

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
VALPARAÍSO – CHILE



**“GESTIÓN DE REPUESTOS PARA UNA
PLANTA DE MOLIENDA DE MINERALES DE
COBRE SULFURADOS EN BASE A
CONFIABILIDAD, EN LA REGIÓN DE
TARAPACA”**

EDWARS CRISTOBAL CALLEJAS ROJAS

**MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL MECÁNICO**

PROFESOR GUÍA: Ing. RENE VALDENEGRO O.
PROFESOR CORREFERENTE: Dr. Ing. PEDRO SARIEGO P
DICIEMBRE 2018

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, a mis padres y a las personas que hicieron posible esto. Especialmente a mi hermano y a mi madre que siempre estuvieron apoyándome desde el inicio de mi educación y velando que no me faltara nada dentro de mi trayectoria de estudios.

RESUMEN

El presente trabajo de título se realizó en el área de gestión de activos en la Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi, específicamente en el área de molienda donde sus principales equipos son los molinos sag, de modo de encontrar oportunidades de mejorar la gestión de mantención en las que tuviesen repercusión a la disponibilidad y confiabilidad de los equipos.

En primer lugar, se determinaron los equipos críticos del área de molienda con mayor oportunidad para el estudio de repuestos, mediante el análisis de los estándares de trabajo, frecuencias de la ejecución de los estándares, tiempo en llegar a bodega y el stock de los repuestos. Se definen repuestos críticos mediante un análisis de riesgo de no contar con el stock a tiempo y el riesgo de que falle el componente del equipo.

Mediante el análisis de los resultados obtenidos en el estudio, se entrega una sugerencia de stock esperado al área de bodega, para que ésta pueda tomar decisiones y así aumentar la disponibilidad incrementando la cantidad de materiales que se necesitan para las mantenciones de los equipos, evitando que se puedan retardar las mantenciones planificadas por la falta de este material y con lo cual puedan parar la producción. También se pretende tener una ganancia de stock retenido, reduciendo la cantidad de repuestos que se encuentren bajo control o sobre stock.

Teniendo en cuenta este proyecto la confiabilidad de repuestos es pionero, se pretende ir mejorando con más información, mientras más información de las áreas de mantención, más exacto van a ser los resultados del riesgo de los repuestos.

Finalmente se realizó una simulación de los datos de bodega y mantenimiento obteniendo escalas de criticidad de los repuestos de molienda, aplicando método de jackknife se logró obtener dos sectores importantes del gráfico que son los repuestos con mayor criticidad y con los de menor criticidad, con distintos valores de tiempo futuro.

ABSTRACT

The present title work is carried out in the area of asset management in the Minera Doña Inés de Collahuasi company, in the milling area where the main equipment are the sag mills, the way to find the opportunities to improve the management of the maintenance on the impact and reliability of the equipment.

In the first place, the results of the search results, the time to reach a warehouse and the stock of the spare parts are determined. . The results are defined by means of a risk analysis.

By analyzing the results in the study, a suggested stock of stock is delivered to the warehouse area, so that it can make decisions and thus increase availability increase the amount of materials needed for equipment maintenance , avoiding that the scheduled maintenance can be delayed due to the lack of this material and with which production can be stopped. It is also intended to have a retained stock gain, reducing the amount of spare parts that are under control or over stock.

Taking into account this project, the reliability of the spare parts is pioneering, in order to obtain better results, more information in the areas of retention, beyond the results of the risk of the spare parts.

Finally, a simulation of the winery's data and the maintenance, as well as the scales of the criticism of the replenishment of the milling, were carried out, applying the method of the knife. Future time values.

GLOSARIO

ELLIPSE: Software ERP de la empresa Collahuasi, para realizar mantenciones

RMES: Software utilizado por el área de confiabilidad, para determinar los kpi de confiabilidad en la empresa, para sus áreas productivas

Nomenclatura tag de equipo (xxx-yy-zzzz):

xxx: código del lugar del sitio donde se encuentra

yy: código abreviado del equipo

zzz: número correlativo del equipo si existe 1 o más equipos

O: Operación

MP: Mantención Programada

MN: Mantención Mecánica No Programada

EN: Mant. Eléctrica No Programada

IN: Mant. Instrumental No Programada

DC: DCS y Falla Comunicación

AC: Accionamiento

CE: Corte Suministro de Energía Eléctrica

FM: Falta Mineral

FA: Falta Agua

OF: Otras Fallas

YTD: Año a la fecha

MTD: Mes a la fecha

WTD: Semana a la fecha

OEE: Efectividad Global de Equipos

FPN: Factor de Producción Nominal

MC: Mantenimiento Correctivo

MCG: Mantenimiento Correctivo General

MCM: Mantenimiento Correctivo Mecánico

MCE: Mantenimiento Correctivo Eléctrica

MCI: Mantenimiento Correctivo Instrumental

MCH: Mantenimiento Correctivo Hidráulica

MCL: Mantenimiento Correctivo por Lubricación

MCR: Mantenimiento Correctivo por Revestimiento

MCV: Mantenimiento Correctivo por Vulcanización

MCRF: Mantenimiento Correctivo Refractaria

MCCtrl: Mantenimiento Correctivo por Control

MP: Mantenimiento Preventivo
MI: Mantenimiento Inspección
MO: Mantenimiento Overhaul
MPO: Mantenimiento Preventivo por Oportunidad
MPC: Mantenimiento Programado Correctivo
MGP: Mantenimiento General de Planta
DO: Detención Operacional
CP: Control de Procesos
DONP: Detención Operacional No Programada
DCE: Detención por Causa Exógena
DAAB: Detención aguas Abajo
DAAR: Detención aguas Arriba
DDL: Detención de Línea
OD: Demora Operacional
ODNP: Demora Operacional No Programado
MCA: Mantenimiento Correctivo por Accidente
PPR: Pérdida Por Rendimiento
DNC: Detención No Clasificada
ONP: Operativo No Productivo
PPP: Parada Planificada de Producción
EFF: Equipo Fuera de Flota

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	i
RESUMEN	ii
ABSTRACT.....	iii
GLOSARIO	iv
ÍNDICE.....	vi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	ix
INTRODUCCIÓN	x
OBJETIVOS GENERALES	xi
OBJETIVOS ESPECIFICOS	xii
1. DESARROLLO DEL TEMA	1
1.2.ANTECEDENTES GENERALES.....	1
1.2.1. Descripción de la empresa	1
1.2.2. Ubicación.....	2
1.2.3. Disponibilidad de Suministros	2
1.2.4. Propósito y Valores.....	3
1.2.5. Políticas del Negocio	4
1.2.6. Organización de la Empresa.....	6
1.2.7. Producción.....	8
1.2.8. Proceso Productivo	9
1.2.8.1. Extracción y Chancado	10
1.2.8.2. Molienda.....	11
1.2.8.3. Flotación.....	13
1.2.8.4. Transporte de Concentrado al Puerto	14
1.2.9. Distribución de Producción de Collahuasi.....	15
1.2.9.1. Producción de Collahuasi.....	15
1.3.MARCO TEORICO.....	17
1.3.1. Gestión de Activos.....	17

1.3.2. Función de Confiabilidad.....	19
1.3.3. Mean Time Between Failure (MTBF):.....	19
1.3.4. Mean Time to Repair (MTTR):.....	20
1.3.4.1. Mantenimiento Preventivo	20
1.3.4.2. Mantenimiento Correctivo	20
1.3.4.3. Mantenimiento predictivo	20
1.3.4.4. Mantenimiento Sistemático.....	20
1.3.5. Mantenimiento de equipos.	21
1.3.5.1. Mantenibilidad de equipos evaluación:	22
1.3.5.2. Análisis de Pareto	24
1.3.5.3. Jack Knife (Knights, 2004):	24
1.3.5.4. RCA Análisis Causa Raíz	25
1.3.6. Ingeniería de Métodos.....	26
1.3.6.1. Estudios de procedimientos.....	28
1.3.6.1.1. Procedimiento para un estudio de métodos según (OIT)	28
1.3.6.1.1.1. Seleccionar	28
1.3.6.1.1.2. Registrar	28
1.3.6.1.1.3. Examen crítico.....	29
1.3.6.2. Estudio de Tiempo	32
1.3.6.2.1. Elementos y preparación para el Estudio de Tiempos	32
1.3.6.2.2. Actitud frente al trabajador	32
1.3.6.2.3. Análisis de comprobación del método de trabajo	33
1.3.6.2.4. Ejecución del estudio de tiempos	33
1.3.6.2.5. Principios de economía de movimientos:	34
1.3.6.2.6. Estudio de tiempo con cronometro.....	34
1.3.6.2.7. Tiempo Estándar.....	36
1.4.DISEÑO DE LA METODOLOGÍA	36
1.4.1. Tipo de investigación.....	36
1.4.2. Diseño de la investigación	37

1.4.3. Población y muestra	37
1.4.4. Técnica e instrumentos de recolección de datos	38
1.4.5. Descripción del problema y propuesta	38
1.4.5.1. Definición de la problemática	39
1.4.5.2. Propuesta	39
1.4.5.3. Metodología.....	40
1.5.Desarrollo de la metodología.	43
1.5.1. Análisis de la situación actual.	44
1.5.2. Equipos del área de molienda.....	45
1.5.3. Jerarquización de equipos críticos.....	46
1.5.3.1. Clase por impacto (CI).....	46
1.5.3.2. Clase por Frecuencia (CF)	48
1.5.3.3. Ponderación de parámetros	49
1.5.3.4. Resumen de análisis de criticidad	49
1.5.4. Análisis de puntos débiles de equipos críticos.....	51
1.5.5. Diseño de plan de mantenimiento y recursos necesarios	51
1.5.6. Definición de Repuestos Críticos	52
1.5.7. Variables de Repuestos:	55
1.5.8. Formulas utilizadas:	56
1.5.9. Análisis Económico	60
1.5.9.1. Tiempo y costo de mantenciones correctivas.	60
1.5.9.2. Disminución horas hombre	61
1.5.9.2.1. Digitación SOS	61
1.5.9.2.2. Análisis de repuestos	61
1.5.9.2.3. Mantención.....	62
1.5.9.3. Mejoramiento de disponibilidad esperada en molienda.	62
1.5.9.4. Disminución del costo de inventario	63
1.5.9.5. Recomendaciones de compras de repuestos críticos.....	64
2. CONCLUSION.....	66

3. BIBLIOGRAFIA	67
4. ANEXOS.....	68
4.1.Análisis de criticidad.....	68
4.2.BS EN ISO 14224:2016	71
5. DISCO COMPACTO (CD).....	79

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Ubicación Minera Doña Inés de Collahuasi	2
Ilustración 2. Ciclo Gestión de Riesgo CMDIC.....	5
Ilustración 3. Organigrama Gerencia Gestión de Activos	7
Ilustración 4. Índice productividad y costos 2012-2017.....	8
Ilustración 5. Proceso Productivo Collahuasi	9
Ilustración 6. Etapas Productivas Collahuasi	10
Ilustración 7. Diagrama Correas Transportadoras Collahuasi	11
Ilustración 8. Layout Planta Concentradora Collahuasi	12
Ilustración 9. Espesador Collahuasi.....	14
Ilustración 10. Diagrama transporte de concentrado de cobre Collahuasi .	15
Ilustración 11. Esquema de Producción de Línea de Sulfuros.....	16
Ilustración 12: Tipos de Mantenimiento.	21
Ilustración 13. Preguntas OIT para técnicas interrogatorio	30
Ilustración 14. Esquema del modelo de mantenimiento en base a focos estratégicos.....	43
Ilustración 15. Producción promedio de concentradora	44
Ilustración 16. Esquema de niveles de criticidad dentro de Jack Knife	53
Ilustración 17. Jackknife de Riesgos.....	58
Ilustración 18. Resumen de análisis de 3 meses.....	59
Ilustración 19. Resumen de análisis de 6 meses.....	59
Ilustración 20. Resumen de análisis de 12 meses.....	59
Ilustración 21. Disponibilidad y utilización del área de molienda.....	62
Ilustración 22. Mejoramiento esperado de disponibilidad.....	63

INTRODUCCIÓN

La Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi es una mina destinada a la producción de concentrado de cobre en su mayoría y su meta es producir la mayor cantidad de concentrado, dentro de lo que el diseño de su planta concentradora lo permita. Es por esto que la disponibilidad de esta planta concentradora es un indicador crucial para que esté la mayor cantidad del tiempo habilitada para operar. Por consiguiente, la eficiencia y eficacia en sus trabajos de mantención son de gran importancia a la hora de mejorar la disponibilidad.

En relación con los trabajos de mantención, existe un problema evidente hoy en día, lo cual, es la incertidumbre de los tiempos destinado a los trabajos de mantención en sus respectivos planes matrices. Algunas tareas emplean tiempos altos, para lo que se les debería destinar a otras tareas que tienen tiempos bajos, en otras tareas simplemente no se tiene un tiempo destinado o calculado para su ejecución.

Dada la competencia que existe en la industria, el uso eficiente de los recursos cobra mayor relevancia optando por escoger distintas herramientas que permitan una mejora en el uso de estos. A su vez, la opción de lograr un uso eficiente de los recursos trae consigo la implementación de buenas prácticas a nivel mundial, con el objetivo final de la “Excelencia Operacional”.

Según el estadístico William Deming, “la razón para estudiar los resultados de un cambio consiste en tratar de aprender a mejorar el producto de mañana o la cosecha del año que viene, la planificación requiere predicción, los resultados de un cambio o de un ensayo pueden fomentar nuestra fe en la predicción, para poder planificar”.

La necesidad en la industria minera que se genere un sistema o metodología de trabajo que permita mejorar cada vez las actividades a desarrollarse, hace imperioso encontrar nuevas técnicas y métodos para lograr la eficiencia en los proyectos a realizarse. Existen varias técnicas de programación de actividades pero es necesario evaluar cada una de estas, en base a que tan factible es su implementación y los beneficios que pueden encontrarse.

El método que se empleará para mejorar la eficiencia operacional y conocer los tiempos efectivos necesarios para las tareas de entrega de materiales en Minera Collahuasi será una combinación de técnicas y diferentes estudios que apuntan a un mismo objetivo, de identificar oportunidades para hacer más eficiente el proceso de mantención.

Dicho método abarcará 5 estudios específicos:

- 1.-Estudio de estandar de trabajo.
- 2.-Estudio de equipos criticos.
- 3.-Estudio planes de mantenimiento.
- 4.-Repuestos criticos a partir de variables de abastecimiento
- 5.- Repuestos criticos a partir de variables de mantención.

El fin de esta investigación será identificar tópicos mediante los estudios involucrados de modo de reducir el stock no critico y tener repuestos criticos suficientes para realizar las mantenciones; con el propósito de reducir los costos de mantención, minimizar los riesgos del sistema y otorgarle mayor disponibilidad a los equipos en estudio

OBJETIVOS GENERALES

“Generar un Listado de Repuesto con criticidad, para los procesos productivos en la cadena de valor de Molienda, considerando la variable confiabilidad, mantenibilidad, parámetros de bodega y planificación.”

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Analizar el Contexto de Situación actual.
- Jerarquizar equipos críticos del Área de Planta.
- Analizar puntos débiles en equipos de alto impacto.
- Revisión de los planes de mantenimiento y Recursos necesarios, para identificar desviaciones.
- Definición de los repuestos críticos:
 - Identificar las variables de entrada a utilizar en base al análisis del modelo de mantenimiento.
 - Analizar la información necesaria de materiales del sector de Molienda y solicitar a las áreas como abastecimiento, mantención y/o planificación los datos necesarios.
 - Separar la información de los materiales entregados por las áreas de abastecimiento y planificación con respecto a los repuestos.
 - Modelar la información en un algoritmo matemático con la información asociada a repuestos, tomando como variables el rango de tiempo pasado y de tiempo futuro a proyectar.
 - Generar una lista de Repuestos Críticos en base a la información entregada.
 - Revisar de lista de Repuestos Críticos, recomendando la compra de estos a bodega para reducir el sobre stock.
- Análisis Económico
- Recomendaciones y conclusiones.

1. DESARROLLO DEL TEMA

1.2. ANTECEDENTES GENERALES

1.2.1. Descripción de la empresa

Collahuasi es una compañía minera dedicada a la extracción, producción de concentrado y cátodos de cobre, además de concentrado de molibdeno. A diciembre del año 2015 Collahuasi era la tercera mayor operación de cobre en el mundo y uno de los mayores depósitos de recursos minerales de cobre del planeta (9.964 millones de toneladas).

Sus instalaciones industriales y los yacimientos Rosario, Ujina y Huiniquitipa, ubicados en la comuna de Pica, Región de Tarapacá conforman el Área Cordillera. En el sector de Ujina se encuentra también la planta concentradora, desde donde nace un sistema de minero ductos de 203 km de extensión, a través del cual el concentrado de cobre es trasladado hasta el Terminal Marítimo Collahuasi. Desde este recinto ubicado en Punta Patache a 65 km al sur de la ciudad de Iquique se embarcan los productos hacia los mercados internacionales. En este lugar se encuentran también las plantas de molibdeno y de filtrado de concentrado.

Los accionistas son Anglo American plc (44%), Glencore (44%) y Japan Collahuasi Resources B.V. (12%), los que están representados en su Directorio.

El 2016 Collahuasi contó con una fuerza laboral total de 5.945 trabajadores, compuesta en un 36% por dotación propia y un 64% de tercerizados. Además, un 44,8% de los trabajadores propios provinieron de la Región de Tarapacá.

El 2017 Collahuasi logró una producción histórica de cobre de 524 mil toneladas, equivalente al 9,5% de la producción total de Chile.

1.2.2. Ubicación

Los yacimientos de Collahuasi se emplazan en el altiplano del desierto de Atacama, con una altura promedio de 4.400 msnm, una zona andina que se caracteriza por tener un clima lluvioso en verano debido al invierno boliviano y nevadas ocasionales en invierno. A 40 km de las operaciones de la mina se ubica el poblado de Huatacondo y a 130 y 135 km las localidades de Pica y Matilla respectivamente, las que están rodeadas de zonas de alto valor por su diversidad biológica como salares, humedales y bofedales.



Ilustración 1. Ubicación Minera Doña Inés de Collahuasi

1.2.3. Disponibilidad de Suministros

La Minera Doña Inés de Collahuasi posee suministros eléctricos provenientes del Sistema Interconectado del Norte Grande (SING) a través de contratos de mediano y largo plazo.

