción para satisfacer el negocio objetivos para cada fase del ciclo de vida. En la práctica, el esfuerzo de aseguramiento de la producción necesario está estrechamente relacionado con el nivel de riesgo técnico en un proyecto. Por lo tanto, se recomienda que una de las primeras tareas a realizar es una clasificación inicial de los riesgos técnicos en un proyecto. Esto permite a los gerentes de proyecto hacer un general evaluación del nivel de inversión en recursos de fiabilidad que puede tener en un proyecto.

La clasificación de riesgo del proyecto normalmente varía dependiendo de una serie de factores como la situación financiera, actitud de riesgo, etc. Por lo tanto, podrán establecerse sistemas de clasificación de riesgo específico. Sin embargo, para proporcionar algunos orientación sobre el proceso, un esquema de clasificación de riesgo simple es se detallan a continuación.

Los proyectos se pueden dividir en tres clases de riesgo:

- Alto riesgo ;
- Riesgo medio;
- Bajo riesgo.

Las características que describen las clases de riesgos más se detallan en la tabla 1. Por lo general, hay una gradual transición de la clase de un riesgo a otro. Por lo tanto, un cierto grado de valoración subjetiva se requiere. Sin embargo, se debe incluir la justificación para la clase de riesgo seleccionado para un proyecto de un programa de aseguramiento de producción durante la fase de concepto o viabilidad. (20815, ISO, 2008).

En el anexo E, que es informativo solamente, la Norma establece las bases para la recolección de datos de confiabilidad y rendimiento de producción. Recopilación sistemática y el tratamiento de la experiencia operacional se considera una inversión y un medio para mejora de la producción y la seguridad de los equipos críticos y operaciones. El propósito de establecer y mantenimiento de bases de datos es proporcionar información para ayudar con lo siguiente:

- Diseño del producto;
- La mejora del producto actual;
- Establecimiento y calibración del mantenimiento y de los programas de las piezas de repuesto.
- Mantenimiento basado en la condición;
- Identificar los factores que contribuyen a la falta de producción; Mejora de la confianza en las predicciones se utilizan para apoyar las decisiones.
- Limitaciones de los equipos y definición de jerarquía.

Una descripción clara de las limitaciones del equipamiento es un imperativo y un sistema de estricta jerarquía debe aplicarse. Los límites y la jerarquía de los equipos deben ser definidos de acuerdo a la norma ISO 14224:2006. Los datos de las principales categorías se definen como sigue:

- Datos de la instalación: descripción de la instalación de la que se recogen datos de fiabilidad;
- Datos de inventario: descripción técnica de los equipos, además de operación y condiciones ambientales;
- Datos de fallas: falta de información, de eventos, tales como el modo de fallo, la gravedad causa el fracaso, etc;
- Datos de mantenimiento: información correctiva de mantenimiento asociado con eventos de fallo, e información de eventos de mantenimiento planificado o preventivo ejecutados.

#### Análisis de los datos

Para predecir el tiempo hasta la falla (o reparación) de un elemento, se debe determinar un modelo de probabilidad. El tipo de modelo depende de la finalidad del análisis. Una distribución exponencial del tiempo de vida puede ser apropiado. El modelo, si se espera para delinear una tendencia, debe permitir el uso de una tasa de falla dependiente del tiempo. El establecimiento de un modelo de tiempo de falla(o reparación) debe basarse en los datos de confiabilidad obtenidos, utilizando métodos estadísticos estándar.

#### Calificación y aplicación de los datos de confiabilidad.

El establecimiento de los datos de confiabilidad correctos y relevantes (es decir, la falla y los datos de reparación / el tiempo de inactividad asociados) requiere un proceso calificación de datos, que implica la atención consciente a la fuente original de los datos, interpretación de las estadísticas disponibles y el método de cálculo para análisis de uso. Se necesitan gestión y coordinación para garantizar la recogida de datos, la confiabilidad de los equipos seleccionados y uso consistente de los datos de fiabilidad en los distintos análisis.

La selección de los datos debe basarse en los siguientes principios.

- Los datos deben proceder del mismo tipo de material y, si es posible, proceder de idénticos equipos.
- Los datos deben provenir de equipos que utilizan tecnología similar.
- Los datos deben provenir de los períodos de funcionamiento estables, aunque los problemas a principios del funcionamiento o de puesta en marcha deben ser tomados en debida consideración.
- Los datos deberán, si es posible, proceder de equipos que hayan estado expuestos a condiciones de operación y de mantenimiento comparables.
- La base de los datos utilizados deben ser lo suficientemente extensa. La cantidad de inventarios y eventos de falla utilizados para estimar o predecir parámetros de confiabilidad debe ser suficientemente grande como para evitar el sesgo que resulta de "valores atípicos".
- Los datos de reparación y el tiempo de inactividad deben reflejar las condiciones específicas del sitio.
- Los límites del equipo para la fuente de datos de origen y análisis de elementos debe coincidir tanto como sea posible. (de lo contrario deberían tener hipótesis de estudio).
- En el poblamiento de las bases de datos (por ejemplo, tiempo de funcionamiento, período de observación) deben ser indicados para reflejar significación estadística (la incertidumbre relacionada con las estimaciones y predicciones) y la "ventana tecnológica".
- Las fuentes de los datos deben ser citadas.

Los datos de las bases de datos de eventos (según ISO 14224) constituyen una base importante para hacer frente a recomendaciones anteriores. En caso de escasez de datos, es necesario el uso de criterios de ingeniería y un análisis de sensibilidad de los datos de entrada se debe hacer.

**Datos de rendimiento de producción.**

Datos de rendimiento de producción a nivel de establecimiento/instalación debe informar de tal manera que permita visualizar que el aseguramiento de la producción sistemática se lleva a cabo. El tipo de instalación y operación determina el formato y la estructura de los informes de rendimiento. Anexo G describe los tipos de eventos que es importante cubrir para una planta de producción. Es necesario establecer la relación entre los datos de instalación de rendimiento y datos de confiabilidad de los equipos críticos. Evaluación del desempeño real debe ser llevada a cabo por el operador de la instalación de forma periódica con el fin de identificar las tendencias y los problemas específicos que requieren seguimiento. Los principales contribuyentes a la pérdida de rendimiento y las áreas de mejora se pueden identificar. En este contexto, las técnicas de confiabilidad se pueden utilizar de apoyo para la toma decisiones y la calibración de las predicciones de rendimiento. Las comparaciones con predicciones de desempeño anteriores se deben hacer, ganando así experiencia y proporcionar información para el futuro y/o otras predicciones de rendimiento similares.

Dado que todo plan o proyecto es factible dividirlo o seccionarlo en partes, se han establecido cuatro etapas para llevar a cabo el “Modelo de Mantenimiento Planificado con Detención de Planta”,

- a. Planificación: Esta etapa cuya definición de realizó anteriormente, es la más importante y de mayor duración, en ella se debe fijar el alcance de la detención de planta, es decir, los trabajos a realizar, la profundidad de estos, los recursos que se asignaran para realizarlos, las fechas entre las cuales se efectuara la detención y quizás lo más relevantes que personas dentro de la organización se harán cargo de dar cumplimiento a las tareas que demande cada etapa.
- b. Programación: Etapa en la cual se establecerá la lista de trabajos, se distribuirán los recursos, se determinaran los plazos, se evaluaran los riesgos, se indicaran los responsables de cada tarea en particular, etc.,

para finalmente plasmar en una carta cronológica, el que, cómo, cuándo, dónde y quien, de cada una de las tareas a realizar.

- c. Ejecución: la etapa del hacer lo planificado y programado, en la cual dos importantes conceptos deben tener en cuenta, el primero mantener presente la ruta crítica cuyo objetivo “es proveer de ayuda a varios recursos que trabajan en la parada de planta, coordinando lo mejor posible sus esfuerzos. Este objetivo también es necesario para minimizar la duración de una parada de planta, de tal forma que se minimice el coste de las pérdidas que puede sufrir la planta”. ( L. Amendola; T. Depool). En segundo término no apartarse de lo programado, y considerar que en caso de que sea necesario, solo sea para dejar de lado, aquello que no es factible de realizar.
  
- d. Control: Esta etapa como una definición indica son “La función de control comprende aquellas actividades que ajustan los acontecimientos a los planes. Así pues, sirve de medida y corrección a las actividades de los subordinados asegurando la realización de los planes. Esta expresión del concepto comprende la idea de que la planificación debe preceder al control y que los planes no se realizan por sí solos. Se llevan a cabo, posiblemente modificados por las circunstancias, antes de que puedan ser realizados los objetivos.” (Gramsch Sanjinés, 2004).

## **CAPÍTULO III: METODOLOGÍA**

### **3.1. Tipo de Investigación**

El nivel de investigación que se necesita para este trabajo, se refiere al grado de profundidad con que se aborda en este objeto de estudio. Así, en función de su nivel el tipo de investigación puede ser Descriptiva, Exploratoria o Explicativa (Bunge 1969). En el Anexo A se describen algunos aspectos que diferencian entre ellas. Para este estudio se va a realizar una **investigación descriptiva**.

### 3.2. Antecedentes Preliminares

Los aspectos centrales de un mantenimiento planificado con detención de planta se pueden dividir en 3 grandes fases que son:

**Fase 1: Plan del Mantenimiento:** Esta etapa es la que considera la identificación de trabajos a realizar, la gestión de repuestos, las reuniones previas para coordinar las diferentes actividades a realizar, la fecha en que se realizará, la magnitud del mantenimiento, la selección de empresas colaboradoras, el plan de seguridad, el congelamiento del plan, etc.

**Fase 2: Ejecución del Mantenimiento Planificado:** Es el gran día donde se detiene la Planta para iniciar los trabajos, los que apuntan a mejorar la confiabilidad de la planta, sin registrar accidentes e impactos al medio ambiente.

**Fase 3: Post Mantenimiento Planificado:** El informe de cierre de mantenimientos documentará el rendimiento real de todos los aspectos del mantenimiento. El propósito del informe es proporcionar un registro preciso del mantenimiento para su referencia en el futuro. Este considera una planilla de mejoramiento continuo para registrar las desviaciones registradas e iniciar un proceso de mejoramiento continuo.

Los antecedentes preliminares con los que se cuenta, guardan relación con iniciativas aisladas que han tenido diferentes Compañías Mineras para contar con un modelo que permita ordenar el ciclo completo de un mantenimiento planificado con detención de planta.

## CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

De un total de 9 compañías mineras consultadas, solo tres disponen de alguna metodología, pero no la están aplicando. En las demás Compañías, no existe un estándar en la forma de estructurar los mantenimientos planificados o Shut Down, en cada una de éstas, depende de los lineamientos de los líderes del área de mantenimiento.

El presente capítulo muestra metodologías o procedimientos de la forma de abordar los “Shut Down” por algunas Compañías mineras, luego se identifica “Factores Críticos de Éxito”, que serán los aspectos considerados claves para que el modelo sea exitoso. Éstos se llevan a una matriz, la que permite realizar un análisis de las metodologías mostradas y posteriormente, se propone un modelo similar a los existentes pero más orientado a lo que realmente sucede durante un “Shut Down”, es decir, roles, planes, tiempos, recursos, etc.

De las tres Compañías que disponen de alguna metodología, las **Compañías XX, XY y XZ**, son las que cuentan con un modelo pero como se mencionó en el punto anterior no lo aplican a cabalidad.

### 4.1. Situación Compañía XX

Este documento ha sido desarrollado principalmente para los mantenimientos en la **Compañía XX**, se espera un uso en todos los niveles de las organizaciones involucradas. Adicionalmente, constituye una base de coordinación con clientes y proveedores de la actividad de parada de planta, que conduce a la mejor integración de la cadena de apoyo a la administración de activos e instalaciones en faena.

En la administración de Shut Down o paradas de planta, parte del flujo de trabajo generado, requiere por sus características, que sea planificado, programado y aplicado con los equipos fuera del proceso productivo, lo que aquí se denomina “parada de planta”.

El proceso de parada de planta está enfocado a la ejecución de órdenes de trabajo que se generan durante las inspecciones, las órdenes que no fueron posibles de ejecutar en paradas anteriores y las generadas según el plan establecido dentro de las estrategias correspondientes y alineadas al Plan de Negocio de Activos. Las paradas de planta se determinan además por los siguientes aspectos:

- Condición Crítica del equipo que producto de un estado de riesgo propicia una suspensión del trabajo.
- Sobre la base de la estrategia requerida del o los equipos a intervenir, dada por la frecuencia según los criterios de: tiempo transcurrido, toneladas pasadas, movidas, etc.
- Se basa además en un plan general anual de mantención del equipo o área de proceso.
- El plan general anual debe estar en concordancia con el presupuesto de producción programado en el período.

### **Planificación Previa de las paradas de planta**

La planificación se define como el factor de éxito más importante de la ejecución del mantenimiento en las paradas de planta, ya que la realización de un sinnúmero de actividades antes de detener el proceso productivo del equipo, repercute en una optimización importante del tiempo estimado para ejecutar el trabajo que se describe en las fases siguientes:

- **Programa Anual.** En base a los compromisos de producción es necesario establecer un programa anual tentativo de paradas de planta, que además conversen con los requerimientos de mantenimiento de los equipos.
- **Contabilizar Equipos & planes.** Se refiere a la labor de cuantificar el volumen de trabajo que es necesario efectuar con relación a cada equipo a intervenir, como resultado de los planes asociados que surgen de la estrategia, además de las Ordenes de Trabajo recopiladas a la fecha o evento y que fueron generadas por las inspecciones sintomáticas, sistemáticas, operaciones y acumuladas de las relegadas en anteriores intervenciones.
- **Asociar consumo recursos.** A los equipos que se requiere planificar en las Paradas Mayores, es necesario cuantificar:
  - ✓ Los recursos humanos requeridos.
  - ✓ Los recursos materiales necesarios para los trabajos asociados a cada equipo, entre componentes, repuestos y materiales de consumo.
- La planificación de las paradas de planta se coordina básicamente desde el establecimiento de las fechas sobre la base del plan de producción entre operaciones y mantenimiento, pero además se requiere la comunicación entre las especialidades que intervendrán en las paradas de planta en forma anticipada, con las comunicaciones pertinentes, según las necesidades específicas entre los

responsables de la planificación con los participantes de la aplicación del trabajo. Otro factor necesario se refiere a las coordinaciones para las limpiezas y preparaciones de equipos requeridas.

- **Coordinar y Programar Compras y Contrataciones.** Según los planes y Órdenes de Trabajo incluidas en las paradas de planta, es necesario hacer las gestiones necesarias para contar anticipadamente con lo requerido, manteniendo la comunicación entre los gestores y en función al tipo de abastecimiento programar las paradas de planta. Del volumen de recursos humanos requeridos y el tipo de trabajo a desarrollar, previa solicitud en el ERP definido por la Compañía y con la anticipación suficiente para contar a tiempo con el servicio.
- **Estimar facilidades e Infraestructura Requerida.** Es necesario planificar el equipo de apoyo para facilitar el trabajo que se requiere sin afectar a otros usuarios, o verse afectado al no contar en el momento oportuno y retrasar los trabajos por esas facilidades. Es también necesario planificar que el equipo de apoyo que facilita el trabajo esté en condiciones adecuadas y confiables para el desarrollo de las paradas de planta.
- **Definir programa.** El programa de trabajo a desarrollar deberá ser generado una vez sean cumplidas las siguientes fases:
  - ✓ El programa deberá ser analizado en forma anticipada en una reunión de, asegurando la presencia de representantes de, Abastecimiento, Planificación, Ejecución y Operaciones, e Infraestructuras o Apoyo de equipos auxiliares, con la finalidad de minimizar los riesgos o amenazas de éxito del desarrollo del plan.
  - ✓ La definición del programa debe desarrollarse con la suficiente anticipación determinando aquí, las prioridades, el tiempo de duración con hora de inicio y término y los recursos humanos de cada actividad, cuadrados a la duración total del programa.
- **Definir dotaciones.** Se refiere a la asignación de actividades para cada grupo de trabajo a intervenir en cantidad de personas por especialidad según la asignación en el programa de las O.T. ahí incluidas.
- **Definir contratos & servicios.** Del total de requerimientos de trabajo, se determina la necesidad de contratar servicios de externos, de aquí se desprende la generación de solicitudes de pedido que no se hayan generado y las solicitudes de servicios nuevas por medio del ERP definido por la Compañía.

