



Universidad Católica del Norte
ver más allá



Escuela de Negocios Mineros
Dirección de Postgrado

OPTIMIZACIÓN DE ACTIVIDADES Y PRÁCTICAS EN LA MANTENCIÓN DE ACTIVOS MINEROS

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

Profesor Guía: Fernando Alvarez.

**Gabriel Gallardo López
Eduardo Moreno Gálvez.
Fernando Lobos Acevedo.**

Antofagasta, Julio de 2013

El ritmo del equipo lo determina el líder...

AGRADECIMIENTOS

A nuestras familias...

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	5
INTRODUCCION	6
CAPITULO I MARCO TEORICO.....	8
1.1 Tipología de mantenimientos	11
1.1.1 Mantenimiento correctivo	11
1.1.2 Mantenimiento preventivo o de inspección.	12
1.1.3 Mantenimiento predictivo o según condición	16
1.2 Estructuración de un plan de mantenimiento en minería.	19
1.3 Descripción de procesos de mantención que son parte de tesis.	22
1.3.1 Mantenimiento en planta de procesos	23
1.3.2 Mantención mina.....	27
CAPITULO II METODOLOGIA.....	32
2.1 Formulación General	32
2.2 Antecedentes Preliminares del Tema.	32
2.3 Duración	34
2.4 Alcance	34
2.5 Costos	35
2.6 Calidad y Seguridad	36
2.7 Identificación del Problema.....	36
2.8 Objetivo general y objetivos específicos	37
2.9 Objetivos Específicos	37
2.10 Método de trabajo.....	38
2.11 Estructura Preliminar de la Investigación.....	39
CAPÍTULO III: ANÁLISIS DE LOS PROCESOS Y DISCUSIÓN.....	¡Error! Marcador no definido.
3.1 Análisis de la variabilidad de la disponibilidad de la planta de chancado	40
3.10.- Comportamiento del proceso de chancado – Apilamiento	43

3 .11.- Distribución de datos en el período.....	44
3 .12.- Días con producciones que cumplen el requisito.....	45
3 .13.- Días con producciones que No Cumplen el requisito.	46
3 .14.- No Cumple el requisito y sin mantenciones programadas.	47
3 .15.- Apariencias de variabilidad de los procesos.	49
3 .16.- Componentes de una Carta de Control.....	49
3 .17.- Medida de la confiabilidad de Apilamiento con y sin mantenciones.....	51
3 .18.- Identificación de causas comunes y especiales.	52
3 .19.- Identificación de áreas y tipo de mantenimiento.....	53
3 .20.- Identificación del tipo de avería y su impacto en tiempo.....	53
3 .21.- Identificación del equipo y el impacto en tiempo.	54
3 .22.- Identificación del equipo y los modos de fallas.	54
3 .23.- Identificación de equipos para el mejoramiento.	55
3.3 Análisis de los tiempos de duración y alcance del mantenimiento planificado	58
3 .3.1. Tiempos de las desviaciones registradas en las mantenciones planificadas del área seca.....	59
3 .3.2. Tiempos de las desviaciones registradas en las mantenciones planificadas del área seca:.....	59
3.3.3 Análisis de los costos de ineficiencia del mantenimiento	61
3.5 Resumen y Resultados.....	63
3.6 Análisis de variabilidad de la disponibilidad en palas electromecánicas.	65
3.6.1 Planificación del Mantenimiento.	67
3.6.2 Confiabilidad y estrategia.....	68
3.6.3 Resumen y Resultados	69
CONCLUSIONES	71
RECOMENDACIONES.....	72
BIBLIOGRAFÍA.....	73

RESUMEN

En la actualidad cuando se mide el desempeño de equipos en la minería, se evalúan índices en donde el punto de vista es la mantención, que además son valores medios los cuales ocultan la variabilidad del proceso. La necesidad actual de mantener un elevado control de los procesos productivos hace que el desempeño sea más desafiante y en este escenario la estabilidad de la productividad toma un carácter relevante, por lo anterior ya no basta con medir el proceso en valores medios sino, revisar la variabilidad en una resolución que permita tanto medir como actuar en forma oportuna sobre las variables que generan las desviaciones. Esta variabilidad afecta enormemente a la operación, impactando en las toneladas de material cargado, transportado o molido, etc, debido a esta variabilidad provocada por el imprevisto y por la planificación de detención de equipos por mantención.

Las Especificaciones Disponibles al Público (PAS 55, por sus siglas en inglés) definen la gestión de activos como: “Actividades y prácticas coordinadas y sistemáticas a través de las cuales una organización maneja óptima y sustentablemente sus activos, su desempeño, riesgos y gastos asociados a lo largo de su ciclo de vida, con el propósito de lograr su plan estratégico organizacional” (PAS 55-1, 2008 p.5).

El presente trabajo enfoca la forma de ver un proceso minero desde el punto de vista de la variabilidad y la forma como generar estrategias para estabilizarlo.

INTRODUCCION

El crecimiento de la minería en Chile ha ido de la mano con la capacidad productiva de plantas y aumento en la dotación de equipos, sin embargo ese crecimiento debe ir acompañado por actividades de apoyo como son, las actividades de mantenimiento. En este punto debe ponerse total atención pues el mantenimiento en minería (en especial la gran minería) debe ser la primera evaluación económica de una empresa antes de comenzar las operaciones y por lo tanto debe ser manejado de una manera cuidadosa, con estrategias claras a través de un plan altamente estructurado que evite paradas (detenciones), accidentes, problemas ambientales, desviaciones en los presupuestos, etc.

El proceso de extracción y procesamiento de mineral desde una mina a rajo abierto a una planta de chancado y apilamiento se compone de las etapas de: *Perforación, tronadura, carguío, transporte, chancado primario, secundario, terciario y apilamiento*, si una de estas fases es interrumpida de manera temporal o permanente, éste tiene un impacto directo sobre la capacidad productiva del proceso minero y el proceso de planificación de la producción.

“El **mantenimiento** también impacta sobre la capacidad productiva y además es un elemento estratégico para poder alcanzar condiciones de seguridad y medioambiente en línea con las políticas de desarrollo sostenibles de la empresa minera. Por lo tanto el mantenimiento desde todo punto de vista, es una actividad que adquiere un papel relevante en la viabilidad de un proceso productivo de una empresa que quiere hacer una buena gestión en sus activos”. (Gramsh, Ernesto, 2013) .

Cuando se habla de gestionar los activos, se hace referencia a utilizar una serie de herramientas de manera óptima y sistemática que permita medir el valor y los riesgos, con el objetivo de tomar las mejores decisiones sobre los equipos mineros, durante todo el ciclo de vida, para los cuales fueron diseñados, todo esto alineado con la estrategia de la organización.

Los grandes equipos utilizados en la minería representan un elevado costo de capital por su adquisición, por lo tanto los directivos de las grandes mineras han optimizado su estrategia respecto de cantidad de equipos de reserva en sus áreas de bodegaje, pero en lo que sí están poniendo su mayor esfuerzo, es en lograr un aumento de la disponibilidad mecánica de los equipos.

CAPITULO I MARCO TEORICO

“Hoy en día el mantenimiento es considerado como una fuente de ingresos de una empresa y no como un mal necesario. Para que el mantenimiento sea como un generador de ingresos debe ser encarado con estrategias correctas” (Klimasauskas, Ruben Eduardo, 1990).

La teoría respecto al mantenimiento, conocida en el ámbito minero por la mayoría de quienes trabajaron en la minería a principio de 1900, consideraban al mantenimiento como un mal necesario, la principal preocupación de las direcciones de las empresas radicaba en solo disminuir los costos del mantenimiento, contribuyendo de esta manera a la deducción de los costos generales de la empresa, pero puede verse que un mantenimiento inadecuado afecta transversalmente a la totalidad del funcionamiento minero pues:

- Limita los volúmenes de producción
- Afecta la calidad
- Puede ocasionar accidentes.
- El medio ambiente a su vez puede resultar dañado.
- Genera costos indirectos que superan largamente el costo tradicional de mantenimiento tales como el arriendo de equipos, contratación de servicios externos de reparaciones, entre otros.

Cuando se registran los costos de mantenimientos, los mismos incluyen:

- Costos de mano de obra propia y contratada.
- Materiales.
- Servicio de terceros.

Pero no tienen en cuenta:

- El Lucro cesante por pérdidas en la producción.
- Pérdidas debidas a calidad deficiente, tales como descartes, reproceso, perdidas de calidad.

- Las Pérdidas por no cumplimiento de plazos de entrega.
- Los Costos de accidentes y mayores primas de seguros.
- Los Costos de mano de obra ociosa ante las paradas imprevistas.
- Etc.

Los costos indirectos en mantenimiento son varias veces superiores a los directos. Se puede representar gráficamente mediante el Iceberg de mantenimiento de la siguiente figura:

Figura N°1 Iceberg de costos en actividades de mantenimiento

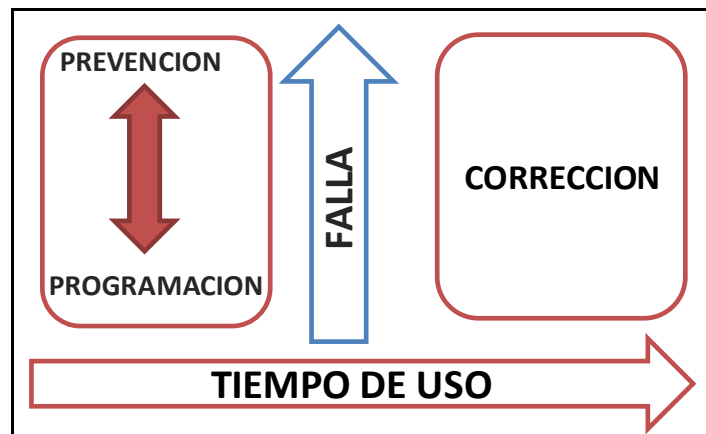


Fuente: (Klimasauskas, Ruben Eduardo, 1990, pág. 3)

En relación a lo expuesto en la figura N°1, puede deducirse que el mantenimiento potentemente afecta a los resultados de una empresa **ya que no basta con hacer las tareas de mantenimiento correctamente, sino que esas tareas de mantenimiento deben ser las correctas**. A modo de ejemplo puede citarse una tarea rutinaria tal como la medida de la presión de carga de un turno alimentador de un motor de combustión interna: si no se restablece exactamente el rango de presiones para el motor sin carga y cargado, aunque las medidas se tomen según lo indicado por el procedimiento establecido, la interpretación de los datos obtenidos, no será la correcta, salvo por algún

caso eventual o aleatorio. En este caso, el procedimiento se siguió correctamente, pero la interpretación no fue la correcta, debido a deficiencias en las especificaciones técnicas en lo que a interpretación de datos se refiere. Cualquier tipo de trabajo destinado a que un equipo de producción se mantenga operativo es una acción de mantenimiento y por lo tanto representa este concepto. Además, los trabajos pueden ser programados o bien ejecutados luego de la rotura. Esto último relaciona las tareas con un plan o una programación, la que a su vez puede tener diferentes matices. En la siguiente figura puede verse cómo se relacionan las tareas de mantenimiento y restauración en función de la rotura o falla.

Figura N°2 Relación de tareas de mantenimiento y restauración en función de la falla



.Fuente: (Klimasauskas, Ruben Eduardo, 1990, pág. 4)

Si mediante técnicas de mantenimiento puede evitarse la falla de un equipo, ésta está previniéndose o prediciéndose, según actividades desarrolladas para evitar las consecuencias de una falla más que la falla misma. Claro está que esta forma de trabajo está muy ligada a la programación de actividades y a una alta estructuración de las mismas materializadas en un programa. Si en cambio se toman las medidas luego que la rotura tuvo lugar, se está corrigiendo la anomalía. (Klimasauskas, Ruben Eduardo, 1990)

1.1 Tipología de mantenimientos

1.1.1 Mantenimiento correctivo

Este método consiste en dejar los equipos en servicio hasta que surja la falla y en este momento el área de producción solicita ayuda a mantenimiento para reparar el defecto. Una vez reparado, el jefe de mantenimiento deja el equipo hasta que se produzca otra falla. (Klimasauskas, Ruben Eduardo, 1990, pág. 5)

“Debe quedar claro que el mantenimiento correctivo es un conjunto de trabajos de reparaciones y solo debería aplicarse a equipos auxiliares que no estén relacionados con la producción” (Gramsh, Ernesto, 2013). Sin embargo a pesar de lo mencionado esta categoría de mantenimiento posee algunas **ventajas**:

- *Costo de implementación mínimo*: Al no requerir planificación, no se justifica infraestructura de aplicación. El equipo en cuestión debe acudir al mantenimiento cuando la intervención es solicitada.
- *No requiere planeamiento*.
- *Es una cualidad inherente a la naturaleza del mantenimiento*, pues si existiese planificación, el mantenimiento dejaría de ser correctivo para ser planeado. Por lo que todos los costos derivados de la planificación son nulos.
- *No requiere controles ni inspecciones*.

Entre las **desventajas** se pueden mencionar las siguientes:

- *No ataca la causa de las fallas*: al trabajar sobre una avería, esta debe ser solucionada de manera urgente y no permite analizar el origen de esta. Una ocurrencia del suceso de fallo, no significa que los factores generados hayan sido detectados, por lo que no existe garantía que una vez eliminada. Ésta no vuelva a ocurrir o genere fallas mayores. Es decir puede tener lugar una avería de igual o mayor naturaleza luego de efectuada la reparación. Con lo que la disponibilidad de las máquinas en muchos casos es casi siempre muy baja.

- *Tiempo de ejecución incierto.* Al desarmar un determinado componente puede estar abriéndose una caja de “sorpresas”. No es de poca probabilidad de ocurrencia no disponer del repuesto a sustituir, por lo que en muchos casos, el bien debe ser sacado de servicio hasta que se disponga la pieza que permita llevar a cabo la restauración.
- *Puede surgir una falla grande y costosa por no haber realizado una revisión a su tiempo:* La misma puede tener lugar cuando el equipo de mantenimiento esté saturado con otro tipo de trabajos.
- *Costos de mantenimientos no controlables:* Esto se debe a la ausencia de planificación y seguimiento de los trabajos, tanto los niveles de inventario, mano de obra y costos de repuestos no pueden obedecer a un patrón, pues no existe. Por lo que los niveles de costos de mantenimiento no tienen cota ni ley de variación.
- *Paradas imprevista de la producción:* Cuando una maquina deja de funcionar de manera inesperada, provoca una alteración en los planes productivos. En muchos casos no puede remontarse, dando como resultado pérdidas de producción, mientras que en otros debe recargarse el personal de producción u operación de horas extras o contratar equipos de terceros para llegar a niveles de producción necesarios.
- *Niveles de seguridad bajos:* al recargarse el personal de mantenimiento y operación para reparar y ganar el tiempo perdido por una falla respectivamente, provoca que las condiciones de trabajo no sean las óptimas, por lo que el personal queda expuesto a accidentes laborales. (Klimasauskas, Ruben Eduardo, 1990, pág. 5)

1.1.2 Mantenimiento preventivo o de inspección.

Este tipo de mantenimiento se asienta en un conjunto de inspecciones periódicas que buscan detectar condiciones que pudieran causar fallas generales, parada de producción o pérdidas de la función combinada del mantenimiento para controlar, eliminar o evitar tales condiciones en sus primeras etapas. (Klimasauskas, Ruben Eduardo, 1990, pág. 7)

En los años 30 debido a un auge en la necesidad de producción, las principales empresas del ámbito minero comenzaron a ocuparse de los problemas ocasionados por las malas prácticas del mantenimiento y se proponen además de corregir las fallas de los equipos sino que también prevenirlas. Por esta razón el personal dedicado al mantenimiento comienza a ocuparse de advertir las fallas y solucionarlas. En ese momento el departamento de mantención que por esas fechas dependía de producción se independiza debido a la naturaleza específica de sus tareas. Con esto, los organigramas se comienzan a modificar con la aparición de este nuevo departamento. (Klimasauskas, Ruben Eduardo, 1990, pág. 7)

El mantenimiento preventivo es de rápida detección y tratamiento de las anomalías del equipo antes de que causen defectos o pérdidas. Es en pocas palabras medicina preventiva para el equipo. El mantenimiento preventivo consta de dos actividades básicas inspecciones periódicas y restauraciones planeadas en los resultados de inspecciones y en la asignaciones de vida útil fijadas a cada componente del equipo sometido a mantenimiento preventivo. (Klimasauskas, Ruben Eduardo, 1990, pág. 7)

Las inspecciones de mantenimiento preventivo van desde mediciones de niveles y controles diarios a reparaciones de gran complejidad, siempre que estas hayan sido enunciadas en el plan correspondiente.

Se incorporan así dos conceptos importantes como son las inspecciones con sus características y el programa en el cual figuran las inspecciones. Estas deben hacerse independientemente del estado del equipo de producción (palas o chancadores, etc). Claro está que esta independencia no toma el punto de inicio del plan, donde el estado de los equipos de producción es muy importante y determinante para que el programa de mantenimiento se base en situaciones reales y tenga éxito. Las inspecciones no pueden ser de carácter antojadizas, sino que estructuradas según algún criterio, las mismas deben ser ordenadas según su complejidad y por supuesto cronológicamente. El primer

interrogante a responder es relativo a cuales son los puntos de vistas que debe o puede seguirse para estructurar las inspecciones. Existen dos criterios definidos (Klimasauskas, Ruben Eduardo, 1990):

Criterio de vida segura: se considera que un componente durara sin riesgo de falla una determinada edad. Esta edad puede medirse en términos cronológicos, o de unidades de medida de servicio, horas, kilómetros recorridos, golpes, vueltas, etc.