En cuanto al suministro de agua la planta concentradora de la compañía consideró desde el inicio de su operación la utilización de agua proveniente de pozos profundos ubicados cercanos a la frontera con Bolivia en su proceso productivo, para la obtención de concentrado de cobre.

El consumo de agua alcanza más de 0,586 metros cúbicos por tonelada de material procesado, provenientes de los mencionados pozos profundos y de la recuperación de agua del proceso en sus distintas etapas de este.

1.2.4. Propósito y Valores

La visión de Collahuasi se enmarca en la estrategia global definida para el quinquenio 2019-2024, cuyo foco es el desarrollo sustentable de la Compañía.

Propósito:

“Porque somos mucho más que cobre, lideramos con pasión un negocio de excelencia para construir una sociedad mejor”.

Lo anterior implica reforzar y enfatizar la sustentabilidad sobre los siguientes ejes:

- Trabajar con foco en la gestión de riesgos, buscando la excelencia operacional.
- Fortalecer la gestión más allá de la empresa, afianzando la relación con las comunidades y los colaboradores.
- Que toda la organización entienda a cabalidad cuál es el propósito de la Compañía para concretarlo con pasión y entusiasmo.
- Acentuar el valor que tienen las personas para la organización, con énfasis en generar un compromiso e identificación de todos quienes son parte de Collahuasi.
- Ejercer un liderazgo que comparta y transmita el propósito de la Compañía, planteándolo con una mirada de largo plazo.

Valores:

“Seguridad, honestidad, reconocimiento, respeto, pasión, responsabilidad son los valores que guían este propósito.”

1.2.5. Políticas del Negocio

Propósito:

Establecer los principios que permitan reconocer la existencia de riesgos, evaluarlos adecuadamente y desarrollar acciones de mitigación que permitan controlarlos a un nivel aceptable.

Principios:

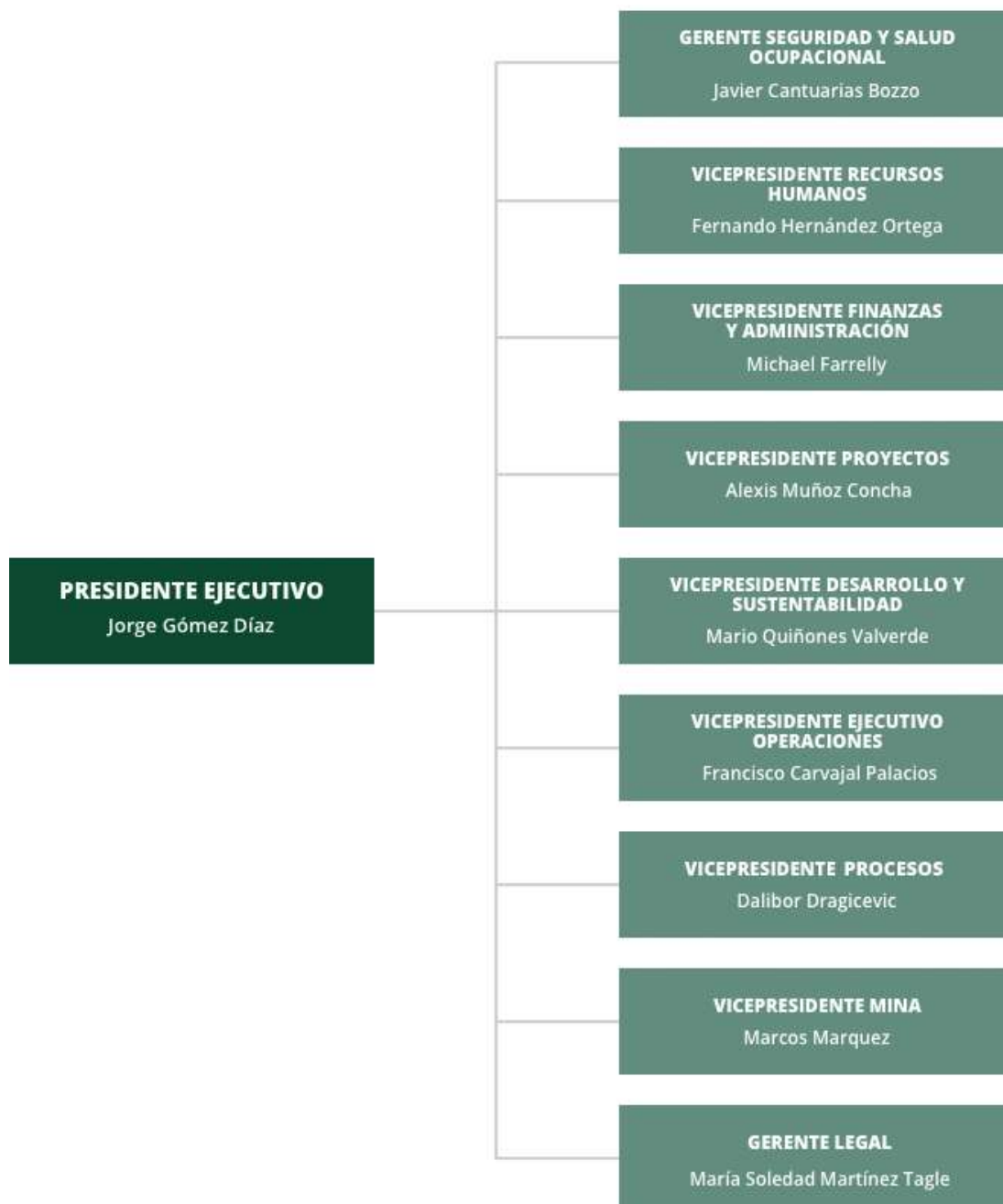
- Asumir que existen condiciones, situaciones o eventos que pueden desencadenarse y resultar en consecuencias positivas o negativas para los empleados, las comunidades donde sus instalaciones son vecinas, el medio ambiente, los activos o bienes y para sus dueños.
- Entender que el riesgo es un aspecto inseparable del negocio, que debe ser adecuadamente administrado y gestionado.
- La responsabilidad por la Administración de Riesgos recae en la Gerencia de la Compañía.
- En los distintos niveles de la organización se incorpora el análisis de los riesgos asociados dentro de las labores diarias que realizan de manera sistemática.
- Cuenta con un Sistema de Administración de Riesgos que permite asegurar un ambiente adecuado para aumentar el valor de la inversión de los accionistas a través de desarrollar y proteger a los empleados, maximizar el uso de los activos bajo nuestra responsabilidad, cuidar el medio ambiente y la interacción con las comunidades vecinas a nuestras operaciones y mantener en alto la reputación.
- Se ha adoptado la metodología “IRM”, o “Gestión Integrada de Riesgos” asignando “Probabilidad de Ocurrencia” a los distintos eventos y la “Consecuencia” o “Impacto” a cada uno de ellos como resultado de su ocurrencia y así establecer las acciones de mitigación a implementar.



Ilustración 2. Ciclo Gestión de Riesgo CMDIC

1.2.6. Organización de la Empresa

Dentro de la organización se muestra organigrama de los cargos de la vicepresidencia.



El desarrollo de esta memoria se realizó en la Gerencia de Gestión de Activos, la cual se encarga de las labores de la gestión de los activos de las todas las áreas productivas con las que cuenta la compañía. Específicamente se trabajó en la Planta concentradora.

El organigrama a continuación muestra el área donde se trabajó esta memoria

Compañía Minera de Doña Inés de Collahuasi

Gerencia de Gestión de Activos & Confiabilidad<

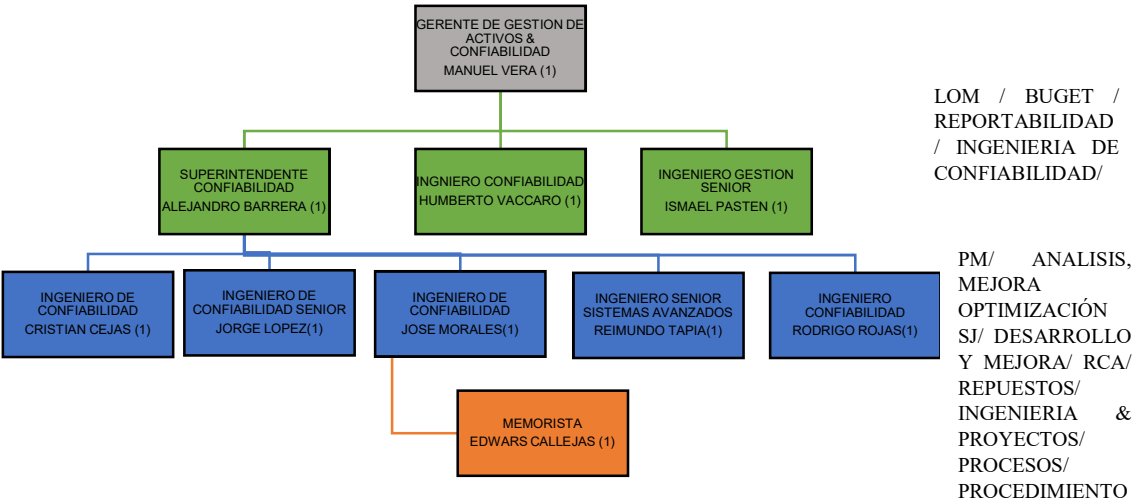


Ilustración 3. Organigrama Gerencia Gestión de Activos

STAFF GGA&C
EJECUTIVOS: 4
SUPERVISORES: 5
MEMORISTA:1
TOTAL, STAFF: 10

1.2.7. Producción

La Compañía cuenta con dos procesos productivos en sus yacimientos, una línea de sulfuros y otra de óxidos, las que producen cobre y molibdeno. El año 2015 la Compañía realizó el cierre parcial temporal de la planta de cátodos. El 2017 Collahuasi produjo 524 mil toneladas de cobre fino, con ventas totales por US\$ 2.690 millones.

Respecto de los costos, gracias a planes desarrollados para gestionar y fortalecer la competitividad de la Compañía se bajó el costo operacional a US\$1,41 el libra, cercano al primer cuartil de la industria.

La Compañía anotó resultados positivos de producción durante el año 2017, al lograr una producción de 524 mil toneladas, unas 17 mil toneladas más que en el mismo período del año anterior. A eso se sumó una reducción de 23% en sus costos, llegando a US\$ 1,08 la libra, entre otros factores, a las mejoras operacionales y de gestión que se han implementado en los últimos años, poniendo foco en su cadena de valor y asegurando la eficiencia de sus procesos.

INFORMACIÓN	2015	2016	2017
Índice de frecuencia	0,6	0,45	0,38
Costo por tonelada movida (US\$/ton mov.)	2,12	1,88	1,98
Costo por tonelada procesada (US\$/ton proc.)	8,18	6,52	6,35
Gasto operacional (US\$Mill)	1.230	1.073	1.071
Producción por trabajador (ton)	74,3	93,5	98,2



Ilustración 4. Índice productividad y costos 2012-2017

1.2.8. Proceso Productivo

La Minera Collahuasi cuenta con dos áreas productivas rajo Rosario y rajo Ujinas. De donde el rajo Rosario se extrae mineral para producir concentrado de cobre y desde Ujinas se extrae mineral para la planta Hidrometalurgia con el fin de producir cátodos de cobre. Hoy en día solo se opera con el rajo de Rosario para producir únicamente concentrado de cobre. La ubicación de las etapas de ambas plantas y sus procesos se pueden apreciar en la imagen.

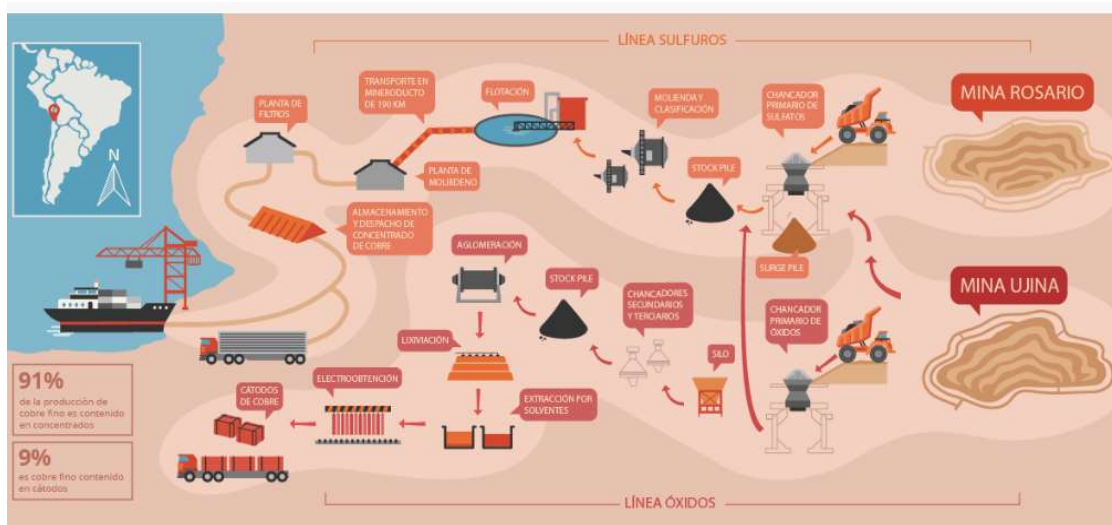


Ilustración 5. Proceso Productivo Collahuasi

En la siguiente figura se aprecia de una forma más global y generalizada las distintas etapas del proceso de operación de la planta concentradora.

El proceso comienza con la extracción del mineral proveniente del yacimiento y prosigue hacia las etapas de chancado primario, molienda, flotación, concentrado y embarque.



Ilustración 6. Etapas Productivas Collahuasi

1.2.8.1. Extracción y Chancado

El proceso de extracción y chancado comienza en que el rajo es tronado mediante explosivos, para que palas mecánicas carguen los camiones de alto tonelaje que trasladan el mineral hacia el Chancador Primario. El Chancador Primario es la primera etapa del proceso de conminución de la única línea productiva operativa de la Minera Collahuasi. Las instalaciones del Chancador Primario están preparadas para recibir la descarga de dos camiones KOMATSU 960 de 360 toneladas de capacidad. El ritmo de tratamiento del mineral es de aproximadamente 150.000 t/d nominal.

El chancador primario utilizado es del tipo giratorio, con una capacidad de aproximadamente 10500 t/h. Siendo en su año de instalación el chancador de mayor capacidad en el mundo. Las instalaciones cuentan, además con un picador de rocas para casos de inchancables y atascamiento de material.

El producto ya procesado por el chancador primario es descargado a través de una tolva de descarga y de un chute hacia un alimentador de correa de 14 m de largo y 3.048 mm de ancho con una capacidad de 11400 t/h, con un motor de 300 kW de potencia, esta correa alimenta a una correa Overland de 2648 m de largo con una capacidad de un poco más de 12000 t/h. La correa Overland alimenta a una serie de correas que finalmente terminan por descargar el mineral chancado en el acopio de mineral grueso o Stock Pile el cual almacena el mineral que posteriormente alimentará a la molienda SAG.

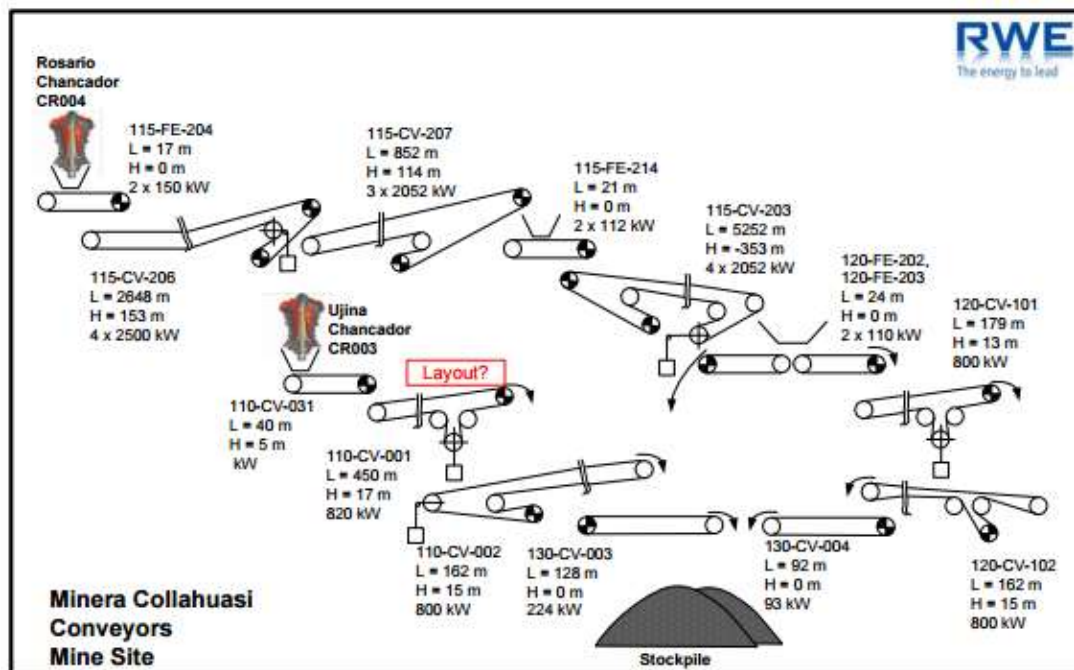


Ilustración 7. Diagrama Correas Transportadoras Collahuasi

1.2.8.2. Molienda

La etapa de molienda de Concentrado de cobre es la etapa más importante para este estudio. El análisis realizado se desarrolló en esa etapa.

La primera parte de la molienda se compone de 3 molinos SAG. Luego de pasar por el proceso de molienda de los SAG el material es descargado en un Trommel el cual se encarga de clasificar o seleccionar el mineral de acuerdo con su granulometría. El material de mayor tamaño se envía a los chancadores de Pebbles mientras que el material que pasa por la malla del Trommel se envía a los Hidrociclones, los cuales son alimentados por 8 Bombas Centrifugas, llamadas bombas bajo Molino. El material de menor tamaño seleccionado por los hidrociclones se dirige a las celdas de flotación mientras que el de mayor tamaño se recircula hacia los 4 Molinos Bola para realizar otro proceso de molienda y posteriormente enviar nuevamente hacia los hidrociclones.