Los principales requerimientos para un Shut Down son:

- Acceso a los equipos que no están disponibles durante la operación

- Reparación y/o cambio de equipos mayores
- Asignación de presupuesto para el Shut Down
- Establecer objetivos y determinar restricciones y en el lugar
- Definida la gestión y la coordinación el equipo de trabajo, se centra en la realización segura y eficaz de la parada de planta.
- Es una oportunidad cíclica para obtener acceso a la planta y equipos por un período prolongado de tiempo.
- parada de planta bien planificada, sistemática, con el presupuesto definido, con recursos adecuados, rutas críticas identificadas, recursos en el tiempo adecuado.

### **Formulación del Shut Down**

El sub-proceso de formulación de Shut Down, permite gestionar la información preliminar de la fase de parada de planta. Es durante esta fase que se asignan los roles y responsabilidades, los interesados son notificados que el Shut Down está planificado, se compila una lista de trabajo y se preparan estimaciones de costos.

La gestión del proceso de se inicia con la elaboración del presupuesto anual que determina y documenta la frecuencia y duración de las intervenciones de los equipos mayores de la planta.

El documento comunicará la fecha de inicio de cada intervención mayor y la duración presupuestada de acuerdo al programa presentado en forma anual el cual podrá ser modificado y aprobado por el gerente de mantenimiento durante el año. Estas fechas de “Shut Down” se perfeccionarán / confirmarán durante la gestión de la parada de planta y el proceso de planificación.

El sub-proceso culmina con una revisión del Informe de pre-”Shut Down”. Si el pre-informe de parada de planta se acepta, se procede con el “Shut Down”. De lo contrario las modificaciones al plan de parada de planta, se hará con base en la información de rechazo del informe de pre-”Shut Down”.

El objetivo de la formulación de Shut Down es la de generar el plan de parada de planta más rentable y para garantizar que los recursos para el trabajo son óptimas para la eficacia del trabajo. Para lograr esto, es esencial que todas las partes interesadas

se comprometan con el proceso de planificación de “Shut Down” de forma activa, participando en la preparación de la parada de planta.

### **Asignación de Roles y Funciones**

El gerente de mantenimiento del área donde se realizará el Shut Down , asignará los roles y funciones, basándose en las destrezas de cada uno, para llenar los cargos con personal capaz.

Cada miembro del equipo de parada de planta se clarificará y aceptarán los roles y responsabilidades para la planificación y gestión del “Shut Down”. Estas funciones y responsabilidades también se comunicarán claramente a todos los interesados.

### **Establecer Rangos para Planificación**

En este paso se establecen los rangos para la planificación de la parada de planta, para asegurar que el Shut Down se realice en el tiempo esperado y dentro del presupuesto.

Se programará un calendario de Shut Down y se revisará el presupuesto de las paradas de planta.

Entradas:

- Presupuesto Anual del área de Mantenimiento
- Programa por área de las paradas de planta.

Salida:

- Programa de parada de planta Planificado.

### **Recopilar y Revisar los Datos Históricos**

El Planificador de mantenimiento recopilará los datos históricos de paradas de planta anteriores, que puedan incluir información de las órdenes de trabajo, informes de costos, los programas anteriores, los diagramas de Gantt, y los informes de parada de planta.

### **Definir el Programa de parada de planta**

El Coordinador de parada de planta, desarrollará un programa de parada de planta cuyo calendario se establecerá de todas las reuniones de planificación de paradas de planta y las fechas de corte. Los principales hitos son:

### **Revisión del Presupuesto de parada de planta**

El Planificador de parada de planta revisará y confirmará con el superintendente de área y el Gerente de Mantenimiento el presupuesto disponible para la ejecución de la parada de planta y transmitirá al equipo de parada de planta.

### **Identificar Trabajo de parada de planta**

Los requerimientos de trabajo a realizar durante la parada deben ser hechos por la creación de una solicitud según lo establecido en el Proceso de Administración del Trabajo de Mantenimiento.

Todas las órdenes de trabajo rutinario y no-rutinario para la parada se procesarán de acuerdo con el Proceso de Administración del Trabajo de Mantenimiento.

Se realizará una revisión de todas las órdenes de trabajo para determinar cuáles van a ser ejecutadas durante la parada de planta.

Entradas:

- Programa Anual de paradas de planta por área.
- Presupuesto Anual de Mantenimiento por área
- Listado Preliminar de Trabajos para la parada de planta.

Salida:

- Esquema con el Alcance del Trabajo de parada de planta.

### **Generar Lista de Trabajos Preliminares**

El planificador de parada de planta extraerá una lista de trabajo preliminar. La lista será distribuida a todos los representantes de área y superintendentes con un mínimo de una semana antes de la reunión de revisión. Esta es la última oportunidad de incluir un trabajo para la parara de planta.

### **Revisión de la Lista de Trabajo para la parada de planta**

La revisión se organizará por el planificador de parada de planta, participarán los principales involucrados de cada área. Antes de la reunión de Planificación de parada de planta, se contará con la lista de los trabajos preliminares.

La lista no será distribuida, sino que constituirá la base de la agenda de la reunión. Para cada orden de trabajo se formularán las siguientes preguntas y las respuestas serán captadas en la plantilla de hoja de cálculo.

¿Es esta una tarea de parada de planta?

¿Se tiene que realizar esta tarea en esta parada?

¿Es el trabajo totalmente planificado?

Además, se identificarán todos los aspectos clave de planificación, así como la organización responsable de la planificación y ejecución del trabajo.

Cualquier trabajo de parada de planta rechazado o diferido será procesado a través de una nueva gestión de mantenimiento, para ser asignado a un programa semanal o a paradas de planta posteriores.

### **Preparar el Alcance de Los Trabajos de parada de planta**

Tras la reunión de validación de los planificadores se completará una evaluación sobre la preparación de las órdenes de trabajo con el fin de posponer cualquier actividad que pueda perturbar la planificación o ejecución.

Se debe dar la debida consideración a los esfuerzos de planificación, necesaria para desarrollar adecuadamente la parada de planta.

### **Identificar Requerimientos Logísticos**

Esta operación abarca la interacción entre el equipo de parada de planta y proveedores logísticos tanto internos como externos para asegurar su disponibilidad para apoyar la parada de planta. Normalmente, esta interacción implicaría garantizar:

- Departamento de Abastecimiento involucrado en la planificación de la parada de planta.

- Departamento de Operaciones involucrado en la planificación de la parada de planta.
- Grupos internos de trabajo para permitir la parada de planta
- Los requerimientos de producción para permitir programar la parada de planta.

Todos los interesados son informados sobre la futura parada de planta para minimizar los conflictos con otras actividades.

### **Coordinar Recursos Internos**

El Planificador de parada de planta revisará los requisitos internos de trabajo y el calendario de la parada de planta con el área. Esta información será comparada con las listas por departamento para determinar la disponibilidad de mano de obra interna y determinar la necesidad de mano de obra adicional.

### **Determinar Carga de Trabajo de los Contratistas**

El planificador de parada de planta revisará los requerimientos de trabajo de los contratistas con el área, el trabajo que no pueda ser realizado por personal interno, será asignado a los contratistas.

### **Coordinar las necesidades de adquisiciones**

Todos los materiales relacionados con la parada de planta serán comprados por medio de los grupos de abastecimiento.

El Planificador de parada de planta participará con el Departamento de Abastecimiento para garantizar su cooperación y participación en la planificación de la parada. Es durante esta fase que el equipo de parada de planta debe ser informada de cualquier consideración de suministro que pueda afectar la parada de planta. Estas consideraciones pueden incluir aspectos tales como información de costos y disponibilidad de piezas.

### **Fijar Alcance de los Trabajos de la parada de planta**

Basándose en los datos obtenidos a partir del proceso de Formulación de la parada de planta, se realizará un informe de pre-”Shut Down”. Todas las órdenes de

trabajo deberán estar completamente planificadas, los costos deben estar considerados completamente dentro del presupuesto de Shut Down .

Los requerimientos de trabajo, serán conocidos a partir de las órdenes de trabajo con todo nivel de detalles.

El informe de pre- Shut Down se entregará para la aprobación de la parada de planta.

Entrada:

- Esquema con el Alcance de los Trabajos de parada de planta.

Salida:

- Alcance de los trabajos aprobados y programados.
- Requerimientos de los contratistas.

#### **Revisión Preliminar del Plan de Shut Down**

El equipo de “Shut Down”, revisará el plan preliminar de parada de planta, y entregará sugerencias y cambios necesarios, el plan de “Shut Down”, deberá estar de acuerdo con todos los requerimientos del negocio, incluyendo:

- Seguridad
- Medio Ambiente
- Costo
- Programación
- Presupuesto
- Limitaciones de Recursos
- Requerimientos de Producción.

#### **Informe de Pre Shut Down**

Basado en la información generada en el proceso de formulación de Shut Down , se desarrollará un informe de Pre Shut Down , para aprobar la gestión de la parada de planta.

El Informe de Pre Shut Down , se desarrollará, basado en la gestión del reporte de requerimientos, e incluirá la siguiente información:

- Listado de Trabajos
- Fecha Propuesta
- Estimación de Costos para tareas mayores.

### **Gestión de la Autorización del Shut Down**

Para asegurar y controlar los costos del Shut Down y las necesidades del negocio, se realiza el informe de pre “Shut Down”, el que será sometido al gerente de mantenimiento para aprobación.

El “Shut Down” no procederá sin la gestión de aprobación del informe de pre “Shut Down”. Una vez aprobada la fecha de parada de planta, se fijará y operaciones asegurará la entrega de los equipos, durante este periodo.

### **Planificación y Programación Final**

El proceso de planificación del Shut Down , trata de la compilación de la parada de planta usando el ERP definido por la Compañía, para coordinar todos los recursos, y asegurar que todos los objetivos del “Shut Down” se cumplan. La programación de la p, reflejará la secuencia de eventos que se completarán durante la parada de planta.

Todos los interesados en el “Shut Down”, no sólo personal de mantenimiento, contribuyen a planificar y programar el trabajo de “Shut Down”. El equipo de parada de planta, asegura que todos los involucrados se hagan cargo de sus responsabilidades. Esto significa interesados asistiendo a reuniones de planificación, priorizando trabajos, etc.

### **Transacciones Incluidas**

Las siguientes transacciones forman la Planificación / Programación de la parada de planta:

- Programar la parada de planta
- Procurar y Almacenar los Materiales
- Procurar Servicios

- Preparar el Sitio para el Shut Down
- Imprimir las O.T. para la parada de planta

A continuación una descripción de estas transacciones:

### **Programar la parada de planta**

Las O.T. de la parada de planta planificada, se reunirán en un calendario que refleje la secuencia de eventos que se completará de antes del comienzo del “Shut Down” hasta otros que se realizarán después.

Entradas:

- Programación del Shut Down aprobada
- Alcance del Shut Down aprobado
- Identificación de los materiales y requerimientos de mano de obra.

Salida

- Programación del “Shut Down” finalizado.

### **Programación del Trabajo**

La programación es la principal herramienta usada para administrar el tiempo de trabajo durante la parada de planta. Una programación efectiva permitirá tomar decisiones informadas con respecto a la gestión de las variaciones del alcance del trabajo.

Todos los trabajos de parada de planta que sean planificados y programados, se verán reflejados en secuencia de tareas. Donde la secuencia de tareas es crítica para la seguridad de la ejecución del trabajo, esto estará claramente identificado en las instrucciones del trabajo y permitirá documentar el trabajo.

La programación analizará también las interrelaciones entre trabajos para asegurar que cualquier riesgo durante la ejecución del trabajo programado sea controlado.

La interacción y gestión de la seguridad durante todos los trabajos programados, es responsabilidad del equipo de parada de planta. Se realizará una revisión de todos los trabajos programados para asegurar que todos los riesgos potenciales sean controlados.

El proceso de programación tomará en cuenta todos los recursos y equipos requeridos para asegurar que no ocurran conflictos entre trabajos,

### **Actualización de las Órdenes de Trabajo**

Una vez que todos los trabajos han sido programados, las órdenes de trabajo deben ser actualizadas, para reflejar los detalles de las fechas de comienzo y término.

Una extensión del proceso de planificación es la ubicación de los Works packs para distribuir a los supervisores durante la fase de ejecución. Esta actividad se completa en paralelo con la fase de optimización. Aunque el planificador de parada de planta es responsable por la ubicación y distribución, el especialista de área contribuye con el contenido de las instrucciones de trabajo.

El propósito del work pack es proveer una indicación clara del trabajo, ubicación y alcance, el detalle es tal que personal interno o contratista podrá completar los trabajos, en forma segura y eficiente.

Un Work Pack Típico contiene lo siguiente:

- Orden de trabajo
- Instrucciones de trabajo
- Esquemas
- Términos y Condiciones del Contratista Especialista.

En el caso de que una orden de trabajo aprobada no tenga el Work Pack en su lugar o no exista preocupación por el nivel de detalle, será necesario referirse al Coordinador de parada de planta para que consulte con los representantes de área y superintendentes de la zona para determinar si la tarea seguirá adelante, y verificar si existen recursos asignados para realizar o eliminar la tarea de la parada de planta.

### **Proveer Materiales para la parada de planta**

Los materiales serán procurados para asegurar su disponibilidad para comenzar en la fecha de la orden de trabajo. Donde necesariamente las órdenes de compra de materiales, serán expeditadas para asegurar que están disponibles para la parada de planta.

Entradas

- Programación del Shut down Finalizada
- Requerimiento de materiales identificados.

#### Salida

- Materiales procurados

### **Provisión de Materiales**

Los materiales serán adquiridos para satisfacer los requisitos de los trabajos de la parada de planta. Licitaciones o Contratos de materiales que se consumirán durante el “Shut Down”, se procesarán de acuerdo con las Prácticas de Negocios aprobadas.

Los materiales serán ordenados y reservados para asegurar su disponibilidad para la fecha de inicio del trabajo. Donde las órdenes de compra de material, se agilizarán para asegurarse de que están disponibles para la parada de planta.

### **Almacenamiento de materiales**

Tan pronto como los materiales necesarios lleguen a Faena, se almacenarán de acuerdo a las especificaciones del fabricante.

### **Adquisición de Servicios para la parada de planta**

La documentación correspondiente se preparará y distribuirá para los proveedores de recursos externos que realizarán el trabajo de “Shut Down”. Todo el personal externo que trabajará en el “Shut Down” estará habilitado para realizar el trabajo que le corresponda.

#### Entrada

- Programación de parada de planta finalizada.
- Requerimiento de trabajos a realizar por contratistas identificados.

#### Salida

- Contratación de servicios para la parada de planta

Los proveedores de servicios externos serán contratados de conformidad con el proceso de Gestión de Trabajos de Mantenimiento de la Compañía XX.

Las Licitaciones o contratos para el trabajo a realizar durante la parada de planta se iniciarán y procesarán de acuerdo con las Prácticas de Negocio aprobadas en la Compañía XX. El uso de los contratistas se racionalizará para garantizar el uso rentable de estos recursos.

### **Preparación del Sitio/ Equipo y Personal para la parada de planta**

Tanto los recursos internos, como externos, se destinarán a trabajos específicos para garantizar que el sitio está preparado para el comienzo de la parada. Es durante esta etapa que el personal puede requerir capacitación adicional para asegurar que son capaces de realizar, en forma segura, el trabajo de Shut Down que se les asigne.

El personal debe estar preparado para participar en el Shut Down y para garantizar que el trabajo de parada de planta se lleve a cabo de forma segura y eficaz. Normalmente, esto incluiría la capacitación, las inducciones de seguridad, las confirmaciones de las cualificaciones, la conformidad con los requisitos legales, etc.

Todo el personal que trabaja en una parada será capacitado y cualificado para realizar el trabajo que deben realizar. Se llevarán a cabo controles para garantizar que todos los contratistas que trabajarán en las paradas tienen permisos al día, las inducciones, los seguros, etc.

### **Preparación para la confirmación de parada de planta**

El alcance y programación de la parada de planta, será revisada por el equipo de “Shut Down”, con representantes de todas las disciplinas y áreas involucradas, antes de que sea presentado a la gerencia para su aprobación.

Se realizará una reunión del equipo de parada de planta para los detalles de las órdenes de trabajo y la programación del “Shut Down”. Esta reunión incluirá representantes de todas las disciplinas y áreas involucradas en la parada de planta.