Criterio de falla segura: Generalmente lo proporciona el fabricante y se asegura que a partir de determinada edad el componente puede fallar. Tal es el caso de filtros o lubricantes de palas electromecánica, sea cual fuese el elegido, o una combinación de ambos, debe tenerse sumo cuidado pues tanto la insuficiencia como el exceso de mantenimiento preventivo aplicado a los equipos tendrán consecuencias negativas que afectarán tanto a la disponibilidad de los mismos como a la confiabilidad de la operación, por lo que es de vital importancia determinar la frecuencia óptima de mantenimiento a los equipos y evitar caer en sub-mantenimiento o en un sobre-mantenimiento que en ambos casos reflejan altos costos y baja disponibilidad.

Entre las ***ventajas del mantenimiento preventivo*** están:

- *Disminución de paradas no programadas.* Debido a la programación, las tareas de mantenimiento pueden programarse sin mayores problemas, evitando de esta manera sorpresas desagradables para el área de producción.
- *Mejor conservación de los equipos:* un equipo sometido a estas prácticas en forma habitual poseerá un estado de conservación mejor que aquel que no se hayan ejecutados tareas de mantenimiento, excepto las derivadas de las prácticas de mantenimiento correctivo.
- *Costos de mantenimiento menores que el correctivo:* La programación permite conocer el estado de partes visibles y no visibles de un equipo con una cierta exactitud por lo que se pueden planificar las reparaciones mayores y medias con

anticipación que permiten prever los costos directos e indirectos asociados a éstas.

- *Estudio económico de reparaciones:* Cada tarea de mantenimiento atrae aparejados requisitos que deben cumplirse para poder llevar a cabo de forma exitosa tales como mano de obra adecuada, herramientas, etc. Lo que con bastante aproximación puede conocerse el costo general de una determinada intervención, de manera que pueda decidirse su ejecución o por el contrario, desafectar el equipo de la operación.
- *Se reducen las horas extras:* Al permitir programar los trabajos, la mano de obra asociada también es previsible, por lo que antes de efectuar una determinada labor se pueden conocer los tiempos involucrados en su concreción.
- *Generación de información de programación y control:* Permite conocer los estado de las maquinas, las intervenciones a las que fueron sometidas, las tendencias que evidencian de acuerdo con sus estados, etc.
- *Formación de especialistas de mantenimiento:* La mano de obra para cada tarea puede programarse, sea ésta propia o tercerizada, por lo que puede contratarse personal especializado, o bien capacitar los que trabajan en la planta. Esto permite disponer de talleres altamente especializados.
- *Reducción en el tiempo de reparaciones y stock de repuestos:* Si la programación de las tareas de mantenimiento fue hecha adecuadamente, las reparaciones no deberían tardar más tiempo que el que necesiten para ejecutar la tarea y obviar el tiempo de parada por haber dispuesto de repuestos e insumos, pues los mismos debieron ser solicitados con la debida anticipación y los trabajos de mantenimiento no deberían comenzar sin haber comprobado que los mismos estuviesen en la bodega.
- *Buena relación entre operaciones y mantenimiento:* Este es un punto clave, ya que las áreas de mantenimiento y operaciones suelen tener desavenencias cuando un equipo de producción debe ser sacado de servicio por mantenimiento o bien operaciones requiere el equipo porque el sustituto fallo, pues si un equipo no se

encuentra en condiciones de trabajar adecuadamente, este fallará y operaciones no podrá disponer de ella hasta que hayan terminado los trabajos de restauración. Pero programando las tareas, se puede llegar a ejecutarlas en forma secuencial, cuando existan periodos bajos de producción (Klimasauskas, Ruben Eduardo, 1990).

En general con una buena programación se elimina la improvisación que siempre resulta costosa por:

- Falta de materiales.
- Falta de personal adecuado.
- Falta de conocimiento de la falla.

1.1.3 Mantenimiento predictivo o según condición

Consiste en el conjunto de tareas destinadas a determinar la condición operativa de los equipos, midiendo las variables físicas y químicas más importantes con el objeto de predecir anomalías y corregirlas usando para tal fin instrumentos y sistemas de diagnósticos.

Constituye la aplicación de la tecnología en el proceso de detección temprana para verificar y detectar cambios en condiciones lo que permite intervenciones más oportunas y precisas. A diferencia de las prácticas de mantenimiento preventivo, el estado de un activo puede conocerse sin necesidad de desmontajes y sin desarmar. Además permite monitorear y analizar la tendencia del equipo analizado, sin sacarlo de la línea operativa.

Las ventajas del mantenimiento predictivo son:

- *Las propias del mantenimiento preventivo*: al evitar paradas por fallas.
- *Mayor disponibilidad de activos*: esta ventaja es por partida doble, ya que en primer lugar sortea las correcciones (mantenimiento correctivo) pues analiza el comportamiento de un componente a lo largo del tiempo sin dejar que este

colapse. Por otra parte este mismo monitoreo evita que se desarme un componente para ver su estado, sino que éste ya se conoce sin desmontajes previos. Cuando se desarma el mecanismo se conoce cuáles son las piezas susceptibles de cambio.

- *Menores costos de mano de obra y materiales:* la mano de obra extensiva es mucho menos.
- *Reduce horas extras, paradas imprevistas y tiempos de mantenimiento.*
- *Elimina inspecciones periódicas programadas que incluyen desmontajes.*
- *Elimina pérdidas de producción.* Si un activo disminuye sus paradas por mantenimiento estará disponible para su uso. Por lo que sí es operado adecuadamente la producción y la calidad deseada se alcanzarán sin problema.

Las desventajas del mantenimiento predictivo

- *Altos costos de implementación:* Las herramientas que se usan para el mantenimiento predictivo poseen un elevado costo, aunque en muchos casos se contratan servicios de predicción.
- *Altos niveles de capacitación y entrenamiento:* No cualquier operario está capacitado para ejecutar y/o implementar trabajos predictivos, por lo que debe invertirse en capacitar y entrenar al personal que estará involucrado.
- *No es aplicable a todos los componentes del activo:* No todos los activos ni todos sus componentes ameritan un mantenimiento predictivos.
- *Largos periodos de implementación y puesta a punto:* Tanto la adquisición de las herramientas como la capacitación del personal lleva su tiempo. A este último se debe sumar el tiempo necesario para que el nuevo sistema de mantenimiento se afiance como práctica corriente.

Lo analizado permite deducir que debe existir un criterio que determina la necesidad de ejecutar tareas o trabajos de mantenimiento, tales como síntomas de mal funcionamiento durante el periodo normal de producción de una máquina, novedades que surgen durante las inspecciones de manera tal que puedan reducirse las intervenciones sobre los equipos, pues no debe olvidarse el lucro cesante de mantener una máquina fuera de

servicio por las tareas de mantenimiento. De esta manera se habrán alcanzado varios de los objetivos que persigue un sistema de mantenimiento predictivo, tales como reducir el número de paradas por mantenimiento, reparaciones de emergencia como así también aquellas de elevado costo sobre todo por causas que podrían evitarse en caso de mediar un plan.

Por otra parte, siempre que se habla de inspecciones, se asocian éstas con el mantenimiento preventivo, pero existen inspecciones netamente predictivas, por ejemplo la medición de vibraciones de un apoyo: por esta prueba se podrá conocer el estado del cojinete que soporta el eje; El estudio de temperatura en cabezas de cilindros de un motor de combustión interna. La diferencia radica en que no es necesario el desarmado o desmontaje de un componente. Entonces, en un activo, ¿Qué tipo de mantenimiento debe aplicarse? La respuesta es; una combinación de los diferentes tipos de mantenimientos que se detallaron. Pero esta mezcla debe ser tal que cada componente del activo sea sometido a las prácticas justas que hagan posible su disponibilidad en tiempo y forma en el proceso productivo. El preventivo, como cambio de consumibles tales como lubricantes, filtros, correas según indicaciones del fabricante. Y el correctivo en elementos tales como sensores de temperatura, tornillos de fijaciones (no los de tapa de cilindro ni de partes vitales del motor), termostatos, etc. En otras palabras, para dar el mantenimiento adecuado es el mantenimiento justo a la medida del activo, teniendo en cuenta su función, por lo que se descartan políticas genéricas de mantenimiento y algo muy importante: no se necesitan de datos de fallas anteriores, sino que debe aceptarse el mantenimiento como una disciplina de trabajo que debe convivir y manejarse junto con la incertidumbre, la mayor aproximación a la realidad lo proveen las probabilidades de falla según una determinada distribución de probabilidades (Klimasauskas, Ruben Eduardo, 1990).

1.2 Estructuración de un plan de mantenimiento en minería.

Existe un principio de tomar el mantenimiento como una función estratégica de la empresa. Dicho principio es aumentar la rentabilidad de la organización. En la doctrina tradicional, el objetivo del mantenimiento era reducir sus costos. Con la nueva concepción, la reducción de costos es un medio y no un fin. Las funciones existentes en la organización tienen su sentido y un objetivo que es aumentar la rentabilidad de la empresa. En este contexto, el mantenimiento debe integrarse, es decir ser orientado a los negocios. De esta manera, el objetivo a cumplir es la mantener la competitividad. Para lo cual debe tenerse en mente el objetivo a cumplir, que es la Competitividad. La calidad es un componente o factor clave para mantener la competitividad. Claro está que la calidad debe ser obtenida a un costo que justifique un precio de mercado competitivo, es decir el que los clientes están dispuestos a pagar por el producto o servicio. De esta manera, definimos el factor productividad dicha productividad no puede hacerse a costas de aspectos tales como la seguridad y cuidado del medio ambiente y sin aprovechamiento eficiente de la energía, Esta integración de tareas debe ser observada como una característica inherente al trabajo o forma de hacer las cosas y debe constituirse como parte del producto o servicio ofrecido. Si se desea que un grupo de activos provea una alta calidad al producto o servicio, de acuerdo con los niveles de producción deseados usando racionalmente la energía sin descuidar la seguridad y cuidado del medio ambiente, el activo debe funcionar adecuadamente, es decir, debe ser confiable. Esto significa añadir otro factor que concentra todos los anteriores, la Confiabilidad, **La confiabilidad se logra con un adecuado mantenimiento, Ver figura N°3.**

Figura N°3 Esquema de estructura de un plan de mantenimiento

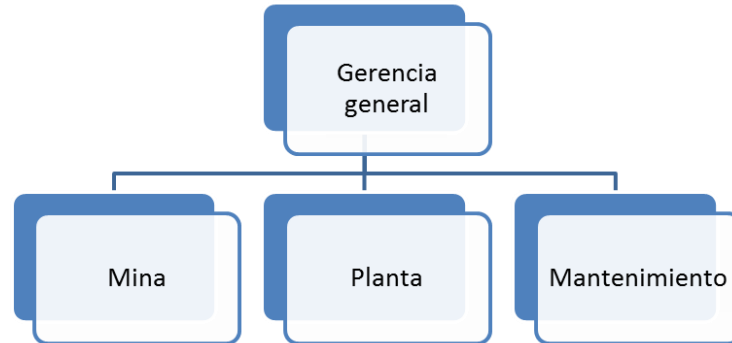


Fuente: (Klimasauskas, Ruben Eduardo, 1990, pág. 22)

En las empresas mineras, suelen darse dos tipos de estructuras, independientes del tipo de organización, sea ésta piramidal o matricial:

Mantenimiento y producción (planta concentradora o de proceso y mina propiamente dicha) dependen en forma directa de la gerencia general, ver figura N° 4.

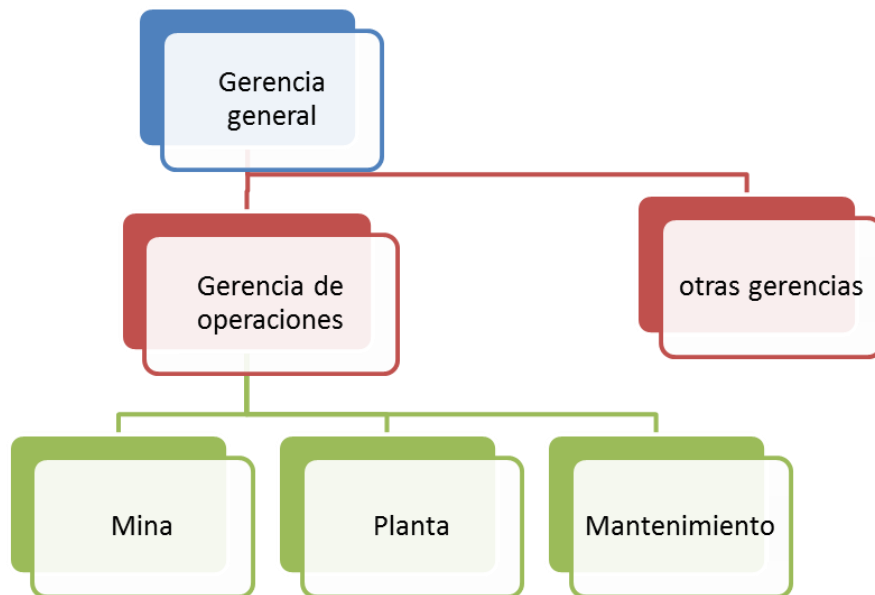
Figura N°4 Esquema organizacional piramidal en la minería, en que mantenimiento depende de gerencia general



.Fuente: (Klimasauskas, Ruben Eduardo, 1990, pág. 22)

Mantenimiento y producción dependen de la Gerencia y/o Dirección de operaciones, éstas a su vez del director o Gerente General.

Figura N° 5. Esquema organizacional piramidal en la minería en que mantenimiento depende de gerencia de operaciones



Fuente: (Klimasauskas, Ruben Eduardo, 1990, pág. 22).

En ambos casos, existe un denominador común: Mantenimiento y Producción se encuentran al mismo nivel jerárquico. Es decir los niveles de decisiones de producción y mantenimiento son equivalentes. Esto da una clara idea del reposicionamiento del mantenimiento en el organigrama industrial. Lo expuesto es entendible si se tiene en cuenta que el presupuesto que maneja mantenimiento aumenta cada día y en las empresas mineras, muchas veces es el primer presupuesto o a lo sumo, el segundo. Además en muchos casos específicos la operación de equipos mineros depende de la gerencia o Superintendencia de Mantenimiento, que en muchos casos se denomina Gerencia o superintendencia de Servicios. Por lo tanto, si la operatoria extractiva depende de servicios, esta sección no sólo debe entregar los activos en condiciones de operación, sino diagramar su logística. Muchos establecimientos mineros deben producir su energía eléctrica, y la generación que antiguamente era una gerencia o superintendencia independiente, se transformó en una sección de Servicios. Por otra parte, los establecimientos mineros son pequeñas ciudades “en medio de la nada” por lo que tienen edificios, caminos, sistemas de provisión de agua potable, mantenimiento de edificios, alumbrado público, etc. La tendencia es agrupar todas estas secciones bajo la gerencia o superintendencia de Servicios, lo que no significa que sea esta sección la ejecutora de todas las obras, sino que debe controlar la marcha y la confiabilidad de operación de cada uno de los ítems que están a su cargo. *Existe una importante herramienta que es la tercerización y, usada adecuadamente, es una medida eficaz para aumentar la efectividad de los trabajos y con ello, la rentabilidad de la empresa.*

1.3 Descripción general de procesos de mantención en estudio que son parte de este proyecto de tesis.

Para el proyecto de tesis propuesto se han identificado dos activos críticos como la Palas de carguío y la planta de Chancado. La Palas de carguío son activos críticos para el cumplimiento del material movido dentro de una faena minera, mientras que el área desde Chancador Primario hasta apilamiento es la etapa inicial de una planta de procesamiento de mineral.

En el caso de una Pala de carguío, las disponibilidades esperadas son de 80% a un 83,5% aproximadamente y los costos asociados representan el 8% del presupuesto total de la Gerencia General Mina.

En el caso de un Chancador Primario, Chancador secundario y terciario y la etapa de apilamiento, las disponibilidades esperadas son de 93% aproximadamente en cada etapa y los costos asociados al mantenimiento de la planta de chancado representa aproximadamente el 40% del presupuesto total de la gerencia de mantenimiento planta y el 5% del presupuesto total de la compañía. (Fuente: Budget presupuestario 2013)

En esta tesis se hará referencia a los procesos de mantenimiento planta área seca, en base a las actividades principales que corresponden a los realizados en Compañía Minera Lomas Bayas.

También se hará referencia a los procesos de mantenimiento de equipos mina, específicamente a la mantención de palas electromecánica de la flota de Minera Escondida Limitada.

1.3.1 Mantenimiento en planta de procesos

Esta área está encargada del mantenimiento general de los equipos de la planta, dividiendo el área en dos importantes secciones, *planta seca compuesta por el Chancador primario hasta apilamiento, planta húmeda compuesta por el área de lixiviación hasta la máquina despegadora de cátodos y transporte de agua.*

1.3.1.1 Procesos en área seca de planta

El proceso compuesto por las áreas de chancado y apilamiento es llamada área seca y principalmente se compone de dos chancadores primarios que alimentan al chancado secundario, principalmente desde el nuevo Chancador primario de la mina Fortuna. La planta opera con un Chancador secundario y dos terciario, los que descargan a una única correa de alimentación al área de apilamiento, compuesta de correas fijas y de un gran número de correas móviles portables para alcanzar los pisos superiores de las pilas que tienen una configuración de pila fija.