12

1.2.8.3. Flotación

El proceso que le sigue a Molienda es el proceso de Flotación, que corresponde a la etapa intermedia del proceso de concentrado. La función primordial de esta etapa es concentrar el cobre presente en el material extraído del rajo, de modo de poder obtener un producto con valor comercial.

El proceso de flotación es alimentado en su mayor porcentaje por descargas de los hidrociclones. Y este proceso se descompone en flotación primaria y flotación de barrido. El overflow generado en la etapa de molienda secundaria, es enviado a la flotación primaria, que se realiza en celdas convencionales tipo estanque, generando concentrado de cobre y que es conducido a la etapa de remolienda. En la flotación primaria se obtiene además una cola primaria que constituye parte del relave global de la planta.

La flotación primaria junto con la flotación de barrido, son las principales componentes de la alimentación a la etapa de remolienda de concentrado. Esta etapa consta con baterías de hidrociclones trabajando en circuito abierto e inverso, es decir, el mineral es previamente clasificado y la fracción gruesa es enviada al molino vertical.

El producto remolido y el overflow de los hidrociclones de la etapa de remolienda, constituyen la alimentación a la flotación de limpieza, realizada en celdas tipo columnas cuyo concentrado producido constituyen el concentrado final que pasa a la etapa de espesamiento para su posterior envío al sistema de transporte de este.

El proceso siguiente es el de espesamiento de concentrado, en el cual lo constituyen dos espesadores de concentrado, mientras que para el espesamiento de relaves lo constituyen 4 espesadores. En estos procesos la función más importante es que se obtienen concentraciones de 67% en sólidos obteniéndose una recuperación de agua la cual es inyectada al proceso, disminuyendo la extracción de agua de los pozos.

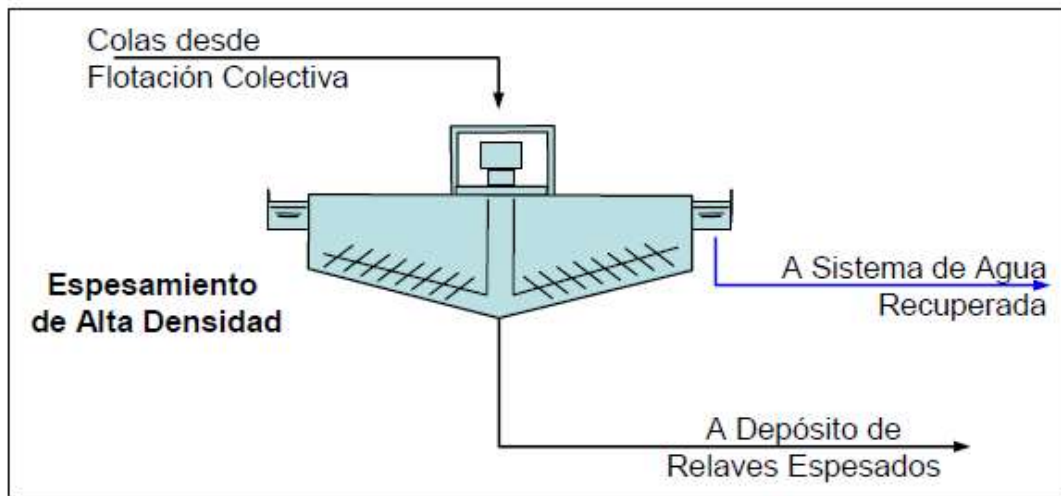


Ilustración 9. Espesador Collahuasi

1.2.8.4. Transporte de Concentrado al Puerto

La etapa de bombeo comienza en los estanques de almacenamiento de concentrado, los cuales alimentan a la estación de bombeo PS1 en donde se pasa a las bombas de precarga, que dan la presión necesaria para pasar a las bombas GEHO. Estas bombas poseen un flujo máximo de 118 m³/h y pueden trabajar a una presión máxima de 24 MPa. Las bombas se encargan de bombear, a través de un minero ducto de 8 pulgadas y otro de 7 pulgadas que tienen una longitud de 204 (km), todo el concentrado producido en la planta hacia Patache.

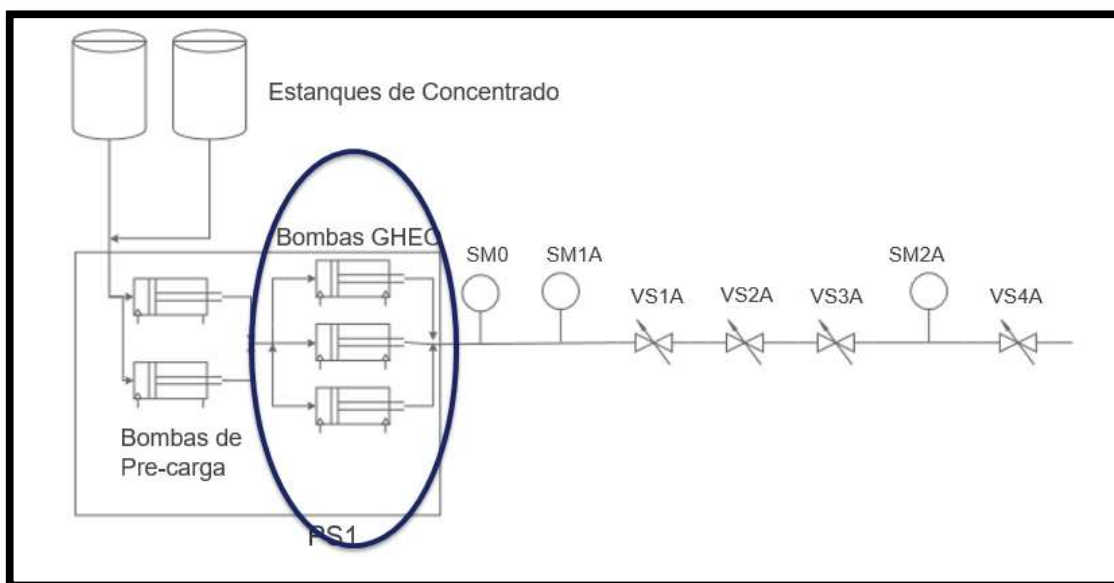


Ilustración 10. Diagrama transporte de concentrado de cobre Collahuasi

1.2.9. Distribución de Producción de Collahuasi

1.2.9.1. Producción de Collahuasi

	2015	2016	2017
Producción de cobre fino [tons.]	455.328	506.534	523.982
Producción de molibdeno [tons.]	5.181	3.698	2.893

La producción de mineral de Collahuasi se distribuye en diferentes países de Asia, Europa, Latinoamérica y Oceanía, ya sea como concentrado o como cátodos. China es el principal destino del concentrado, con un 33,4% del total de la producción, mientras que Corea es el principal receptor de cátodos, con un 79% del total producido por la compañía. Cabe señalar que en el 2017, el porcentaje de las ventas que representó el concentrado fue de 99,9%, mientras que para los cátodos fue del 0,1% restante.

• **Concentrados:** China (33,4%), Chile (24,7%), India (11,4%), Japón (3,0%), Corea (6,8%), Rumania (0,0%), Brasil (3,1%), España (3,8%), Suecia (0,0%),

Filipinas (2,7%), Finlandia (3,0%), Perú (2,8%), Rusia (1,6%), Bulgaria (1,6%), Alemania (0,9%), Australia (0,6%) y Malasia (0,5%).

• **Cátodos:** China (21%) y Corea (79%).

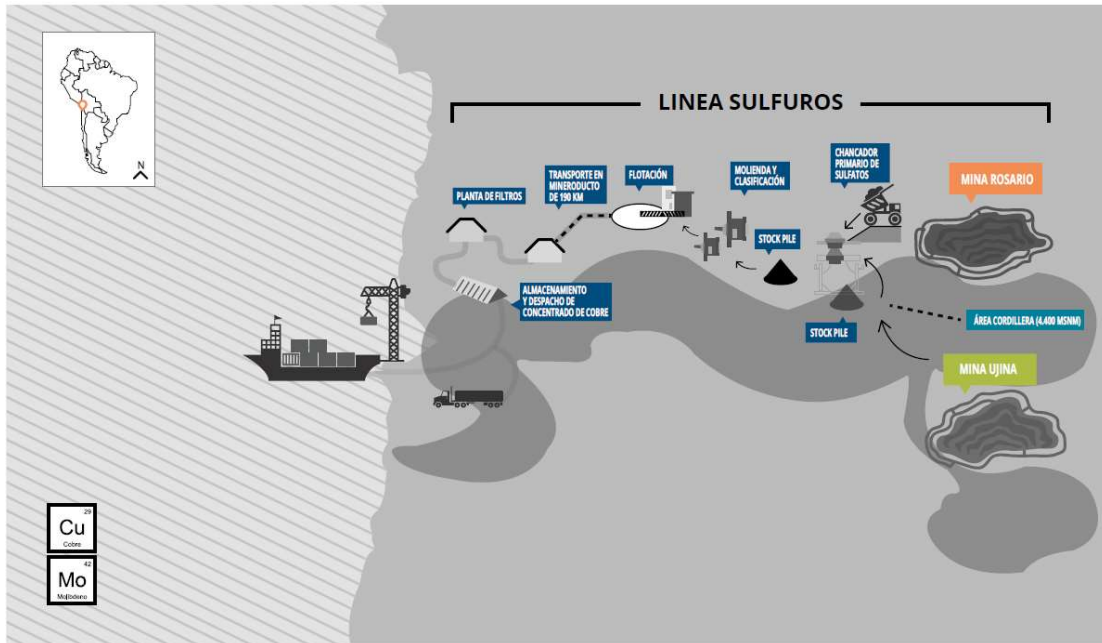


Ilustración 11. Esquema de Producción de Línea de Sulfuros

La producción del 2017 (523,9 Kton) solo ha sido superado por la producción del año 2009 (536 Kton), periodo en el cual la planta de óxidos se encontraba operando y aportó con 46 Kton. El mineral procesado en la Planta Concentradora también alcanzó un record histórico con 49,9 Mton.

1.3. MARCO TEORICO

1.3.1. Gestión de Activos

La gestión de activos es la disciplina que busca gestionar todo el ciclo del activo de manera de optimizar su operación como también extender su vida útil. La gestión de activos abarca desde su diseño y construcción hasta la explotación, mantenimiento y su final reemplazo. Abarca desde el CAPEX hasta su OPEX y reemplazo, con la finalidad de optimizar su operación y vida útil. Se debe destacar que la capacidad es una aptitud de cumplir una demanda de requerimientos y servicios de determinadas características. La disponibilidad es la aptitud para estar en condición de realizar una función solicitada en condiciones dadas en un instante o durante un intervalo de tiempo.

La disponibilidad del sistema productivo se ve limitado o condicionado por diversos factores, entre ellos:

- **Fiabilidad:** Aptitud de un elemento para realizar una función requerida, en unas condiciones determinadas de empleo y mantenimiento, durante un intervalo de tiempo dado.
- **Mantenibilidad:** Aptitud, en condiciones dadas de utilización, para ser mantenido o restituido, a un estado en el que pueda realizar una función requerida.
- **Logística de mantenimiento:** Desde un aspecto más organizativo que propio de los sistemas, es la aptitud de una organización de mantenimiento, en unas condiciones dadas, para proporcionar sobre demanda los medios necesarios para mantener un elemento conforme a una política de mantenimiento dada.

Existen otras definiciones para términos asociados a la gestión de activos propuestas por Torres (2008):

- **Confiabilidad:** La probabilidad de que un equipo, máquina o sistema trabaje sin tener alguna falla durante un periodo de tiempo.
- **Disponibilidad:** Ratio de tiempo en que el equipo, maquina o sistema está en condiciones de ser usado.
- **Mantenibilidad:** Probabilidad de que un equipo, máquina o sistema sea reparado en un período de tiempo dado.

Dado los factores expuestos anteriormente, surge la urgencia de fomentar y realizar una adecuada gestión de activos. Con el propósito de mantener siempre disponible el proceso productivo, considerando como tema central el mantenimiento óptimo y eficiente de los sistemas que componen el proceso productivo, obteniendo una ventaja competitiva.

La gestión del mantenimiento se orienta a la utilización más económica de unos medios por parte de unos empleados u operarios, con la finalidad de conservar y/o restituir los equipos de producción a unas condiciones que les permitan cumplir con la función requerida (Crespo Márquez, Moreu de León, & Sánchez Herguedas, 2004). Se definirá mantenimiento como el conjunto de todas las actividades técnicas, administrativas y de gestión durante el ciclo de vida de un equipo o elemento de máquina, destinado a conservarlo en un estado en el cual tenga la factibilidad de desarrollar la función para la cual fue diseñado o para la función para el cual fue requerido.

Los principales objetivos para quienes se les encomendó ejecutar la gestión del mantenimiento son:

- Mejorar las operaciones de mantenimiento.
- Mejorar la organización de mantenimiento.
- Reducir la cantidad y frecuencia de mantenimiento.
- Reducir la cantidad de aprovisionamientos.
- Reducir los efectos de la complejidad de los sistemas.
- Optimización de la frecuencia y cantidad de mantenimiento preventivo a realizar.
- Mejorar y asegurar la máxima utilización de las instalaciones de Mantenimiento.
- Reducir el nivel de especialización técnica en mantenimiento requerido al personal.

En la gestión del mantenimiento también se debe incluir un factor que es crucial para la disponibilidad del equipo o componente de los sistemas productivos, este factor es la falla. Factor que significa una detención que no está contemplada en la planificación de detención del equipo y que tiene por consiguiente una disminución en la disponibilidad de este. Para Crespo Márquez, Moreu de León, & Sánchez Herguedas (2004), entienden el fallo como el cese de la aptitud de un elemento para realizar una función requerida,

por lo que ocurrido el fallo, el elemento se encuentra en estado de avería (No disponible).

Hoy en día con técnicas de NDT (Técnicas de inspección no destructivas) es posible obtener la probabilidad antes de que suceda la falla. Además se logra obtener la llamada probabilidad de falla incipiente (límite inferior de probabilidad en que puede suceder la falla). El análisis de confiabilidad de los equipos o componentes es de crucial importancia para obtener resultados y indicadores. Además se puede llegar a detectar patrones que ayuden a optimizar la gestión del mantenimiento.

1.3.2. Función de Confiabilidad

La confiabilidad se define como la probabilidad de que un equipo o sistema opere sin falla por un determinado período de tiempo, bajo unas condiciones de operación previamente establecidas.

Se define a T como el tiempo de ciclo de vida del equipo o máquina.

$$R(t) = P(T > t)$$

De esta misma forma se puede calcular la probabilidad de que falle el sistema. Se cumple que el tiempo de ciclo de vida del equipo o máquina es menor al tiempo transcurrido, es decir, se espera que falle.

$$F(t) = P(T \leq t)$$

1.3.3. Mean Time Between Failure (MTBF):

Mean Time Between Failure o MTBF significa tiempo medio entre fallas, es decir, se conoce como el tiempo medio transcurrido desde que se inicia el funcionamiento del equipo hasta después de que fue reparado el equipo a causa de una falla hasta que ocurra la próxima falla. Se calcula de la siguiente forma:

$$MTBF = \int_0^{inf} R(t) dt$$

1.3.4. Mean Time to Repair (MTTR):

Mean Time to Repair o MTTR hace mención del tiempo medio que toma el equipo para ser reparado. Dicho parámetro está directamente relacionado y describe una situación actual del mantenimiento realizado; generalmente se obtiene de un preprocesamiento de datos históricos donde se capturan los datos de mantenciones realizadas.

Existen distintos tipos de mantenimiento definidos por Crespo Márquez, Moreu de León, & Sánchez Herguedas (2004):

1.3.4.1. Mantenimiento Preventivo

Mantenimiento realizado a intervalos determinados o criterios prescritos, destinado a reducir la probabilidad de fallo o la degradación del funcionamiento de un elemento.

1.3.4.2. Mantenimiento Correctivo

Mantenimiento ejecutado después del reconocimiento de una avería y destinado a restituirlo a un estado que permita realizar la función requerida.

1.3.4.3. Mantenimiento predictivo

También llamado mantenimiento sobre condición es el mantenimiento preventivo realizado en base a los resultados de la monitorización del funcionamiento del equipo. Este tipo de mantenimiento se realiza en base a la consecuencia del análisis y evaluación de parámetros.

1.3.4.4. Mantenimiento Sistemático

El mantenimiento preventivo realizado en base a unos intervalos de tiempo preestablecidos, sin investigación previa de la condición del elemento.

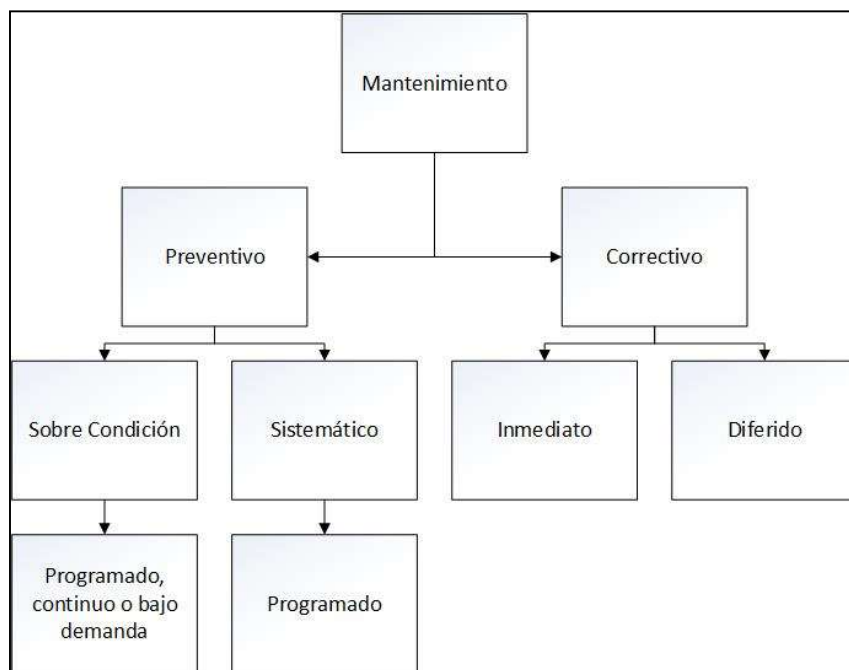


Ilustración 12: Tipos de Mantenimiento.

Fuente: Crespo Márquez, Moreu de León, & Sánchez Herguedas (2004).