Esta reunión cubrirá los siguientes aspectos:

- Presupuesto de parada de planta.
- Cualquier cambio para el plan de parada de planta.

- Cualquier conocimiento adicional no considerado en el alcance del trabajo aprobado.
- Estructura organizacional de la parada de planta.
- Fuerza de trabajo para la parada de planta, incluyendo el 100% de los contratistas.

### **Ejecución de las paradas de planta**

La etapa de Ejecución de las paradas de planta tiene como objetivo ejecutar las actividades incluidas en las pautas, órdenes de trabajo y planes integrados en el programa con las previsiones desarrolladas durante la planificación, alineados a los principios de administración del trabajo. Los siguientes aspectos forman parte del proceso de ejecución durante las Paradas Mayores.

- **Preparación de las paradas planta.** Anticiparse a las paradas de planta, preparando los paquetes de repuestos, componentes y materiales especificados para los planes programados. Preparar las herramientas y los elementos que faciliten la ejecución del trabajo, asegurando su buen estado y funcionamiento.
- **Distribución y Asignación de Trabajos.** Anticiparse a las paradas de planta, con la finalidad de optimizar los tiempos sin producción de equipos, en la distribución y asignación de trabajos que aporte al incremento de la Productividad de la Mano de Obra.
- **Ejecución de Trabajos.** Al ejecutar el trabajo se deben considerar los procedimientos e instructivos y cumplir las actividades pre-establecidas e indicadas en la O.T., Plan y/o Pauta. Al término de cada trabajo se debe dejar el equipo y área ordenada y limpia. Hacer el retiro de sobrantes bajo el procedimiento establecido para la devolución. Importante se ejecuten los trabajos con una visión amplia, de los más altos estándares de mantenimiento, alineados a la administración de activos.
- **Interacción con Abastecimiento.** Se entrega previo al trabajo las características del Shut down de modo de realizar los aprovisionamientos de repuestos y materiales.
- **Ingeniería de Confiabilidad.** Se entrega comportamiento histórico de los equipos y como retroalimentación ingeniería de confiabilidad aporta acciones de mejoramiento a implementar.

Los requerimientos fundamentales de las paradas de planta son asegurar que:

- El “Shut Down” proveerá el mejor balance entre la producción en el corto plazo y los beneficios para el negocio el largo plazo.
- La parada de planta se ejecutará en forma segura.
- El trabajo se realizará de forma de asegurar la calidad.

### **Consideraciones de Localización**

Debe estar disponible un nivel adecuado de supervisión y tener definidas las áreas de responsabilidad durante la fase de ejecución de la parada. Antes de iniciar el trabajo, el supervisor debe asegurarse de que los equipos y las áreas estén preparados para que puedan comenzar los trabajos, inmediatamente después del inicio de la parada. Esto incluiría la configuración especial de equipos, la limpieza que debe tener lugar, etc.

### **Ejecución del trabajo de parada de planta**

Esta es la fase del “Shut Down” que abarca la ejecución de la labor que se realiza. Se trata de una fase dinámica de la parada durante la cual se requiere una estrecha vigilancia para garantizar que los objetivos de la parada de planta se cumplan.

El trabajo será realizado por los recursos asignados, según las instrucciones previstas de trabajo, permiso de trabajo y teniendo en cuenta factores externos como las condiciones climáticas y otros trabajos en curso.

El trabajo ha sido programado de manera específica para mitigar los riesgos identificados y las desviaciones de este sólo deben realizarse una vez evaluada y aprobada por el superintendente de área o en caso de una tarea funcional por la persona en control de área específica.

Las áreas de trabajo deben quedar limpias una vez realizada la tarea. La norma es:

- Eliminación de todos los obstáculos
- Eliminación de toda la basura, consumibles y herramientas de mano
- Eliminación de aislamientos individuales

Se controlarán los Costos, los contratistas y se tomarán medidas para garantizar que la parada de planta se complete a tiempo y bajo presupuesto.

Cualquier acto inseguro o situaciones o preocupaciones ambientales, se reportará inmediatamente y se adoptarán las medidas para corregirlos.

Todo el trabajo que no se complete durante la parada de planta será reprogramado. Alternativamente, si es aprobado por las partes interesadas, el “Shut Down” puede ser extendido para completar el trabajo.

El historial de trabajo será registrado. Esto se completará tan pronto como se ejecute el trabajo. Todas las confirmaciones de tiempo serán confirmadas, no más de 3 días después de la finalización de la parada.

Una vez terminado el trabajo y sólo cuando existan condiciones seguras, se procederá a retirar el aislamiento y bloqueo de los equipos.

### **Puesta en Marcha y Notificación**

Después de la ejecución del trabajo se deben considerar los siguientes aspectos:

- **Reunión de Puesta en marcha.** El propósito de esta reunión es que el equipo de “Shut Down” esté de acuerdo con el estado en el cual han quedado los equipos.
- **Condición de los elementos de protección de los equipos.** Se refiere a la importancia de que los equipos siempre queden con las condiciones adecuadas de protección, instaladas y adecuadas que garanticen la seguridad de las personas y el cuidado del medio ambiente.
- **Entrega y Puesta en Marcha.** Siguiendo las indicaciones, efectuar las pruebas de la función de los sistemas, equipos, llevando a cabo los procedimientos específicos para el equipo, área correspondiente, cumpliendo con la misión operativa del equipo y de forma satisfactoria al proceso productivo.
- **Notificación del trabajo.** Es necesario informar la actividad realizada y cumplir con todas las características de la Notificación con fidelidad a lo real con relación a lo planificado según lo establecido en el proceso de ejecución del trabajo, que además especifica la importancia de informar los resultados del trabajo, observaciones de estados de equipos y retroalimentación para reajustes a las instrucciones y datos contenidos en los Planes de Mantenimiento.

## Registro de la ejecución

Cada parada de planta es una experiencia de aprendizaje. Este proceso cubre la documentación de la realización del trabajo y además los datos de la ejecución.

En toda parada de planta se tiene que actualizar lo siguiente:

- La duración efectiva del trabajo realizado (horas de trabajo);
- Los materiales utilizados para realizar el trabajo de “Shut Down”;
- Códigos de las fallas, si procede;
- Servicios desarrollados contratistas, e identificación de los contratistas;
- Descripción escrita del trabajo realizado, las medidas adoptadas y las observaciones realizadas durante la ejecución de los trabajos planificados;
- Comentarios y observaciones sobre la calidad de los trabajos, incluidas las mejoras identificadas para ser consideradas en futuros trabajos similares.
- Comentarios y observaciones sobre la calidad de la ejecución de los trabajos.

La historia de las actividades de mantenimiento realizadas durante la parada de planta, serán registradas en el ERP definido por la Compañía,

## Análisis Posterior a las paradas de planta

Cada parada de planta debe ser revisada a su término para evaluar el rendimiento, las barreras encontradas durante el trabajo y las posibles ideas de mejora que mitiguen las deficiencias y aporten una optimización en una parada de planta futura, que incluye las fases siguientes.

- **Análisis de los resultados.** Se deberá desarrollar en una reunión que cuente con la presencia de los involucrados en el Programa realizado de la parada de planta, como Abastecimiento, Planificación, Ejecución, Apoyo y Operaciones con el objetivo de verificar las causas, que ayuden a establecer optimizaciones de futuras paradas de equipos.
- **Análisis de Costos de la parada de planta.** Posterior a la terminación de todo el proceso de la parada de planta y cierre, es necesario analizar los resultados de costos para comparar y controlar el gasto contra lo presupuestado, que permita además visualizar y analizar las causas de las desviaciones y sus explicaciones.

- **Trabajo realizado, desviaciones & excepciones.** Paralelamente al análisis de costos, es necesario analizar y explicar las excepciones de lo programado, sus justificaciones y priorizarlas para futuras paradas de planta.

### **Identificación de Oportunidades de Mejora**

El objetivo de esta operación es reunir los aprendizajes de los datos recogidos en las operaciones anteriores para su inclusión en el informe de post parada de planta.

Todas las oportunidades identificadas para la mejora de paradas, será registrado para su uso futuro. Esta actividad puede ser completada durante la reunión de análisis de resultados de la parada de planta. Una vez que las oportunidades de mejora hayan sido identificadas, se tomarán las acciones para que asegurar que esas oportunidades de mejora sean realizadas.

### **4.2. Situación Compañía XY**

La **Compañía XY** ha desarrollado un modelo de paradas con el fin de brindar pautas para la planificación, programación e implementación de las paradas de equipos y maquinarias.

El modelo contiene seis fases. Cada fase contiene procedimientos y listas de control que apuntan a minimizar el riesgo asociado a la incapacidad de alcanzar los objetivos establecidos en la parada.

Las fases del modelo son:

Fase 1: Estrategia de la Parada

Fase 2: Desarrollo Preliminar del Plan de la Parada

Fase 3: Desarrollo y Refinamiento del Plan de la Parada

Fase 4: Finalización del Plan de la Parada

Fase 5: Pre Parada

Fase 6: Parada

El modelo también identifica los roles claves involucrados en la preparación y ejecución de las paradas.

El modelo puede ser aplicado a todo el rango de paradas de nuestra organización. El marco de tiempo relacionado al trabajo de preparación sufrirá variaciones, por lo tanto, el marco de tiempo para una parada de un día en será mucho más corto que para una parada de un mes.

El modelo puede parecer extremadamente complejo a primera vista. Esto se debe a que la implementación exitosa del modelo requiere más rigor en la fase de planificación y preparación de lo habitual.

## **FASE 1 Estrategia de la Parada**

### **Manejo y Administración**

#### **Conformación del Grupo de Dirección de Paradas**

El Gerente de Mantenimiento elegirá a los miembros y presidirá el grupo de dirección de paradas. Este grupo es formado con anticipación al inicio de la parada. Los miembros del grupo de dirección incluyen al Gerente de Mantenimiento, los Superintendentes y el Planificador de Paradas. Cuando existe una relación con una empresa contratista que brinda asistencia en las paradas (formal o informal), la empresa contratista también debería participar de esta etapa.

En paradas de rutina de 12 horas de duración, el grupo de dirección será informal y consistirá del Gerente de Mantenimiento y los Superintendentes de Mantenimiento y Producción.

En paradas más largas, el grupo será más formal y se organizaran agendas formales de reuniones y minutas. Los miembros también se ampliarán para incluir a otras posiciones claves involucradas en la parada.

#### **Definición de las Pautas de Presupuesto**

En general el margen de presupuesto para paradas cortas se incluye en el presupuesto de mantenimiento de cada área. En el pasado no hemos aplicado ningún tipo de administración de costos a estas paradas. Más adelante en este documento se define un método que permite la generación de una estimación de costos de la parada a medida

que se lleva a cabo la planificación. La pauta para el presupuesto de paradas cortas será no exceder la estimación de costos.

Se definirán presupuestos para las paradas de mayor duración, en las cuales los excesos de costos pueden tener un serio impacto sobre el presupuesto de mantenimiento.

En general el presupuesto estará constituido por la estimación preparada durante la fase de planificación de la parada. Más adelante en este manual se presenta un modelo para la planificación y estimación de la parada en ERP definido por la Compañía.

Cuando existe una relación con una empresa contratista que brinda asistencia para la parada (formal o informal), la empresa contratista también debería participar en la definición de las pautas de presupuesto.

El Gerente de Mantenimiento definirá las pautas de presupuesto en relación a las restricciones de costos.

#### **Definición de la Estructura de Organización de Paradas.**

El grupo de dirección determinara la estructura de organización de las paradas. Cualquier tipo de soporte por parte de empresas contratistas también debería ser incluido en la estructura de organización.

#### **Revisión de las Lecciones Aprendidas a partir de Paradas Anteriores**

Los reportes posteriores a las paradas serán revisados por los miembros del grupo de dirección. Estos reportes de paradas anteriores constituyen un material de consulta para los miembros del grupo de dirección en la primera reunión del grupo. Las lecciones y experiencia obtenidas a partir de paradas anteriores son tomadas en cuenta en la planificación de alto nivel de la parada.

#### **Operaciones/Materiales/Ejecuciones**

##### **Emisión de la lista de preliminar.**

La lista de trabajo preliminar es la lista de trabajo en la que se basa la parada propuesta. Esta lista incluye:

- Los trabajos principales planificados para la parada.
- Los trabajos incompletos de la parada anterior.

- Los trabajos de mantenimiento que solo pueden ser completados cuando la maquinaria esta parada durante un periodo extenso de tiempo.
- El trabajo de proyectos que solo puede ser completado cuando la maquinaria esta parada durante un periodo extenso de tiempo.

### **Planificación/Estimación/Programación**

#### **Desarrollo del Programa por Etapas**

El programa por etapas define el marco de tiempo para las actividades de la fase hasta la fecha de inicio de la parada. El propósito principal de este programa es dirigir el trabajo previo a la parada.

El éxito de la parada depende en gran medida de que se complete correctamente el trabajo previo a la parada.

#### **Desarrollo de la Estructura de División de Trabajo**

La estructura de división de trabajo es una jerarquía que divide las actividades de las paradas en un orden lógico hasta el nivel de paquete de trabajo. El orden debería ser tal que el paquete de trabajo pueda ser ubicado en forma lógica en la estructura al empezar por el nivel superior de la parada.

Cuando se usa la estructura de división de trabajo en sistema tales como las órdenes de trabajo en el ERP definido por la Compañía, la división lógica del trabajo permite la elaboración de estadísticas, por ejemplo, las estimaciones de costo y los costos reales, que se extienden en la jerarquía y son revisados en diferentes niveles.

#### **Productos Entregables de la Fase 1**

- ✓ Establecimiento del grupo de dirección de paradas.
- ✓ Definición de las pautas de presupuesto.
- ✓ Definición de la estructura de la organización.
- ✓ Lecciones aprendidas a partir de la revisión de paradas anteriores.
- ✓ Finalización de la revisión de efectividad.
- ✓ Emisión de la lista de trabajo preliminar.

- ✓ Desarrollo del programa por etapas.
- ✓ Desarrollo de la estructura de división de trabajo.

## **FASE 2 Desarrollo Preliminar del Plan de la Parada**

### **Desarrollo e Implementación del Reporte y Reunión de Progreso Semanal**

El planificador de paradas actualizará el programa por etapas en forma semanal. El programa será actualizado de acuerdo a la línea de referencia de manera que el progreso pueda ser comparado con el programa original.

El programa actualizado será reportado semanalmente en la reunión de revisión del progreso.

### **Organización de la Oficina; Hardware, Vínculos y Herramientas para la Parada**

Si la magnitud de la parada lo amerita, se organizara una oficina especial para la parada. La oficina deberá contar con salas de reuniones, accesorios, sistemas de comunicación, y terminales para brindar soporte al equipo de administración de paradas.

### **Organización de Archivos de Administración de Paradas**

Es importante registrar la información producida y recolectada durante la preparación de una parada. Esta información será necesaria para el reporte de cierre de la parada. Este reporte es el documento principal que se necesita para revisar las lecciones aprendidas a partir de paradas anteriores.

Para garantizar que se registren datos valiosos durante todas las fases de la parada, se debe establecer una secuencia lógica de archivos a partir de un archivo principal con el fin de capturar los datos a medida que surgen.

### **Revisión de Efectividad.**

La revisión de efectividad es una planilla de control de las actividades de la Fase 2 que el Gerente de Mantenimiento usa para monitorear el progreso de preparación de la parada.

La planilla de control de la revisión de efectividad también puede ser usada por una tercera parte para monitorear la calidad y el marco de tiempo del progreso. Se usara una

auditoría externa realizada por una tercera parte durante la preparación de paradas importantes.

### **Operación / Materiales/ Ejecución**

#### **Confirmación de los Ítems con Tiempo de Entrega Largos.**

El planificador de paradas identificara lo materiales con tiempo de entrega largos asociados con el alcance de trabajo en la lista de trabajo preliminar. El planificador controlara el tiempo de entrega de acuerdo a la fecha de inicio planificada para la parada y tomara las acciones correspondientes para garantizar que los materiales estén disponibles en el sitio antes del inicio de la parada. Si un representante de abastecimiento ha sido designado como parte de la estructura de organización de la parada, la tarea será asignada a ese representante.

#### **Confirmación del Margen de Presupuesto**

La estimación de costos de la parada será definida en la primera fase de desarrollo en esta etapa.