1.3.1.2 Proceso de Alimentación

La alimentación de mineral desde la mina es de aproximadamente 41,000 ton/día, y para este efecto hace uso de los equipos de carguío y transporte en la operación mina.

1.3.1.3 Planta de Chancado – Apilamiento

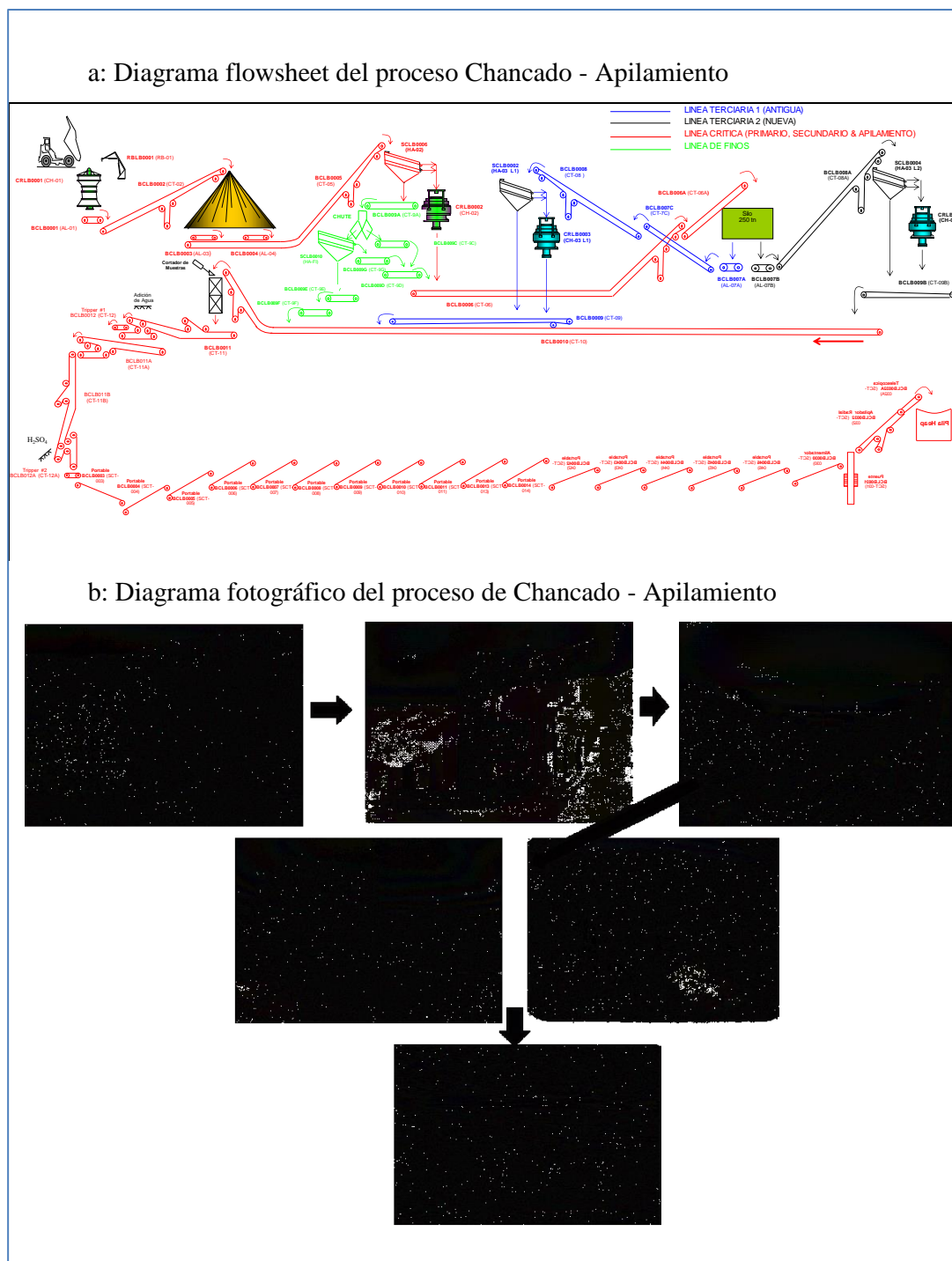
En la figura N°6, se entrega el diagrama de flujos que describe la Planta de Chancado. El mineral de baja ley extraído de la mina es transportado en camiones tolva de alto tonelaje hasta la zona de alimentación del Chancador primario a razón de 41,000 ton/días. El producto del chancado primario es transportado por las correas a un silo de acopio con capacidad para 8,000 toneladas vivas. (Anonimo, Descripción del proceso productivo Lomas Bayas, 2010)

El área del chancado fino se compone por un Chancador secundario y dos terciario, que operan en circuitos abierto con los harneros secundarios, terciarios y finos. El mineral es descargado desde el silo a través de una correa, la que alimenta al harnero secundario. El mineral bajo tamaño de este harnero (60 - 70 % en peso), es descargado sobre la correa transportadora y el mineral sobre tamaño alimenta al Chancador secundario. El mineral fino es descargado sobre un harnero doble deck, denominado harnero fino, el cual separa tamaños bajo 25 mm directo hacia apilamiento y el grueso se junta con el mineral de descarga del Chancador secundario que alimenta a una tolva compensadora a través de correa. La descarga de la tolva transporta a los dos circuitos terciarios descargando en

un harnero doble deck, los cuales separaran el material bajo 25 mm directo a apilamiento y el grueso pasa por el Chancador terciario a través de correas. Este harnero clasifica el mineral descargando el bajo tamaño sobre una correa transportadora y el sobre tamaño al Chancador terciario. Finalmente, el Chancador terciario descarga el mineral sobre correa y ésta transfiere la carga a otra correa transportadora la que a su vez transfiere la carga a la última correa de este circuito. La capacidad máxima de la planta es de 2,500 ton/hora y la granulometría que adquiere el mineral después del proceso de chancado se caracteriza por tener un 85 % bajo ¾” y 5 % bajo la malla # 200. (Anonimo, Descripción del proceso de gerencia Lomas Bayas., 2010)

Los siguiente dos diagramas muestran; el primero un tipo flowshett del proceso de la planta de chancado hasta apilamiento con el detalle de las líneas de chancado secundario y terciarios, el segundo diagrama muestra el proceso en fotos de la misma planta.

Diagrama N°1 Proceso de Chancado - Apilamiento



Fuente: Manual de Operaciones Planta CMLB. (Anonimo, Descripción del proceso productivo Lomas Bayas, 2010)

1.3.2 Mantenimiento mina

El **área de mantenimiento mina** está encargada de las mantenciones y reparaciones de los equipos de la mina, además de equipos como, luminarias, compresores portátiles, generadores eléctricos, mini cargadores, cargadores frontales, tractores sobre oruga, camiones de servicio, grúas, vehículos de emergencia (carro bomba, rescate y ambulancias).

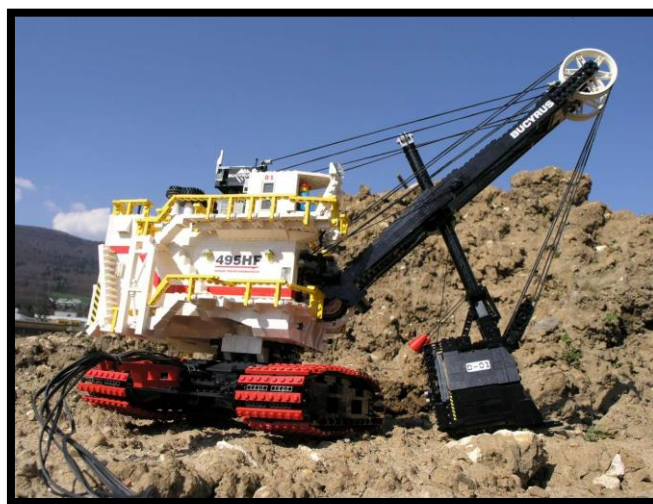
También tiene a su cargo la mantención de las Palas electromecánicas, palas hidráulicas, camiones de extracción, cargadores, motoniveladoras, camiones aguadoras, tractores, grúas y los camiones pluma.

1.3.2.1. Palas electromecánicas

Las palas de la minería, son maquinarias modernas de gran tamaño y peso, cuyos baldes son capaces de mover entre 115 A 120 toneladas de mineral de una sola vez (modelo P&H 4100 XPC). Estas palas son eléctricas y su potencia la obtienen conectándose al tendido de alta tensión o a camiones generadores de electricidad.

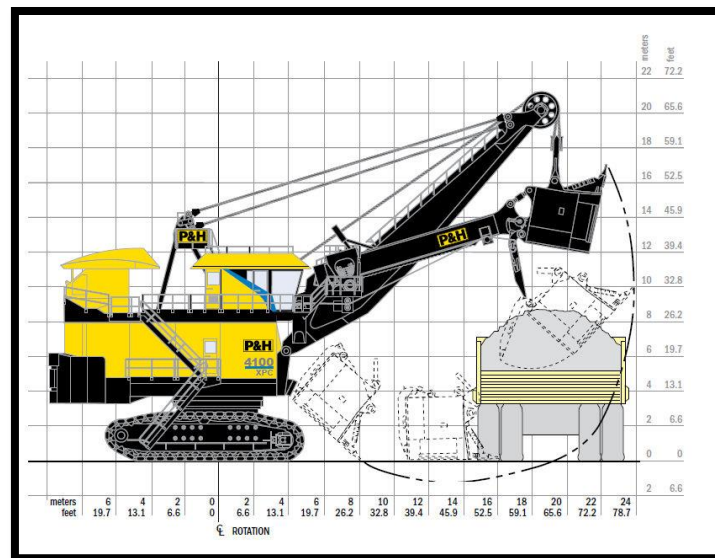
Las palas en general, constan de tres unidades principales: la maquinaria inferior, el puente giratorio y el equipo frontal.

Figura N°6 Pala electromecánica modelo Bucyrus 495 HF



Fuente: Elaboración propia..

Figura N°7 Pala electromecánica modelo P&H 4100 XPC



Fuente: Elaboración propia.

La maquinaria inferior sirve de base para el bastidor rotatorio y contienen el equipo necesario para propulsar la pala. El puente giratorio incluye, el bastidor rotatorio, el depósito de lastre y la sala de máquinas, conteniendo esta última, toda la maquinaria necesaria para las funciones de levante, giro y empuje, como asimismo, los controles para comandar las operaciones mecánicas. La sala de máquinas dispone además, de un sistema filtrador de aire para reducir al mínimo la acumulación de calor y polvo en su interior. La cabina del operador va montada en posición elevada sobre la casa de máquinas y contiene todos los controles para operar la pala.

El equipo frontal, ubicado en la parte delantera de la pala, comprende el mango, el balde excavador, el brazo del balde, la pluma, los cables móviles y los tirantes estructurales de la pluma.

Las palas electromecánicas tienen un funcionamiento bien característico. Están compuestas de varias maquinarias o transmisiones mayores, donde cada una de éstas se

podría describir como una gran caja reductora, ya que a través de una configuración de varios engranajes, reducen la velocidad de giro que entrega un motor eléctrico, para transmitir la potencia a unos tambores que enrollan unos cables o a los ejes motrices para el desplazamiento. Estas maquinarias mayores dan las funciones de levante, giro, empuje y propulsión.

1.3.2.2 Maquinaria de levante (Hoist).

La máquina de levante es la encargada de elevar o bajar el balde. Para eso, acciona un motor eléctrico y a través de un tren de engranajes, acciona un tambor que enrolla los cables de acero que van hacia el balde y la pluma.

La maquinaria de levante la constituye, un motor eléctrico, un tren de engranajes, freno del tipo de disco y de un interruptor limitador que evita que el extremo del balde tope con las poleas del extremo superior de la pluma.

El tren de engranajes está compuesto por un eje motor que va unido, a través de una acoplamiento, al motor eléctrico. Este eje tiene un piñón helicoidal de doble sentido, que engrana con el eje intermedio, que acciona el engranaje intermedio. Este último engranaje, acciona al engranaje de levante que va unido al tambor de levante.

1.3.2.3 Maquinaria de empuje (Crowd).

La máquina de empuje o sistema crowd, es la encargada de empujar o recoger la pluma. Para eso, acciona un motor eléctrico y a través de un tren de engranajes, acciona un tambor que enrolla los cables de acero que van hacia el caballete "A" y la pluma.

La maquinaria de empuje la constituye un motor eléctrico, un tren de engranajes, freno del tipo de disco y de un interruptor limitador, que previene y/o reduce los impactos

entre los topes del brazo del balde y el caballete de soporte, al empujar o retraer el sistema.

El tren de engranajes está compuesto por un eje motor que va unido, a través de una acoplamiento, al motor eléctrico. Este eje tiene un piñón helicoidal simple, que engrana con el primer eje intermedio que acciona al primer engranaje intermedio. Esto se repite con el segundo eje intermedio y acciona al engranaje del tambor que está en el tambor de empuje. El esquema muestra el detalle de una maquinaria de empuje.

1.3.2.4 Maquinaria de giro (Swing).

La máquina de giro o sistema swing, es la encargada de hacer girar el puente sobre la maquinaria inferior. Para ello la pala tiene una unidad de giro a cada uno de sus costados. Estas dos unidades son idénticas, exceptuando la posición del motor de giro en cada caja de engranajes.

La maquinaria de giro, se compone de un motor acoplado al eje intermedio que va a una caja de engranajes tipo normal o tipo planetarios, la que a su vez acciona el eje vertical. El motor lleva montado un freno del tipo de disco.

1.3.2.5 Maquinaria de propulsión (Propel).

La maquinaria de propulsión o sistema propel, se compone de dos unidades separadas, una de las cuales acciona la oruga derecha y la otra la oruga izquierda. Cada una de estas unidades consiste en un motor acoplado a una caja de engranajes tipo normal o tipo planetarios, la que a su vez acciona el eje de mando de la rueda motriz de la respectiva oruga. Cada motor lleva montado un freno del tipo de disco, y un soplador común proporciona aire de enfriamiento a ambos motores

Esta transmisión es la menos usada en comparación a las otras transmisiones, pero es la que más "sufre" cuando se utiliza, debido a la gran masa que mueve.

Las fallas características de estos elementos en las palas, son debido al ambiente adverso en que trabaja. En general, los rodamientos y engranajes fallan por una temprana fatiga, debido a las partículas duras de polvo que están entre las pistas de rodaduras, en los rodamientos, o en los flancos, en los engranajes. También, la suciedad produce desbalanceamiento en los motores eléctricos. Otro motivo de falla es por la lubricación inadecuada, ya que el aceite, y la grasa en general pierden sus propiedades, debido a la suciedad o a la contaminación con agua.

CAPITULO II METODOLOGIA

2.1 Formulación General

El objetivo general del proyecto es evaluar y analizar la variabilidad de las variables asociadas al proceso de mantenimiento, como la disponibilidad, confiabilidad, mantenibilidad, costos, duración de las actividades de mantenimiento, etc. de acuerdo a una metodología propuesta para encontrar prácticas que garanticen la sustentabilidad y sostenibilidad de los activos teniendo en cuenta que las empresas tienen recursos escasos y deben ser utilizados de forma eficiente para responder a las exigencias operacionales y al cumplimiento de los planes de producción

En base a lo anterior, el alcance de este proyecto de tesis comprende la evaluación de procesos de mantenimiento de una pala minera que opera en la etapa de carguío y una planta de chancado que es la etapa inicial de un proceso de tratamiento de mineral.

2.2 Antecedentes Preliminares del Tema.

Normalmente los planes de producción de mina y procesos planta dependen de varios factores claves para el buen cumplimiento de los planes de negocios como por ejemplo, la disponibilidad, utilización y rendimientos de los equipos móviles de mina y de los equipos fijos de la planta de procesos, siendo éstos conocidos como activos físicos, y también depende de los activos humanos para la correcta mantención, utilización y uso.

En general la administración de activos tiene por beneficio proporcionar, entre otros (PAS 55-1, 2008 p. v):

1. Satisfacción mejorada del cliente a partir de un desempeño mejorado y el control del producto o la entrega del servicio con los estándares requeridos.
2. Salud, seguridad y desempeño ambiental mejorados.

3. Retorno sobre la inversión y/o crecimiento.
4. Planificación a largo plazo, confianza y sostenibilidad del desempeño.

Una estructura de gestión de mantenimiento, contiene generalmente procesos claves como para el desarrollo de sus actividades, por ejemplo: Evaluación de la criticidad del equipo, definición de la estrategia, proceso de planificación y programación, ejecución del trabajo y revisión del rendimiento del equipo. A continuación se mencionan los procesos de soporte que interactúan regularmente con la gestión de los activos: Manejo de los Riesgos de Seguridad y del Negocio, Administración de la Confiabilidad, Administración de Materiales y Servicios, Administración de la Calidad de Mantenimiento, Administración de los Costos de Mantenimiento, Administración de Personas, Administración de la Configuración y Administración de Mejora Continua.

La naturaleza competitiva de la industria en aumento requiere de nuevas medidas para reducir de manera drástica los costos operativos. A su vez, las mejoras de la administración de los activos resultan cuando los que están involucrados, comprenden verdaderamente qué debe realizarse y cómo deben hacerlo. De esta manera la Administración de los activos es una guía para ayudar a las organizaciones industriales a prepararse para los desafíos competitivos y así crecer en rentabilidad.