La gestión de activos no solo tiene la misión de asegurar un nivel de disponibilidad de los equipos, sino además contempla una inmensidad de factores para identificar puntos estratégicos, con el fin de evaluar el impacto que tendrá los cambios a realizar, de modo de proyectar los esfuerzos y estrategias de donde se puede obtener mejoras con el mayor impacto en el proceso productivo.

Existen diversas técnicas o enfoques que permiten evaluar cualitativa y cuantitativamente los elementos que se deben medir para destinar o priorizar los recursos para mejoras en el proceso.

1.3.5. Mantenimiento de equipos.

1.3.5.1. Mantenibilidad de equipos evaluación:

La mantenibilidad de los equipos debe ser evaluada en base a indicadores. Estos no se basan en estadísticas, pero se les otorgan puntajes a atributos/factores que permiten obtener el valor final del indicador (Moreu De Leon, González-Prida Díaz, Barberá Martínez, & Crespo Márquez, 2012).

Los indicadores de mantenibilidad son clasificados en base a 2 tipos de atributos o características de los equipos:

- Atributos Generales: Estos afectan algún nivel de mantenimiento, es decir, estos son niveles de mantenimiento independiente.
- Atributos Específicos: Estos dependen del nivel de mantenimiento.

Los diversos niveles de mantenimiento mencionados a continuación son dictados a base de la complejidad de las tareas a realizar, los tiempos de detención que involucran estas actividades de mantención, la disposición y complejidad de recursos destinados para realizar las tareas de mantenimiento. (Moreu De Leon, González-Prida Díaz, Barberá Martínez, & Crespo Márquez, 2012). Estos niveles son:

- Nivel 1: Acciones de mantenimiento simple realizadas cuando está encendido el equipo. Se pueden realizar mantenimientos preventivos o correctivos, ya que no requiere que el equipo sea apagado. Se realizan simples ajustes que no necesitan de ensamblar o desensamblar.
- Nivel 2: Acciones de mantenimiento con reemplazo de componentes funcionales. Este conjunto de acciones se realiza cuando el equipo está apagado y estas pueden ser preventivas o correctivas.
- Nivel 3: Identificación y diagnóstico de fallas. Estas acciones de mantenimiento se hacen cuando el equipo está apagado. Permite identificar y localizar las causas de las fallas.
- Nivel 4: Inspecciones. Las inspecciones se refieren a una extensa cantidad de pruebas y acciones de mantenimiento preventivo/correctivo que requieren un desensamble total o parcial del equipo. La propuesta de inspección es para mantener, sobre un equipo, la disponibilidad requerida y los niveles de seguridad. Las revisiones son siempre realizadas en los intervalos de tiempo prescritos o después determinar cantidad de operaciones.

- Nivel 5: Actualización, reconstrucción y/o revisión. Estas operaciones están bajo la responsabilidad de los servicios de mantenimiento de la planta. Estas son operaciones muy importantes, las cuales deben incluir modificaciones y/o mejoras. Esto hace posible incrementar el ciclo de vida del equipo original.

Los indicadores de mantenibilidad son deducidos a partir de ciertas características de los equipos. Estas características son catalogadas en 3 grupos:

- Atributos relacionados al diseño del equipo:
 - Simplicidad.
 - Identificación.
 - Modularidad.
 - Tribología.
 - Estandarización.
 - Falla Observada.
 - Accesibilidad.
 - Ensamble/Desensamble.
- Atributos relacionados con el personal de mantención y condiciones de trabajo:
 - Ergonomía.
 - Entrenamiento.
 - Ambiente.
- Atributos relacionados a la necesidad de soporte logístico:
 - Relación con el productor.
 - Organización del personal.
 - Piezas de repuesto.
 - Herramientas y equipos de mantenimiento.
 - Coordinación entre departamentos.
 - Documentación.

1.3.5.2. Análisis de Pareto

Es una Herramienta de representación gráfica que identifica los problemas más importantes en función de su costo y tiempo, permitiendo establecer las prioridades de intervención. Se conoce como la regla 80/20, indica que el 80% de los problemas son originados por un 20% de las causas. Ayuda a separar los errores críticos que normalmente suelen ser pocos, de los no críticos.

Este análisis permite identificar los problemas mayores, por lo que la identificación de los defectos permitirá resolver los problemas teniendo en cuenta el orden de importancia dado los recursos y tiempos limitados.

Las ventajas que poseen son:

- Permite observar resultados de las mejoras implementadas al comparar dos diagramas del mismo fenómeno en momentos distintos de tiempo.
- Herramienta de fácil uso e implementación.
- Permite identificar rápidamente y a simple vista el problema más grave.

1.3.5.3. Jack Knife (Knights, 2004):

Es una herramienta visual que permite analizar y controlar la realización de mantenimiento, con el fin de darle prioridad a ciertas actividades de mantenimiento críticas para mantener cierto nivel establecido de disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad. Esta herramienta genera un gráfico que permite clasificar las actividades en agudas y crónicas.

Las variables que considera para establecer la criticidad de las actividades de mantenimiento son:

- Número de Actividad de mantenimiento.
- MTTR de cada actividad.
- Número de Fallas de cada actividad.
- Cantidad total de fallas ocurridas.
- Tiempo total del equipo en estado “Downtime”.

Con dichas variables se pueden obtener los límites del gráfico, logrando establecer ciertas áreas que permiten identificar los distintos problemas de cada

actividad. De acuerdo con la ubicación de los puntos, se pueden obtener los siguientes problemas:

- Problemas de Confiabilidad.
- Problemas de Disponibilidad.
- Problemas de Mantenibilidad.

1.3.5.4. RCA Análisis Causa Raíz

El Análisis de Causa Raíz es una herramienta utilizada para la identificación de la causa de falla, de manera de evitar sus consecuencias. Un análisis más profundo es para ayudar a comprender los eventos y mecanismos que actuaron como raíz del problema, los cuales se pueden clasificar de la siguiente forma:

- Análisis de falla de componentes (CFA), la cual implica el estudio de las piezas dañadas.
- Investigación de Causa de Raíz (RCI), esta herramienta incluye a la anterior, e investiga las causas físicas.
- Análisis de Causa Raíz (RCA), esta herramienta incluye a los dos anteriores, y estudia además el error humano.

Para realizar el Análisis de Causa Raíz a fondo, se debe ir más allá de los componentes físicos de la falla o raíces físicas y analizar las acciones humanas o raíces humanas que desataron la cadena causa–efecto que llevó a la causa física, lo cual implica analizar por qué hicieron eso, si debido a procedimientos incorrectos, especificaciones equivocadas o a falta de capacitación, lo cual puede sacar a la luz raíces latentes, es decir deficiencias en el gerenciamiento, que de no corregirse, pueden hacer que la falla se repita nuevamente.

El Análisis de Causa Raíz (RCA) tiene distintas aplicaciones, que van incluso más allá del Mantenimiento:

- Análisis de Fallas, para encontrar fallas complejas en equipos o procesos críticos, lo cual es una aplicación reactiva.
- Análisis de Fallas recurrentes de equipos o procesos críticos, lo cual es una aplicación Proactiva.
- Análisis de Modos de Falla y sus Efectos (FMEA), el cual se utiliza también en el RCM2.

- Análisis de errores humanos, en el proceso de diseño y aplicación de procedimientos.
- Análisis de accidentes e incidentes, en sistemas de Gestión de Seguridad y Salud Ocupacional (SySO).

El análisis de Causa Raíz es un proceso de deducciones lógicas que permite graficar las relaciones causa-efecto que nos conducen a descubrir el evento indeseable o causa raíz, preguntándonos:

- ¿Cómo es la forma que puede ocurrir una falla?
- ¿Por qué o cuales son las causas de esta?

Los hechos deben respaldarse mediante observación directa, documentación y deducciones científicas.

1.3.6. Ingeniería de Métodos

La ingeniería de métodos puede definirse como un grupo de procedimientos sistemáticos de las actividades de los procesos productivos actuales, para introducir mejoramientos que hagan más simple la realización de las actividades que involucre el trabajo, permitiendo que estas actividades se realicen en el menor tiempo posible y con una menor utilización de recursos para obtener el producto final. La ingeniería de métodos hace inclusión desde diseñar, crear, seleccionar las mejores técnicas de realizar el procedimiento, herramientas, equipo y habilidades.

Cuando el mejor procedimiento hace interacción con las mejores habilidades disponibles, nace una relación equipo-trabajador eficiente. Una vez establecido el procedimiento completo, la responsabilidad de determinar el tiempo estándar requerido para realizar la actividad se encuentra dentro del alcance de ese procedimiento. La ingeniería de métodos también hace inclusión a la responsabilidad de realizar constantes seguimientos y supervisiones para asegurar que:

- a) Se cumplan los estándares predeterminados.
- b) Los trabajadores tienen una compensación adecuada por su producción, habilidades, responsabilidades y experiencias.

- c) Que los trabajadores estén satisfechos con su trabajo.

Por lo cual, el enfoque principal de la ingeniería de métodos es incrementar las utilidades de la empresa, priorizando el análisis en:

- Las materias, materiales, herramientas, productos de consumo.
- El espacio, superficies cubiertas, depósitos, almacenes e instalaciones.
- El tiempo de ejecución y preparación.
- La energía tanto humana como física mediante una utilización racional de todos los medios disponibles.

Alcances de la ingeniería de métodos

- Diseñar, formular y seleccionar los mejores: Métodos, procesos, herramientas, equipos diversos y especialidades necesarias para manufacturar un producto.
- El mejor método debe relacionarse con las mejores técnicas o habilidades disponibles a fin de lograr una eficiente interrelación humano-máquina.
- Determinar el tiempo requerido para fabricar el producto de acuerdo al alcance del trabajo.
- Cumplir con las normas o estándares predeterminados y que los trabajadores sean retribuidos adecuadamente según su rendimiento.

Ramas de la ingeniería de métodos

- Estudio de procedimientos
- Estudio de tiempo

1.3.6.1. Estudios de procedimientos

El estudio visual del procedimiento se utiliza para analizar un procedimiento determinado y mejorar al desarrollo de un centro de trabajo con basta eficiencia. Es un estudio metódico de una gran cantidad de movimientos que efectúa el cuerpo humano al realizar las actividades que involucra la tarea. Su fin es eliminar o disminuir los movimientos que muestren signos de ineficiencia como también acelerar los movimientos eficientes.

Mediante el estudio de movimientos el trabajo se realiza con mayor facilidad y se ve reflejado un aumento en el índice de producción. Los creadores de este análisis fueron Frank y Lillian Gilbreth. Ellos fueron los primeros en realizar estudios de movimientos manuales y formularon leyes en la economía de movimientos que hasta hoy en día son consideradas como fundamentales.

1.3.6.1.1. Procedimiento para un estudio de métodos según (OIT)

1.3.6.1.1.1. Seleccionar

Consiste en establecer cuál es el problema, caracterizarlo, buscar toda la información mínima necesaria y suficiente relacionada con los hechos, descartar entre la información real y la ficticia, tener presente los diferentes aspectos de referencias de las unidades involucradas, emplear la observación directa para representar los hechos, garantizar la confiabilidad y seguridad de la fuente de información, evaluar los beneficios económicos que traería su solución, su factibilidad y el impacto. Es la etapa más importante del procedimiento.

1.3.6.1.1.2. Registrar

Consiste en la representación gráfica de los hechos tal cual como son y no como aparentan en el paso anterior. Esto se hace fundamentalmente a través de la

observación directa y utilizando como herramienta gráfica los diagramas. Este debe hacerse bajo 2 puntos de vista.

- Desde el área de puesto de trabajo.
- Desde el taller (específico y general).

Los diagramas son:

- Diagrama de operaciones.
- Diagrama de proceso.
- Diagrama de flujo recorrido.
- Diagrama hombre- maquina.
- Diagrama bimanual.

1.3.6.1.1.3. Examen crítico

Es una etapa que consiste en revisar, cuestionar, poner a prueba y escudriñar la información que se tiene relacionada al problema. Se realiza con espíritu crítico, sin ningún tipo de sesgo, recomendando revisar la dimensión y alcance de lo que se quiere hacer, con el objetivo de poner a prueba la propuesta evaluando 5 elementos: Propósito, medios, personas, sucesión y lugar.

Técnicas del interrogatorio: Es el medio para efectuar el examen crítico sometiendo sucesivamente cada actividad a una serie sistemática y progresiva de preguntas como se muestra a continuación:



Ilustración 13. Preguntas OIT para técnicas interrogatorio

- Idear

En esta etapa se debe buscar la manera y la forma de tener en cuenta las nuevas ideas, los aspectos innovadores, los diferentes puntos de vistas de forma tal que se pueda crear una nueva forma de hacer el trabajo con detalles mejorados. Es recomendable que se considere los aspectos anteriores para evaluar la necesidad

de alguna modificación o inclusión. Además, se debe dar garantía de lo que se está modificando de manera tal de mejorar las condiciones de trabajo.

- Definir

Debe abarcar las descripciones detallada de los siguientes aspectos: procedimientos a utilizar, disposición del local o el área, ubicación de los equipos y maquinarias, entradas y salidas, característica de los equipos, cantidad, disponibilidad, mantenimiento y materiales (cantidad y calidad)

- Implantar

La empresa debe buscar la forma de garantizar que todas las propuestas para la creación del nuevo método mejorado se den; es decir, debe planificar y ejecutar aquellas acciones que propendan a garantizar las soluciones propuestas. Además, se debe disponer de los recursos necesarios para su materialización y debe existir la disposición de la gerencia a apoyar la propuesta de forma conjunta con todas las unidades involucradas.

- Mantener en uso

Etapa que consiste en revisar de forma periódica a intervalos regulares el comportamiento, impactos y resultados del método propuesto de forma tal que se puedan detectar aquellas desviaciones que pudieran ser evaluadas para correcciones futuras. Cada empresa debe desarrollar sus propios mecanismos y sistema de control que garanticen la efectividad de la propuesta, produciendo mejoras considerables en: distribución de la planta, ubicación de los locales, área de almacenamiento, condiciones de trabajo y eficiencia general en el uso de los recursos. Esto significa que se generaran mayores niveles de productividad, es decir, mayor cantidad de unidades fabricadas por un aprovechamiento mejor de los recursos en la misma unidad de tiempo.

1.3.6.2. Estudio de Tiempo

Este estudio consiste en determinar con la mayor precisión dentro de lo posible, a través de un número determinado de observaciones, el tiempo necesario para la realización una actividad determinada con arreglo a una norma de rendimiento preestablecido.

1.3.6.2.1. Elementos y preparación para el Estudio de Tiempos

Para la realización de un estudio de tiempos, es necesario que el analista tenga la experiencia y conocimientos necesarios, con el fin de que tenga basta comprensión sobre una serie elementos requeridos para llevar a cabo un buen término de estudio.

Selección de la operación: Que operación se propondrá para su medición. Su tiempo, en primer orden es una decisión que depende del objetivo general que perseguimos con el estudio de la medición.

Selección del operador: Para la elección del trabajador se debe tener en consideración los siguientes puntos: Habilidad, deseo de cooperación, temperamento y experiencia.

1.3.6.2.2. Actitud frente al trabajador

- El estudio debe hacerse a la vista y conocimiento de todos.
- El analista debe observar todas las políticas de la empresa y cuidar de no criticarlas con el trabajador.
- No debe discutirse con el trabajador ni criticar su trabajo sino pedir su colaboración.
- Es recomendable comunicar al sindicato la realización de estudios de tiempos.

- El operario espera ser tratado como un ser humano y en general responderá favorablemente si se le trata abierta y francamente.

1.3.6.2.3. Análisis de comprobación del método de trabajo

En ningún caso se debe cronometrar una actividad u operación que no posea un procedimiento establecido o haya sido normalizada.

En las normas establecidas dentro de los procedimientos se debe tener especificado el lugar de trabajo junto con sus características, la maquinaria y las herramientas necesarias, además de los materiales. También se debe contemplar el equipo de seguridad que es requerido.

En estas normas se especifican el lugar de trabajo y sus características, las máquinas y herramientas, los materiales, el equipo de seguridad que se requiere para realizar dicha operación como mascarilla, extinguidores, delantales, lentes, botas, etc.

Una mantención estandarizada o normalizada tiene como significado que el trabajo era entregado siempre en la misma condición. Claro está siempre y cuando las condiciones de trabajo y los procedimientos a seguir, posean siempre la similitud necesaria.

1.3.6.2.4. Ejecución del estudio de tiempos

Se debe siempre con cada entrada de información, registrar esta y organizarla. Además, es de mucha importancia que el analista encargado proceda a registrar toda la información obtenida mediante una modalidad de observación directa, en caso de que sea necesario posteriormente consultar el estudio de tiempos.

La información se puede agrupar de la siguiente manera:

- Información que permita identificar el estudio de cuando se necesite.
- Información que permita identificar el proceso, el método, la instalación o la máquina.
- Información que permita identificar al operario.
- Información que permita describir la duración del estudio.

1.3.6.2.5. Principios de economía de movimientos:

Las mejoras de métodos conllevan a cambios en el equipo y su distribución. Normalmente un análisis detallado de las ubicaciones de las piezas en el lugar de trabajo y los desplazamientos necesarios para realizar la actividad, se reflejan en mejoras importantes. Una de las fuentes con mayor oportunidad en la industria hoy en día, es la realización de movimientos innecesarios debido a la mala logística y planificación previa a las mantenciones de los equipos.

1.3.6.2.6. Estudio de tiempo con cronometro

El estudio de tiempos es una técnica para determinar con la mayor exactitud posible, partiendo de un número limitado de observaciones, el tiempo necesario para llevar a cabo una tarea determinada con arreglo a una norma de rendimiento preestablecido.

Un estudio de tiempos con cronómetro se lleva a cabo cuando:

- Se va a efectuar una nueva actividad, operación o tarea.
- Se presentan quejas de los mantenedores o de sus representantes sobre el tiempo de una operación.
- Se encuentran tiempos muertos o retrasos por una operación lenta, que ocasiona retrasos en las demás operaciones.
- Se pretende fijar los tiempos estándar de un sistema de incentivos.
- Se encuentran bajos rendimientos o excesivos tiempos muertos de alguna máquina o grupo de máquinas.

Pasos para su realización

- Seleccionar la operación.
- Seleccionar al trabajador.
- Realizar un análisis de comprobación del método de trabajo.
- Establecer una actitud profesional frente al trabajador.