Si se planifica un trabajo que requiere inversión de capital para la parada, los fondos de capital requeridos deberían estar sujetos al proceso de aprobación de fondos de capital de la **Compañía XY**.

### **Planificación /Estimación /Programación Control de la Lista de Trabajo**

La lista de trabajo propuesta para la parada será controlada por el planificador de paradas con el fin de garantizar que los trabajos cumplan con el criterio de aceptación determinado por el Grupo de Dirección.

Inicio del Desarrollo del Paquete de Trabajo. Cada trabajo aceptado en la lista de actividades para la parada será desarrollado en el marco de un paquete de trabajo. La intención es que los paquetes de trabajos sean distribuidos a los supervisores para su implementación. Los paquetes de trabajos contendrán toda la información que el supervisor necesita para completar el trabajo, y serán desarrollados normalmente por el planificador o supervisor. Estos paquetes contendrán la siguiente información:

- Portada con la descripción de trabajo y el número de la orden de trabajo.

- Descripción detallada del trabajo.
- Estimación de mano de obra.
- Lista de materiales.
- Análisis de Seguridad del Trabajo.
- Plan de Inspección y Prueba – Plan de Puesta en Marcha.
- Lista de control de QA (Garantía de Calidad).
- Procedimiento de aislamiento.
- Requerimientos de permisos.
- Planos.
- Requerimientos de izaje.
- Planillas de datos de seguridad de los materiales.
- Formularios de finalización de trabajo.

Cuando existe una relación con una empresa contratista que brinda asistencia para la parada (formal o informal), la empresa contratista también debería participar del desarrollo de los paquetes de trabajos de acuerdo a este Estándar.

### **Desarrollo del Plan y Programa Preliminar de la Parada**

La programación de la parada y la definición y optimización de procesos críticos serán realizadas en MS Project y las órdenes de trabajo deben ser registradas en el ERP definido por la **Compañía XY**

La programación detallada de la parada incluye los siguientes pasos:

- Transferencia de la lista de trabajo preliminar a MS Project.
- Vinculación de la duración del trabajo en el orden correcto para formar el diagrama de Gantt de la parada.

- Definición de procesos críticos y duración de la parada.
- Optimización de procesos críticos para minimizar la duración de la parada.

El resultado final de este paso será una lista de trabajo preliminar de la parada, y una estimación preliminar de los costos y la duración de la parada.

### **Inspección y Garantía de Calidad**

#### **Inicio del Desarrollo de los Planes de Inspección y Prueba**

La puesta en marcha de la maquinaria es una parte muy importante de la parada. Se pueden destruir trabajos de buena calidad, o se puede perder tiempo valioso si la maquinaria no es puesta en marcha correctamente después del trabajo de mantenimiento.

En general la puesta en marcha de la maquinaria se divide en tres partes:

- Pre Puesta en Marcha
- Puesta en Marcha del Sistema
- Puesta en Marcha del Proceso

Se producirán planes de pre puesta en marcha, puesta en marcha del sistema y puesta en marcha del proceso para todas las maquinarias importantes sobre las cuales se realizan trabajos durante la parada.

En general, el Departamento de Mantenimiento será responsable de la pre puesta en marcha y de la puesta en marcha del sistema. El planificador de paradas como parte de la planificación del trabajo desarrollara planes para estos procesos.

El departamento de producción será responsable de la puesta en marcha del proceso y producirá un plan y un programa para este fin antes de que la maquinaria entre en funcionamiento.

#### **Inicio del Desarrollo de los Planes de Garantía de Calidad.**

Los planes de garantía de calidad serán desarrollados para trabajos de mantenimiento importantes llevados a cabo durante la parada.

Los planes de garantía de calidad serán desarrollados por el planificador de paradas durante la planificación de trabajo.

Dependiendo de la naturaleza del trabajo los planes consistirán de métodos y límites que serán aplicados durante la realización de trabajos, como así también de controles de calidad que serán desarrollados antes de la puesta en marcha

### **Seguridad /Medio Ambiente**

#### **Desarrollo del Borrador del Plan de Administración de Seguridad y Medio Ambiente**

El propósito de este documento es definir el Plan de Administración de Seguridad, Salud y Medio Ambiente que estará en vigencia durante la parada y todas sus actividades asociadas. Las minas de Mount Isa están comprometidas a garantizar prácticas efectivas de SH&E en relación a todas las actividades emprendidas por todos los empleados, contratistas y visitantes.

El alcance del plan dependerá de la complejidad de la parada. Para paradas cortas y relativamente simples, este documento será breve. Para paradas de mayor duración y complejas este documento será detallado y cubrirá todas las actividades planificadas.

El plan de administración de SH&E será preparado por el personal de seguridad superior en la estructura de organización de la parada.

Dependiendo de la magnitud de la parada, el plan de administración de SH&E incluirá:

- Estructura de organización de Seguridad, Salud y Medio Ambiente para la parada.
- Programa de reuniones de revisión de seguridad.
- Procedimientos de investigación de incidentes.
- Organización de inducciones y capacitación.
- Procedimientos de permisos.
- Procedimientos de aislamiento.
- Procedimientos de respuesta de emergencia.
- Identificación de análisis de riesgos y requerimientos de Análisis de Seguridad del Trabajo.

Cuando existe una relación con un contratista que proporciona asistencia para la parada (formal o informal), el oficial de seguridad del contratista también debería participar.

### **Productos Entregables de la Fase 2:**

- Aprobación de objetivos claves.
- Definición del criterio de aceptación de la lista de trabajo.
- Reunión de lanzamiento.
- Organización de la oficina, hardware y vínculos (paradas largas).
- Configuración de los archivos de administración de paradas.
- Finalización de la revisión de efectividad de la fase 2.
- Confirmación de materiales con tiempo de entrega largos.
- Confirmación del margen de presupuesto.
- Control de la lista de trabajo preliminar.
- Inicio del desarrollo del paquete de trabajo.
- Desarrollo del plan y programa preliminar de la parada.
- Inicio y desarrollo de los planes de QA.
- Desarrollo del borrador del plan de Seguridad, Salud y Medio Ambiente.

### **FASE 3 Desarrollo y Refinamiento del Plan de la Parada**

#### **Revisión y Aprobación del Plan Preliminar de la Parada**

La lista de trabajo preliminar de la parada, la estimación de costo y la duración es revisada por el Gerente de Mantenimiento. Una vez que se cumplen todos los requisitos, el Gerente de Mantenimiento aprueba el plan preliminar de la parada.

### **Desarrollo del Plan y Programa de Parada para una Segunda Aprobación**

Durante la fase 3, los trabajos de paradas aprobados adicionales serán agregados a la lista. Además, la precisión de la estimación de trabajo mejorara a medida que se completen los paquetes de trabajos. La identificación de contratistas particulares también mejorara la precisión de las estimaciones en trabajos que involucran contratistas. Se desarrollara un plan y un programa de paradas para una segunda aprobación. Este plan consistirá en la lista de trabajo y la estimación de costos y duración de la parada.

### **Seguridad /Medio ambiente**

#### **Desarrollo del Estudio de Peligros de Paradas.**

Se conducirá una evaluación de riesgo de alto nivel de la parada en base al plan y al programa. Las actividades y los eventos de alto riesgo son identificados y las medidas son revisadas para determinar si continúan siendo adecuadas.

#### **Productos Entregables**

- Plan preliminar de paradas aprobado por el Gerente de Mantenimiento.
- Revisión de efectividad de la Fase 3.
- Plan de administración de materiales y servicios.
- Selección de contratistas competentes.
- Desarrollo del plan y programa de paradas para una segunda aprobación.
- Estudios de evaluación de riesgos de las paradas.

### **FASE 4 Finalización del Plan de la Parada**

#### **Segunda Revisión y Aprobación del Plan de Paradas**

La lista de trabajo, las estimaciones de costos y la duración del plan de paradas son revisadas nuevamente por el Gerente de Mantenimiento. Una vez que se cumplen todos los requisitos, el Gerente de Mantenimiento aprueba el plan de paradas por segunda vez.

### **Manejo y Administración**

Se desarrollara un plan para administrar todos los recursos humanos asociados a la parada. El plan incluirá:

- El número total de recursos involucrados.
- La rotación de los turnos que será usada durante la parada.
- Los requerimientos de cambio de turnos.
- Las facilidades de cambio para las paradas.
- Las facilidades de espacios confinados para las paradas.
- Las facilidades de estacionamientos de vehículos para las paradas.
- Las disponibilidades de recursos si la parada se extiende.

### **Documento Borrador del Plan de Ejecución de Paradas**

Se emitirá un Documento Borrador del Plan de Ejecución de la Parada. El propósito de este documento es resumir las disposiciones para la ejecución de la parada. El plan será usado durante la preparación y ejecución de la parada por todas aquellas personas involucradas en las actividades.

### **Operaciones /Materiales /Ejecución**

#### **Pedido de Equipos e Insumos**

Todos los materiales, herramientas, servicios y equipos requeridos para la parada serán ordenados en tiempo y forma.

#### **Inspección y Garantía de Calidad**

#### **Desarrollo del Plan y Programa de Puesta en Marcha del Proceso**

El supervisor de mantenimiento responsable del trabajo en el área llevara a cabo la pre puesta en marcha y la puesta en marcha del sistema de la maquinaria.

El supervisor de producción llevará a cabo la puesta en marcha del proceso de la maquinaria y desarrollará el plan de puesta en marcha del proceso con el fin de programar su inclusión en el plan y el programa final de la parada.

### **Revisión de Efectividad**

La revisión de efectividad es una planilla de control de las actividades de la Fase 4 que el Gerente de Mantenimiento usa para monitorear el progreso de la preparación de la parada.

La planilla de control de revisión de efectividad también puede ser usada por una tercera parte para monitorear la calidad y el marco de tiempo del proceso. Se usara una auditoría externa realizada por una tercera parte durante la preparación de paradas importantes.

### **Seguridad /Medio Ambiente**

#### **Revisión de Identificación de Riesgos y Seguimiento de las Acciones**

Se realizara una revisión de la evaluación de riesgos de la Fase 3. Cualquier actividad de administración de riesgos identificada en la evaluación de riesgos será revisada.

#### **Productos Entregables**

- Segunda aprobación por parte del Gerente de Mantenimiento del alcance, estimación de costos y marco de tiempo.
- Desarrollo del plan de administración de recursos.
- Desarrollo del borrador del plan de ejecución de paradas.
- Finalización de la revisión de efectividad de la fase 4.
- Finalización del pedido de materiales y servicios.
- Congelamiento de la lista de trabajo de la parada.
- Proceso de aprobación en vigencia del trabajo pendiente de la parada.
- Finalización del plan de paradas.
- Desarrollo de planes y programas de puesta en marcha del proceso.
- Revisión de evaluación de riesgos.

## **FASE 5 Pre Parada**

### **Revisión y Aprobación del Plan de Paradas Final**

La lista de trabajo, la estimación de costos, y la duración final de la parada será revisada por el Gerente de Mantenimiento. Una vez que se cumplen los requisitos el Gerente aprobará el plan de paradas final.

### **Confirmación del Plan de Administración de Recursos y Comunicación de la Rotación de Turnos a todo el Personal**

El plan de administración de recursos desarrollado en la Fase 4 será confirmado. Las disposiciones planificadas para la administración de recursos serán comunicadas a diferentes grupos de personas por medio de paquetes de comunicación.

### **Finalización del Documento Borrador del Plan de Ejecución de Paradas**

El documento borrador del plan de ejecución de paradas será finalizado. Los contenidos del documento serán usados en los paquetes de comunicación de paradas

### **Desarrollo y Entrega del Paquete de Comunicación de Paradas**

Los paquetes de comunicación de paradas serán desarrollados para los diferentes grupos de personas involucrados en las paradas. Los paquetes incluirán:

- Las responsabilidades del grupo.
- Los planes de administración de recursos.
- Los estándares del sitio.
- Incidentes o lesiones.
- Información general de paradas.

Una vez que los paquetes de comunicación de paradas han sido desarrollados, estos serán entregados a diferentes grupos de personas involucradas en las paradas.

### **Emisión del Programa de Reuniones de Paradas.**

El administrador de paradas producirá un borrador del plan de comunicación para las paradas. En general este plan incluirá:

- Los tiempos de entrega del supervisor del turno.
- Los tiempos de las reuniones del pre inicio del turno.
- Los tiempos de las reuniones de actualización del programa.
- Los tiempos de las reuniones de administración de paradas.
- Los tiempos de las reuniones de revisión de seguridad.

### **Operaciones /Materiales /Ejecuciones**

#### **Finalización del Plan de Administración de Materiales y Servicios y Almacenamiento en el Sitio.**

Dependiendo de la magnitud de la parada el oficial de logística garantizará:

- La administración de abastecimiento y logística estará en vigencia para proporcionar el servicio requerido en el momento oportuno.
- Los insumos requeridos para la parada estarán disponibles en cantidad suficiente en la ubicación requerida.
- Los materiales requeridos para la parada son agrupados en lotes de trabajos y entregados en la ubicación requerida.
- Las áreas de entrega estarán disponibles en las ubicaciones requeridas para ítems a granel y materiales de demolición.
- Los coordinadores serán nominados para el control de grúas móviles y otros equipos móviles.
- La organización apropiada se encontrará en vigencia para la eliminación de desechos

### **Movilización en el Sitio**

Las actividades de preparación de la parada en el sitio son completadas. Estas actividades incluyen:

- Construcción de andamios
- Organización de grúas.
- Organización de facilidades temporarias.
- Organización de áreas de almacenamiento.

### **Planificación /Estimación /Programación**

#### **Revisión de Procesos Críticos.**

El diagrama de Gantt del Programa es actualizado en MS Project con información actualizada y la revisión de procesos críticos.

Los diagramas de Gantt de las paradas son preparados para su distribución.

Los formularios a ser completados para la aprobación de trabajo pendiente y emergente serán desarrollados e impresos. También se desarrollará un registro del trabajo pendiente y emergente.

#### **Emisión de Paquetes de Trabajos Aprobados para los Supervisores de Paradas**

Los paquetes de trabajos que han sido revisados en relación a la calidad y al nivel de finalización son emitidos a los supervisores de paradas.

#### **Revisión de Efectividad**

La revisión de efectividad es una planilla de control de las actividades de la Fase 5 que el Gerente de Mantenimiento usa para monitorear el progreso de preparación de la parada.

La planilla de control de revisión de efectividad también puede ser usada por una tercera parte para monitorear la calidad y el marco de tiempo del proceso. Se usará una auditoría externa realizada por una tercera parte durante la preparación de paradas importantes.

## **Seguridad/Medio Ambiente**

### **Finalización del Plan de Administración de Seguridad, Salud y Medio Ambiente del Sitio Incluyendo el Programa de Inducciones del sitio**

El borrador del plan de administración de Seguridad, Salud y Medio Ambiente del sitio es finalizado con los detalles del paquete y programa de inducciones específicas del sitio

#### **Productos Entregables**

- Aprobación del plan final.
- Confirmación del plan de administración de recursos y comunicación a todo el personal.
- Finalización del documento borrador de ejecución del plan.
- Desarrollo y entrega del paquete de comunicación de paradas.
- Emisión del programa de reuniones de paradas.
- Revisión de efectividad de la Fase 5.
- Finalización de la administración de materiales, servicios y almacenamiento en el sitio.
- Movilización de todas las actividades de preparación de la parada.
- Revisión de procesos críticos de paradas e impresión de diagramas de Gantt.
- Organización de formularios y registros de trabajos pendientes y emergentes.
- Emisión de paquetes de trabajos a los supervisores de paradas.
- Finalización del plan de Seguridad, Salud y Medio Ambiente del sitio.

## **FASE 6 Parada**

### **Manejo y Administración**

#### **Reuniones de Administración de Paradas Diarias**

Se seguirán agendas y se mantendrán minutas de todas las reuniones en el programa de reuniones de paradas diarias.

#### **Aprobación de Pedidos de Trabajos Pendientes y Emergentes**

Los pedidos de trabajos pendientes y emergentes son remitidos formalmente para su aprobación en el formato adecuado. Los pedidos que cumplen con el criterio de trabajo de paradas y que no aumentan el riesgo de que la parada alcance sus objetivos serán aprobados.