Un proceso de mantenimiento tiene indicadores de gestión claves de resultados como la Duración de las actividades que impacta directamente en la Disponibilidad y Confiabilidad, Costo, Calidad y Seguridad, entre otros, y que la administración y gestión de los activos debe mantener en control. Este proyecto de tesis se enfocará en algunos para una pala y una planta de chancado, como por ejemplo; la Duración de las actividades ya que de este indicador depende el uso y cumplimiento del plan de producción, el costo total de mantenimiento ya que el 70% del costo total son los

servicios de terceros y los repuestos, y la Seguridad por ser el indicador clave del desarrollo sostenible.

2.3 Duración

La duración de cualquier actividad de mantención normalmente está calculada sobre los promedios que estas mismas han durado en ocasiones anteriores, promedios históricos son usados para reestimar nuevos tiempos de duración de las tareas, en ellas no se considera:

- .- Rotación de personal
- .- Nuevas Empresas de Servicio
- .- Modificaciones de equipos.
- .- Crecimiento de la Mina, (traslados, desplazamientos, etc.).
- .- Nuevas distancias de traslado por crecimiento de espacios.
- .- Nuevos Equipos

Al ser calculada la duración de una tarea como el promedio de las duraciones históricas deja varios sesgos fuera del cálculo mencionadas anteriormente. Lo ideal, es aplicar alguna herramienta estadística que permita estudiar los tiempos optimistas y pesimistas para lograr ingresar alguna desviación estándar que represente un valor de duración con una cierta representatividad del proceso duración de la actividad.

“Además la duración de un proyecto estará definida por la duración de sus tarea críticas colocadas en orden lógico serie” (Amendola 2007, p. 91).

2.4 Alcance

“Esta fase responde a las preguntas ¿Qué? y ¿Por qué? (Amendola, 2007, p.67)

El alcance es otra de las variables claves en la administración de un proyecto, puede convertirse en un aliado si se administra bien o en un enemigo si se hace mal, lo que sucede normalmente es que se establece un alcance de la actividad que a medida que se

avanza en el trabajo se modifica y altera lamentablemente, siempre en el sentido de aumentar el trabajo y no de disminuirlo, esto es producto de estimaciones mal realizadas por:

1. Inspecciones inadecuadas
2. Inspecciones extemporáneas
3. Falta de una visión global de estrategia de equipos.
4. No participan todos los involucrados en las reuniones de coordinación ocasionando falta de información al momento de hacer las planificaciones.
5. Insuficiente tiempo para planificar.
6. Falta de rigurosidad en el cumplimiento de las etapas de determinación del alcance y confirmando el alcance.

Sin duda que la falta de disciplina en el desarrollo de todas estas actividades, sumadas a la falta de conocimiento experto del área de planificación, harán que un proyecto falle si no se consideran estos factores, por otro lado, si se consideran y evalúan con rigurosidad, esta etapa del proyecto será robusta y ayudará a las otras a cumplir con su objetivo.

2.5 Costos

La tercera variable a considerar en la formulación de un proyecto es el costo, después del alcance y la duración, ya que son las que afectan la curva de análisis de gastos, una estimación mal realizada hará que se hagan tareas que originalmente no estaban consideradas o que se agreguen grandes gastos en reparaciones, compras de insumos y componentes no evidenciados en las etapas previas de la planificación, por otro lado la duración del proyecto también afecta la curva de los costos ya que el atraso en las tareas o la realización de nuevas considera la utilización de recursos, equipos, materiales e insumos, sin considerar si existen contratos que pudieran tener multas por atrasos o indicadores de rendimientos.

2.6 Calidad y Seguridad

La palabra Calidad se define “como la totalidad de las características de una entidad que le confieren la aptitud para satisfacer necesidades establecidas o implícitas, el Control de calidad se refiere a los medios operacionales para cumplir los requisitos de calidad, mientras que Aseguramiento de la calidad tiene por objeto dar confianza en su cumplimiento, ambos dentro de la organización y externamente a los clientes y autoridades” (NCh. 9000., p23).

El proceso de control de calidad de una actividad de mantención es fundamental para evitar fallas futuras una vez que el equipo está en producción, se pueden visualizar claramente tres etapas:

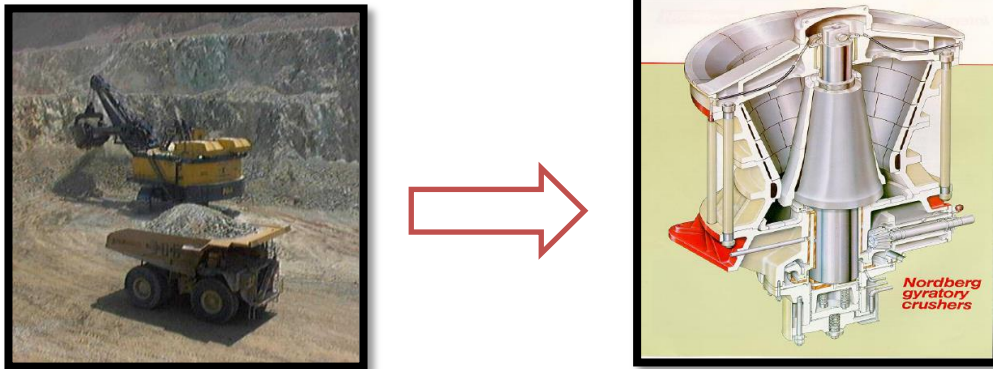
QI (quality inspection), el control de calidad en función de las inspecciones es uno de los métodos y etapas más frecuentes en la mantención y donde se determinan la mayoría de la tareas a ejecutar ya que normalmente los parámetros a considerar son las horas operativas reales versus las horas del presupuesto, pero también se debe considerar el estado físico del equipo ya que puede haber sido afectado por daños operaciones o mal uso del activo. Otro de los procesos fundamentales en la calidad es QC (quality control), aquí se diseñan, aplican y gestionan todas las matrices de calidad aplicadas a los procesos de mantención y, como última etapa de la calidad; se encuentra el QA (quality assurance), que es la etapa donde se examinan los procesos para asegurar el control de calidad aplicado en cada caso.

2.7 Identificación del Problema

Los factores que impactan sobre los resultados operacionales que ponen en riesgo la continuidad operacional y el plan estratégico de la compañía son variados, pero uno de los que afecta la utilización y uso de los activos y por lo tanto el cumplimiento de los planes de producción es la gestión de mantenimiento representada por la disponibilidad del equipo, otras pueden ser la falta de competencias de quienes se desempeñan o

realizan los trabajos de mantenimiento, falta de recursos para la tarea, ausencia de procedimientos, estándares o pautas de trabajo, falta de control de la calidad del trabajo, etc.

Figura N°8 Vista general de pala electromecánica Figura N°9 chancador primario



Debido a lo anteriormente expuesto, la interrogante que da lugar a esta investigación es: ¿Cuáles son los factores que afectan el cumplimiento de los indicadores claves de la gestión del mantenimiento y cuáles pueden ser las prácticas que se identifiquen para mejorar la gestión de los activos analizados?

2.8 Objetivo general y objetivos específicos

Cuantificar, Medir y Evaluar mediante herramientas estadísticas, la variabilidad de la DISPONIBILIDAD de equipos mineros, producidos por detenciones programadas, imprevistas y operacionales que puedan generar desviaciones en el proceso productivo.

2.9 Objetivos Específicos

- 1.- Describir los procesos generales en que se desarrollan tareas de mantenimiento de equipos.
- 2.- Realizar el análisis de los procesos mencionados, la variabilidad de las principales variables de interés y una propuesta de acciones de mejoras para el proceso estudiado.

3.- Desarrollar estrategias mediante un plan de buenas prácticas, para mejorar el desempeño de los activos como son: una pala electromecánica y un proceso de chancado y apilamiento.

2.10 Método de trabajo

La metodología propuesta a utilizar para el análisis del proceso y del re-diseño del proceso, una vez mejorado, es de la forma DMAMC, que significa Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar, la cual es ampliamente utilizada en el mejoramiento de procesos que tiene como base la metodología PDCA, que significa Planificar, Hacer, Comprobar y Actuar (Deming,1989).

En general la metodología considera lo siguiente:

1. Elaborar el plan de trabajo, los alcances, objetivos generales, la metodología de trabajo, roles y responsabilidades de los miembros del equipo.
2. Revisar existencia de los modelos de gestión de activos implementados si es que existen, las prácticas utilizadas y recursos para su implementación.
3. Analizar la aplicación y factibilidad de la aplicación de las normas disponibles.
4. Crear un conjunto de indicadores (KPI) de control y medición que sean aplicables a las operaciones mineras analizadas.
5. Definir y preparar plan de buenas prácticas en los procesos de planificación, ejecución, análisis y control de los procesos mineros.
6. Generar un plan de trabajo de corto y largo plazo para la implementación de las prácticas (comparar nuevo modelo con antiguas prácticas desde una perspectiva integral físicas, humanos financieros, de información y sociales).
7. Evaluar la implementación, concluir y generar las observaciones encontradas.

2.11 Estructura Preliminar de la Investigación

Optimizar las actividades y prácticas en la mantención de activos mineros utilizando PAS55-1 2008 como guía para generar estrategias, objetivos y planes de gestión de activos en palas de carguío y planta de chancados.

Capítulos:

Capítulo 1: Marco teórico

Realizar requerimientos de información a cada empresa.

Analizar la información disponible.

Concluir tipo de antecedentes disponibles.

Capítulo 2: Metodología de Análisis

Propuesta de análisis para la evaluación de los procesos.

Capítulo 3: Análisis de los procesos y discusión

Aplicar metodología de análisis de la variabilidad de los procesos

Analizar causas comunes en cada sitio.

Contrastar con metodología según PAS55.

Conclusiones

Bibliografía

Anexos

CAPÍTULO III: ANÁLISIS DE LOS PROCESOS Y DISCUSIÓN

El análisis de los datos disponibles para el desarrollo de este capítulo se obtiene de los registros diarios que se recolectan en mantenimiento y operaciones para informar de los indicadores principales de los procesos analizados. Los resultados del análisis realizado se muestran para dos procesos que fueron definidos como claves para los propósitos del negocio y de este proyecto de tesis, como son; mantenimiento mina (que considera las etapas de perforación, carguío y transporte) y mantenimiento planta de procesamiento de minerales (nombrada como planta de chancado) compuesta por los sub-procesos de chancado primario, chancado secundario – terciario y el área de apilamiento. En el primero de los casos analizados se focaliza el análisis en el desempeño de una Pala Eléctrica y en el segundo caso se focaliza en el desempeño de una planta de chancado.

Al final del análisis es posible identificar bandas de operación para las condiciones definidas cuando la variable disponibilidad Cumple y NO Cumple los requerimientos de producción.

3.1 Análisis de la variabilidad de la disponibilidad de la planta de chancado

Este capítulo se centra en la medida del rendimiento de los procesos estudiados y fundamentalmente considera los datos para evaluar el rendimiento actual del proceso frente a los requisitos del cliente y desarrollar una metodología en base a la definición de defectos y la variabilidad para el análisis del proceso e identificar oportunidades de mejoras.

Para el análisis del desempeño del mantenimiento en una planta de chancado se utilizan los registros diarios para el primer semestre del año 2013, o sea, desde el 01 de Enero del 2013 hasta el 14 de Junio del 2013, donde cada variable es medida en las 24 horas del turno, y el análisis puede ser expandible a nuevos períodos si es necesario. Antes de revisar los resultados del análisis y de la aplicación de la metodología se define algunas variables de interés y los límites de éstas.

- Producción diaria de Apilamiento (tpd): 39000 <TPD<50000

- Disponibilidad Apilamiento (%): 89,9 $<D \leq 100$, esta disponibilidad equivale a una cantidad de horas disponibles para el uso de los equipos por parte de operaciones.
- Horas disponibles (horas): 21,5 $< \text{hrs} < 24$
- Rendimiento (tph): 2000 $< \text{t/h} < 2500$

El primer análisis es una medida de la capacidad de la planta de chancado para cumplir con el requerimiento de producir 39000 tpd o más. La técnica utilizada es la medición de los días en que la planta cumple o no el requerimiento de producción y se nombre como día defectuoso aquellos días en que la producción es menor a 39000 tpd. Para hacer uso de esta técnica es necesario definir algunas métricas para datos discretos (Fuente: Curso Estadística y Minitab CMCC: Hector Varela U de Antofagasta):

- Defecto: Cualquier característica que no cumple con los requisitos del cliente o que crea una inconformidad, cada vez que el proceso opera fuera de los límites diseñados o no sigue los procedimientos.
- Unidad: Elemento (grupo) por el que se cuentan los defectos. Una unidad de volumen de salida hacia el cliente.
- Oportunidad: Cantidad de posibilidades de no cumplir con los requisitos del cliente. (Cantidad de especificaciones dadas por unidad)

Para el cálculo de las métricas se utilizarán las siguientes relaciones:

D: Número de defectos

U: Número de unidades

O: Oportunidades para el defecto

*TOP = U * O: Total de Oportunidades*

$DPU = \frac{D}{U}$: Defectos por unidad (promedio)

$$DPO = \frac{DPU}{O}: \text{Defectos por total de oportunidades}$$

$$DPMU = DPU * 10^6: \text{Defectos por millón de unidades}$$

$$DPMO = DPO * 10^6: \text{Defectos por millón de oportunidades}$$

$$Y = [1 - (DPMO/10^6)]: \text{Rendimiento}$$

La base de datos utilizada consta de 165 días y para el caso de la Producción de la planta de chancado ha sido nombrado cada día de operación como Cumple y No Cumple el requerimiento de la producción, en base a lo anterior, los resultados son:

$$D = 88$$

$$U = 165$$

$$DPU = 0,53$$

$$DPMU = 533000$$

$$DPO = 0,17$$

$$DPMO = 170000$$

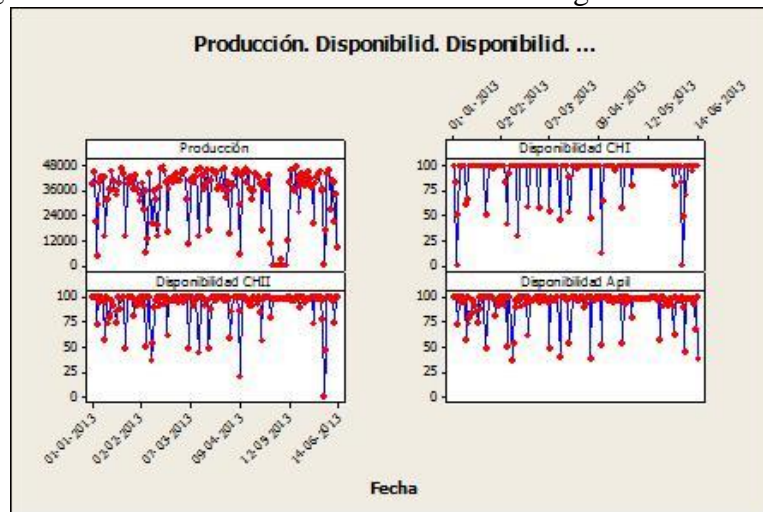
$$Y = 57\%, \text{ rendimiento en el período observado}$$

El mismo ejercicio puede ser realizado para las otras variables de interés como son Disponibilidad en %, tiempo de operación en horas y el rendimiento de la planta en tph.

Los datos disponibles permiten realizar otro tipo de análisis que servirán para identificar oportunidades de mejora en el proceso con el fin de mejorar la variabilidad y dar sostenibilidad al cumplimiento del plan de producción. La primera herramienta utilizada es una serie de tiempo que muestra el comportamiento de las variables indicadas a lo largo del período de análisis.

3.10.- Comportamiento del proceso de chancado – Apilamiento

Figura N°10 Resultado análisis en Minitab 15 English

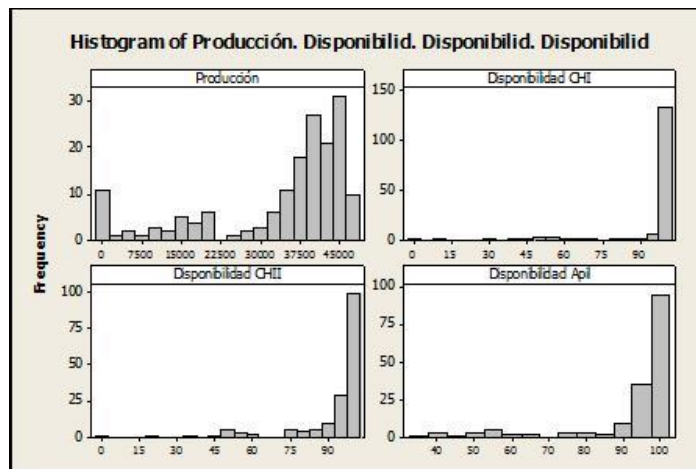


Fuente:, Elaboración propia.

La primera observación a esta gráfica muestra que existe variabilidad en cada una de las variables lo que permite focalizar el análisis en las disponibilidades de las áreas de chancado secundario – terciario y de apilamiento, puesto que se observa la mayor variabilidad como se puede apreciar en los histogramas siguientes.

3.11.- Distribución de datos en el período.

Figura N°11 Resultado análisis en Minitab 15 English



Fuente:, Elaboración propia.