Ejecución

- Obtener y registra la información.
- Descomponer la tarea en elementos.
- Cronometrar el tiempo
- Calcular el tiempo observado.

Valoración

- Valorar el ritmo normal del trabajador promedio.
- Aplicar las técnicas de valoración.
- Calcular el tiempo base o el tiempo valorado.

Suplementos

- Análisis de demoras.
- Estudio de fatiga.
- Cálculo de suplementos y sus tolerancias.

Tiempo estándar

- Error de tiempo estándar.
- Cálculo de frecuencia de los elementos.
- Determinación de tiempos de interferencia.
- Cálculo de tiempo estándar.

1.3.6.2.7. Tiempo Estándar

El tiempo estándar se puede definir como el patrón que mide el lapso que se necesita para terminar una actividad de mantención, utilizando el método y equipo estándar. Esto medido para un mantenedor o trabajador que posee la habilidad necesaria, implementando una velocidad estándar que pueda mantener en el transcurso del tiempo.

Ventajas de la aplicación de los tiempos estándar

- Reducción de los costos; al descartar el trabajo improductivo, la razón de rapidez de producción es mayor.
- Mejora de las condiciones obreras; los tiempos estándar permiten establecer sistemas de pagos de salarios con incentivos.
- Es una herramienta que ayuda a establecer estándares de producción precisos y justos. Además de indicar lo que puede producirse en un día normal de trabajo, ayuda a mejorar los estándares de calidad.

1.4. DISEÑO DE LA METODOLOGÍA

1.4.1. Tipo de investigación

En este trabajo de título se abarcan los siguientes tipos de investigaciones:

1. Exploratoria: se conoce también como un estudio piloto, y se refiere a los estudios que se realizan por primera vez. También son empleados para captar problemáticas presentes en operaciones.
2. Descriptiva: es un tipo de investigación que permite describir y registrar de cómo está compuesta la organización tal como son observados.
3. Evaluativa: el fin de esta investigación es analizar el problema identificados en la organización con tal de ofrecer mejoras y propuestas para la problemática identificada.

1.4.2. Diseño de la investigación

El diseño empleado para este estudio fue de data, en donde se recolectó la información de forma directa del software de ERP ellipse (datos primarios) mediante técnicas específicas de trabajo de data como generación de consultas prediseñadas, uniendo distintas consultas de datos para generar una data para el estudio de la investigación. Las variables que se obtuvieron en este estudio no fueron controladas ni manipuladas.

1.4.3. Población y muestra

El área de la Minera Collahuasi en donde se enfocó el estudio fue el proceso de molienda, que cumplen la función de disminuir la granulometría del mineral producido. Esta área cuenta con 88 grupos de mantenedores, las cuales suman 352 personas en total, para realizar todo el trabajo de mantención correspondientes. Los grupos de mantenedores se categorizarán como grupo A y grupo B, los cuales trabajan con turnos de 7x7 días que pueden variar día y noche. Dentro de las mismas mantenciones existen tareas realizadas por otras gerencias de la compañía las cuales corresponden a: Predictivo, Lubricación, Instrumentistas y Eléctricos, data ellipse software de la empresa de Collahuasi.

1.4.4. Técnica e instrumentos de recolección de datos

Las técnicas que fueron utilizadas para realizar la investigación, además de sus respectivos instrumentos fueron los nombrados a continuación:

- Plan matriz: Consistió en observar o captar mediante el plan matriz de molienda de una forma sistemática las actividades, hora hombre entre otros. Los instrumentos empleados fueron básicamente base de datos entregada por el ingeniero de confiabilidad.
- Auditoria de información: Se generaron auditorias de información en el software de ellipse, las cuales se pretenden detectar cualquier anomalía o datos mal ingresados de información para informar.
- Recopilación de valores de entrada: los valores de entrada se recopilaron mediante consultas históricas del sistema, actuales, calculadas entre otras.
- Reuniones: Consistió en reuniones de avances e informar sobre los errores dentro del software Ellipse para que puedan ser corregido y dar fechas con carta Gantt para ver los avances correspondientes.
- Consultas bibliográficas: Fue utilizada para establecer el marco teórico.

1.4.5. Descripción del problema y propuesta

Este capítulo se orienta la problemática en cuestión, donde también se describe la metodología a utilizar para intentar proponer una solución.

1.4.5.1. Definición de la problemática

La producción de Minera Collahuasi está directamente relacionada con la disponibilidad y la operación de todos sus activos físicos. Estos activos están presentes desde la etapa de extracción; de concentrado; de bombeo hasta de carguío en puerto patache. Los factores primordiales en una buena disponibilidad de un equipo o activo son las mantenciones y el control en la operación.

Como problemática en el **área de molienda**, se detectaron variaciones de tiempo considerable para la realización de las mantenciones de las líneas. Sobre todo las mantenciones no planificadas, donde la mayor parte del problema en las mantenciones correctivas se le atribuye a la falta de repuestos disponibles asociados a equipos críticos.

Lo que repercute en impactos directos a la producción y genera inconvenientes en la programación de las tareas para el plan matriz de molienda.

Asegurar una buena operación y disponibilidad en molienda es de crucial importancia dado que son los únicos equipos encargados de moler el mineral hacia el área de espesado y transporte, para luego ser cargado en los barcos.

1.4.5.2. Propuesta

Como bien se definió la problemática en el punto anterior, se plantea como posible solución al requerimiento de la compañía, realizar un estudio de sus equipos, componentes, repuestos, actividades de mantención y mantenciones programadas según plan matriz o mantenciones mayores.

El realizar un estudio tan general incorpora el análisis de distintas áreas como las siguientes:

- Bodega y almacenamiento
- Confiabilidad
- Planificación
- Mantención

Con este estudio se pretende generar una comunicación con las áreas ya mencionadas dando recomendación de baja de inventario y repuestos críticos.

De este estudio se abarcarán las siguientes mejoras:

1. Disminución de tiempo de mantención correctiva y costos esperado al tener los repuestos justo a tiempo.
2. Disminución en Horas Hombre al emplearse la digitación en el software SOS; en el análisis de repuestos y en la mantención.
3. Mejoramiento de disponibilidad del área de molienda.
4. Disminución de costo de inventario.
5. Recomendación de compras de repuestos

1.4.5.3. Metodología

- a. Utilización del modelo de gestión del mantenimiento en base a focos estratégicos, hacer la prioridad de la mantención la prioridad de la empresa.
- b. Determinar la situación actual de la empresa y determinar los equipos críticos del área de molienda.
- c. Se procederá a conocer las áreas de bodega, confiabilidad, planificación y mantención, con el fin de ganar su confianza y consentimiento para realizar el estudio con total transparencia.
- d. Se utilizará las herramientas de Pareto y Jack Knife para el estudio de actividades de trabajo, con el fin de obtener resultados de mantención que tuviesen mayor oportunidad de mejora.

- e. Se observará y analizará en forma detallada el trabajo de mantención planificada y elegida mediante las herramientas descritas anteriormente, identificando problemas y oportunidades de mejora.
- f. Se realizará un estudio de selección de actividades de mantención que poseían repuestos para su previa revisión de repuestos
- g. Si existe falta de información de los repuestos, se trabajará con planificación para la validación de repuestos en los estándares de trabajo.
- h. Una vez establecidos los objetivos de la investigación, se desarrollarán los tipos de auditorías a realizar dentro de software ellipse.
- i. Una vez analizados los resultados de auditoria, se procederá a realizar reuniones informando las posibles desviaciones de falta de información mediante las auditorias.
- j. Definición de repuestos Críticos se realizará mediante un algoritmo matemático que unen los siguientes parámetros:
 - a. Bodega:
 - i. Lead time (tiempo de demora de repuestos)
 - ii. Impacto operacional
 - iii. Cantidad de repuestos en inventario
 - iv. Valor del repuesto
 - v. Consumo histórico
 - b. Planificación:
 - i. Maint schule date (mantenimiento programado del día de los estándares de trabajo)
 - ii. Estándares de trabajo con sus repuestos y cantidades
 - c. Confiabilidad:

- i. Curvas de confiabilidad de equipos y componentes
 - ii. Disponibilidad de molienda
 - iii. Utilización de molienda
 - iv. Tiempos utilizados de los disponibles
- k. Finalmente se desarrollará las conclusiones y recomendaciones necesarias de los aspectos analizados previamente y de esta manera dar por terminado el estudio.

1.5. Desarrollo de la metodología.

Para el proceso del desarrollo se utiliza el modelo de gestión del mantenimiento, volviendo la prioridad de la empresa en las prioridades del mantenimiento.

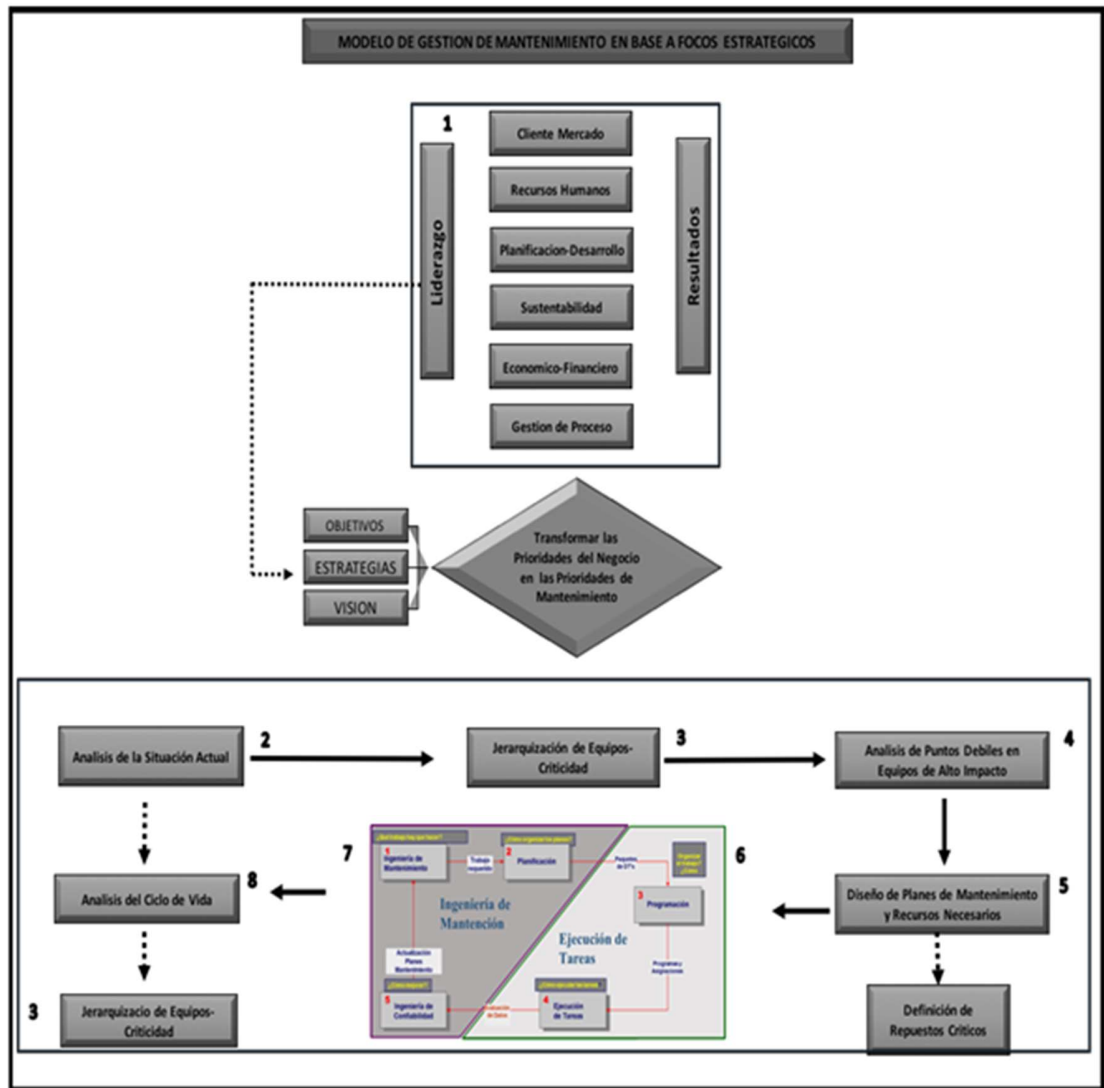


Ilustración 14. Esquema del modelo de mantenimiento en base a focos estratégicos.

1.5.1. Análisis de la situación actual.

El estudio se realizó en el área de molienda. Esta área consta de 3 líneas principales las cuales procesan el total de mineral producido. La línea 1 procesa cerca de un 20%, la línea 2 procesa cerca de un 20%, mientras que la línea 3 se lleva la mayor cantidad de procesamiento de concentrado de cobre con un 60% de la producción.

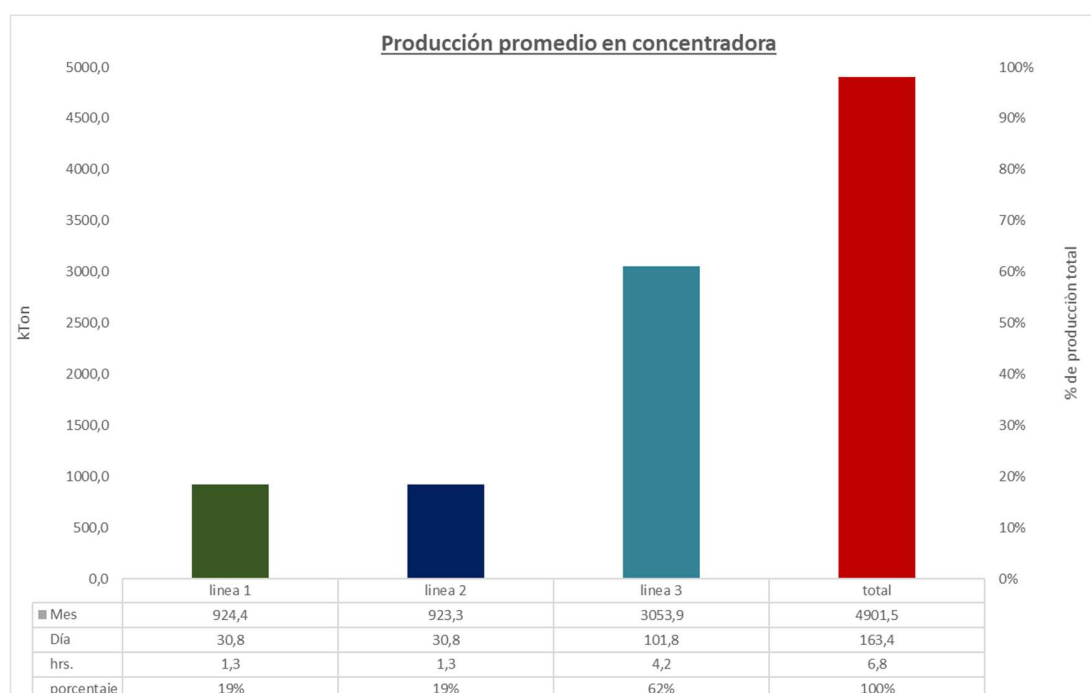


Ilustración 15. Producción promedio de concentradora

1.5.2. Equipos del área de molienda.

Se realizo análisis de criticidad de 74 equipos, los cuales son los siguientes:

Tabla 1. Equipos del Área de Molienda

Tag	Nombre del equipo	Tag	Nombre del equipo
140ML001	MOLINO SAG 001	133SC124	HARNERO 002 PEBBLES LINEA 2 MOLIENDA
141ML1011	MOLINO SAG 1011	133SC134	HARNERO 001 PEBBLES LINEA 1 MOLIENDA
141ER01	SALA ELECTRICA MOLINO SAG 1011	133ST001	CHUTE TRASPASO CORREA 040 A 041/043
141ER04	SALA ELECTRICA PRINCIPAL LINEA 3	133ST003	CHUTE TRASPASO CORREA 043 A 044
140ER04	SALA ELECTRICA G1 MOLINO SAG 1	133ST004	CHUTE TRASPASO CORREA 044 A 003
140ER05	SALA ELECTRICA G2 MOLINO SAG 2	141ML1012	MOLINO BOLAS 1012
141CV1035	CORREA ALIMENTACION MOLINO SAG 1011	141ML1013	MOLINO BOLAS 1013
141CV2403	CORREA COLECTORA PEBBLES MOLINO SAG 1011	181PP119	BOMBA 5 AGUA RECUPERADA PISCINA 6
140CV005	CORREA ALIMENTACION MOLINO SAG 001	181PP120	BOMBA 6 AGUA RECUPERADA PISCINA 6
140CV007	CORREA COLECTORA PEBBLES MOLINO SAG 001	181PP121	BOMBA 7 AGUA RECUPERADA PISCINA 6
140ML002	MOLINO SAG 002	186TK2001	ESTANQUE ESPESADOR RELAVES 2001
140CV006	CORREA ALIMENTACION MOLINO SAG 002	143CV2405	CORREA ALIMENTACION HARNEROS PEBBLES
140CV008	CORREA COLECTORA PEBBLES MOLINO SAG 002	143ST2405	CHUTE TRASPASO CORREA 2407 A 041
181DI019	CAJON DISTRIBUIDOR OVERFLOW ESPESADORES	143ST2413	CHUTE TRANSFERENCIA CORREA 2407 A 043
187ER01	SALA ELECTRICA ESPESADOR 3001	141CV2404	CORREA PEBBLES SAG 1011 A PLANTA LAVADO
141ER02	SALA ELECTRICA MOLINO BOLAS 1012	140ML004	MOLINO BOLAS 004
141ER03	SALA ELECTRICA MOLINO BOLAS 1013	140PP005	BOMBA ALIMENTACION BATERIA CICLONES 003
141ER07	SALA ELECTRICA BOMBAS BAJO MOLINO L3	140PP006	BOMBA ALIMENTACION BATERIA CICLONES 004
141ER06	SALA ELECTRICA VDF BOMBAS BAJO MOLINO L3	141PP1023	BOMBA ALIMENTACION BATERIA CICLONES 1013
181PP141	BOMBA 9 AGUA RECUPERADA PISCINA 6	141PP1024	BOMBA ALIMENTACION BATERIA CICLONES 1014
181PP198	BOMBA 10 AGUA RECUPERADA PISCINA 6	181PD006	PISCINA ALMACENAMIENTO AGUA RECUPERADA
186PP1157	BOMBA 8 AGUA RECUPERADA PISCINA 6	181PP115	BOMBA 1 AGUA RECUPERADA PISCINA 6
186PP1158	BOMBA 11 AGUA RECUPERADA PISCINA 6	181PP116	BOMBA 2 AGUA RECUPERADA PISCINA 6
187PP3003	BOMBA UNDERFLOW ESPESADOR RELAVES TK3001	181PP117	BOMBA 3 AGUA RECUPERADA PISCINA 6
187PP3004	BOMBA UNDERFLOW ESPESADOR RELAVES TK3001	181PP118	BOMBA 4 AGUA RECUPERADA PISCINA 6
140CV2401	CORREA 60" ALIMENTACION PEBBLES	186PP1160	BOMBA 12 AGUA RECUPERADA PISCINA 6
143CV2407	CORREA ALIMENTACION CHANCADO PEBBLES	186PP1161	BOMBA 13 AGUA RECUPERADA PISCINA 6
140ST2409	CHUTE TRANSFERENCIA 140CV2401/143CV2405	186PP1162	BOMBA 14 AGUA RECUPERADA PISCINA 6
140CP035	COMPRESOR AIRE PLANTA MOLIENDA	140CV2402	CORREA PEBBLES SAG 002 A PLANTA LAVADO
140ML003	MOLINO BOLAS 003	143CV2406	CORREA DESCARGA HARNEROS PEBBLES
140PP003	BOMBA ALIMENTACION BATERIA CICLONES 001	143SC2401	HARNERO 1 PLANTA LAVADO PEBBLES
140CS003	BATERIA CICLONES 1 MOLINO BOLAS ML004	143SC2402	HARNERO 2 PLANTA LAVADO PEBBLES
140CS004	BATERIA CICLONES 2 MOLINO BOLAS ML004	140PP004	BOMBA ALIMENTACION BATERIA CICLONES 002
133MA020	CORREA MAGNETICA PLANTA PEBBLES #20	140CS001	BATERIA CICLONES 1 MOLINO BOLAS ML003
133CV040	CORREA ALIMENTACION CHANCADO PEBBLES	140CS002	BATERIA CICLONES 2 MOLINO BOLAS ML003