### **Operaciones /Materiales/Ejecución**

#### **Ejecución del plan de paradas**

La lista de trabajo de la parada será ejecutada de acuerdo al plan de parada

### **Planificación/Estimación/Programación**

#### **Evaluación de los Pedidos de Trabajo Pendientes y Emergentes**

Los pedidos de trabajos pendientes y emergentes serán evaluados de acuerdo al proceso de aprobación documentado. Aquellos pedidos que cumplen con el proceso serán remitidos al administrador de paradas y al Gerente de Mantenimiento para su aprobación. Por otra parte, los pedidos que no cumplan con el proceso serán regresados al creador.

Actualización del Progreso Real de acuerdo a la Línea de Referencia del Diagrama de Gantt.

La actualización se basa en el progreso real del trabajo. Los diagramas de Gantt actualizados se imprimirán diariamente para su distribución.

### **Administración de Procesos Críticos y Potencialmente Críticos**

En base al progreso del trabajo los procesos críticos o potencialmente críticos serán administrados para garantizar que no se produzcan errores en la estimación de la duración de la parada.

## **Seguridad/Medio Ambiente**

### **Implementación del plan de Seguridad, Salud y Medio Ambiente**

El plan de Seguridad, Salud y Medio Ambiente es implementado de acuerdo con el documento de plan.

### **Productos entregables**

- Programas de reuniones diarias de la parada.
- Aprobación de pedidos de trabajos pendientes y emergentes.
- Ejecución del plan de ejecución de paradas.
- Evaluación de pedidos de trabajos pendientes y emergentes.
- Actualización del programa de acuerdo a la línea de referencia del diagrama de Gantt.
- Administración de procesos críticos y potencialmente críticos.
- Implementación del plan Seguridad, Salud y Medio Ambiente.

### **4.3. Situación Compañía XZ**

La **Compañía XZ** solo cuenta con una línea de tiempo en la que define:

- Semanas que definen hitos que deben cumplirse
- Difusión de Próximos mantenimientos, en términos de fechas, duración
- Calendario de Reuniones
- Reuniones previas para definir los alcances del mantenimiento
- Fechas de inducciones
- Solicitudes de Planificación

- Cierre del plan
- Entrega del plan preliminar
- Entrega del plan final
- Reunión de arranque
- Reunión post mantenimiento

La Compañía XZ no será considerada para el análisis de este estudio debido a que no cuenta con un procedimiento o modelo formal que pueda compararse con los modelos anteriores.

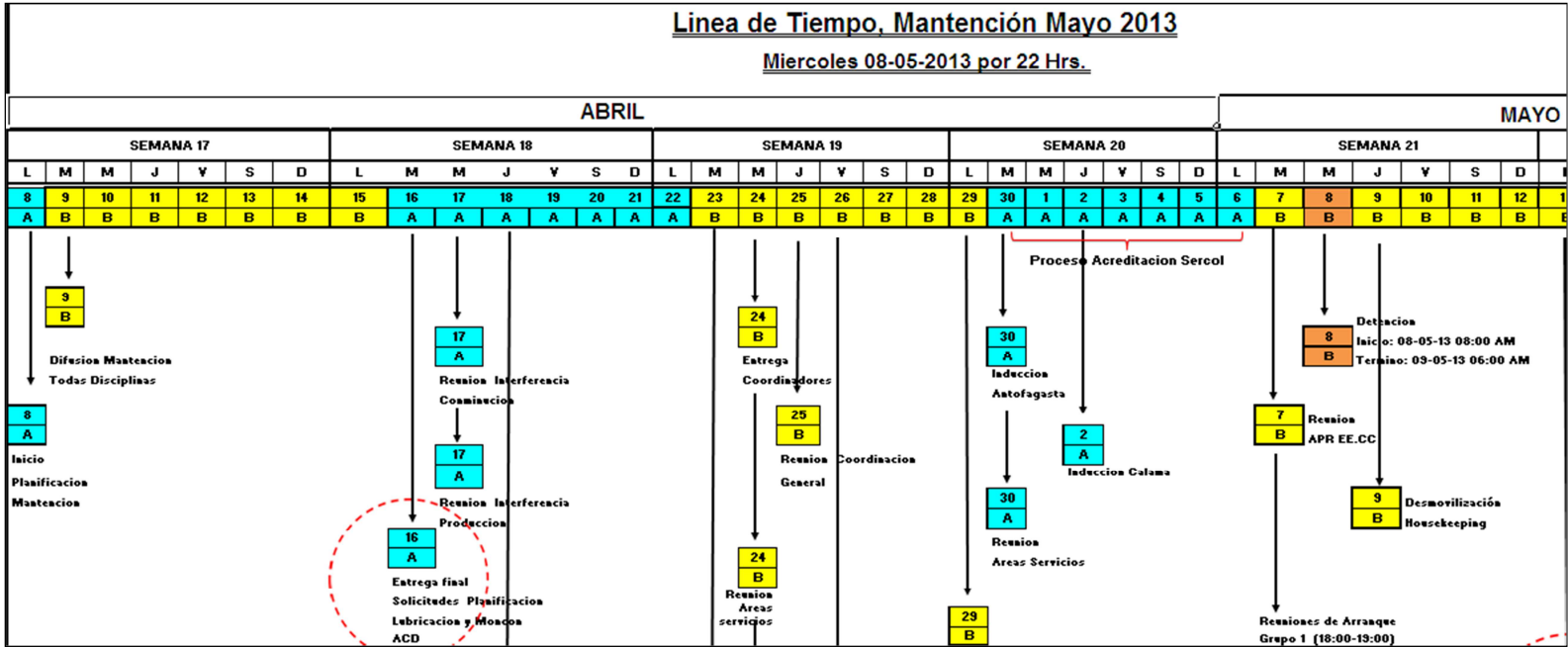


Figura 2: Modelo de Planificación de Shut Down empresa XZ

#### **4.4. Análisis Modelos Existentes mediante Factores Críticos de Éxito**

Para facilitar el entendimiento de los modelos anteriormente planteados y poder compararlos de tal forma de proponer un modelo se han definido “Factores Críticos de Éxito”, los que deberían ser parte de cada uno de los modelos presentados, con el fin de contar con un modelo que permita ordenar el ciclo completo de un mantenimiento planificado con detención de planta. El modelo propuesto pretende disminuir brechas entre la planificación y ejecución de un Shut Down. De tal forma de brindar pautas para la planificación e implementación de los mantenimientos de equipos y maquinarias de las instalaciones de una planta de procesos en una determinada faena minera.

A continuación se harán los comentarios más relevantes asociados a los Factores Críticos de Éxito y el impacto que generan en un mantenimiento planificado con detención de planta en una operación minera y la implicancia que genera el que las Compañías XX y XY no los consideren, todos los aspectos o factores mencionados anteriormente serán parte del modelo propuesto. Los factores críticos de éxito se muestran a continuación:

Ítem de Comparación
El plan se genera de un plan anual de mantenimiento
El plan toma en consideración el plan producción
El plan asigna roles
Involucramiento de todas las partes involucradas en la planificación
Recopilar datos históricos de mantenimientos anteriores (aprendizajes)
Revisar el presupuesto para que los trabajos puedan ser considerados
Inducciones de Seguridad antes de iniciar el mantenimiento
Chequeo de herramientas en buen estado y funcionamiento que faciliten la ejecución del trabajo.
Al término de cada trabajo se debe dejar el equipo y área ordenada y limpia (Housekeeping)
Áreas de responsabilidad definidas durante la ejecución
El plan de mantenimiento considera la Puesta en Servicio
El Shut Down es medido mediante KPIs (indicadores Claves de Desempeño)
Plan de Seguridad
Actualización del Progreso Real mediante Diagrama de Gantt - Seguimiento
Autorización trabajos adicionales una vez realizado el congelamiento del plan
Los repuestos requeridos serán dejados por los ejecutores en la ubicación requerida
Autorización al Gerente/Superintendente de Mantenimiento para ejecutar trabajo no considerado en el plan de mantenimiento
Cierre de las Órdenes de Trabajo con información detallada sobre la ejecución es un FCE
El Shut Down considera reuniones post mantenimiento
El plan de mantenimiento de fine Objetivos

Tabla de Factores Críticos de Éxito, Fuente Propia

El tener identificados los mantenimientos con la debida anticipación, en un plan anual alineados con la producción le dará fortaleza a la ejecución del mismo y sin duda será un factor de éxito para la planificación y ejecución del mantenimiento

La asignación de roles y responsabilidades es un factor crítico de éxito, el no contar con un objetivo claro y establecido puede llevar a perder foco y no lograr un mantenimiento exitoso.

El involucramiento de todas las partes en la planificación es sin duda un aspecto clave para que el plan sea detallado y cuente con todos los recursos necesarios para la ejecución.

Recopilar datos históricos, desde el punto de vista de los aprendizajes de mantenimientos anteriores ayudará en futuros mantenimientos a que no se cometan los mismos errores y se genere un círculo virtuoso de mejoramiento.

Revisar el presupuesto de costos es un factor relevante pero muchas veces obviado. Cada vez que se ejecute un mantenimiento se hace necesario saber si se cuenta con los dineros para considerar servicios de alto costo que pueden impactar los compromisos del área.

Las inducciones de seguridad son fundamentales antes de iniciar los mantenimientos, ya que de esta forma el trabajador se familiariza con el área de trabajo y además conoce y entiende los riesgos existentes en su lugar de trabajo. Si los trabajadores no cuentan con la inducción no pueden trabajar en el mantenimiento.

Un error habitual, es no asegurarse de que las herramientas que serán utilizadas en la ejecución del trabajo se encuentren en buen estado y funcionamiento lo que puede llevar a que los trabajos sean realizados en forma insegura, ya sea por utilizar una herramienta defectuosa o por hacer las conocidas “machinas”, las que habitualmente no se encuentran certificadas, exponiendo a los trabajadores a un accidente.

No trasladar repuestos al punto de trabajo antes de iniciar el mantenimiento puede llevar a retrasar los trabajos, ya que el día del mantenimiento, lo que se espera es iniciar la ejecución con todo preparado.

Un aspecto fundamental en el ámbito de la seguridad de los trabajadores guarda relación con el “Housekeeping”. Antes durante y al término de cada trabajo se debe mantener el área de trabajo ordenada y limpia

Para tener un mejor control de las actividades desde el punto de vista de seguridad de las personas y de la calidad de los trabajos, contar con responsables por áreas de trabajo los que deben estar ubicados en el lugar determinado durante la fase de ejecución de la parada es sin duda un factor crítico de éxito.

La probabilidad de ocurrencia de un accidente siempre será mayor en trabajos de imprevisto o no planificados es por ello que cualquier trabajo adicional identificado

durante el Shut Down debe ser gestionado, es decir, identificar el trabajo, determinar los recursos y solicitar la autorización del Gerente/Superintendente de Mantenimiento para así poder ejecutarlos.

El contar con KPI (Indicadores Claves de Desempeño), nos permitirá estar monitoreando y midiendo cada mantenimiento, lo que nos llevará a tener un control de lo sucedido y de así poder iniciar un ciclo de mejoramiento de cada Shut Down.

Que cada Shut Down cuente con un Plan de Seguridad que contenga a lo menos **Cartilla de bloqueos, Hoja de coordinación de seguridad** la que indica aspectos generales de seguridad que se deben cumplir al participar del mantenimiento, **Requerimientos a Operaciones**, son todas las solicitudes de limpieza previas a la ejecución y que entregan el equipo en forma segura para ejecutar el mantenimiento, **Responsables por áreas de trabajo**, para tener un mejor control de las actividades desde el punto de vista de seguridad de las personas y de la calidad de los trabajos. **Informe ART (Análisis de Riesgos del Trabajo)**, con el fin de tener identificadas las actividades, sus riesgos y forma de controlarlos. **Procedimientos de Trabajo**, que permitan identificar la secuencia de cada actividad, es sin duda un factor crítico de éxito para la seguridad de las personas.

Actualización del progreso real mediante carta Gantt, permitirá Monitoreo del Shut Down. Durante la ejecución será necesario verificar el avance, las dificultades que se vayan presentando, con el propósito de corregir desviaciones para cumplir con el objetivo propuesto.

En el caso de trabajos adicionales a los ya emitidos en el plan de mantenimiento, estando éste congelado, la persona o área que desee hacerlo deberá solicitar la aprobación al Gerente/Superintendente de Mantenimiento, para que los trabajos sean considerados, ya que trabajos con escasa planificación serán siempre un foco de mayor riesgo para los trabajadores.

El considerar la puesta en servicio de la planta en la planificación, de seguro impactará en los tiempos de entrega del mantenimiento y nos ayudará a finalizar a tiempo.

Si el proceso o el modelo define un Cierre de las Órdenes de Trabajo con información detallada sobre la ejecución, generará disciplina en nuestros ejecutores y nos permitirá contar con información valiosa para futuros mantenimientos.

Las reuniones post mantenimiento son sin duda un factor crítico de éxito, que nos ayudará a generar un mejoramiento de nuestros futuros mantenimientos. Estas deben considerar a lo menos:

- Resumen
- Áreas para Mejorar
- Aprendizajes
- Planes de Acción para el Seguimiento de los trabajos ejecutados
- Cálculo de KPIs
- Revisión de las principales desviaciones desde el punto de vista de la planificación y ejecución

Se propone un modelo similar a los existentes pero más aterrizado a lo que realmente ocurre durante un “Shut Down”. En el capítulo siguiente se muestra nuestro modelo propuesto para mantenimientos planificados con detención de planta en una operación minera, el que pretende resolver las principales desviaciones detectadas en los “Shut Down” y son las que se mencionan a continuación, para cada una de éstas se indica el Factor Crítico de Éxito (contenido en el modelo propuesto) mencionado los puntos anteriores y que ayuda a resolver esta brecha:

### **1. Los mantenimientos planificados no finalizan a tiempo.**

- Seguimiento, nos indicará el grado de avance y nos permitirá tomar acciones para finalizar de acuerdo a lo planificado

- Áreas de responsabilidad claras nos permitirán un mejor control de las actividades.
- Selección empresas colaboradoras con competencias nos aseguran una ejecución de acuerdo al plan establecido
- Puesta en servicio si es considerada en el plan, existirán coordinaciones para disminuir los tiempos asociados a este concepto.

**2. En los mantenimientos planificados no se realiza la totalidad de trabajos planificados.**

- El involucramiento de todos en la planificación los hará sentir con un sentido de logro si ejecuta una cantidad importante de trabajos.
- El requerir una autorización para agregar trabajos adicionales una vez congelado el plan, generará mayor preocupación y disciplina en la etapa de planificación, lo que sin duda aumentará la posibilidad de ejecutar lo planificado.

**3. Ocurren accidentes debido a la falta de planificación.**

- El plan de seguridad es una herramienta fundamental y muchas veces algunas organizaciones no le dan mayor importancia, el contar con éste te da menos posibilidad de tener accidentes
- Se debe contar con herramientas en buen estado
- Áreas de responsabilidad claras nos permitirán un mejor control de las actividades en ejecución.

- Si los trabajadores no cuentan con la inducción no pueden trabajar en el mantenimiento, siempre se podrá dar excusas por retrasos o mala ejecución un accidente no tiene forma de explicación una vez ocurrido.

#### **4. Los trabajos ejecutados no son de calidad.**

- Áreas de responsabilidad claras nos permitirán un mejor control de las actividades en ejecución
- Selección empresas colaboradoras con competencias nos aseguran una ejecución de acuerdo al plan establecido.
- Calcular el MTBF la semana previa y la semana posterior al mantenimiento nos ayudará a medir la confiabilidad de la planta y por defecto la calidad del mantenimiento

#### **5. El plan de mantenimiento es entregado en forma tardía a los ejecutores.**

- El definir roles para cada uno de los miembros, sin duda ayudará a generar un plan de forma anticipada
- El definir o estipular que la entrega debe ser con 7 días de anticipación ayudará a generar disciplina en el Equipo
- El involucramiento del equipo definido en el modelo ayudará en generar las reuniones previas y que cada uno aporte desde su experiencia permitirá la entrega a tiempo a los ejecutores del mantenimiento.

## 4.5. Modelo Propuesto

De acuerdo al análisis realizado el modelo propuesto toma en consideración el análisis crítico y los factores de éxito definidos en el punto anterior. Se presenta a continuación un diagrama que hará más fácil el entendimiento del modelo.