De aquí en adelante se muestran los resultados derivados del análisis de los datos del área de apilamiento, puesto que el proceso de chancado y apilamiento es prácticamente un proceso en serie y cualquier evento que ocurra afecta directamente al resultado esperado del negocio, y que es transportar el mineral recepcionado en el chancado primario y depositarlo en las pilas.

Diariamente, el desempeño de la planta está sometida a varios factores que atentan al cumplimiento del desempeño esperado, siendo estas las actividades programadas de mantenimiento preventivo y predictivo y las actividades no programadas de mantenimiento, como las averías de equipos que impactan a la disponibilidad de la planta, pero también se encuentran las actividades operacionales programadas como retiro de correas portátiles y cambios de pilas, y también de averías operacionales como atollo, por ejemplo, que impactan en el uso de la planta.

En esta etapa del análisis se incorporan otras variables de interés y que son necesarias de considerar y definir:

$$\text{Utilización} = \text{Disponibilidad} * \text{Uso}$$

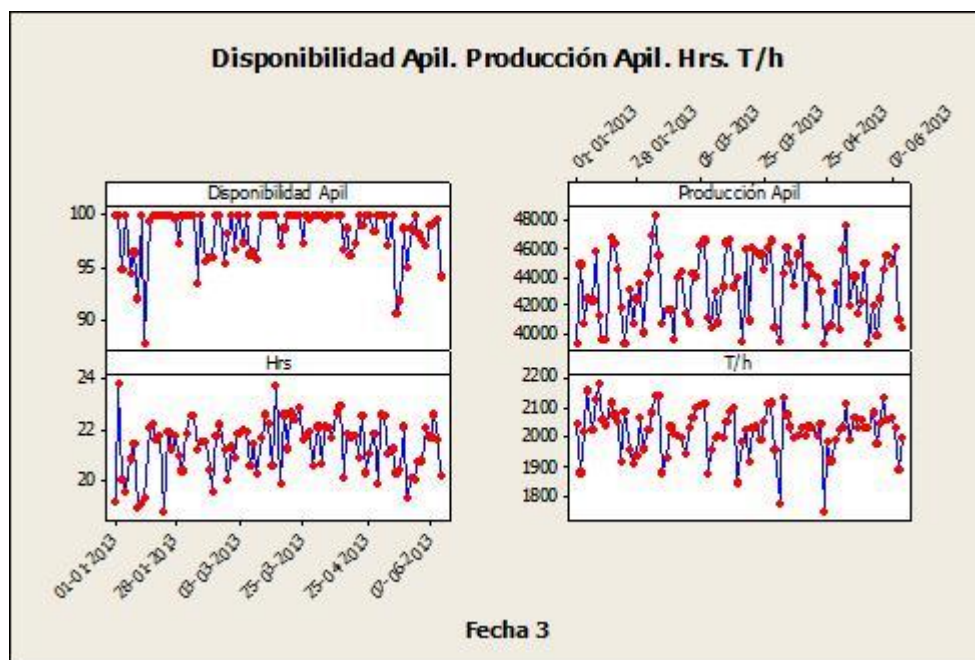
$$\text{Producción (tpd)} = \text{Horas de usodel día} * \text{tph promedio del día}$$

Además, considerando el resultado del rendimiento por defecto indicado anteriormente, se analizan los datos en base a dos condiciones: Cumple el requerimiento de producción y No Cumple el requerimiento de producción. Las figuras siguientes muestran el resultado de separar los datos y el comportamiento de las variables.

La gráfica siguiente muestra el comportamiento de las variables indicadas para la condición de Cumple el requerimiento de producción, o sea, los días que se producen más de 39000 tpd.

3.12.- Días con producciones que cumplen el requisito.

Figura N°12 Resultado análisis en Minitab 15 English



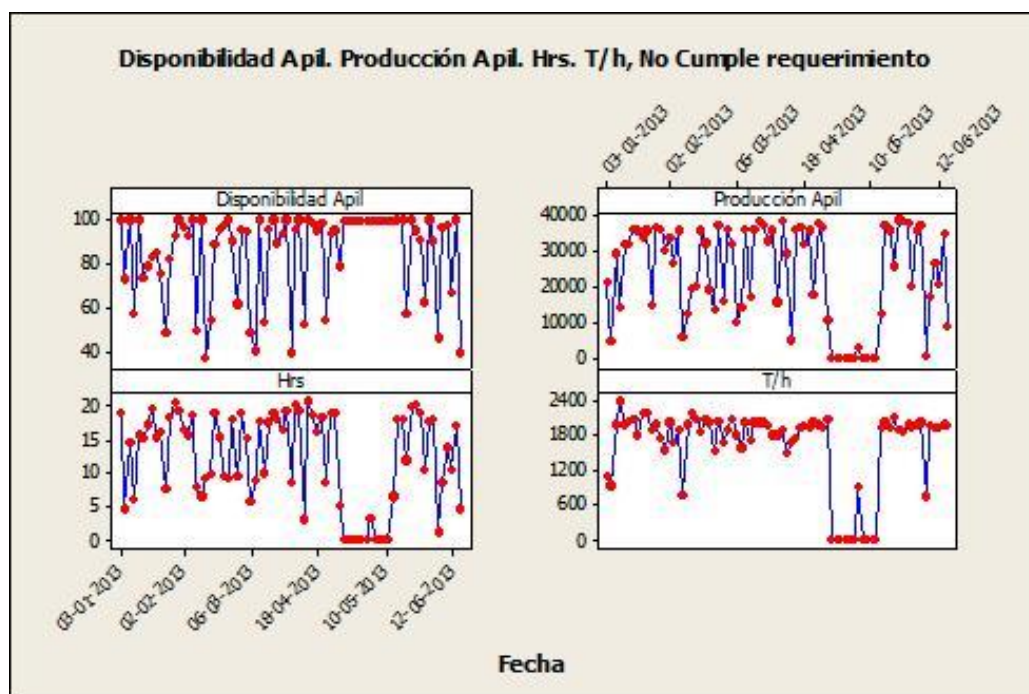
Fuente:, Elaboración propia.

Por ser la condición anterior la esperada, se repite el análisis para la condición de NO Cumple el requerimiento de producción, o sea, los días en que la producción es menor a

39000 tpd.

3.13.- Días con producciones que No Cumplen el requisito.

Figura N°13 Resultado análisis en Minitab 15 English



Fuente:, Elaboración propia.

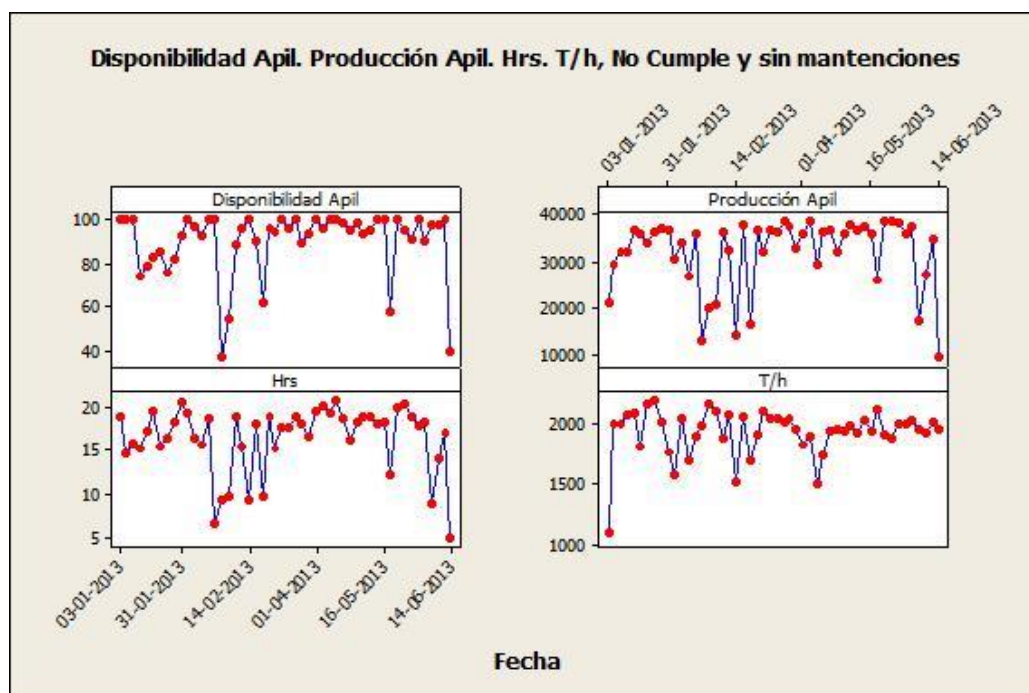
Por lo tanto, al observar las dos figuras anteriores se puede ver claramente como existen bandas diferentes de operación. Por ejemplo, para el caso cuando existe el defecto de No Cumple el requerimiento de producción >39000 tpd, existe mayor variabilidad en las Disponibilidad (la disponibilidad varía entre 40 y 100%), en las horas de operación (varía desde 5 a 20 horas de operación día) y las tph (varían entre 1700 y 2050 toneladas por hora).

Como se mencionó anteriormente, el desempeño de la planta de chancado puede ser afectada por las actividades programadas de mantenimiento preventivo y predictivo y

las actividades no programadas de mantenimiento, como las averías de equipos que impactan a la disponibilidad de la planta, pero también se encuentran las actividades operacionales programadas como retiro de correas portátiles y cambios de pilas, y también de averías operacionales como atollo, por ejemplo, que impactan en el uso de la planta. Por lo tanto, se repite el análisis anterior, para efectos de evaluar la disponibilidad inherente del mantenimiento debida a las averías, no considerando aquellos días en que la planta estuvo detenida por mantenimiento preventivo programado, se excluye también la parada mayor de Mayo.

3.14.- No Cumple el requisito y sin mantenencias programadas.

Figura N°14 Resultado análisis en Minitab 15 English



Fuente:, Elaboración propia.

En esta etapa del proyecto se incorpora las cartas de control de las variables en análisis que permiten observar los días considerados de defecto y que no cumplen el requerimiento de producción. El control estadístico de procesos consiste en aplicar

métodos estadísticos que proporcionen una retroalimentación por la cual se puede comparar el desempeño del proceso conforme a un conjunto de estándares o límites y tomar medidas de mejoramientos para controlar la variación y el centrado del proceso. (Fuente: Curso Estadística y Minitab CMCC)

Al observar el comportamiento del proceso se puede ver que existe variabilidad y desplazamiento de la posición (media) respecto de las definiciones para las variables de Producción, Disponibilidad, MTBF, horas de operación y toneladas por hora.

El uso de las cartas de control para observar y controlar los procesos requiere que los responsables de los procesos midan y registren los datos para su posterior análisis gráfico, por lo tanto, una carta de control se define como un instrumento que representa gráficamente los datos con el paso del tiempo con límites de control que indican que hay que tomar medidas. Las cartas de control se utilizan generalmente en:

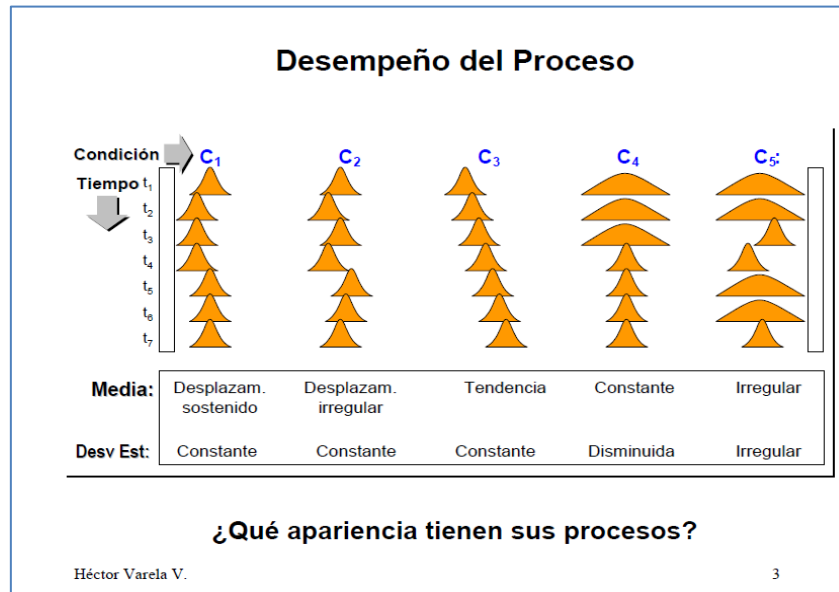
- medición y comprobación de la métrica de desempeño (las Y)
- control y comprobación de momentos críticos para determinar la medida que hay que tomar,
- variables de control que afectan al proceso (las X)

Los objetivos de una carta de control son:

- Detectar rápidamente causas asignables de variación o de cambios en el proceso
- Reducir problemas de calidad, reducir datos fuera de los límites
- Identificar tendencias, cambios y ciclos en los datos
- Una vez que el proceso se ha estabilizado se inicia la mejora del proceso mediante reducción de la variabilidad

3.15.- Apariencias de variabilidad de los procesos.

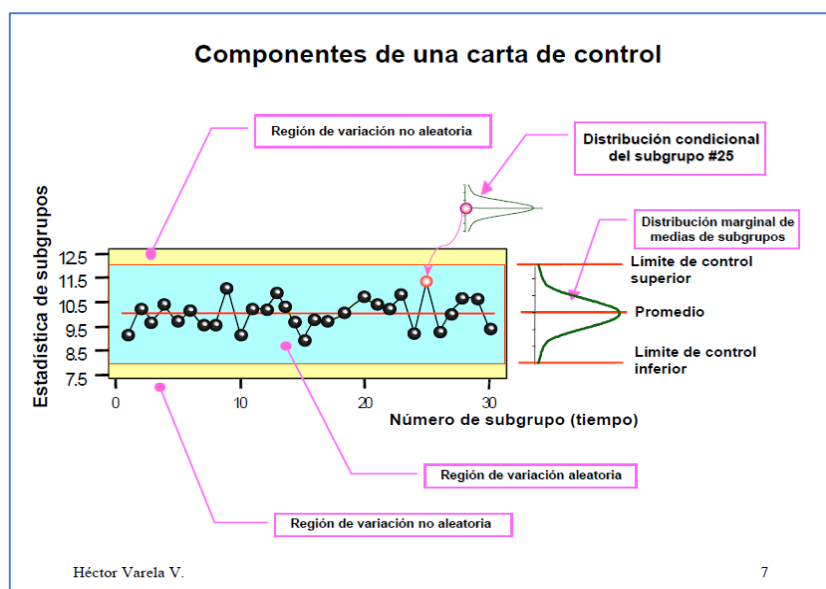
Figura N°15 Desempeño de Proceso



Fuente: Curso Estadística y Minitab CMCC

3.16.- Componentes de una Carta de Control.

Figura N°16 Componentes de una Carta de Control



Fuente: Curso Estadística y Minitab CMCC

La definición de los límites de control y línea central se definen de la siguiente forma:

$$\text{Límite de control superior: } LSC = \mu_Y + k\sigma_Y$$

$$\text{Línea central} = \mu_Y$$

$$\text{Límite de control inferior: } LSC = \mu_Y - k\sigma_Y$$

Un proceso se encuentra en control estadístico cuando actúan en él sólo las causas comunes, y las causas comunes son diversos factores que provocan una variación aleatoria inherente al proceso. Las causas de variación de un proceso se pueden clasificar en comunes y especiales, siendo las especiales (también conocidas como fallas catastróficas) las que deben ser identificadas y controladas en primer lugar para llevar el proceso a un estado de control estadístico, para posteriormente trabajar las causas comunes para el mejoramiento y optimización del proceso, a continuación se indican algunas de las causas de un proceso mostradas en tabla N° 1:

Tabla N° 1 Causas de un Proceso

Causa Común	Causa Especial
Inevitable	Incontrolable
Siempre presente	No esperada
Característico del proceso	Evitable
Estadística predecible	Identificable
Aleatoria	No aleatoria
Origen,.... El proceso mismo	Origen,.... Causas ajenas

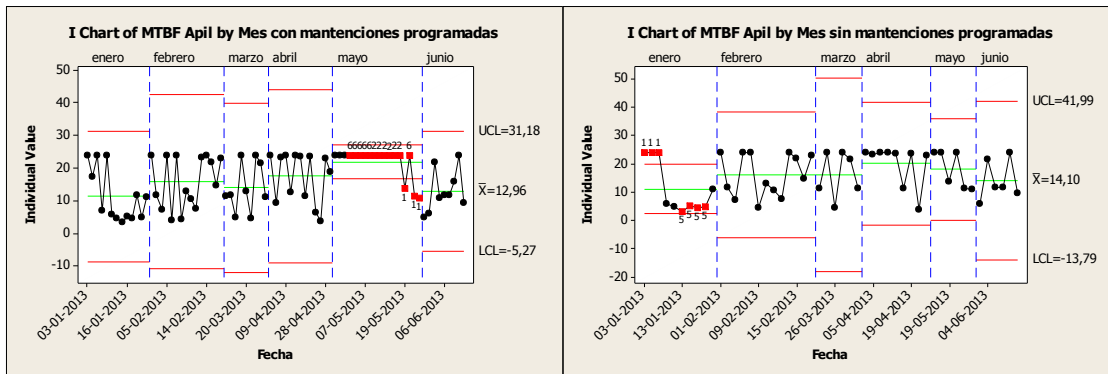
Fuente: elaboración propia

El análisis de la disponibilidad inherente del mantenimiento, o sea, la disponibilidad debido a las fallas, depende del comportamiento de los factores de confiabilidad (MTBF) y mantenibilidad (MTTR) y se expresa por la siguiente relación:

$$D = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} (\%)$$

3.17.- Medida de la confiabilidad de Apilamiento con y sin mantenimientos.