133CV043	CORREA TRASPASO PEBBLES CHANCADOS	141PP1021	BOMBA ALIMENTACION BATERIA CICLONES 1011
133CV044	CORREA PEBBLES CHANCADOS A STOCKPILE	141PP1022	BOMBA ALIMENTACION BATERIA CICLONES 1012
133SC124	HARNERO 002 PEBBLES LINEA 2 MOLIENDA	141PP1022	BOMBA ALIMENTACION BATERIA CICLONES 1012
133SC134	HARNERO 001 PEBBLES LINEA 1 MOLIENDA		

1.5.3. Jerarquización de equipos críticos.

Se define la clase de impacto (CI) y la clase por frecuencia (CF), para clasificar los equipos críticos dentro del área de molienda de acuerdo con las matrices de riesgos de la compañía.

1.5.3.1. Clase por impacto (CI)

Se realizó un estudio de criticidad de equipos críticos basado en los siguientes parámetros:

- A) Financiero basado en el ebitda en US\$ (Ff): éste parámetro estudia la pérdida en dólares del ebitda que causaría en la empresa. Se adjunta tabla con rangos de clase de criticidad.

Tabla 2. Clase de impacto por rango de perdida de ebitda US\$

Clase por Impacto	Ff
CI	
1	0
2	200.000
3	2.000.000
4	20.000.000
5	100.000.000

- B) Daño a la Propiedad en US\$ (Fd): éste parámetro determina los daños que podrían causar a la propiedad en dólares.

Tabla 3. Clase de impacto por rango de perdida por daños a la propiedad

Clase por Impacto	Fd
CI	
1	0
2	10.000
3	200.000
4	2.000.000
5	20.000.000

C) Salud y Seguridad (Fs): éste parámetro estudia si puede generar daño a las personas ya sean enfermedades, lesiones o muertes.

Tabla 4. Clase de impacto por rango de accidentabilidad.

Clase por Impacto	Fs
CI	
1	Incidentes reales o potenciales sin lesiones.
2	Incidentes reales o potenciales con lesiones leves STP (Primeros auxilios)
3	Incidentes reales o potenciales con lesiones Graves CTP. Enfermedades reversibles.
4	Incidentes reales o potenciales con resultado de incapacidades permanentes ó enfermedades irreversibles.
5	Incidentes reales o potenciales con resultado muerte ó enfermedades gravísimas con consecuencia fatales.

D) Medio Ambiente (Fa): éste parámetro estudia un incidente que afecten el medio ambiente (flora/fauna/quebradas/lugar arqueológico protegidos).

Tabla 5. Clase de impacto por incidentes al medio ambiente

Clase por Impacto	Fa
CI	
1	Un incidente que ha causado un impacto ambiental reversible insignificante sobre el medioambiente y que requiere muy poca o ninguna corrección. Area afectada <= a 100m2 ó 200lts de sustancias peligrosas
2	Se afectan variables de relevancia ambiental(Flora/Fauna/quebradas) sin categoria de conservación. Periodo de reversibilidad del impacto menor a 1 mes. Perdida de recurso hidrico desde 15 a 60 m3. Area industrial afectada entre 100m2 y 1000m2 ó mayor a 200lts y menor a 12mts3.
3	Se afectan variables de relevancia ambiental(Flora/Fauna/) vulnerables o áreas protegidas. Periodo de reversibilidad del impacto menor a 1 año. Perdida de recurso hidrico mayor a 60 m3. Area industrial afectada entre 0,1h y 10 hectareas ó mayor a 12m3 y menor a 30mts3.
4	Se afectan variables de relevancia ambiental(Flora/Fauna/) en peligro de extinción o sitios arqueológicos protegidos. Se requiere realizar medidas de compensación y/o mitigación mayor a1 año. Area industrial afectada mayor 10 hectareas. El impacto fuera del recinto industrial de la Cia.
5	Daño irreparable al habitat de especies en peligro de extinción que conlleve a la perdida de estas.Se afectan áreas protegidas por organismos externos para la conservación de la flora y fauna silvestre

E) Comunidad/reputación (Fc): éste parámetro se analiza la cobertura de los medios sean locales o nacionales, que afecten la comunidad y los valores de las acciones en forma negativa.

Tabla 6. Clase de impacto por incidentes a la comunidad y/o reputación

Clase por Impacto	Fc
CI	
1	Sin cobertura de los medios.
2	Cobertura de los medios locales. Quejas a la faena y/o regulador
3	Cobertura de los medios locales durante varios días Impacto negativo sobre la economía local Quejas persistentes de la comunidad.
4	Cobertura de los medios nacionales durante varios días Impacto negativo significativo sobre el precio de las acciones durante varias semanas Acciones legales de la Comunidad / ONG Impacto sobre la economía local
5	Cobertura negativa importante en los medios internacionales durante varios días Impacto negativo significativo sobre el precio de las acciones durante meses.

F) Legal y Cumplimiento (FI): éste parámetro se analiza si puede causar un litigio importante de incumplimiento de reglamentación, pena de prisión para un ejecutivo de la compañía y cierre prolongado de operaciones.

Tabla 7. Clase de impacto por incumplimiento legal.

Clase por Impacto	FI
CI	
1	Problemas legales menores, incumplimientos y violación de la reglamentación.
2	Incumplimiento de la reglamentación con investigación o informe a la autoridad con procesamiento y/o posible multa moderada.
3	Incumplimiento importante de la reglamentación, con multas punitivas. Litigio significativo que involucra muchas semanas de tiempo de la dirección.
4	Litigio importante con un costo de u\$10m+ y Investigación de un organismo regulador que tiene como resultado la interrupción de las operaciones en el largo plazo. Posibilidad de pena de prisión
5	Litigio o acusación importante con daños de u\$50m+ más costos significativos Pena de prisión para un Ejecutivo de la compañía Cierre prolongado de las operaciones por las autoridades.

1.5.3.2. Clase por Frecuencia (CF)

En ésta clase se ve la frecuencia de fallas determinada por un tiempo determinado de días, el cual indica el CF del 1 al 5, siendo 1 la mayor cantidad de días sin fallas y 5 mayor cantidad de fallas.

Tabla 8. Clase por Frecuencia de falla por días.

Clase x Frecuencia (CF)	5	4	3	2	1
Frecuencia de la falla	Semanal	Mensual	Trimestral	Semestral	Anual
Rango de días	0 ----27	28----81	82---162	163----328	> 329

1.5.3.3. Ponderación de parámetros

Se considera la siguiente ponderación estándar, la cual es ajustada por cada área para su posterior análisis de criticidad de equipos.

Tabla 9. Factores de ponderación para CI

Factores	FINANCIERO EBIT US\$	DAÑO A LA PROPIEDAD US\$	SALUD Y SEGURIDAD	MEDIO AMBIENTE	COMUNIDAD / REPUTACION	LEGAL Y CUMPLIMIENTO
	Ff	Fd	Fs	Fa	Fc	FI
PONDERACION Estandar	75%	10%	15%	0%	0%	0%
PONDERACION Ajustada por el área	75%	10%	10%	5%	0%	0%

1.5.3.4. Resumen de análisis de criticidad

Se generaron los análisis correspondientes para el área molienda, los cuales los resultados resumidos son los siguientes:

Tabla 10. Resumen de criticidad de equipos

MATRIZ DE CRITICIDAD						
CLASE POR FRECUENCIA (CF)	5			13		
	4		58	1		
	3		1			
	2	1				
	1					
CRITICIDAD = CF x CI		1	2	3	4	5
		CLASE POR IMPACTO (CI)				

RESUMEN		
ALTAMENTE CRITICOS (AC)	13	18%
MEDIANAMENTE CRITICOS (MC)	59	80%
BAJA CRITICIDAD (BC)	1	1%
NO CRITICO (NC)	1	1%
TOTAL EQUIPOS ANALIZADOS	74	100%

Resultaron los siguientes equipos de los altamente críticos :

Tabla 11. Equipos Críticos de Molienda

Tag	Nombre del equipo
140ML001	MOLINO SAG 001
141ML1011	MOLINO SAG 1011
141ER01	SALA ELÉCTRICA MOLINO SAG 1011
141ER04	SALA ELECTRICA PRINCIPAL LÍNEA 3
140ER04	SALA ELÉCTRICA G1 MOLINO SAG 1
140ER05	SALA ELÉCTRICA G2 MOLINO SAG 2
141CV1035	CORREA ALIMENTACION MOLINO SAG 1011
141CV2403	CORREA COLECTORA PEBBLES MOLINO SAG 1011
140CV005	CORREA ALIMENTACION MOLINO SAG 001
140CV007	CORREA COLECTORA PEBBLES MOLINO SAG 001
140ML002	MOLINO SAG 002
140CV006	CORREA ALIMENTACION MOLINO SAG 002
140CV008	CORREA COLECTORA PEBBLES MOLINO SAG 002

1.5.4. Análisis de puntos débiles de equipos críticos

Dentro de los equipos críticos, se tiene que si falla uno de estos se detiene la producción de una de sus líneas lo que provocaría una pérdida de producción de un 20% o hasta un 60% dentro del área de molienda.

1.5.5. Diseño de plan de mantenimiento y recursos necesarios

Dentro del plan matriz se encuentran planificadas 12.714 actividades a realizar, con distintas frecuencias dependiendo de las recomendaciones del proveedor, dentro de las mantenciones existe la mantención mayor la cual involucra todas las piezas de desgaste y si el caso de mantención predictiva se analizan las cantidades de piezas a cambiar. De todas las mantenciones se encuentran 2.372 tipos de estándares de trabajos, de los cuales están conformados por:

- Inspecciones
- Bloqueos
- Limpieza
- Tomas de muestra
- Aperturas y/cierre de válvulas
- Reparaciones
- Mantenciones
- Check list
- Mediciones
- Cambios de componentes

De los estándares de trabajo se seleccionaron 579 que llevan repuestos, los cuales se obtuvieron eliminando todo lo que no lleva repuestos, que son las Inspecciones; bloqueos de equipos; limpieza del lugar; tomas de muestra; cierre de válvulas; reparaciones de equipos; check list y mediciones.

1.5.6. Definición de Repuestos Críticos

El estudio del repuesto crítico se realizará mediante los siguientes dos análisis de riesgo:

El riesgo a la falla de un componente (RF): está determinado por la función de la falla en dinero y la probabilidad que ocurra la falla con respecto al repuesto, se encuentra determinada por el siguiente parámetro:

$$RF = f(\text{Consecuencia de falla; Probabilidad de ocurrencia}) [\text{\$}]$$

El riesgo de no contar con stock suficiente de un repuesto (RS): está determinado por la probabilidad de requerir cierta cantidad de repuestos y tener en cuenta el tiempo de entrega del producto, se encuentra determinada por la siguiente función:

$$RS = f(\text{Probabilidad de requerir } x \text{ N}^\circ \text{ repuestos; plazo de entrega de stock}) [\text{Hr}]$$

La criticidad inicial es calculada con el costo del material, la cantidad del repuesto en bodega, la demora del material, consumo anual, equipos que utilizan el repuesto en molienda, criticidad de equipo más alta del conjunto y cuanto se utiliza por falla, para dar la base de criticidad de los repuestos.

La criticidad es el producto del RS y RF, la fórmula es la siguiente:

$$CR = RS * RF * CRi$$

Para determinar los límites de criticidad, se toma la muestra de repuestos del área de molienda obteniendo un promedio de los riesgos de falla de un componente y el riesgo de no contar con stock suficiente de un repuesto.

Un repuesto critico dentro del estudio se clasificará en 4 niveles distintos de criticidad que son los siguientes:

- **Bajo Control:** Son todos los repuestos que se encuentren bajo el promedio de RS y bajo el promedio de RF.
- **Riesgo operacional:** Son todos los repuestos que se encuentren bajo el promedio de RS y sobre el promedio de RF.
- **Riesgo de stock- out:** Son todos los repuestos que se encuentren sobre el promedio de RS y bajo el promedio de RF.
- **Riesgo operacional y de stock out:** Son todos los repuestos que se encuentren sobre el promedio de RS y sobre el promedio de RF.

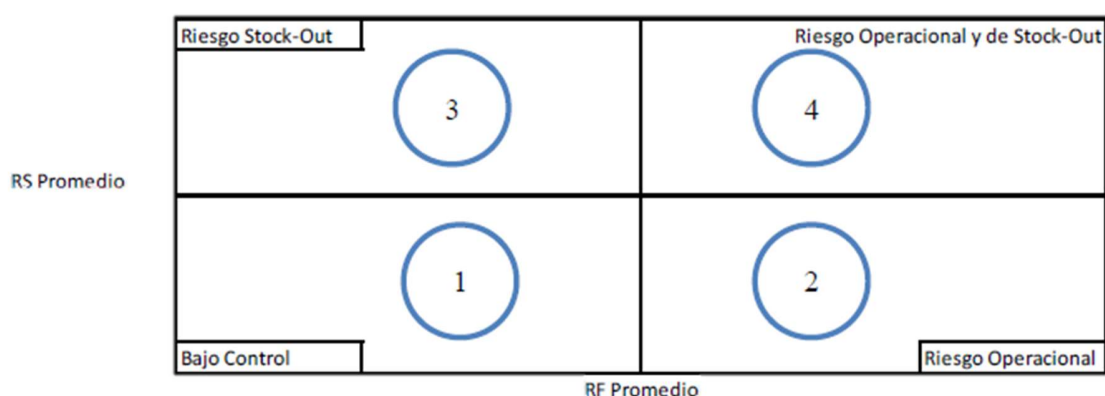


Ilustración 16. Esquema de niveles de criticidad dentro de Jack Knife

- **Análisis cualitativo de criticidad:**

En este análisis se toma cada repuesto del área de molienda y se asocian a los siguientes parámetros;

- a) El costo del repuesto (Cr)
- b) Stock actual (SA)
- c) Lead time (LT)
- d) Consumo del repuesto (Cm)
- e) Cantidad de equipos (CE)
- f) Criticidad de equipo (CrE)
- g) Cantidad de repuestos por falla (FC)

Como resultado nos entrega la base de criticidad del repuesto (CRI) (Ver anexo Memoria de cálculo).

Mediante el método de mínimos cuadrados se obtiene la curva de confiabilidad de los equipos y componentes. Además, se obtienen los parámetros Alpha, Beta y Gamma, las cuales se utilizan en la curva de confiabilidad para obtener la curva de probabilidad de que falle un repuesto en un tiempo determinado.

Con el análisis de las mantenciones programadas en un tiempo determinado se pretende tener los repuestos futuros necesario en el tiempo de estudio analizado. Teniendo la cantidad que se necesita por falla y la unidad que se ocupa, menos el stock se tiene el faltante o el exceso de repuestos.

Para el estudio se considera el costo de inventario para comparar al final si el dicho costo de inventario se puede reducir.

El costo a la falta se obtiene con la incidencia que puede tener en la producción, multiplicado por el costo a la falta de la producción total.

1.5.7. Variables de Repuestos:

Las variables utilizadas para el riesgo de repuestos:

Costo del Repuesto (Cr): Valor en US\$ del repuesto a mayor costo mayor criticidad por la dificultad de comprar el repuesto.

Lead time (LT): Tiempo en días que demora el material en llegar a bodega de Collahuasi, a mayor días mayor criticidad.

Consumo del repuesto (Cm): Cantidad total de usos dentro del rango de años anteriores, se mide en la unidad correspondiente del repuesto.

Cantidad de equipos (CE): Esta variable cuenta la cantidad de equipos que utilizan el repuesto, a mayor cantidad mayor criticidad.

Criticidad del equipo (CrE): Esta variable se considera del estudio realizado anteriormente, a mayor criticidad del equipo mayor criticidad del repuesto.

Stock actual (SA): Esta variable toma la cantidad de inventario actual del repuesto, a menor cantidad mayor criticidad del repuesto.

Cantidad por falla (FC): Cuenta la cantidad de repuestos necesarios por una falla, a mayor cantidad por falla mayor criticidad del repuesto.

Confiabilidad mínima (Rm): Esta variable se utiliza del equipo más crítico con respecto al repuesto, se utiliza la probabilidad de que falle el equipo a mayor confiabilidad menor criticidad del repuesto

Cantidad utilizada por falla (UnF): para esta variable se utiliza el estándar de trabajo asociado al equipo para saber la cantidad mínima utilizada por falla del equipo.