Figura 3: Esquema del Modelo Propuesto, Fuente Propia

### ETAPA 1: Plan del Mantenimiento

### **Definición del Equipo de Mantenimientos Planificados**

Tomando en consideración las 9 Compañías Mineras consultadas, todas cuentan con Organizaciones similares, así que como definición se considerará un equipo involucrado con los objetivos propuestos y con la planificación del Shut Down que a lo menos debe estar compuesto por Gerente/Superintendente de Mantenimiento, el Planificador/Programador, Jefes de Área de Planificación, Mantenimiento y Operaciones, Supervisores de Mantenimiento, Operaciones y de Empresas Colaboradoras que participan del mantenimiento.

#### **Los roles de este equipo incluyen:**

- Revisión de los problemas de seguridad y medio ambiente.
- Evaluación de riesgos del mantenimiento planificado.
- Revisión de trabajos principales a ser incluidos.
- Aprendizajes de mantenimientos anteriores.

La Superintendencia o Departamento de Planificación debe organizar las reuniones, enviando las invitaciones a todos los participantes, además deberá hacer y enviar minutas a todo el equipo con el fin de determinar compromisos y definir responsables.

### **Definición de Objetivos Claves de los mantenimientos planificados**

Los objetivos se establecen para todos los mantenimientos planificados, independientemente de la envergadura y duración. Nuestro modelo define siempre el mismo y es el que se indica a continuación.

El mantenimiento planificado será exitoso para cada uno de los miembros del equipo y para nuestra Compañía si somos capaces de:

- No registrar accidentes durante la ejecución de los trabajos
- No provocar daño al medioambiente durante la ejecución de los trabajos
- Ejecutar con la calidad suficiente la que permita mejorar la confiabilidad a la planta hasta el siguiente mantenimiento
- Ejecutar un porcentaje cercano al 90% de trabajos comprometidos en el plan,
- Finalizar el mantenimiento en el tiempo planificado
- Entregar un mejoramiento de la planta que permita asegurar la producción, ejecutando los trabajos que pueden generar impacto y así dar cumplimiento a las metas establecidas.

### **Aprendizajes de mantenimientos anteriores**

Los informes de seguimiento de los mantenimientos anteriores serán revisados por los miembros del equipo. Este informe es una planilla de mejoramiento continuo que nos permitirá aprender de los errores del pasado. Los aprendizajes de mantenimientos anteriores deben ser considerados en cada Shut Down.

### **Trabajos Propuestos**

Los trabajos propuestos deben considerar a lo menos:

- Los trabajos principales.
- Los trabajos no ejecutados en mantenimientos pasados.
- Los trabajos de mantenimiento que requieren equipo detenido.
- Ingenierías.

- Los trabajos requeridos por Operaciones
- Los trabajos identificados por el monitoreo de condiciones y/o mantenimiento predictivo.
- Las inspecciones de las diferentes áreas.

**Nota:** Los listados de trabajos generados por las áreas deben venir con orden de trabajo o aviso, dependiendo del ERP utilizado por la Compañía, además deben ser entregados al Planificador/Programador con una anticipación de 15 días antes del inicio del mantenimiento planificado.

#### **Aceptación de trabajos propuestos.**

Los trabajos propuestos se aceptarán si:

- Tiene un alcance definido.
- Solo puede ser realizado durante el mantenimiento.
- Las actividades que no corresponden al mantenimiento y que constituyen un requisito previo, son identificadas y deben ser completadas antes del inicio del mantenimiento. **Estas actividades deben quedar en el plan de mantenimiento y deben ser controladas por el Ingeniero de Planificación.**
- El trabajo debe contar con un programa que defina la duración. De ser un trabajo que se realiza por primera vez, la duración debe ser comprometida por el ejecutor del trabajo
- Los recursos son identificados y se encuentran disponibles para completar el alcance de trabajo en el tiempo determinado.
- Los materiales son identificados y se encuentran disponibles antes del inicio del mantenimiento planificado.
- Los trabajos propuestos por el turno que no ejecuta el mantenimiento debe ser validado por el personal de mantenimiento que trabaja en turno 4 x 3.

**Lo indicado en los puntos anteriores busca poner énfasis en la preparación del mantenimiento planificado, ya que con esta información será posible determinar con exactitud el diagnóstico de los problemas que tiene la planta y que deberá resolver la detención planificada. El listado de trabajos propuestos indica trabajos que están pendientes porque no se han hecho completos. En el registro de cierre de órdenes de trabajo se puede realizar un análisis de los historiales en términos de trabajos realizados y fallas ocurridas que deben evitarse en el futuro y las modificaciones necesarias para lograrlo.**

**Lo mencionado anteriormente nos permitirá generar el mejoramiento esperado de la planta para asegurar la producción y así dar cumplimiento a las metas establecidas.**

**La lista de trabajos es el diagnóstico de los problemas que debe resolver el mantenimiento planificado con detención de planta.**

### **Reunión Inicial del Mantenimiento Planificado**

Es la primera reunión de coordinación para el mantenimiento planificado. La lista de participantes considerará un equipo que a lo menos debe estar compuesto por Gerente/Superintendente de Mantenimiento, el Planificador/Programador, Jefes de Área de Planificación, Mantenimiento y Operaciones, Supervisores de Mantenimiento, Operaciones y de Empresas Colaboradoras que participan del mantenimiento.

Los temas a tratar en la reunión incluirán:

- Seguridad y Medio Ambiente
- Trabajos propuestos.
- Criterio de aceptación de trabajos propuestos.
- Trabajos están considerados en el presupuesto de costos
- Mantenimiento está considerados en el plan anual, alineado con el plan de producción.

- Trabajos están considerados en el presupuesto de costos
- Identificación de trabajos adicionales que se encuentran dentro del criterio de aceptación.
- Programa de reuniones de coordinación hasta la fecha de inicio del mantenimiento planificado.

Se debe entregar siempre una minuta de la reunión con los asistentes y los principales acuerdos, la que deberá ser enviada a los involucrados lo antes posible una vez finalizada la reunión. Este documento debe ser enviado por el Ingeniero de Planificación.

### **Confirmación de los repuestos y componentes**

El Planificador/Programador de Mantenimiento en conjunto con el Ingeniero/Encargado de Repuestos debe identificar todos los repuestos, materiales y componentes o materiales considerados en la lista de trabajo preliminar. Debe además controlar el tiempo de entrega de acuerdo a la fecha de inicio planificada para el mantenimiento y tomar las acciones correspondientes para garantizar que los materiales estén disponibles en faena antes del inicio de la ejecución del mantenimiento. Será responsabilidad de asegurar los materiales el personal de las Gerencias/Superintendencias/Departamento de Abastecimiento y/o Logística.

El Planificador/ Programador se debe preocupar de contar con los repuestos, materiales y componentes antes del mantenimiento planificado, para ello se deberá coordinar con el Ingeniero/Encargado de Repuestos y personal de las Gerencias/Superintendencias/Departamento de Abastecimiento y/o Logística.

### **Plan propuesto para el mantenimiento**

Se crearán órdenes de trabajos en el ERP definido por la Compañía para todos los trabajos del mantenimiento planificado. **Ningún trabajo se puede ejecutar si no se cuenta con una orden de trabajo.**

La planificación detallada de los trabajos del mantenimiento incluye los siguientes pasos:

- Especialidad de mano de obra.
- Horas de mano de obra.
- Estimación de mano de obra.
- Duración del Trabajo.
- Estimación de Materiales.
- Servicios
- Equipos auxiliares
- Equipos de levante

El tipo de recursos, las horas de mano de obra y la duración del trabajo serán registrados en las órdenes de trabajo. La lista de materiales y servicios debe quedar registrada en la orden de trabajo.

Los documentos que deben ser entregados a los distintos involucrados como parte del plan de mantenimiento deben incluir a lo menos, los que se indican a continuación:

1. **Carta Gantt, Diagrama Pert o CPM** que muestra la totalidad de trabajos, su secuencia, el ejecutor a cargo del trabajo, el número de OT, los recursos a utilizar y el tiempo estimado parada cada trabajo. El método definido dependerá de la envergadura del mantenimiento planificado.
2. **Cartilla de bloqueos**, en donde se indican todos los bloqueos de mayor complejidad.
3. **Hoja de coordinación de seguridad** la que indica el tipo de trabajo (carga suspendida, espacio confinado, en serie, simultáneo), Empresas / Áreas que están trabajando en un mismo equipo, Aspectos generales de seguridad que se deben cumplir al participar del mantenimiento.

4. **Requerimientos a Operaciones**, la que indica todas las solicitudes de limpieza y los horarios en que deben ser entregados los equipos, además de los tiempos de inicio y fin del mantenimiento
5. **Carta Gantt o Diagrama CPM o PERT para los trabajos principales y/o definidos dentro de la ruta crítica** de tal forma de poder hacer seguimiento y eliminar las desviaciones y no registrar retrasos en el mantenimiento planificado.
6. **Responsables por áreas de trabajo**, con el fin tener un mejor control de las actividades desde el punto de vista de seguridad de las personas y de la calidad de los trabajos.

### **Desarrollo del Plan de Seguridad**

El propósito de esta etapa del documento es definir el plan de seguridad, que estará en vigencia durante la ejecución del mantenimiento y todas sus actividades asociadas.

El plan de seguridad será preparado por el Ingeniero de Planificación en conjunto con Supervisores de Mantenimiento, de Operaciones y de Seguridad. Éste debe incluir los siguientes documentos:

1. **Cartilla de bloqueos**, en donde se indican todos los bloqueos de mayor complejidad.
2. **Hoja de coordinación de seguridad** la que indica el tipo de trabajo (carga suspendida, espacio confinado, en serie, simultáneo), Empresas / Áreas que están trabajando en un mismo equipo, Aspectos generales de seguridad que se deben cumplir al participar del mantenimiento.
3. **Requerimientos a Operaciones**, la que indica todas las solicitudes de limpieza y los horarios en que deben ser entregados los equipos para mantenimiento, además de los tiempos de inicio y fin de la mantención.

4. **Responsables por áreas de trabajo**, con el fin tener un mejor control de las actividades desde el punto de vista de seguridad de las personas y de la calidad de los trabajos.
5. **Informe ART (Análisis de Riesgos del Trabajo)**, con el fin tener identificadas las actividades, sus riesgos y forma de controlarlos.
6. **Procedimientos de Trabajo**, que permitan identificar la secuencia de cada actividad.
7. **Se recomienda que el Superintendente de Mantenimiento de la Planta, entregue una charla motivacional antes de la ejecución a todo el personal que participará del mantenimiento. La importancia radica en conversar con los Técnicos, ya que son ellos los que se exponen a riesgos durante la ejecución del mantenimiento.**

Los análisis de riesgos y procedimientos de trabajo deberán ser preparados por quien ejecuta los trabajos y no por Planificación.

## **Plan de Repuestos y Servicios**

La provisión de repuestos y servicios en el lugar y momento correctos es un factor crítico para el éxito del mantenimiento planificado. Hasta el mantenimiento más simple contará con un responsable de materiales y repuestos y éste será el Ingeniero/Encargado de Repuestos. La complejidad del plan de repuestos y servicios estará determinada por:

- La magnitud del mantenimiento planificado.
- El número de personas involucradas en el mantenimiento planificado.
- El número y complejidad de los servicios involucrados incluyendo grúas, equipos móviles, eliminación de desperdicios, compresores, equipos de iluminación, herramientas, etc.

## **Selección de Empresas Colaboradoras para la ejecución del mantenimiento.**

Esto no aplica cuando existe una relación con un contratista que proporciona asistencia para la ejecución del mantenimiento en forma permanente.

Se requerirá del servicio de empresas colaboradoras adicionales para complementar trabajos que no puedan ser realizados por nuestros mantenedores o por nuestras Empresas permanentes de mantenimiento.

El plan aprobado preliminar del mantenimiento proporcionará una indicación del número y tipo de soporte de personal colaborador no estable requerido para realizar los trabajos del mantenimiento.

Al seleccionar una empresa colaboradora que brinda asistencia durante las actividades del mantenimiento se deben considerar los siguientes temas:

- Sus indicadores de seguridad con nuestra Compañía u otras empresas de minería.
- La calidad en trabajos similares con nuestra Compañía u otras empresas de minería.
- Su ubicación.

- La familiaridad de la empresa colaboradora con la planta en que se ejecutará el mantenimiento.
- El costo de los servicios.
- Que cuente con todas las herramientas y equipos para realizar el trabajo.
- Si es experto en la materia se propondrá adjudicación directa del contrato.

### **Entrega del plan del mantenimiento**

El plan es aprobado en las reuniones previas junto con todos los involucrados. La cantidad de reuniones va a depender de la envergadura del mantenimiento planificado.

El plan debe considerar recursos extra si la ejecución se extiende al turno de la noche, ya que no es factible desde el punto de vista de la seguridad y la legalidad que el turno de día continúe trabajando.

Una vez enviado el plan, no se podrán considerar trabajos adicionales, es decir, éste se congela. **En caso de querer agregar trabajos en una fecha posterior al congelamiento del plan, la persona o área que desee hacerlo deberá solicitar la aprobación al Gerente/Superintendente de Mantenimiento, para que los trabajos sean considerados y además deberá hacer la gestión de recursos para ejecutar dichos trabajos.**

Si bien las contingencias que ocurran una vez congelado el plan, si son críticas será necesario realizarlas, pero deben ser coordinados y entregados como orden de trabajo y el plan no debe recibir modificación, a pesar de que el día del mantenimiento se dejen de hacer trabajos del plan, pero esto tendrá la justificación de que fue a causa de las contingencias. Es necesario mencionar que estas contingencias ocurrirán en algunas ocasiones y se debe administrar con la seguridad que amerita.

El plan final para el mantenimiento deberá ser enviado como mínimo con 7 días de anticipación, de tal forma que permita a los ejecutores empoderarse y realizar los preparativos necesarios con el fin de asegurar la seguridad, la calidad y los tiempos considerados en el mantenimiento.

**Materiales y repuestos almacenados en el lugar de trabajo.**

Los insumos, materiales y repuestos requeridos para el mantenimiento serán dejados por los ejecutores de los trabajos en la cantidad suficiente y en la ubicación requerida, antes de iniciarse el mantenimiento, con la debida identificación, de tal forma de evitar que dichos componentes sean sacados del punto de trabajo cuando se realiza housekeeping.

**ETAPA 2: Ejecución del Mantenimiento****Inducciones previas**

Los programas de inducción serán diseñados para proporcionar inducción a las personas que no estén familiarizadas con el lugar de trabajo. Todo trabajador debe contar con ésta, de lo contrario no podrá trabajar en la Compañía.

Además de lo especificado anteriormente, se debe dar una “Charla Motivacional de Seguridad” antes de cada mantenimiento planificado por parte del Superintendente de Mantenimiento de la Planta donde se vaya a realizar el mantenimiento, para todos los trabajadores que participan del mantenimiento. La que busca interactuar con todos ellos indicándole cuales son todos los riesgos a los que se verá enfrentado en la ejecución del mantenimiento.

**Ejecución del mantenimiento**

El día previo a la ejecución los repuestos deben haber sido trasladado a los puntos de trabajo y además se debe haber realizado un chequeo de las herramientas y equipos que se utilizarán en la ejecución para asegurarse que éstas se encuentran en condiciones apropiadas.

Es importante que los ejecutores el día del mantenimiento cuenten con su documentación firmada a primera hora para no registrar retrasos y además para que corrijan cualquier desviación que pueda interferir el trabajo a realizar.

Los trabajos del mantenimiento serán ejecutados de acuerdo al plan definido. En caso de detectarse algún trabajo no considerado en el plan de mantenimiento, éste deberá ejecutarse. Para lo indicado en el punto anterior se deberá solicitar la autorización al Gerente/Superintendente de Mantenimiento.

Los mantenedores no podrán cambiar la definición del trabajo, ni mucho menos dejar de realizar alguna actividad que ponga en riesgo la seguridad de las personas, el medioambiente y la confiabilidad de la planta.

Con el fin tener un mejor control de las actividades desde el punto de vista de seguridad de las personas y de la calidad de los trabajos, se definieron Responsables por áreas de trabajo los que deben estar ubicados en el lugar determinado.

Los trabajos se darán por finalizados una vez que se haya realizado el Housekeeping en el área donde se ejecutaron las actividades, para ello será necesario considerar recursos.