Figura N°17 Resultado análisis en Minitab 15 English

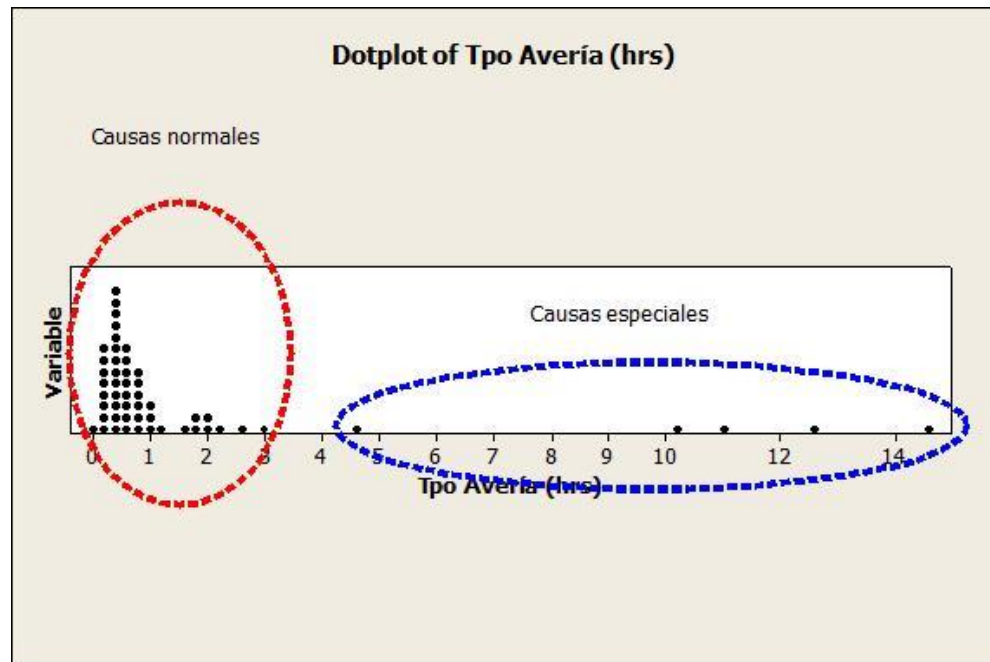


Fuente:, Elaboración propia.

La variabilidad y desplazamiento de la confiabilidad (MTBF) respecto a lo esperado indica que existe un proceso fuera de control estadístico y además fuera de control según especificaciones del cliente, por lo tanto, es necesario aplicar un nuevo análisis para identificar las causas comunes de las especiales, la figura siguiente evidencia la existencia de causas comunes del proceso y que se concentran entre 0 y 1 hora y las especiales que se concentran entre 4 y 15 horas y que deben ser identificadas para la etapa posterior de propuestas de mejoramientos.

3.18.- Identificación de causas comunes y especiales.

Figura N°18 Resultado análisis en Minitab 15 English



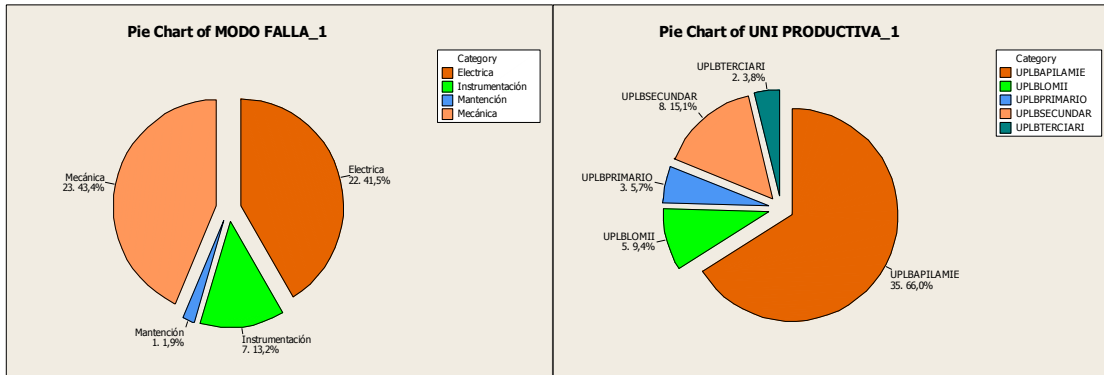
Fuente:, Elaboración propia.

3.1.8.1 Identificación de las Oportunidades de Mejoramiento

A partir de la gráfica de los MTBF sin mantenimiento y que no superan el valor de referencia esperado de 21 horas promedio para el año 2013 se identifican los días y los eventos que impactaron el cumplimiento del plan de producción. Las razones por las que apilamiento No Cumple se debe a que pudo ser causado por averías en chancado primario, por averías en chancado secundario – terciario o por averías en apilamiento. Por lo tanto, una vez identificados los días de defecto se realiza el análisis de modos de fallas y los equipos involucrados para posteriormente definir la estrategia de mejora propuesta. Las siguientes figuras muestran que para el período analizado el área de apilamiento es la que concentra la mayor cantidad de eventos registrados y atribuibles a la gestión de mantenimiento y corresponden mayoritariamente a las áreas eléctricas y mecánicas (Fuente: Base de datos de disponibilidades área seca 2013).

3.19.- Identificación de áreas y tipo de mantenimiento.

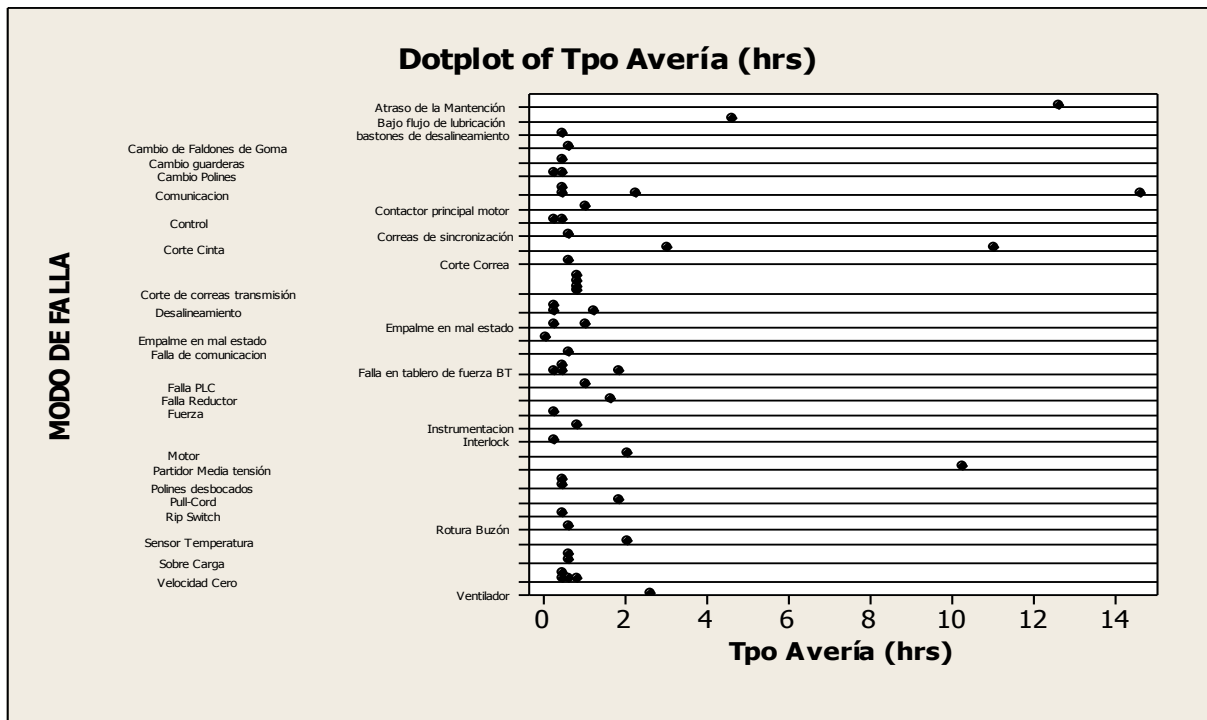
Figura N°19 Resultado análisis en Minitab 15 English



Fuente: Elaboración propia.

3.20.- Identificación del tipo de avería y su impacto en tiempo

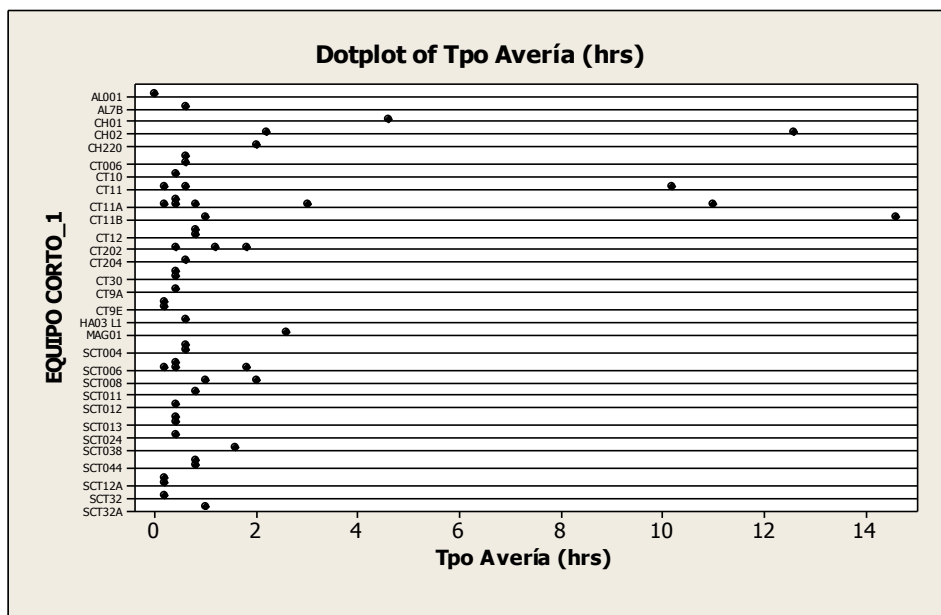
Figura N°20 Resultado análisis en Minitab 15 English



Fuente: Elaboración propia.

3.21.- Identificación del equipo y el impacto en tiempo.

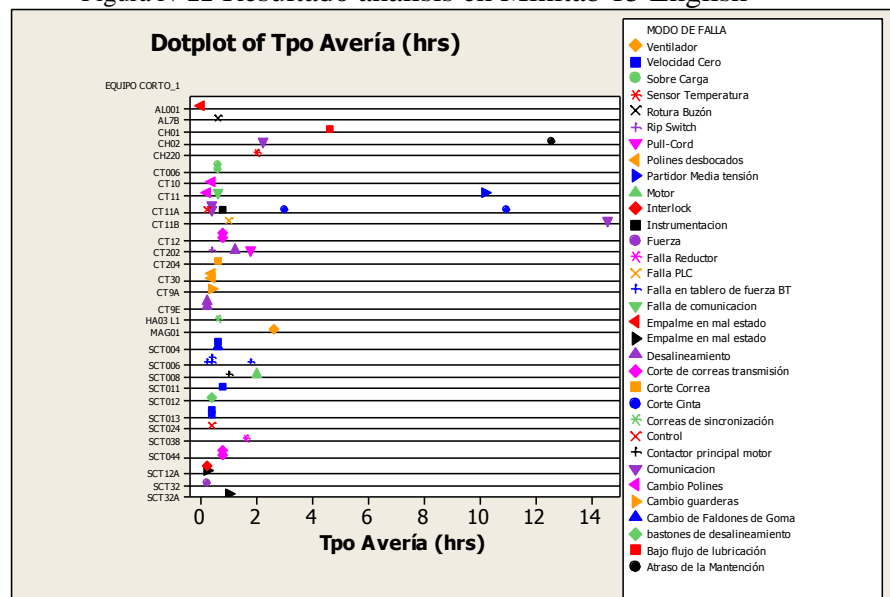
Figura N°21 Resultado análisis en Minitab 15 English



Fuente: Elaboración Propia

3.22.- Identificación del equipo y los modos de fallas.

Figura N°22 Resultado análisis en Minitab 15 English

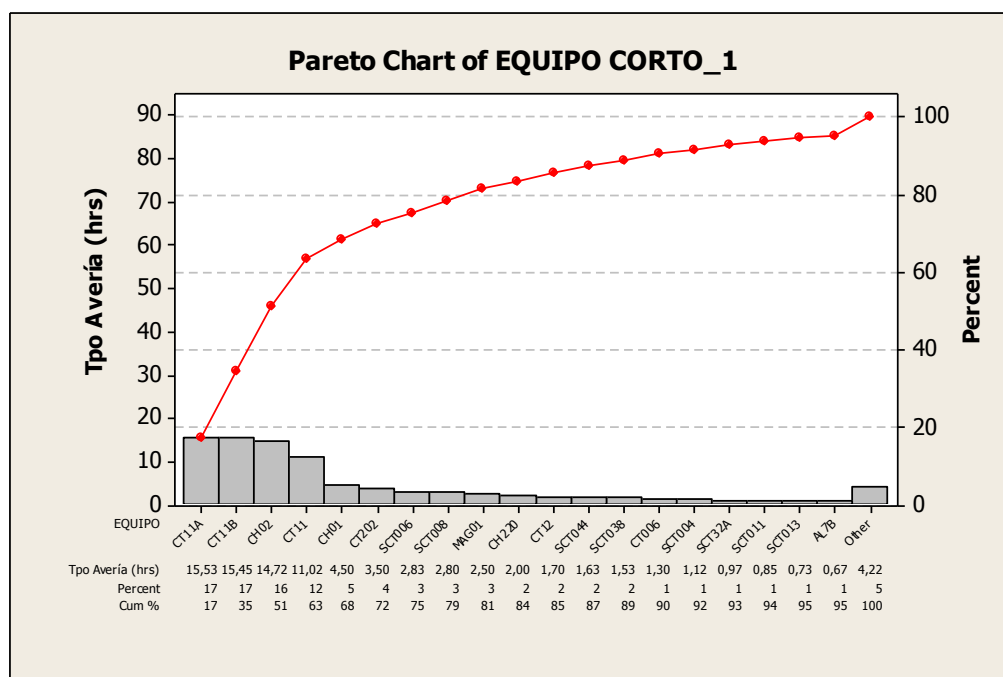


Fuente:..Elaboración Propia

La identificación de los equipos y eventos en que ocurren las causas especiales y que representan la mayor cantidad de horas de indisponibilidad (equivalentes a dos días de operación) se muestran a continuación. Se observa que el 63% de la indisponibilidad se debe a eventos ocurridos en apilamiento (3 eventos) y chancado secundario (un evento)

3.23.- Identificación de equipos para el mejoramiento.

Figura N°23 Resultado análisis en Minitab 15 English



Fuente:, Elaboración propia

Tabla N°3 Datos del Proceso

Modo de Falla	Observaciones
Comunicación	F/S remotos de correa 11B por caída de rayos en sector
Atraso en la mantención	Atraso de mantención por problema de puente grúa.
Corte de cinta	Debido a desprendimiento del extremo de una platina
Partidor media tensión	Falla de enchufe macho de media tensión de alimentación
Bajo flujo de lubricación	Bomba 1 bajo flujo de lubricación.

Fuente, Elaboración propia

3.24. Etapa de Mejoramiento del proceso analizado

Una vez realizado el análisis del proceso de Chancado - Apilamiento y se identifican los eventos que producen las causas especiales que impiden que el proceso se encuentre en control estadístico, se proponen las siguientes acciones de mejoramiento para mitigar o eliminar posible ocurrencias de eventos similares, las acciones propuestas son el resultado de la investigación de la falla a través de Informes de Fallas y/o Investigación de la Causa Raíz (RCA):

Tabla 3.1.- Identificación de las acciones de mejoramiento.

EQUIPO / MODO DE FALLA	ACCIONES PROPUESTAS
Correa CV11B/Comunicación: La caída de rayos en el sector de apilamiento produce una falla en los módulos de comunicación de la correa deteniendo todo el tren de apilamiento y aguas arriba la planta de chancado	<ol style="list-style-type: none"> 1.- Generar un enlace de comunicaciones alternativo Ethernet 2.- Cerrar en modo de anillo las comunicaciones de los PLC de control de la planta 3.- Generar un proyecto de inversiones para proveer de pararrayos el área de apilamiento 4.- Generar un proyecto de inversiones para proveer de supresores de transientes los módulos de comunicaciones de los PLC
Puente grúa Chancado secundario/Control eléctrico: Durante el desarme de Chancador secundario, se bloquea puente grúa por falla en el sistema limitador de recorrido provocando una falla mayor con daño en el cable del gancho principal y atrasa el programa de mantenimiento por no haber otra alternativa para continuar con el desarme del chancador secundario	<ol style="list-style-type: none"> 1.- Se realiza la instrucción a personal de mantenimiento acerca de la intervención del control eléctrico durante las mantenciones de planta. 2.- Se solicita a área de ingeniería estudiar acceso alternativo para el ingreso de grúa portátil de 120 Ton. 3.- Se solicita al área de ingeniería estudiar un atril para el levante de los componentes principales del Chancador y que permitan mantener todo el sistema de control del puente grúa operativo.
Correa CV11A / Corte de cinta: Debido a desprendimiento de deflector al interior de chute de traspaso de la correa se aloja entre polines provocando corte de 200 metros de la cinta.	<ol style="list-style-type: none"> 1.- Se instruye a mecánicos acerca de los criterios para la inspección de los deflectores y placas de desgaste al interior de los chutes de traspaso entre correas. 2.- Se verifica la operatividad de los sensores de corte de correas de chute que se desprende placa y de todos los demás chutes del área.
Tripper 12 / Enchufe de media tensión: Por acumulación de humedad por lluvia se produce corto circuito en el enchufe de media tensión de la caja de alimentación del tripper 12.	<ol style="list-style-type: none"> 1.- Eliminar la caja de alimentación del tripper con enchufe de media tensión, debido a que falla similar se produjo en otro equipo. 2.- Realizar estudio de alimentación en media tensión para el área de tripper 12 desde nueva subestación eléctrica.