Stock Programado (SP): esta variable se utiliza para restar del stock actual, a mayor cantidad mayor criticidad del repuesto

Costo a la falta (VF): esta variable se mide en US\$ se determina de la incidencia con respecto a la producción del área de molienda

Incidencia en la producción: (IP): esta variable se utiliza en el porcentaje que puede afectar en la producción.

Confiabilidad mínima R(t): confiabilidad mínima en un tiempo determinado de que no falle el equipo o componente asociado al repuesto

Tiempo futuro utilizado (tf): tiempo utilizado para determinar la probabilidad de que no falle el equipo.

Tiempo histórico (th): tiempo utilizado para tomar datos anteriores del repuesto.

1.5.8. Formulas utilizadas:

Stock sugerido SS: Stock calculado según la probabilidad de falla del equipo, una cantidad de veces, con $i = 6$, para obtener el valor

$$SS = \sum_i^n (1 - R(t))^i$$

Stock esperado SE: Stock que se necesita para el periodo

$$SE = SA - SE - SP$$

Criticidad inicial CRi : Criticidad inicial calculada del repuesto, se promedia y se clasifica en 1, 2, 3, utilizando por partes iguales para las 3 clasificaciones.

$$CRi = Cr * LT * Cm * CE$$

Riesgo a la falla RF: Riesgo a la falla de un componente

$$RF = CE * Cm * Rm * Cr * Vr * CRi$$

Riesgo de no contar con stock suficiente de un repuesto RS:

$$RS = LT * SS * IP * CRI * VF$$

Análisis de repuestos:

Del análisis de 1444 repuestos de molienda, se generó un gráfico Jack knife para segregar los repuestos en 4 cuadrantes, que se observan en la ilustración numero 17 a continuación.

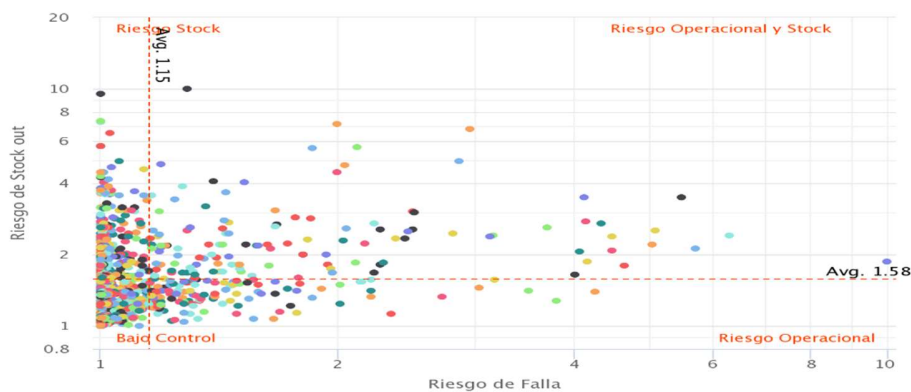


Ilustración 17. Jackknife de Riesgos

Se seleccionan los tiempos futuros de 1, 6 y 12 meses para determinar los valores de los repuestos según la confiabilidad de los equipos y componentes, de los cuales se obtienen los siguientes resultados:

Se toma el tiempo histórico de 2 años, para variables de tiempo promedio de llegada del repuesto(LT), Consumo del repuesto(Cm) y cantidad de equipos (CE).

Se utiliza el tiempo histórico de 2 años, debido a que hubo un cambio de versión de software de ERP, y solamente los datos hasta 2015 en adelante son reales, ya que la información anterior se encuentra con error.

Resumen

CATEGORÍA	ITEMS	VALOR INVENTARIO (USD)	COSTO A LA FALTA (USD/H)
Riesgo Stock	293	\$ 4,996,189.63	\$ 6,363.49
Riesgo Operacional y Stock	128	\$ 9,052,722.38	\$ 885.97
Bajo Control	899	\$ 28,215,202.5	\$ 24,690.36
Riesgo Operacional	124	\$ 19,930,632.66	\$ 2,471.28
Total	1444	\$ 62,194,747.17	\$ 34,411.1

Ilustración 18. Resumen de análisis de 3 meses

Resumen

CATEGORÍA	ITEMS	VALOR INVENTARIO (USD)	COSTO A LA FALTA (USD/H)
Riesgo Stock	298	\$ 5,003,969.43	\$ 6,363.49
Riesgo Operacional y Stock	126	\$ 8,536,346.4	\$ 844
Bajo Control	894	\$ 28,207,422.7	\$ 24,690.36
Riesgo Operacional	126	\$ 20,447,008.64	\$ 2,513.25
Total	1444	\$ 62,194,747.17	\$ 34,411.1

Ilustración 19. Resumen de análisis de 6 meses

Resumen

CATEGORÍA	ITEMS	VALOR INVENTARIO (USD)	COSTO A LA FALTA (USD/H)
Riesgo Stock	293	\$ 4,996,189.63	\$ 6,363.49
Riesgo Operacional y Stock	128	\$ 9,052,722.38	\$ 885.97
Bajo Control	899	\$ 28,215,202.5	\$ 24,690.36
Riesgo Operacional	124	\$ 19,930,632.66	\$ 2,471.28
Total	1444	\$ 62,194,747.17	\$ 34,411.1

Ilustración 20. Resumen de análisis de 12 meses

1.5.9. Análisis Económico

1.5.9.1. Tiempo y costo de mantenciones correctivas.

Para el análisis económico se toma en cuenta el costo a la falta, indicando lo que deja de percibir en dinero en horas del repuesto, la probabilidad de ocurrencia de falla de este repuesto al componente del equipo.

Se calcula el ebitda para las líneas de producción promedio considerando lo siguiente:

Valor del cobre promedio (a): 2.80 US/lb

Recuperación en flotación promedio (b): 84%

Ley del cobre promedio (c): 1.25 %

Costos operacionales promedio (d) : 0.99 US/lb

Para el cálculo de ingresos se utiliza el valor del cobre promedio en US/T, donde realizando la conversión de US/Lb a US/Ton llegamos a un valor de 2204,62 US/Ton, la producción en T/h (e), la recuperación [-] , la ley del cobre [-], con la siguiente formula:

$$Ingreso = a * b * c * e * 2204.62$$

Para el cálculo de costos se utiliza el costos operacional promedio en US/T, la producción en T/h (e), la recuperación [-] , la ley del cobre [-], con la siguiente formula:

$$Costos = b * c * d * e * 2204.62$$

Finalmente, para el cálculo de ebitda serían los ingresos menos los costos quedando la siguiente formula:

$$Ebitda = Ingresos - Costos$$

Tabla 12. Ebitda del área de molienda en dólares por hora

	Línea 1 (USD/h)	Línea 2 (USD/h)	Línea 3 (USD/h)	Total (USD/h)
Ingreso	83.213	83.116	274.917	441.245
Costo	29.354	29.320	96.979	155.653
Ebitda	53.859	53.796	177.938	285.592

1.5.9.2. Disminución horas hombre

Gracias al análisis de varios repuestos a la vez se puede obtener un resultado de criticidad del repuesto, disminuyendo las horas hombres en el análisis individual para cada repuesto.

1.5.9.2.1. Digitación SOS

En la digitación del software SOS para poder validar un repuesto dado de baja por no uso, se deben emplear al menos 1.5 horas para ingresar los datos y enviar a bodega el análisis del SOS para poder a volver a activar un repuesto en el software ellipse, teniendo una frecuencia de generación de SOS de al menos 5 veces al mes se obtiene una disminución anual de al menos 90 horas hombre al realizar el cálculo de repuestos críticos

1.5.9.2.2. Análisis de repuestos

En el análisis de repuestos el ingeniero de repuestos debe recopilar información por parte de los mantenedores, para saber la cantidad de equipos que la utiliza, la frecuencia de usos, el precio del repuesto entre otros, lo cual le tomaría cerca de 0.5 horas promedio en analizar, si utilizamos la misma frecuencia anterior se obtiene de al menos una disminución de 30 horas hombre anual al realizar el cálculo de repuestos críticos

1.5.9.2.3. **Mantenición**

El mantenedor al encontrarse con una falla no programada se acerca al ingeniero de repuestos para solicitar el repuesto, por lo cual si el repuesto se encontrara dado de baja por no uso, tendría que esperar la digitación del SOS, el análisis de repuestos y la validación de bodega obteniendo con estos tres procesos de al menos 2 horas por la frecuencia de 5 veces al mes, por lo cual se obtendría una disminución de 120 horas hombre anuales.

1.5.9.3. **Mejoramiento de disponibilidad esperada en molienda.**

Dentro del área de molienda se obtiene los siguientes datos de disponibilidad y utilización desde el 01/01/2018 hasta junio del 01/06/2018:



Ilustración 21. Disponibilidad y utilización del área de molienda

Dentro de las cuales las horas se dividen de las siguientes maneras:

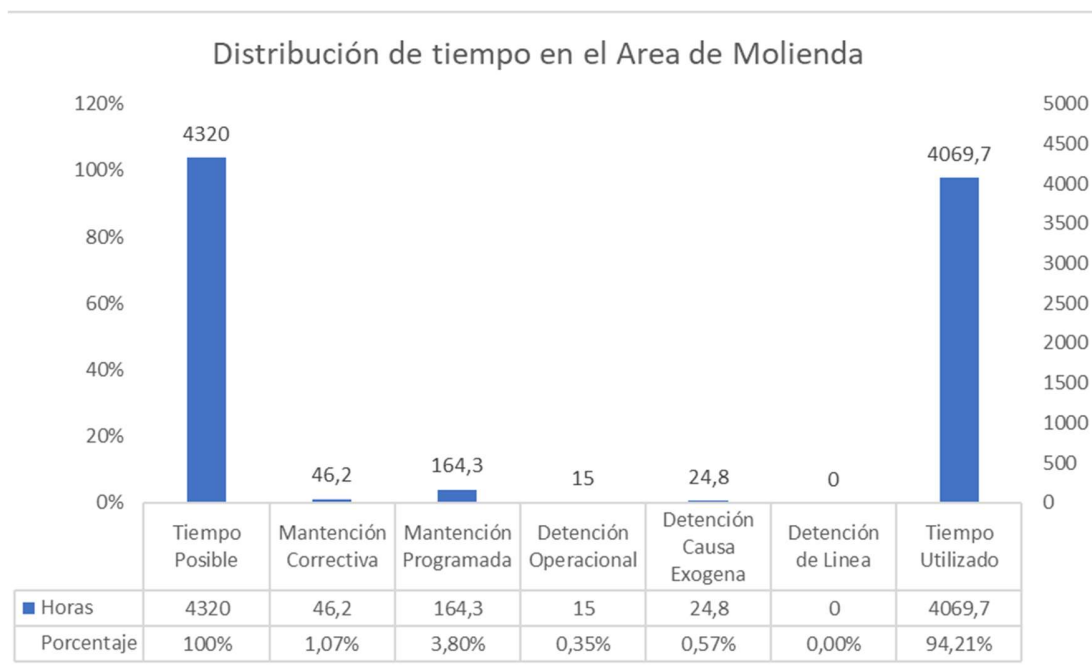


Gráfico 1. Distribución de horas en el área de molienda

Las cuales se pretenden mejorar las horas de mantención correctivas de 46 horas semestrales a 92.4 horas anuales, las que equivalen a un aumento en la disponibilidad esperada de 1.07%, pudiendo mejorar la disponibilidad como la imagen adjunta:

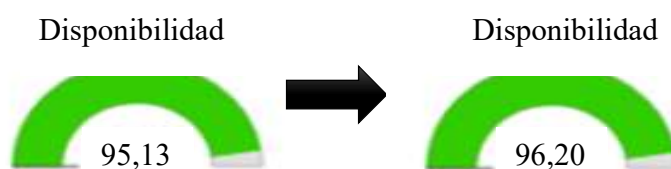


Ilustración 22. Mejoramiento esperado de disponibilidad.

Aumentando un ebitda esperado en **20.3 millones de dólares** anuales por la mejora de 90,4 horas/anuales de mantenciones correctivas.

1.5.9.4. Disminución del costo de inventario

Se realiza un sub Jack knife obtenido los siguientes resultados para el sector de controlados

Tabla 13. Resumen de análisis de sub jackknife

CUADRANTE	SUB CATEGORIA	REPUESTO	VALOR INVENTARIO	COSTO A LA FALTA (USD/H)
1.1	Controlados	336	1.741.868	495
4.4	Altamente Críticos	21	2.303.355	16.931

Considerando los **336 productos** de repuestos controlados se puede realizar un nuevo estudio con el área de bodega y repuestos para disminuir los costos de inventarios.

Que de acuerdo con el análisis se podrían descontar **48 productos** que tienen un costo a la falta bajo que conlleva a un ahorro de **74 mil dólares anuales**.

1.5.9.5. Recomendaciones de compras de repuestos críticos

Se realiza un sub-Jackknife obtenido los siguientes resultados para el sector de críticos según la tabla 14.

Tabla 14. Resultados de stock sugerido y de costo a la falta

Nombre	Stock	Stock Sugerido	Costo (USD)	Valor inventario	Inventario sugerido
CARRETE ACERO INOXIDABLE CON LEVANTADOR	2	2	74.005	148.009	148.009
PORTARODAMIENTO	3	3	101.570	304.710	304.710
VALVULA COMPUERTA CUCHILLO 18"	0	1	27.697	-	27.697
BOMBA LUBRICACION PRINCIPAL	9	9	75.700	681.296	681.296
CONO DESCARGA	0	1	540.000	-	540.000
CARCAZA PRENSA ESTANDAR	1	2	42.211	42.211	84.421
MOTOR 700 HP	2	2	69.136	138.272	138.272
MANGUEROTE CODO SUCCION 30" DI X 90°	6	6	14.599	87.596	87.596
SET DE PERNO HEXAGONAL M64. VER CS 74335	2	2	12.307	24.615	24.615
REVESTIMIENTO TRUNION	0	1	80.784	-	80.784
CARCAZA LADO SUCCION	1	2	60.040	60.040	120.081
MOTOR ELECTRICO BOMBA 1023	2	2	149.812	299.624	299.624
CARCASA LADO PRENSA (INVERSA)	1	2	103.479	103.479	206.959
BOMBA IMO MODELO A3DBC-337	3	3	23.925	71.774	71.774
CARCASA LADO SUCCION (INVERSA)	1	2	93.802	93.802	187.604
CAJÓN DESCARGADOR UNIFICADO SINGLE	0	1	189.150	-	189.150
VALVULA COMPUERTA CUCHILLO 12"	0	1	18.147	-	18.147
VALVULA COMPUERTA CUCHILLO 12"	1	2	16.908	16.908	33.817
VENTILADOR	2	2	21.786	43.572	43.572
REDUCTOR VELOCIDAD RATIO 4.437	2	2	93.723	187.446	187.446
INTERCAMBIADOR CALOR	0	1	50.335	-	50.335
Total	38	49	1.859.116	2.303.355	3.525.908

Se consideran solo las mantenciones correctivas históricas (46 hrs), podemos calcular el costo por no tener los repuestos críticos sugeridos según lista (MUS\$ 1,2 faltante en stock): $46 \text{ hrs} \times 16.931 \text{ USD/H} = \text{USD } \$778.826$.

Donde anualmente el costo sería de MUS\$1.5, lo cual anualmente se ahorraría **300 mil dólares Aprox.**

2. CONCLUSION

Mediante el análisis de los riesgos asociados a los repuestos, se pudo lograr identificar dos listados de repuestos críticos, reconociendo 2 cuadrantes importantes para el análisis.

Se realizaron diferentes proyecciones futuras para comparar los costos de los distintos repuestos críticos, obteniendo un listado de datos fidedignos y entregando a bodega información base para la mejora en la toma de decisiones sobre la compra de repuestos críticos, bajando el nivel de criticidad de estos.

La información actual se puede comparar con este método de cálculo en diferentes tiempos de proyección para proyectar los repuestos críticos en diferentes tiempos

A diferencia de otro programa utilizado en Collahuasi, como el programa SOS que analiza solo un repuesto a la vez, este proyecto analiza todos los repuestos del área de molienda a la vez, por lo cual tiene ventajas competitivas en la disminución de los tiempos de análisis y de ingreso de datos al sistema SOS por parte de los ingenieros de repuesto.

Al considerar de acuerdo con el análisis comprar 1.2 millones de dólares en mantener una cantidad de stock de los repuestos altamente críticos obtuvimos que nos podríamos ahorrar en costos esperados de producción de 1.5 millones de dólares, es decir un ahorro de 300 mil dólares anuales

Por otra parte, también aumentamos la disponibilidad en 1.07% donde subiría desde un 95.13% a un 96.20%, aumentando un ebitda esperado en 20.3 millones de dólares anuales.

Por último, nuestro análisis demostró que existen repuestos de bajo costo a la falta los que indica que existe una buena oportunidad de ahorro si el área de repuestos y bodega analiza los 48 repuestos de costo esperado bajo, que significan un costo de inventario de 74 mil dólares.