### **Seguimiento del mantenimiento planificado**

La carta Gantt de la ejecución del mantenimiento será actualizado diariamente, para el caso de mantenimientos mayores que consideren cambio de revestimientos en la molienda, cambio de cóncavas chancadores primarios, cambios de cinta o tramos en correas de cable de acero u Overhaul de Filtros. Se debe realizar todos los días reuniones de avance para ir detectando desviaciones con respecto al plan, de tal forma de tomar las medidas necesarias para corregirlas y visualizar el avance en cuanto a los trabajos de la ruta crítica del mantenimiento planificado.

### **Puesta en marcha**

Un tema muy relevante es la entrega parcial de equipos ya intervenidos en el mantenimiento, los cuales deben ser entregados al Jefe Turno/Supervisor de Operaciones para pruebas antes de la partida. Esto permitirá detectar anomalías en el equipo y corregirlas antes de poner en servicio la planta u equipo en forma completa.

Un caso especial son los componentes del sistema de lubricación los cuales necesitan un tiempo para calentar el aceite en Faenas donde existen temperaturas extremas.

Para el caso de la puesta en marcha de equipos, dependiendo del tipo de planta se debe definir en las reuniones previas como se abordará la puesta en servicio de los equipos, ya que dependerá del tipo de mantenimiento efectuado y de la hora de la partida.

### **ETAPA 3: Post - mantenimiento planificado**

#### **Informe de seguimiento y mejoramiento continuo**

El informe de seguimiento y mejoramiento continuo de mantenimientos documentará el rendimiento real de todos los aspectos. El propósito del informe es proporcionar un registro preciso del mantenimiento para su referencia en el futuro, para iniciar un proceso de de mejoramiento continuo. Este archivo debe contener a lo menos:

- Cálculo de KPIs,
- Principales desviaciones,
- Medida de mejoramiento para corregir la desviación
- Responsable para corregir la desviación
- Fecha en que debe corregirse la desviación

El objetivo de hacer seguimiento y control es evitar la repetición de errores y eliminar defectos, registrando los problemas, con sus respectivos responsables, para así lograr un mejoramiento continuo del ciclo de un mantenimiento planificado y del mantenimiento en todo su contexto, posteriormente se generan planes de acción por área/empresa para que se haga gestión sobre las desviaciones registradas. Además como parte de este archivo se debe enviar planilla de cumplimiento del plan. El objetivo de este archivo es determinar realmente que es todo lo realizado el día de la ejecución y

verificar si se realizaron trabajos fuera de plan, indicar si se visualizan trabajos para el próximo mantenimiento planificado, esta información debe ser entregado por ejecutores al día siguiente de la ejecución al Ingeniero de Planificación.

### **Reuniones post mantenimiento**

Al día siguiente de la ejecución (dentro de lo posible) se debe hacer reunión Post – Mantenimiento para realizar el análisis, principalmente temas de seguridad, cumplimiento del plan y las desviaciones más relevantes. Las observaciones durante la ejecución identificarán los trabajos que deben completarse durante el próximo mantenimiento. Estos trabajos representarán el inicio de la lista de trabajos del próximo mantenimiento planificado.

El informe será revisado en esta reunión con el fin de validar todas las desviaciones ocurridas en el mantenimiento y definir los planes de acción, fechas de compromisos y responsables para éstas.

### **Cierre de las Órdenes de Trabajo**

Las órdenes de trabajo serán actualizadas para incluir los últimos datos relacionados al mantenimiento. Las órdenes de trabajo deben ser completadas e ingresadas al ERP definido por la Compañía para análisis futuros y reprogramación de trabajos en caso de no ser realizados. Estos datos de llenado incluirán:

- Fecha de término de la tarea
- Descripción del trabajo realizado
- Cantidad de personas que participaron
- Tiempo que duró el desarrollo de la tarea

## **ETAPA 4: Indicadores Claves de desempeño**

### **Indicadores Claves de desempeño**

Para medir nuestro rendimiento en los mantenimientos planificados, se proponen los siguientes indicadores:

#### **KPI 1: Accidentes registrados en el mantenimiento**

Este indicador nos permitirá determinar cómo se desarrolló el mantenimiento desde el punto de vista de la seguridad de los trabajadores. **No requiere fórmula de cálculo, ya que es la cantidad de eventos ocurridos.**

#### **KPI 2: Eventos Medioambientales**

Este indicador nos permitirá determinar cómo se desarrolló el mantenimiento desde el punto de vista de los impactos medioambientales registrados durante la ejecución. **No requiere fórmula de cálculo, ya que es la cantidad de eventos ocurridos**

#### **KPI 3: Tiempo Real / Tiempo Planificado**

Este indicador nos permitirá determinar cómo se desarrolló el mantenimiento desde el punto de vista del tiempo considerado para ejecutarlo. **La fórmula de cálculo sería:**

**(Tiempo Real de la Ejecución del Mantenimiento / Tiempo Planificado del mantenimiento) \* 100**

Este indicador debería apuntar a ser igual a 100% y busca determinar la precisión del plan en términos del tiempo.

#### **KPI 4: Cantidad OT Ejecutadas / Cantidad OT Planificadas**

Este indicador nos permitirá determinar cómo se desarrolló el mantenimiento desde el punto de vista del cumplimiento de los trabajos planificados. **La fórmula de cálculo sería:**

$$(Cantidad\ de\ órdenes\ de\ trabajo\ ejecutadas / Cantidad\ de\ órdenes\ de\ trabajo\ planificadas) * 100$$

Este indicador debería apuntar a ser mayor a 90% y busca determinar la precisión del plan en términos de la cantidad de trabajos ejecutados en comparación con los trabajos que fueron planificados.

#### **KPI 5: MTBF Planta período posterior / MTBF Planta período previa**

Este indicador nos permitirá determinar cómo se desarrolló el mantenimiento desde el punto de vista de la calidad de los trabajos y determinarán el estado en que quedó el equipo/planta luego de la ejecución del mantenimiento.

Es importante definir el concepto MTBF que corresponde por su sigla en inglés a Mean Time Between Failures (Tiempo promedio entre Fallas) y se calcula como se indica a continuación:

$$MTBF = \text{Tiempo Total de Operación de la Planta} / \text{Cantidad de Fallas del Período de Operación}$$

**La fórmula de cálculo sería:**

$$(MTBF\ Período\ Posterior\ al\ Mantenimiento / MTBF\ Período\ Previa\ al\ Mantenimiento) * 100$$

Este indicador debería apuntar a ser mayor a 100% y busca determinar el mejoramiento de la confiabilidad de la planta reflejada en MTBFs mayores a los existentes en el período previo al mantenimiento.

#### 4.6. Matriz de Comparación entre Empresas y el Modelo Propuesto

A continuación se definen los ítems que fueron definidos como Factores Críticos de Éxito, que diferencian el estudio de las compañías XX y XY del Modelo Propuesto.

Ítem de Comparación	Cía XX	Cía XY	Modelo Propuesto
El plan se genera de un plan anual de mantenimiento	SI	NO	SI
El plan toma en consideración el plan producción	SI	NO	SI
El plan asigna roles	SI	SI	SI
Involucramiento de todas las partes involucradas en la planificación	SI	SI	SI
Recopilar datos históricos de mantenimientos anteriores (aprendizajes)	SI	SI	SI
Revisar el presupuesto para que los trabajos puedan ser considerados	SI	SI	SI
Inducciones de Seguridad antes de iniciar el mantenimiento	SI	NO	SI
Chequeo de herramientas en buen estado y funcionamiento que faciliten la ejecución del trabajo,	SI	NO	SI
Al término de cada trabajo se debe dejar el equipo y área ordenada y limpia (Housekeeping)	SI	NO	SI
Áreas de responsabilidad definidas durante la ejecución	SI	NO	SI
El plan de mantenimiento considera la Puesta en Servicio	NO	SI	SI
El Shut Down es medido mediante KPIs (indicadores Claves de Desempeño)	NO	NO	SI
Plan de Seguridad	NO	SI	SI
Actualización del Progreso Real mediante Diagrama de Gantt - Seguimiento	NO	SI	SI
Autorización trabajos adicionales una vez realizado el congelamiento del plan	NO	NO	SI
Los repuestos requeridos serán dejados por los ejecutores en la ubicación requerida	NO	NO	SI
Autorización al Gerente/Superintendente de Mantenimiento para ejecutar trabajo no considerado en el plan de mantenimiento	NO	NO	SI
Cierre de las Órdenes de Trabajo con información detallada sobre la ejecución es un FCE	SI	NO	SI
El Shut Down considera reuniones post mantenimiento	SI	NO	SI
El plan de mantenimiento define Objetivos	NO	NO	SI

Figura 4: Matriz de Comparación entre Empresas y Modelo Propuesto, Fuente Propia

## CONCLUSIONES

Actualmente la mayoría de las compañías mineras no cuenta con un procedimiento claro o más aterrizado para abordar los mantenimientos planificados con detención de planta, de hecho muchas de las Compañías Mineras ni siquiera cuentan con un modelo o procedimiento para esta importante actividad del proceso, si las compañías siguen dejando esto al azar se pueden seguir generando importantes pérdidas para la Empresa, ya que éstas se ven enfrentadas al gran desafío alcanzar altos valores de producción comprometidos en un plan de producción que se tornará inalcanzable con los defectos que puede generar un mantenimiento planificado con detención de planta.

Un modelo definido entrega pautas al momento de planificar y ejecutar un mantenimiento de gran envergadura, pero la mayoría de las Compañías en nuestro país no le han dado importancia a una actividad tan relevante que es mantener nuestros activos de tal forma de dejarlos confiables y de esta forma ser capaces de cumplir los cada día, más exigentes planes de producción.

La asignación de roles y responsabilidades es un factor crítico de éxito, el no contar con un objetivo claro y establecido puede llevar a perder foco y no lograr un mantenimiento exitoso. Dentro de las principales actividades que debe tener definido el equipo se encuentran: Revisión de los problemas de seguridad y medio ambiente, evaluación de riesgos del mantenimiento planificado, revisión de trabajos principales a ser incluidos, aprendizajes de mantenimientos anteriores.

Que cada Shut Down cuente con un Plan de Seguridad es sin duda un factor crítico de éxito para la seguridad de las personas. El plan de seguridad es una herramienta fundamental y muchas veces algunas organizaciones no le dan mayor importancia, el contar con un documento sólido nos da menos posibilidad de tener accidentes

Las Compañías Mineras deben contar con KPI (Indicadores Claves de Desempeño), que permitan estar monitoreando y midiendo cada mantenimiento, para

así tener un control de lo sucedido y poder iniciar un ciclo de mejoramiento continuo de cada Shut Down.

La actualización del progreso real de la ejecución del mantenimiento mediante carta Gantt, será necesario para verificar el avance, las dificultades que se vayan presentando, con el propósito de corregir desviaciones para cumplir con el objetivo propuesto. Será uno de los factores críticos de éxito para poder finalizar a tiempo un Shut Down.

El definir un objetivo para todos los mantenimientos planificados, independientemente de la envergadura y duración, generará en el equipo un mayor compromiso y además permitirá que todos tengan claridad de lo que busca obtener en términos personales y organizacionales una vez finalizada esta importante actividad.

Una de las actividades más importantes es hacer seguimiento y mejoramiento continuo del mantenimiento planificado. El propósito es proporcionar un registro de lo ocurrido en el mantenimiento para su referencia en el futuro y para iniciar un proceso de mejoramiento continuo. Lo que se busca es evitar la repetición de errores y eliminar defectos, registrando los problemas, con sus respectivos responsables, para así lograr un mejoramiento continuo del ciclo de un mantenimiento planificado y del mantenimiento en todo su contexto. Este seguimiento debe ser realizado en **Reuniones post mantenimiento**, al día siguiente de la ejecución (dentro de lo posible) para realizar el análisis e iniciar el mejoramiento.

El involucramiento de todas las personas que son parte de la organización asociada a las tareas de mantenimiento, tanto en la planificación como en la ejecución con una definición clara de Roles y Responsabilidades en las actividades a realizar, impulsarán una sinergia entre los equipos de trabajo hacia los objetivos comunes definidos como área, Gerencia y Compañía. Realizando una evaluación objetiva de los resultados y levantando las lecciones aprendidas de cada Mantenimiento Planificado.

El modelo propuesto en este trabajo busca identificar todos aquellos factores que diferencian un mantenimiento exitoso de aquel que no lo es. Al tener identificado los

factores críticos de éxito, se pueden definir todas las tareas adicionales que se necesitan para que las actividades que se desarrollen sin mayores dificultades. En actual escenario de la Industria Minera donde la Seguridad, Producción y Costos son los principales factores de éxito de una Compañía este modelo ayudará a cumplir con las metas propuestas, y así para asegurar la continuidad operacional en sus activos de una Empresa Minera.

## BIBLIOGRAFÍA

- 20815, ISO. (2008). ISO 20815 Aseguramiento de la producción y gestión de la confiabilidad.
- Amendola, L. (2004). *Modelos Mixtos de Confiabilidad*.
- Amendola, L. J., & Depool., T. (2005). Mitigar los Riesgos en la Gestión de Paradas de Planta EDP "Estructura de Descomposición del Proyecto". *Mantenimeinto*.
- Amendola, L. (s.f.). *Modelos Mixtos de Confiabilidad*.
- Amendola, L. P. (s.f.). *Metodología de Dirección y Gestión de Proyectos*.
- Amendola, L., & Tibaire, D. (2004). Estrategias de Confiabilidad en los Procesos de Paradas de Planta. *PMM Institute for Learning*.
- Dairo H. Mesa Grajales, Y. O. (2006). La Confiabilidad, La Disponibilidad y la Mantenibilidad, Disciplinas. *Scientia et Technica Año XII, No 30*, , 155-160.
- E.T. Newbrough, R. y. (1982). *Personal de Adminstración del Mantenimiento Industrial*. México D.F.: Diana.
- Ellmann, E. (2008). *Mantenimiento Mundial*. Recuperado el 31 de Marzo de 2013, de <http://www.mantenimientomundial.com>
- Gramsch Sanjinés, E. R. (s.f.). *Manual de la Gestión de Mantenimiento Industrial*.
- Jimenez, a. (2011). *Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad, entendiendo sus diferencias*. Recuperado el 31 de Marzo de 2013, de Mantenimiento LA: <http://mantenancela.blogspot.com/2011/10/confiabilidad-disponibilidad-y.html>
- John A. McLay, P. E. (s.f.). *Practical Management for Plant Turnarounds*.
- Luis Amendola, P. D. (2004). Tips para gestión de Paradas de Planta en Mantenimiento.

- Luis Amendola, P. D. (2005). Integración Estrategica para la Dirección y Gestión de los Procesos de Paradas de Plantas. *13° Congreso Iberoamericana de Mantenimiento y Cofiability Operacional (GMC 2005)*.
- Mora, A. (2009). *Mantenimiento. Planeación, ejecución y control* (cuarta ed., Vol. I). (a. g. editores, Ed.) México, Col. del Valle, México, México: Alfaomega.
- Pinzón, E. E. (2008). *Tipos de Mantenimiento*. Recuperado el 31 de Marzo de 2013, de Mantenimiento: <http://ceemantenimientoblogspot.com>
- Ron Bodre. (2009). *Introducción al Análisis de Vibraciones*. Bainbridge Island: AZIMA DLI.
- Sexto, L. F. (2011). *Radical Management*. Recuperado el 31 de marzo de 2013, de <http://se-gestiona.radical-management.com/2011/12/confiabilidad-mantenibilidad-y.html>
- Norma ISO 20815 Aseguramiento de la Producción

## ANEXO A: Tipos de Investigación

### Investigación Descriptiva

En las investigaciones de tipo descriptiva, llamadas también investigaciones diagnósticas, consiste fundamentalmente, en caracterizar un fenómeno o situación concreta indicando sus rasgos más peculiares o diferenciadores.

En la ciencia fáctica, la descripción consiste, según Bunge<sup>1</sup>, en responder a las siguientes cuestiones:

- ¿Qué es? > Correlato.
- ¿Cómo es? > Propiedades.
- ¿Dónde está? > Lugar.
- ¿De qué está hecho? > Composición.
- ¿Cómo están sus partes, si las tiene, interrelacionadas? > Configuración.
- ¿Cuánto? > Cantidad

El **objetivo** de la investigación descriptiva consiste en llegar a conocer las situaciones, costumbres y actitudes predominantes a través de la descripción exacta de las actividades, objetos, procesos y personas. Su meta no se limita a la recolección de datos, sino a la predicción e identificación de las relaciones que existen entre dos o más variables. Los investigadores recogen los datos sobre la base de una hipótesis o teoría, exponen y resumen la información de manera cuidadosa y luego se analizan los resultados.