Fuente: Elaboración propia.

3.3 Análisis de los tiempos de duración y alcance del mantenimiento planificado

El modelo de mantenimiento define como parte de su estrategia para el mantenimiento de la planta seca (Chancado y Apilamiento) una detención del proceso desde el Chancador primario hasta apilamiento para realizar diversas estrategias de mantenimiento definidas en el modelo, como son; el mantenimiento preventivo a los equipos en base a un estándar por frecuencia, mantenimiento correctivo programado, mantenimiento por condición en base a los requerimientos del área de monitoreo de condiciones, lubricación de equipos críticos por frecuencia y actividades eventuales por las inspecciones realizadas al interior de los equipos una vez detenida la planta. Por ser esta mantención planificada según la tasa de desgaste de los componentes de los chancadores, se realizan tres detenciones planificadas en el mes de doce horas cada una aproximadamente.

Las detenciones de planta consideran en el tiempo de mantenimiento todos los tiempos atingentes a la preparación de las condiciones para la intervención de los equipos, como son: tiempos de limpieza y vaciado de la planta, tiempos de bloqueo, tiempo para las actividades de mantenimiento, tiempo de desbloqueo, tiempos de prueba y de entrega a operaciones.

La siguiente figura muestra las desviaciones ocurridas durante el período de análisis de este proyecto de tesis y registradas semana a semana (año 2013). La práctica normal es realizar una reunión de análisis de las desviaciones en los tiempos planificados y en las actividades planificadas en cada mantenimiento de planta siendo resumidas en las desviaciones debidas a los siguientes factores: Proceso de Bloqueo, Mantenimiento en áreas de chancados primarios, secundario y apilamiento, Proceso de desbloqueo y el proceso de entrega del mantenimiento a la operación.

3.3.1. Tiempos de las desviaciones registradas en las mantenciones planificadas del área seca.

Figura N°24 Base de datos de Desviaciones del Plan de mantenimiento Área Seca



Fuente: Elaboración Propia

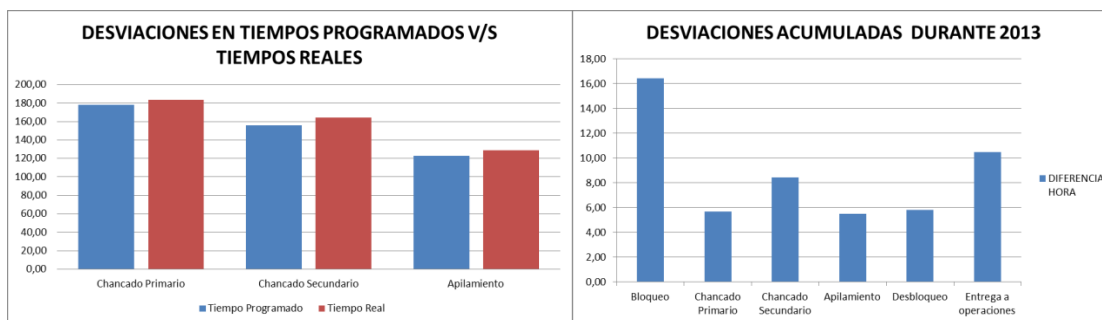
Las siguientes figuras muestran el análisis de las desviaciones acumuladas durante el período de análisis para cada área de mantenimiento, como son en la figura 3.25 a) Chancado Primario, en Chancado Secundario y en Apilamiento, la figura 3.25 b) muestra el resumen de las desviaciones para cada factor medido.

3.3.2. Tiempos de las desviaciones registradas en las mantenciones planificadas del área seca:

a) Desviación acumulada durante el año 2013, b) Actividad que genera las desviaciones

Figura N°25

Figura N°26



Fuente: Base de datos de Desviaciones del Plan de mantenimiento Área Seca

Del análisis anterior se observa que la principal causa que origina la mayor desviación de los tiempos planificados versus los tiempos reales, hasta que se entrega la planta a operaciones se debe al proceso de bloqueo y el proceso de entrega de la planta a operaciones una vez terminado el desbloqueo de todos los equipos. También se puede ver que el alcance de las actividades de mantenimiento realizadas en las áreas de chancado primario, secundario y apilamiento acumulan menores desviaciones.

3.3.2.1 Etapa de Mejoramiento de los tiempos de desviaciones del mantenimiento planificado.

El proceso de bloqueo es una actividad que cada día cobra mayor relevancia desde el punto de vista de la seguridad y por lo tanto, su ejecución y control es cada vez más riguroso y por lo tanto está considerando mayor tiempo al planificado. La solución de este proceso pueden ser dos:

- Considerar mayor tiempo en los programas ya que la actividad lo amerita y se asume el tiempo como una necesidad en la seguridad
- Modificar el procedimiento de bloqueo de forma de minimizar el bloqueo eléctrico de los equipos, esta oportunidad está siendo revisado por el área eléctrica ya que no debe generar riesgos para las personas.

La siguiente desviación se debe a la entrega de la planta a operaciones, principalmente cuando las paradas de planta son de doce horas y coincide con los cambios de turno, y por la espera del personal de operaciones y mantenimiento en los sitios de entrega de equipos. En este caso, se implementó en el programa de la parada de planta un horario acordado entre mantenimiento y operaciones que regule la entrega de los equipos y/o áreas, en primer lugar se ha iniciado el desbloqueo de apilamiento, luego se entregan los equipos de la línea de chancadores secundario y terciarios, dejando al final los equipos que tengan el mayor tiempo planificado y que se han definido como la línea crítica en el día de la parada de planta, por ejemplo el termino de campaña del Chancador

secundario, un cambio de cinta de una correa transportadora, etc. Otra iniciativa que será consecuencia del mejoramiento en el proceso de bloqueo y desbloqueo, contribuirá a reducir los tiempos de entrega a operaciones reduciendo los tiempos de desbloqueo de los equipos.

3.3.3 Análisis de los costos de ineficiencia del mantenimiento

Generalmente el presupuesto del mantenimiento se realiza en base a un proceso corporativo que se inicia un año antes y define el presupuesto del año siguiente y de los próximos cinco años, además que se proyectan los costos estimados hasta el término de la vida útil de la mina en un proceso conocido como LoM (Life of Mine) y está compuesto de los costos fijos y los variables, y se puede representar como:

$$CT = CMO + CS + CC + CRI$$

Dónde:

- CMO : Costo de la mano de obra
- CS : Costo de los servicios
- CC : Costo de los contratos externos
- CRI : Costo de los repuestos e insumos

En esta definición no se considera el costo de la pérdida de utilidades generadas por la indisponibilidad del proceso debidas a las fallas o detenciones planificadas para el mantenimiento preventivo, predictivo o correctivo. El costo de la ineficiencia debida a la indisponibilidad en el período de evaluación se puede representar de la siguiente forma (Arata. A, 2009):

$$C_{ineficiencia} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{(1+i)^k} * H * Ci * (1 - A_{sistema})$$

Dónde:

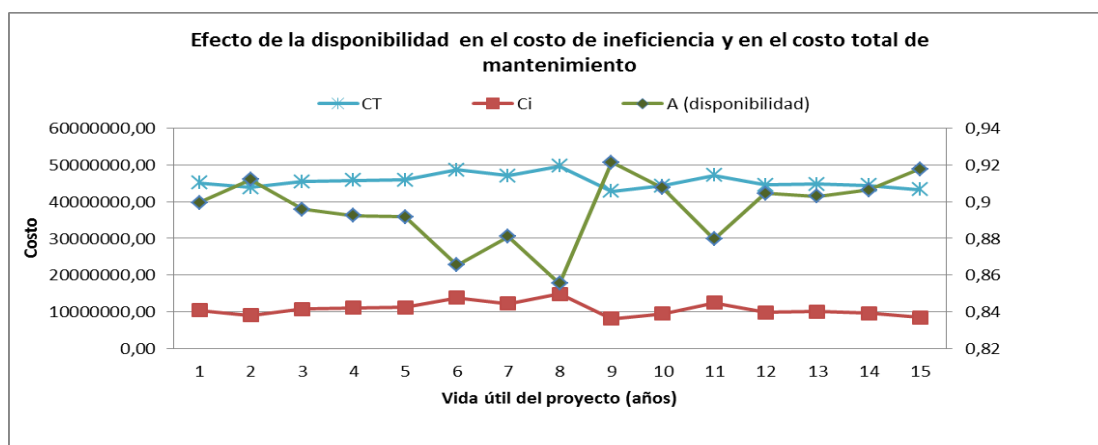
- C_i : Costo de ineficiencia horaria (\$/H; U\$/día, etc.)
- H : Período de evaluación dentro del horizonte del proyecto
- A : Disponibilidad del sistema
- I : Tasa de costo de capital de la empresa
- n : Años de operación

La actualización de los flujos de los costos de ineficiencia por cada período H de análisis cuando los períodos evaluados son iguales permite utilizar el factor de anualidad de la siguiente forma (Myers, Brealey; 2002):

$$f = \frac{(1 + i)^n - 1}{i * (1 + i)^n}$$

El ejercicio realizado para evaluar el costo de la ineficiencia y el impacto en el costo total de mantenimiento se muestra en la siguiente figura. En este caso se ha considerado como costo total de mantenimiento presupuestado US\$ 34M para el ejercicio de un año normal, sin embargo al considerar el costo de la ineficiencia se aprecia que el costo total sube aproximadamente US\$ 10M en cada año.

3.3.3.1. Ejercicio de evaluación del costo de ineficiencia del mantenimiento

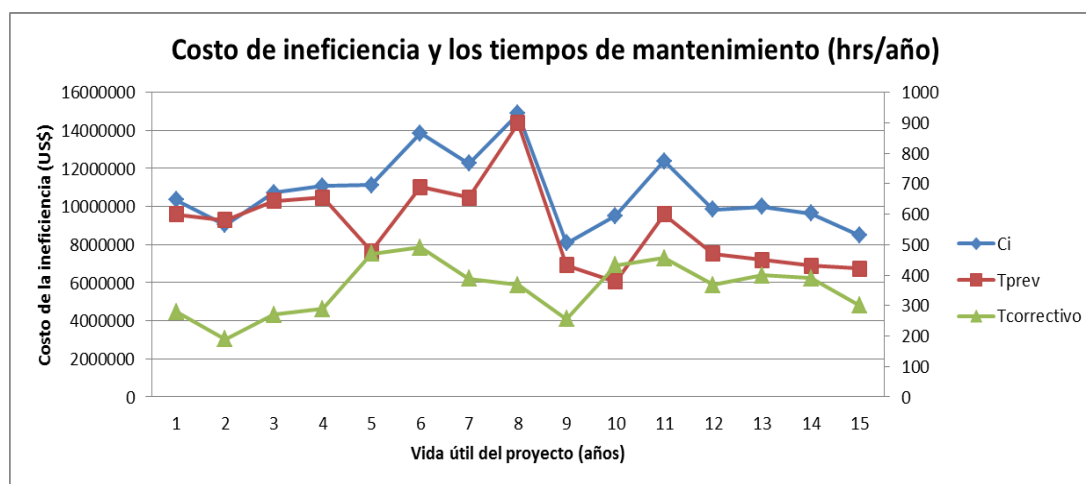


Fuente: Resultado ejercicio de análisis en Excel, Elaboración propia.

Por ser la disponibilidad del mantenimiento una definición que considera los tiempos de indisponibilidad debido a las horas de actividades planificadas y por las horas dedicadas a las actividades para restablecer la operación por las fallas que ocurren el sistema, se muestra a continuación el efecto de los dos tipos de detenciones en el costo de la ineficiencia.

3.3.3.2. Efecto de los tiempos del mantenimiento planificado y no planificado sobre el costo de la ineficiencia.

Figura n°27 Resultado ejercicio de análisis en Excel



Fuente:, Elaboración propia.

3.5 Resumen y Resultados

Finalmente el análisis realizado al desempeño de una planta de chancado y apilamiento que parte por una mirada global del comportamiento del proceso de la planta de chancado, y que identifica los días en que el proceso no cumple las especificaciones requeridas de 39000 tpd o más, hasta llegar al área y equipos en los cuales se producen las causas comunes y las especiales, se logra identificar que sólo 4 equipos acumulan el 63% del tiempo de indisponibilidad para los casos en que la planta de chancado No

Cumple el requerimiento, la siguiente etapa de este proyecto de tesis es la propuesta e implementación de las acciones que permitan eliminar y/o mitigar un nuevo evento similar y considerado causa especial.

Por lo tanto, la metodología del análisis realizada permite, a partir de los datos disponibles que regularmente registran la operación y mantención, realizar y observar el comportamiento de este y otros procesos de interés, como el desempeño de las palas en la operación mina y las variables asociadas al mantenimiento, tales como, la mantenibilidad (MTTR), la tasa de fallas, las horas de operación, las toneladas por hora, etc.

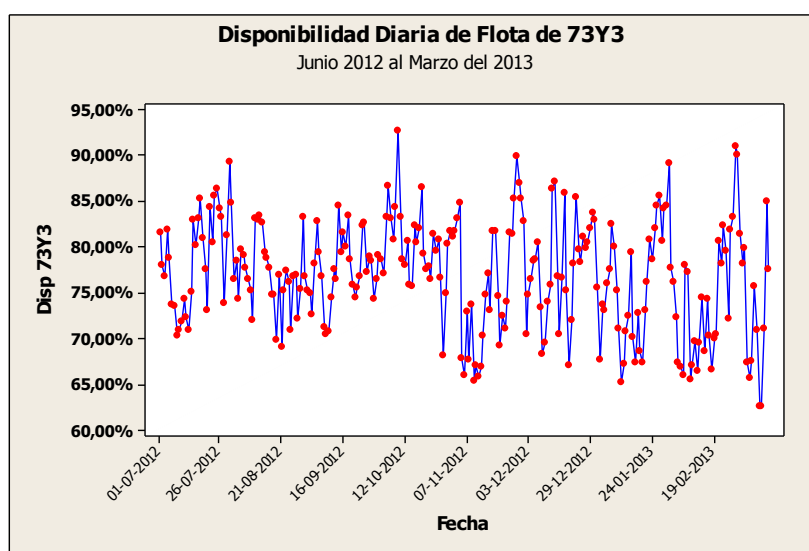
Si bien las desviaciones en los mantenimientos planificados con paradas de planta no representan la mayor desviación en los planes de disponibilidades de mantenimiento, es necesario mantener visible las causas de las desviaciones en las paradas de planta siendo el foco principal en el inicio y término del plan, como es el proceso de bloqueo y entrega de la planta a operaciones.

El mejoramiento de la disponibilidad se puede realizar a través de los proyectos de inversión aumentando el nivel de redundancia, sobredimensionando la instalación o a través de mejoras en el diseño del proceso; también es posible el mejoramiento de la disponibilidad a través de la operación realizando mejores estrategias del mantenimiento. La metodología de análisis de la variabilidad realizada en esta tesis permite proponer la metodología para mejorar las estrategias de mantenimiento en base a los datos que día a día se recolectan en los procesos mineros y con ello disminuir el costo de la ineficiencia del mantenimiento.

3.6 Análisis de variabilidad de la disponibilidad en palas electromecánicas.

Cuando se definen las metas o KPI de procesos, se miden en valores mensuales que muchas veces ocultan los valores diarios que en general son altamente variables, la gráfica siguiente muestra el resultado de la disponibilidad de flota de palas en un periodo de 9 meses tomadas en forma diaria, el resultado final o la media del proceso cumple con las metas definidas en budget pero en un proceso inestable.

Figura N°28 Disponibilidad diaria de flota de 73Yd3

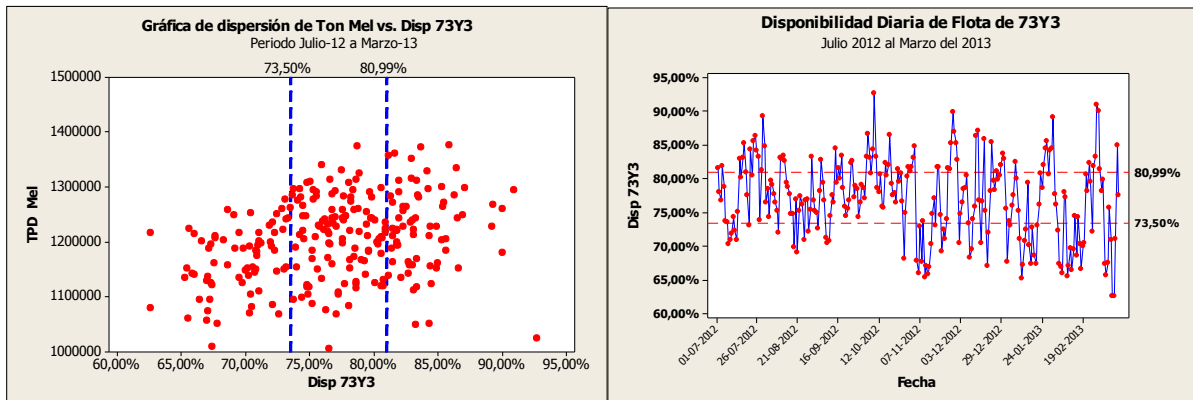


Fuente. Elaboración propia.