---

<sup>1</sup> Mario Bunge 1969: *La investigación científica. Su estrategia y su filosofía*.

Barcelona, ediciones Ariel OCLC 5394770, última reedición en 2000 por México:

Siglo XXI Editores, [ISBN 968-232-225-1](https://www.isbn.org/9789682322251)

**Etapas de la investigación descriptiva**

1. Examinan las características del problema escogido.
2. Lo definen y formulan sus hipótesis.
3. Enuncian los supuestos en que se basan las hipótesis y los procesos adoptados.
4. Eligen los temas y las fuentes apropiados.
5. Seleccionan o elaboran técnicas para la recolección de datos.
6. Establecen, a fin de clasificar los datos, categorías precisas, que se adecuen al propósito del estudio y permitan poner de manifiesto las semejanzas, diferencias y relaciones significativas.
7. Verifican la validez de las técnicas empleadas para la recolección de datos.
8. Realizan observaciones objetivas y exactas.
9. Describen, analizan e interpretan los datos obtenidos, en términos claros y precisos.

**Recolección de datos de la investigación descriptiva:**

En la investigación se señalan los datos obtenidos y la naturaleza exacta de la población de donde fueron extraídos. La población constituye siempre una totalidad. Las unidades que la integran pueden ser individuos, hechos o elementos de otra índole. Una vez identificada la población con la que se trabajará, entonces se decide si se recogerán datos de la población total o de una muestra representativa de ella. El método elegido dependerá de la naturaleza del problema y de la finalidad para la que se desee utilizar los datos.

***Población total:*** Muchas veces no es difícil obtener información acerca de todas las unidades que componen una población reducida, pero los resultados no pueden aplicarse a ningún otro grupo que no sea el estudiado.

***Muestra de la población:*** Cuando se trata de una población excesivamente amplia se recoge la información a partir de unas pocas unidades cuidadosamente seleccionadas, ya que si se aborda cada grupo, los datos perderían vigencia antes de concluir el estudio. Si

los elementos de la muestra representan las características de la población, las generalizaciones basadas en los datos obtenidos pueden aplicarse a todo el grupo.

### **Expresión de datos de la investigación descriptiva:**

Los datos descriptivos se expresan en términos **cuantitativos** y **cuantitativos**. Se puede utilizar uno de ellos o ambos a la vez.

***Cualitativos** (mediante símbolos verbales):* Se usan en estudios cuyo objetivo es examinar la naturaleza general de los fenómenos. Los estudios cualitativos proporcionan una gran cantidad de información valiosa, pero poseen un limitado grado de precisión, porque emplean términos cuyo significado varía para las diferentes personas, épocas y contextos. Los estudios cualitativos contribuyen a identificar los factores importantes que deben ser medidos. (Visión científicista).

***Cuantitativos** (por medio de símbolos matemáticos):* Los símbolos numéricos que se utilizan para la exposición de los datos provienen de un cálculo o medición. Se pueden medir las diferentes unidades, elementos o categorías identificables.

### **Tipos de investigación descriptiva:**

Tomando en cuenta que las siguientes categorías no son rígidas, muchos estudios pueden encuadrarse sólo en alguna de estas áreas, y otros corresponden a más de una de ellas. **Encuestas**, estudio de **Interrelaciones** y estudios de **Desarrollo**

#### 1. Estudios tipo encuesta.

Se llevan a cabo cuando se desea encontrar la solución de los problemas que surgen en organizaciones educacionales, gubernamentales, industriales o políticas. Se efectúan minuciosas descripciones de los fenómenos a estudiar, a fin de justificar las disposiciones y prácticas vigentes o elaborar planes más inteligentes que permitan mejorarlas. Su objetivo no es sólo determinar el estado de los fenómenos o problemas analizados, sino también en comparar la situación existente con las pautas aceptadas. El alcance de estos estudios varía considerablemente; pueden circunscribirse a una nación,

región, Estado, sistema escolar de una ciudad o alguna otra unidad. Los datos pueden extraerse a partir de toda la población o de una muestra cuidadosamente seleccionada. La información recogida puede referirse a un gran número de factores relacionados con el fenómeno o sólo a unos pocos aspectos recogidos. Su alcance y profundidad dependen de la naturaleza del problema.

## 2. Estudios de interrelaciones.

Si el objeto es identificar las relaciones que existen entre los hechos para lograr una verdadera comprensión del fenómeno a estudiar, los estudios de esta índole son los estudios de casos, estudios causales comparativos y estudios de correlación.

### Estudio de casos:

El educador realiza una investigación intensiva de una unidad social o comunidad. Para ello recoge información acerca de la situación existente en el momento en que realiza su tarea, las experiencias y condiciones pasadas y las variables ambientales que ayudan a determinar las características específicas y conducta de la unidad. Después de analizar las secuencias e interrelaciones de esos factores, elabora un cuadro amplio e integrado de la unidad social, tal como ella funciona en la realidad. El interés en los individuos no es considerándolo como personalidad única, sino como tipos representativos. Se reúnen los datos a partir de una muestra de sujetos cuidadosamente seleccionados y se procuran extraer generalizaciones válidas sobre la población que representa la muestra. El objetivo de los estudios de casos consiste en realizar una indagación a profundidad dentro de un marco de referencia social; las dimensiones o aspectos de dicho marco dependen de la naturaleza del caso estudiado.

Un estudio de casos debe incluir una considerable cantidad de información acerca de las personas, grupos y hechos con los cuales el individuo entra en contacto y la naturaleza de sus relaciones con aquéllos. Los seres humanos desarrollan una constante interacción con diversos factores ambientales, por eso es imposible comprender su conducta sin examinar tales relaciones. Los datos deben provenir de muchas fuentes. Se

puede interrogar a los sujetos mediante entrevistas o cuestionarios y pedirles que evoquen experiencias pasadas o sus deseos y expectativas presentes. Se estudian documentos personales como diarios y cartas, efectuando distintas mediciones físicas, psicológicas o sociológicas. Se puede interrogar a padres, hermanos y amigos de los sujetos, analizar archivos de los tribunales, escuelas, hospitales, empresas o instituciones sociales.

Los estudios de casos son similares a las encuestas, pero en ellos hay un estudio intensivo de una cantidad limitada de casos representativos, en lugar de reunir datos de pocos aspectos de un gran número de unidades sociales. Tiene un alcance más limitado pero es más exhaustivo que el de encuestas, y le da más importancia a los factores cualitativos.

Estudios causales comparativos:

Si además de pretender descubrir cómo es un fenómeno se quiere saber de qué manera y por qué ocurre, entonces se comparan semejanzas y diferencias que existen entre fenómenos, para descubrir los factores o condiciones que parecen acompañar o contribuir a la aparición de ciertos hechos y situaciones. Por la complejidad y naturaleza de los fenómenos sociales, es menester estudiar las relaciones de causalidad. Este tipo de estudio se usa en los casos en que los investigadores no pueden manejar una variable independiente y establecer los controles requeridos en los experimentos.

En un estudio causal comparativo el investigador analiza la situación vital en la cual los sujetos han experimentado el fenómeno que se quiere investigar. Después de estudiar las semejanzas y diferencias que hay entre dos situaciones, entonces podrá describir los factores que parecen explicar la presencia del fenómeno en una situación y su ausencia en la otra. Esta investigación tiene su origen por el método utilizado por John Stuart Mill para descubrir las situaciones causales, que establece que “si dos o más instancias del fenómeno investigado tienen sólo una circunstancia en común, en la cual todas las instancias concuerdan, es la causa (o efecto) del fenómeno dado”. Este método proporciona al investigador la doble posibilidad de control sobre sus conclusiones acerca de las relaciones de causalidad.

Las dificultades posibles de explicar los fenómenos en este tipo de estudios reside en la imposibilidad de establecer un control más allá de poner a prueba tantas hipótesis alternativas como sea posible:

- ✓ si al estudiar el problema el factor produce un efecto determinado no se incluye entre los puntos considerados, entonces no será posible averiguar la causa (si se desea hallar las posibles causas de los fenómenos y desechar los factores aleatorios se debe poseer suficiente información general acerca de tales fenómenos y elaborar cuidadosamente sus procedimientos de observación);
- ✓ al exigir que sea un solo factor el que determine la aparición o ausencia de un fenómeno, muchas veces en los fenómenos sociales complejos se obedece a múltiples causas; cuando dos variables se hallan relacionadas entre sí es difícil determinar cuál de ellas es la causa y cuál el efecto;
- ✓ al intentar clasificar a los sujetos en grupos dicotómicos a fin de establecer comparaciones entre ellos, los fenómenos sociales sólo presentan similitudes si los incluimos en las más amplias categorías, aunque sabemos que los hechos sociales no se clasifican automáticamente en categorías exclusivas (por lo general la comparación entre dos variables indefinidas proporciona escasa información útil sobre el fenómeno que se pretende explicar);
- ✓ cuando se trata de estudios en los que se comparan situaciones normales, la tarea de seleccionar no requiere los mismos cuidados y precauciones que en el caso de los estudios experimentales, generalmente resulta difícil hallar grupos de elementos que sean similares en todos sus aspectos, excepto en lo que respecta al hecho de hallarse expuestos a una variable distinta (siempre existe el peligro de que los grupos presenten diferencias en relación con otras dimensiones -salud, inteligencia, antecedentes familiares, experiencia anterior- que pueden afectar los resultados del estudio).

### Estudios de correlación:

Se utilizan para determinar la medida en que dos variables se correlacionan entre sí, es decir el grado en que las variaciones que sufre un factor se corresponden con las que experimenta el otro. Las variables pueden hallarse estrecha o parcialmente relacionadas entre sí, pero también es posible que no exista entre ellas relación alguna. Puede decirse, en general, que la magnitud de una correlación depende de la medida en que los valores de dos variables aumenten o disminuyan en la misma o en diferente dirección.

Si los valores de dos variables aumentan o disminuyen de la misma manera, existe una correlación positiva; si, en cambio, los valores de una variable aumentan en tanto que disminuyen los de la otra, se trata de una correlación negativa; y si los valores de una variable aumentan, los de la otra pueden aumentar o disminuir, entonces hay poca o ninguna correlación. En consecuencia la gama de correlaciones se extiende desde la perfecta correlación negativa hasta la no correlación o la perfecta correlación positiva. Las técnicas de correlación son muy útiles en los estudios de carácter predictivo.

Si bien el coeficiente de correlación sólo permite expresar en términos cuantitativos el grado de relación que dos variables guardan entre sí, no significa que tal relación sea de orden causal. Para interpretar el significado de una relación se debe recurrir al análisis lógico, porque la computación estadística no dilucida el problema. Sus riesgos son los mismos que en los estudios causales comparativos.

### 3. Estudios de desarrollo:

Consiste en determinar no sólo las interrelaciones y el estado en que se hallan los fenómenos, sino también en los cambios que se producen en el transcurso del tiempo. En él se describe el desarrollo que experimentan las variables durante un lapso que puede abarcar meses o años. Abarca estudios de crecimiento y de tendencia.

Los estudios de crecimiento se refieren a la identificación de los diversos factores interrelacionados que influyen sobre el crecimiento en sus diferentes etapas, saber en

qué momento se tornan observables los diversos aspectos y cuándo surgen, permanecen estacionarios, alcanzan su desarrollo óptimo y, finalmente, decaen. Para el estudio del desarrollo humano se usan dos métodos: las técnicas lineales y las de corte transversal. En ambos tipos de investigación, se deben efectuar una serie de observaciones sistemáticas.

El objetivo de las técnicas lineales es medir el grado de crecimiento de determinados niños en diferentes edades, por ejemplo; y en los de corte transversal no se medirían los mismos niños a intervalos regulares, sino se efectuaría un registro de medidas de diferentes niños pertenecientes a distintos grupos de edad.

Los estudios de corte transversal incluyen generalmente a una mayor cantidad de sujetos, y describen un número menos de factores de crecimiento que los estudios lineales. La técnica de corte transversal se usa con más frecuencia por su bajo costo y porque ocupa menos tiempo; la técnica lineal es el más adecuado para estudiar el desarrollo humano.

Ambas técnicas plantean problemas de muestreo: en los de corte transversal es posible que los diferentes sujetos de cada nivel de edad no sean comparables; los lineales obtienen información de un número limitado de sujetos, sin la confiabilidad de muestras más amplias, asimismo la dificultad para el investigador de evaluar y perfeccionar con cierta frecuencia sus técnicas, pues una vez iniciada la investigación no es posible interrumpirla para modificar o mejorar los procedimientos empleados. Para estudios lineales hacen falta apoyos económicos y un equipo de trabajo ininterrumpido durante años.

Los estudios de tendencia consisten en obtener datos sobre aspectos sociales, económicos y políticos y en analizarlos posteriormente para identificar las tendencias fundamentales y predecir los hechos que pueden producirse en el futuro. En ellos se combinan a veces técnicas históricas, documentales y las que se usan en las encuestas. Resulta aventurado formular predicciones basadas en los datos de tendencia social, porque las condiciones económicas, los avances tecnológicos, las guerras, las

aspiraciones individuales y otros hechos imprevisibles pueden modificar de manera repentina el curso esperado de los acontecimientos.

A causa de los innumerables factores impredecibles que pueden ejercer influencia sobre los fenómenos sociales, la duración de los análisis de tendencia afecta en una medida considerable la validez de la predicción; la mayoría de las predicciones de largo alcance constituyen meras estimaciones, en tanto que las que se refieren a lapsos más breves gozan de mayores posibilidades de certeza.

### **Evaluación de la investigación descriptiva:**

Algunos problemas con que suelen tropieza los investigadores se refieren a examen crítico de los materiales originales, el vocabulario técnico, la formulación de hipótesis, la observación y experimentación, y la generalización y predicción.

### **Investigación Exploratoria**

Es aquella que se efectúa sobre un tema u objeto desconocido o poco estudiado, por lo que sus resultados constituyen una visión aproximada de dicho objeto, es decir, un nivel superficial de conocimiento. Este tipo de investigación, de acuerdo con Sellriz (1980) pueden ser:

- a) Dirigidos a la formulación más precisa de un problema de investigación , dado que se carece de información suficiente y de conocimiento previos del objeto de estudio , resulta lógico que la formulación inicial del problema sea imprecisa. En este caso la exploración permitirá obtener nuevo datos y elementos que pueden conducir a formular con mayor precisión las preguntas de investigación.
- b) Conducentes al planteamiento de una hipótesis: cuando se desconoce al objeto de estudio resulta difícil formular hipótesis acerca del mismo. La función de la investigación exploratoria es descubrir las bases y recabar información que permita como resultado del estudio, la formulación de una hipótesis. Las investigaciones exploratorias son útiles por cuanto sirve para familiarizar al investigador con un objeto que hasta el momento le era totalmente desconocido, sirve como base para la posterior realización de una investigación descriptiva,

puede crear en otros investigadores el interés por el estudio de un nuevo tema o problema y puede ayudar a precisar un problema o a concluir con la formulación de una hipótesis.

### **Investigación Explicativa**

Se encarga de buscar el porqué de los hechos mediante el establecimiento de **relaciones causa-efecto**. En este sentido, los estudios explicativos pueden ocuparse tanto de la determinación de las causas (investigación **postfacto**), como de los efectos (investigación **experimental**), mediante la **prueba de hipótesis**. Sus resultados y conclusiones constituyen el nivel más profundo de conocimientos.

La investigación explicativa intenta dar cuenta de un aspecto de la realidad, explicando su significatividad dentro de una teoría de referencia, a la luz de leyes o generalizaciones que dan cuenta de hechos o fenómenos que se producen en determinadas condiciones.

Dentro de la **investigación científica**, a nivel explicativo, se dan dos elementos:

- ✓ Lo que se quiere explicar: se trata del objeto, hecho o fenómeno que ha de explicarse, es el problema que genera la pregunta que requiere una explicación.
- ✓ Lo que se explica: La explicación se deduce (a modo de una secuencia hipotética deductiva) de un conjunto de premisas compuesto por leyes, generalizaciones y otros enunciados que expresan regularidades que tienen que acontecer. En este sentido, la explicación es siempre una deducción de una teoría que contiene afirmaciones que explican hechos particulares.