La variabilidad genera impactos principalmente en la utilización, sin embargo, la variabilidad en un proceso minero tiene una componente no fácil de controlar que es el imprevisto, por lo tanto, sumado esto con una mantención orientada a ejecutar el máximo de actividades sobre el equipo para hacerlo “confiable” genera una suma de defectos que se traducen en inestabilidad. Por lo anterior, es importante determinar cuál es intervalo de disponibilidad donde se genera el mayor rendimiento o es más eficiente, es así que la figura siguiente muestra una gráfica de dispersión entre la disponibilidad y la producción en forma diaria, es decir cada punto corresponde a la disponibilidad y la producción de un día específico.

Figura N°29 Dispersión y disponibilidad de lote 73 yd3

Figura N°30



, Fuente: Elaboración propia.

De la gráfica se desprende que la disponibilidad bajo los 73,5% se produce un impacto negativo sobre la producción diaria, sin embargo, en el intervalo que va desde los 73,5% a 80,99% es donde se produce la máxima producción diaria y finalmente sobre el 81% el proceso productivo no incrementa sus niveles. Por lo tanto, tomamos la mirada desde un punto de vista de negocio, se desprende que no siempre las disponibilidades mayores significan mayor producción y esto se puede explicar por otras restricciones que presenta el mismo proceso que no hemos analizado, como por ejemplo, el tamaño de la mina (distancias de circuitos), Cantidad de operadores (ausentismo), entrenamiento de operadores, calidad del frente de carguío, disponibilidad de camiones, etc.

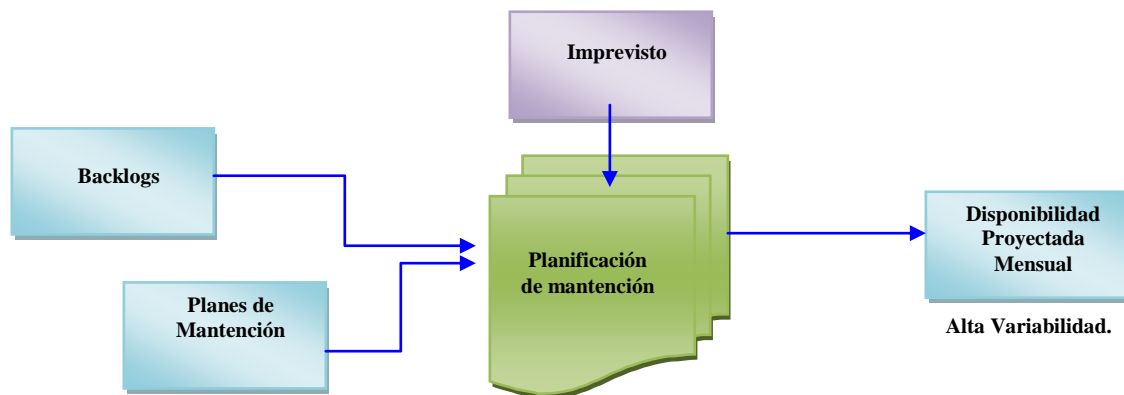
Por lo tanto, es importante definir como en este caso el intervalo de disponibilidad de mayor rendimiento y luego el porcentaje restante distribuirlos entre mantenimiento e imprevistos.

Por otro lado, la gráfica también presenta una variabilidad de la producción, es decir, que mismos valores de disponibilidad se presentan distintos valores de producción, no obstante es necesario estabilizar una variable para luego comprender la otra debido que hay correlación entre ellas.

3.6.1 Planificación del Mantenimiento.

Para estabilizar la disponibilidad es necesario hacer cambios en la planificación de la mantención, es decir, cambiar de una mirada mensual o bimensual a un objetivo diario. Antes de este cambio, la disponibilidad proyectada de la flota se hacía mirando el objetivo mes, esto daba la posibilidad de jugar con valores altos las últimas semanas para correr el valor medio y cumplir con el KPI, sin evaluar el impacto diario a la producción que ello implica.

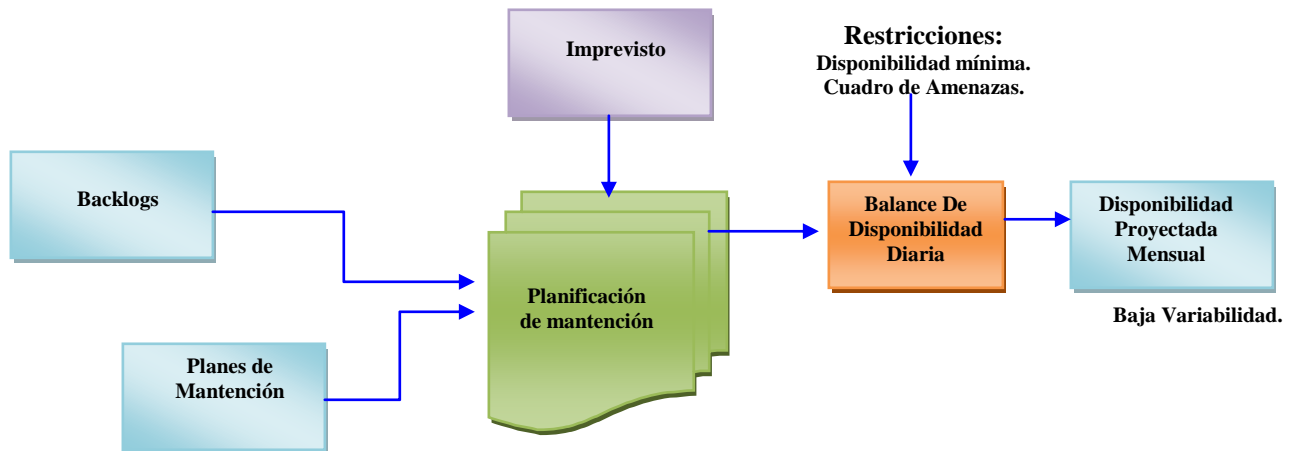
Figura N°31 Etapas de planificación del mantenimiento



, Fuente: Elaboración propia.

Cuando se está mirando la variabilidad aumentan las restricciones del proceso de planificación donde es necesario realizar un balance diario de las disponibilidades proyectadas, de tal forma que dicho valor asegure que siempre se estará dentro de intervalo de mayor rendimiento, sin sacrificar la confiabilidad de los equipos, por lo tanto el control de las amenazas y la alianza con el área de estrategias y confiabilidad es clave.

Figura N°32 Etapas de planificación con balance diario



, Fuente: Elaboración propia.

3.6.2 Confiabilidad y estrategia.

Uno de los efectos inmediatos al trabajar apuntando a una banda de disponibilidad es el hecho que no se tiene todo el tiempo para realizar el mantenimiento que estábamos acostumbrado, debido que en forma natural aumenta el intervalo entre mantenimiento y disminuye el tiempo de shutdown. En este escenario, se requiere revisar las estrategias actuales, generando un cuestionamiento en tres niveles; la primera es determinar cuáles tareas generan o no valor al equipo, cuales tareas se pueden realizar fuera del periodo de detención y que modos de fallas podrían ser detectadas por un proceso predictivo.

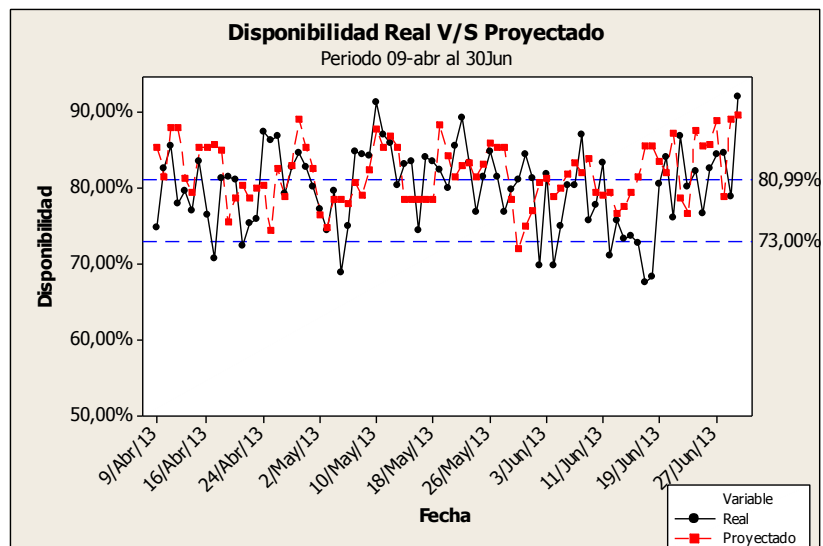
- a) Tareas que agregan valor: usualmente las pautas de mantenimiento nacen inicialmente del manual de fabricante y posteriormente por algún tipo de falla se le incorporan tareas adicionales o modificaciones, sin embargo, no siempre se someten a cuestionamiento si todas las tareas agregan valor (algunas veces generan más falla por intrusión), además es necesario revisar si los modos de fallas actuales son cubiertos por dichas pautas, no todos los equipos necesitan la misma estrategia, cual es el tiempo de mortalidad infantil de una pauta y si la frecuencia es correcta. Todo esto nos debe orientar a realizar un mantenimiento flexible, óptimo y oportuno.

- b) Tareas fuera de la detención: Esto apunta a principalmente a cambios de componentes, donde hay muchos desarrollos hechos en pos de disminuir en el tiempo de shutdown, una de ellas es SMED, que principalmente tiene como objetivo no disminuir el tiempo total del trabajo, sino buscar todas las tareas que se pueden realizar antes que el equipo se detenga. Como mangueras instaladas, sistemas pre-probados, herramientas especiales para montaje, etc.
- c) Proceso Predictivo: La tecnología actual nos permite incorporar instrumentos predictivos que nos permiten determinar con mayor precisión el punto exacto de cambio de componente dentro la curva PF. La ventaja de esto es disminuir la tasa de fallas y detener el equipo solo cuando es necesario. La oportunidad en esta materia es determinar cuáles son las señales vitales que se monitorearán, cuales son los límites condenatorios y cuáles serán por frecuencia o en línea.

3.6.3 Resumen y Resultados

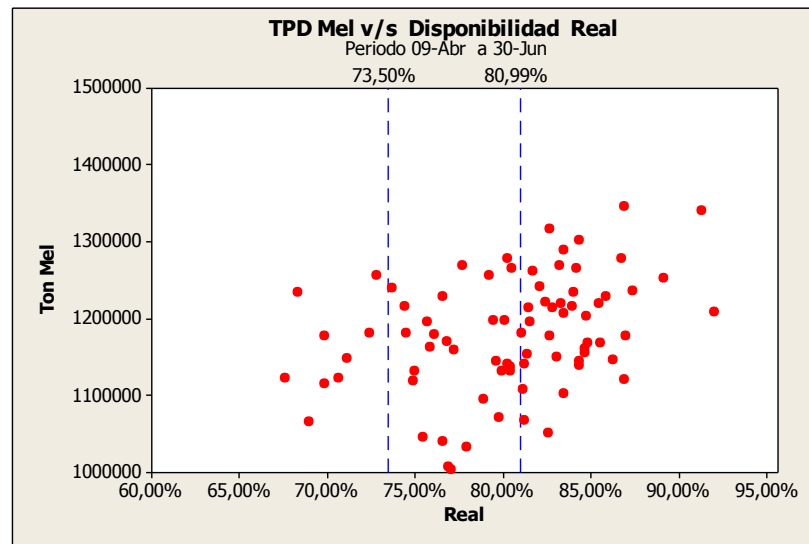
Como se mencionó al principio, al disminuir la variabilidad de la disponibilidad, tiene un impacto principal en la utilización y rendimiento de los equipos mineros, pero es necesario generar cambios sustanciales en la Planificación, ejecución, confiabilidad y estrategia de mantenimiento para comenzar a derribar los paradigmas y generar los primeros cambios. Finalmente como primeros resultados es una disponibilidad sobre el valor mínimo en la mayoría de las veces, siendo ahora el próximo paso trabajar con la variabilidad de la producción diaria.

Figura N°33 Disponibilidad Real v/s proyectado



Fuente: Elaboración propia.

Figura N°34 TPD v/s disponibilidad real



Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

Los planificadores de ambas áreas, mantenimiento de equipos y de desarrollo mina comprenderán mejor la importancia del mantenimiento y tipos de mantenimiento con el fin de desarrollar las estrategias de planificación necesarias para ordenar los procesos de mantenimiento y respetar la secuencia y cumplimiento de los planes de producción.

Los planificadores al utilizar las herramientas estadísticas podrán observar como varia la producción y el cumplimiento del plan minero en función de las decisiones de mantenimiento y asociarlas con los planes de desarrollo para generar estrategias que generen un proceso estable desde la planificación.

Los planificadores comprenderán mejor el efecto e impacto en los costos globales de la ineficiencia en el proceso y de la variabilidad de las principales claves de medición.

El análisis del desempeño de un proceso minero, y principalmente los activos que forman parte de los procesos, tales como los equipos semimóviles de una operación minera o los equipos fijos de una planta de chancado y apilamiento en base a una metodología simple y conocida es totalmente factible de realizar principalmente por las siguientes razones:

Los datos siempre están disponibles ya que actualmente existen sistemas recolectores de datos, ya sea manuales o de forma automática que permite día a día transformar una base de datos en valiosa información al ser tratada por medios simples de análisis.

La metodología empleada para el análisis del desempeño del mantenimiento, tales como disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad en base a la obtención de esta información es vital como fuente de información de entrada para las áreas de planificación e ingeniería, una vez obtenida esta información, analizada y obteniendo como resultado los parámetros de operación y funcionamiento del proceso, entonces se

planifican las tareas de mantención en función de las metas y objetivos a cumplir por la operación, en el caso que la mantención demande mayor actividad entonces se debe anticipar y comunicar a los clientes esta información para que se tomen los resguardos necesarios y se ejecuten planes de mitigación de esta paradas o bien se declaren con anticipación estas variaciones y que no se conviertan en sorpresas para los ejecutivos.

Además es sabido que todo proceso es perfectible pero lo que más afecta a un proceso es su variabilidad, si podemos mejorarla desde la planificación de mantención y mejoramientos sostenido desde las áreas de ingeniería entonces estaremos entregando un gran valor al proceso y le estaremos dando un mayor sentido al proceso de la mantención integrado con el cliente en la operación.

Desde el punto de vista del cliente esto tiene un gran impacto ya que linearía sus procesos, advierte con anticipación los cambios y toma las precauciones necesarias para maximizar su función dentro de la cadena del valor de la producción.

RECOMENDACIONES

El estudio sirve para que las áreas de planificación de la mantención conozcan como varia su proceso y como controlarlo, también para que la planificación de la producción estudie con anticipación que holguras y que flexibilidad muestra el proceso y anticiparse de forma planificada a estos eventos.

BIBLIOGRAFÍA.

1. Anonimo. (2010). Descripción del proceso de gerencia Lomas Bayas. En I. d. procesos. Antofagasta.
2. Amendola L. (2006) Estrategias y Tácticas de Overhaul “*Maintenance and Asset Management*”, ed. Universidad Politécnica de Valencia, España.
3. Gestión de Activos (2008), PAS 55-1:2008 Parte 1: Especificaciones para la gestión optimizada de activos físicos, Reino Unido, Instituto de Estándares Británico (BSI).
4. Gramsh, Ernesto. (12 de Octubre de 2013). Gestión de la calidad y mantenimiento. *Gestión de la calidad y mantenimiento*, (pág. 25). Antofagasta.
5. Gestión de Activos (2008), PAS 55-2:2008 Parte 2: Directrices para la aplicación de PAS 55-1, Reino Unido, Instituto de Estándares Británico (BSI).
6. Klimasauskas, Ruben Eduardo. (10 de 10 de 1990). *Mantenimiento mundial*. Obtenido de Mantenimiento mundial:
<http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/notas/mineria.pdf>
7. Norma Chilena Oficial NCh 2000.of95, ISO 8402: Gestión de calidad y aseguramiento de calidad – Vocabulario. Instituto nacional de Normalización (INN).
8. W. Eduard Deming (1986), *Calidad, productividad y competitividad*, editorial Diaz de Santos. Madrid. España.
9. Arata A. (2009) *Ingeniería y Gestión de la Confiabilidad Operacional en Plantas Industriales*, editorial RiL editores, Santiago de Chile.
10. Brealey Richard A, Myers Steward C, *Principios de Finanzas Corporativas*, editorial Mc Graw Hill/Interamericana de España, S.A.U, Madrid. España.
11. Varela Hector (2003), *Curso Estadística y Minitab CMCC*, dictado para Compañía Minera Cerro Colorado por la Universidad de Antofagasta, Iquique.