3. BIBLIOGRAFIA

- www.collahuasi.cl/wp-content/uploads/2018/06/reporte-collahuasi-2017.pdf
- www.collahuasi.cl/quienes-somos/la-compania/
- www.collahuasi.cl/quienes-somos/nuestro-proposito/
- www.collahuasi.cl/quienes-somos/accionistas/
- www.collahuasi.cl/que-hacemos/ubicacion/
- NORMA BS EN ISO 14224:2016
- <http://www.sonami.cl/site/informacion-de-la-mineria/calculo-de-tarifas/calculo-cobre/>
- www.enami.cl
- Alessio Arata, Ingeniería y Gestión de la Confiabilidad Operacional en Plantas Industriales aplicación de la plataforma Rmes,
- Carlos Alberto Parra Márquez, Adolf Crespo Márquez , Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en Gestión de Activos

4. ANEXOS

4.1. Análisis de criticidad

Análisis de criticidad según parámetros mencionados anteriormente:

Tabla 15. Cálculo de Criticidad Área de Molienda

Fecha	Evaladores	Tabla de Cálculo Criticidad ----- área MOLIENDA Planta Concentradora														
	EDWARS CALLEJAS Y JOSE MORALES	Frecuencia de Falla (CF)			CI								Clase Impacto Global (CIG)	valor de Criticidad (Cf * CIG)	POSICION en la MATRIZ	Catalogación Criticidad
					FINANCIERO US\$ - EBIT		DAÑO A LA PROPIEDAD US\$		SALUD Y SEGURIDAD	MEDIO AMBIENTE	COMUNIDAD / REPUTACIÓN	LEGAL Y CUMPLIMIENTO				
					Ff		Fd		Fs	Fa	Fc	FI				
		Ponderador		100%			75%		10%		10%	5%				
TAG	Descripción	Frecuencia (Nº Dias)	Frecuencia de Falla	Clase por Frecuencia (CF)	US\$	Clase por Impacto (CI)	US\$	Clase por Impacto (CI)	Clase por Impacto (CI)	Clase por Impacto (CI)	Clase por Impacto (CI)	Clase por Impacto (CI)				
140ML001	MOLINO SAG 001	7	Semanal	5	2.000.000	3	150.000	2	1	3			2,7	13,5	5_3	ALTA
141ML1011	MOLINO SAG 1011	10	Semanal	5	3.100.000	3	200.000	3	1	1			2,7	13,5	5_3	ALTA
141ER01	SALA ELECTRICA MOLINO SAG 1011	10	Semanal	5	3.100.000	3	1.000.000	3	1	1			2,7	13,5	5_3	ALTA
141ER04	SALA ELECTRICA PRINCIPAL LINEA 3	10	Semanal	5	3.100.000	3	1.000.000	3	1	1			2,7	13,5	5_3	ALTA
140ER04	SALA ELECTRICA G1 MOLINO SAG 1	25	Semanal	5	2.000.000	3	1.000.000	3	1	1			2,7	13,5	5_3	ALTA
140ER05	SALA ELECTRICA G2 MOLINO SAG 2	25	Semanal	5	2.000.000	3	1.000.000	3	1	1			2,7	13,5	5_3	ALTA
141CV1035	CORREA ALIMENTACION MOLINO SAG 1011	10	Semanal	5	3.100.000	3	100.000	2	1	1			2,6	13,0	5_3	ALTA
141CV2403	CORREA COLECTORA PEBBLES MOLINO SAG 1011	10	Semanal	5	3.100.000	3	100.000	2	1	1			2,6	13,0	5_3	ALTA
140CV005	CORREA ALIMENTACION MOLINO SAG 001	15	Semanal	5	2.000.000	3	100.000	2	1	1			2,6	13,0	5_3	ALTA
140CV007	CORREA COLECTORA PEBBLES MOLINO SAG 001	18	Semanal	5	2.000.000	3	150.000	2	1	1			2,6	13,0	5_3	ALTA
140ML002	MOLINO SAG 002	7	Semanal	5	2.000.000	3	150.000	2	1	1			2,6	13,0	5_3	ALTA
140CV006	CORREA ALIMENTACION MOLINO SAG 002	15	Semanal	5	2.000.000	3	150.000	2	1	1			2,6	13,0	5_3	ALTA
140CV008	CORREA COLECTORA PEBBLES MOLINO SAG 002	18	Semanal	5	2.000.000	3	150.000	2	1	1			2,6	13,0	5_3	ALTA
181DI019	CAJON DISTRIBUIDOR OVERFLOW ESPESADORES	54	Mensual	4	2.000.000	3	100.000	2	1	1			2,6	10,4	4_3	MEDIA
187ER01	SALA ELECTRICA ESPESADOR 3001	80	Mensual	4	1.000.000	2	500.000	3	3	1			2,2	8,6	4_2	MEDIA
141ER02	SALA ELECTRICA MOLINO BOLAS 1012	60	Mensual	4	400.000	2	200.000	3	3	1			2,2	8,6	4_2	MEDIA
141ER03	SALA ELECTRICA MOLINO BOLAS 1013	60	Mensual	4	400.000	2	200.000	3	3	1			2,2	8,6	4_2	MEDIA
141ER07	SALA ELECTRICA BOMBAS BAJO MOLINO L3 BOMBAS BAJO MOLINO LINEA 3	60	Mensual	4	400.000	2	200.000	3	3	1			2,2	8,6	4_2	MEDIA
141ER06	SALA ELECTRICA VDF BOMBAS BAJO MOLINO L3 BOMBAS BAJO MOLINO LINEA 3	60	Mensual	4	400.000	2	200.000	3	3	1			2,2	8,6	4_2	MEDIA
181PP141	BOMBA 9 AGUA RECUPERADA PISCINA 6	45	Mensual	4	300.000	2	50.000	2	3	1			2,1	8,2	4_2	MEDIA
181PP198	BOMBA 10 AGUA RECUPERADA PISCINA 6	45	Mensual	4	300.000	2	50.000	2	3	1			2,1	8,2	4_2	MEDIA
186PP1157	BOMBA 8 AGUA RECUPERADA PISCINA 6	45	Mensual	4	300.000	2	50.000	2	3	1			2,1	8,2	4_2	MEDIA
186PP1158	BOMBA 11 AGUA RECUPERADA PISCINA 6	45	Mensual	4	300.000	2	50.000	2	3	1			2,1	8,2	4_2	MEDIA
187PP3003	BOMBA UNDERFLOW ESPESADOR RELAVES TK3001	60	Mensual	4	300.000	2	50.000	2	3	1			2,1	8,2	4_2	MEDIA
187PP3004	BOMBA UNDERFLOW ESPESADOR RELAVES TK3001	60	Mensual	4	300.000	2	50.000	2	3	1			2,1	8,2	4_2	MEDIA
140CV2401	CORREA 60" ALIMENTACION PEBBLES	30	Mensual	4	300.000	2	100.000	2	3	1			2,1	8,2	4_2	MEDIA
143CV2407	CORREA ALIMENTACION CHANCADO PEBBLES	30	Mensual	4	300.000	2	100.000	2	3	1			2,1	8,2	4_2	MEDIA
140ST2409	CHUTE TRANSFERENCIA 140CV2401/143CV2405 CHUTE	35	Mensual	4	300.000	2	180.000	2	3	1			2,1	8,2	4_2	MEDIA
140CP035	COMPRESOR AIRE PLANTA MOLIENDA	45	Mensual	4	400.000	2	50.000	2	3	1			2,1	8,2	4_2	MEDIA
140ML003	MOLINO BOLAS 003	45	Mensual	4	400.000	2	100.000	2	3	1			2,1	8,2	4_2	MEDIA
140PP003	BOMBA ALIMENTACION BATERIA CICLONES 001	28	Mensual	4	400.000	2	100.000	2	3	1			2,1	8,2	4_2	MEDIA
140CS003	BATERIA CICLONES 1 MOLINO BOLAS ML004	35	Mensual	4	400.000	2	100.000	2	3	1			2,1	8,2	4_2	MEDIA
140CS004	BATERIA CICLONES 2 MOLINO BOLAS ML004	35	Mensual	4	400.000	2	100.000	2	3	1			2,1	8,2	4_2	MEDIA
133MA020	CORREA MAGNETICA PLANTA PEBBLES #20	180	Semestral	2	50.000	1	50.000	2	1	1			1,1	2,2	2_1	NO CRITICO
133CV040	CORREA ALIMENTACION CHANCADO PEBBLES	90	Trimestral	3	300.000	2	10.000	2	1	1			1,9	5,6	3_2	BAJA

133CV040	CORREA ALIMENTACION CHANCADO PEBBLES	90	Trimestral	3	300.000	2	10.000	2	1	1			1,9	5,6	3_2	BAJA
133CV043	CORREA TRASPASO PEBBLES CHANCADOS	28	Mensual	4	350.000	2	150.000	2	1	1			1,9	7,4	4_2	MEDIA
133CV044	CORREA PEBBLES CHANCADOS A STOCKPILE	28	Mensual	4	350.000	2	150.000	2	1	3			2,0	7,8	4_2	MEDIA
133SC124	HARNERO 002 PEBBLES LINEA 1 MOLIENDA	28	Mensual	4	350.000	2	150.000	2	1	3			2,0	7,8	4_2	MEDIA
133SC134	HARNERO 001 PEBBLES LINEA 1 MOLIENDA	28	Mensual	4	350.000	2	150.000	2	1	3			2,0	7,8	4_2	MEDIA
133ST001	CHUTE TRASPASO CORREA 040 A 041/043	35	Mensual	4	330.000	2	100.000	2	3	1			2,1	8,2	4_2	MEDIA
133ST003	CHUTE TRASPASO CORREA 043 A 044	35	Mensual	4	330.000	2	100.000	2	3	1			2,1	8,2	4_2	MEDIA
133ST004	CHUTE TRASPASO CORREA 044 A 003	35	Mensual	4	330.000	2	100.000	2	3	1			2,1	8,2	4_2	MEDIA
141ML1012	MOLINO BOLAS 1012	45	Mensual	4	400.000	2	100.000	2	3	1			2,1	8,2	4_2	MEDIA
141ML1013	MOLINO BOLAS 1013	45	Mensual	4	400.000	2	100.000	2	3	1			2,1	8,2	4_2	MEDIA
181PP119	BOMBA 5 AGUA RECUPERADA PISCINA 6	45	Mensual	4	300.000	2	50.000	2	1	3			2,0	7,8	4_2	MEDIA
181PP120	BOMBA 6 AGUA RECUPERADA PISCINA 6	45	Mensual	4	300.000	2	50.000	2	1	3			2,0	7,8	4_2	MEDIA
181PP121	BOMBA 7 AGUA RECUPERADA PISCINA 6	45	Mensual	4	300.000	2	50.000	2	1	3			2,0	7,8	4_2	MEDIA
186TK2001	ESTANQUE ESPESADOR RELAVES 2001	28	Mensual	4	500.000	2	700.000	3	1	1			2,0	7,8	4_2	MEDIA
143CV2405	CORREA ALIMENTACION HARNEROS PEBBLES	30	Mensual	4	500.000	2	300.000	3	1	1			2,0	7,8	4_2	MEDIA
143ST2405	CHUTE TRASPASO CORREA 2407 A 041	35	Mensual	4	300.000	2	180.000	2	1	3			2,0	7,8	4_2	MEDIA
143ST2413	CHUTE TRANSFERENCIA CORREA 2407 A 043	35	Mensual	4	300.000	2	180.000	2	1	3			2,0	7,8	4_2	MEDIA
141CV2404	CORREA PEBBLES SAG 1011 A PLANTA LAVADO	35	Mensual	4	300.000	2	180.000	2	1	3			2,0	7,8	4_2	MEDIA
140ML004	MOLINO BOLAS 004	45	Mensual	4	400.000	2	100.000	2	1	3			2,0	7,8	4_2	MEDIA
140PP005	BOMBA ALIMENTACION BATERIA CICLONES 003	28	Mensual	4	400.000	2	100.000	2	1	3			2,0	7,8	4_2	MEDIA
140PP006	BOMBA ALIMENTACION BATERIA CICLONES 004	28	Mensual	4	400.000	2	100.000	2	1	3			2,0	7,8	4_2	MEDIA
141PP1023	BOMBA ALIMENTACION BATERIA CICLONES 1013	45	Mensual	4	200.000	2	100.000	2	1	3			2,0	7,8	4_2	MEDIA
141PP1024	BOMBA ALIMENTACION BATERIA CICLONES 1014	45	Mensual	4	200.000	2	100.000	2	1	3			2,0	7,8	4_2	MEDIA
181PD006	PISCINA ALMACENAMIENTO AGUA RECUPERADA	30	Mensual	4	300.000	2	50.000	2	1	1			1,9	7,4	4_2	MEDIA
181PP115	BOMBA 1 AGUA RECUPERADA PISCINA 6	45	Mensual	4	300.000	2	50.000	2	1	1			1,9	7,4	4_2	MEDIA
181PP116	BOMBA 2 AGUA RECUPERADA PISCINA 6	45	Mensual	4	300.000	2	50.000	2	1	1			1,9	7,4	4_2	MEDIA
181PP117	BOMBA 3 AGUA RECUPERADA PISCINA 6	45	Mensual	4	300.000	2	50.000	2	1	1			1,9	7,4	4_2	MEDIA
181PP118	BOMBA 4 AGUA RECUPERADA PISCINA 6	45	Mensual	4	300.000	2	50.000	2	1	1			1,9	7,4	4_2	MEDIA
186PP1160	BOMBA 12 AGUA RECUPERADA PISCINA 6	45	Mensual	4	300.000	2	50.000	2	1	1			1,9	7,4	4_2	MEDIA
186PP1161	BOMBA 13 AGUA RECUPERADA PISCINA 6	45	Mensual	4	300.000	2	50.000	2	1	1			1,9	7,4	4_2	MEDIA
186PP1162	BOMBA 14 AGUA RECUPERADA PISCINA 6	45	Mensual	4	300.000	2	50.000	2	1	1			1,9	7,4	4_2	MEDIA
140CV2402	CORREA PEBBLES SAG 002 A PLANTA LAVADO	30	Mensual	4	300.000	2	100.000	2	1	1			1,9	7,4	4_2	MEDIA
143CV2406	CORREA DESCARGA HARNEROS PEBBLES	30	Mensual	4	300.000	2	100.000	2	1	1			1,9	7,4	4_2	MEDIA
143SC2401	HARNERO 1 PLANTA LAVADO PEBBLES	30	Mensual	4	300.000	2	100.000	2	1	1			1,9	7,4	4_2	MEDIA
143SC2402	HARNERO 2 PLANTA LAVADO PEBBLES	30	Mensual	4	300.000	2	100.000	2	1	1			1,9	7,4	4_2	MEDIA
140PP004	BOMBA ALIMENTACION BATERIA CICLONES 002	28	Mensual	4	400.000	2	100.000	2	1	1			1,9	7,4	4_2	MEDIA
140CS001	BATERIA CICLONES 1 MOLINO BOLAS ML003	35	Mensual	4	400.000	2	100.000	2	1	1			1,9	7,4	4_2	MEDIA
140CS002	BATERIA CICLONES 2 MOLINO BOLAS ML003	35	Mensual	4	400.000	2	100.000	2	1	1			1,9	7,4	4_2	MEDIA
141PP1021	BOMBA ALIMENTACION BATERIA CICLONES 1011	45	Mensual	4	200.000	2	100.000	2	1	1			1,9	7,4	4_2	MEDIA
141PP1022	BOMBA ALIMENTACION BATERIA CICLONES 1012	45	Mensual	4	200.000	2	100.000	2	1	1			1,9	7,4	4_2	MEDIA

4.2. BS EN ISO 14224:2016

Se utiliza la norma 14224:2016, para diferenciar las fallas entre las detenciones, es un proceso muy importante debido a que si no se diferencian no se puede obtener las curvas de confiabilidad dentro de la empresa.

Taxonomía

La taxonomía es una clasificación sistemática de ítems en grupos genéricos basados en factores posiblemente comunes a varios ítems (ubicación, uso, subdivisión de equipos, etc.) Una clasificación de datos relevantes a recolectar de conformidad con este estándar internacional está representada por una jerarquía como se muestra en la siguiente figura.

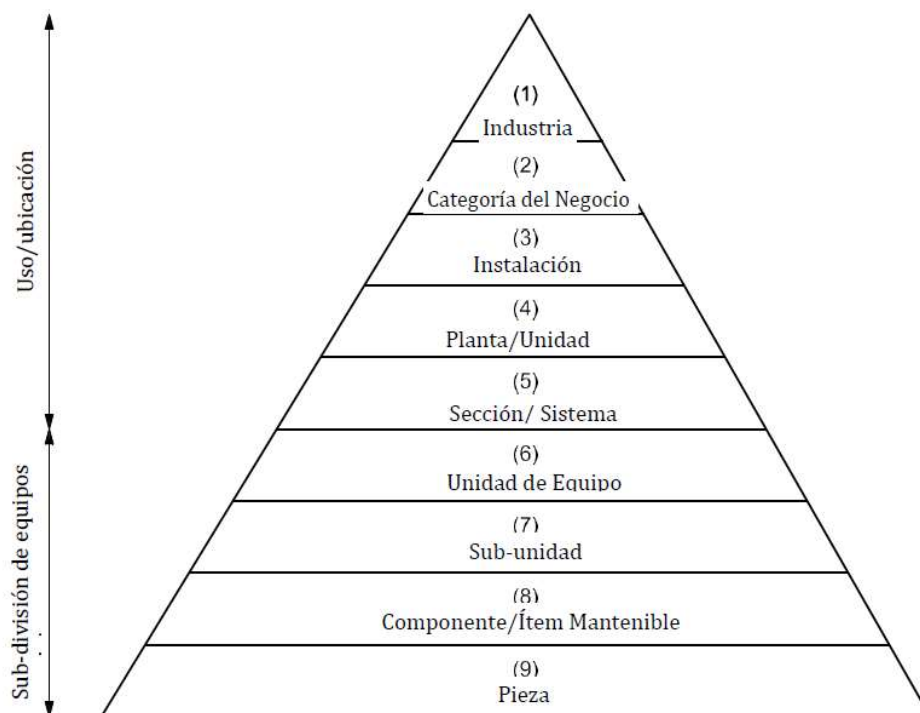
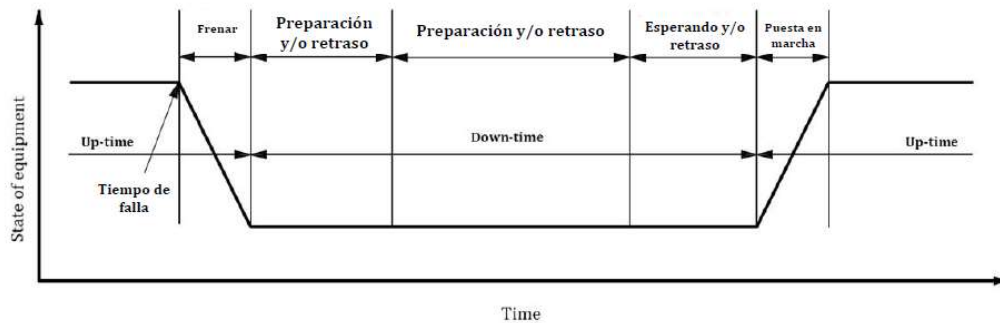


Figura 3 — Clasificación de la Taxonomía con niveles taxonómicos

El tiempo de la falla comienza frenando el equipo hasta detenerse se prepara y/o retrasa, esperando y/o retraso y se coloca en marcha.



Mecanismo de falla

El mecanismo de falla es el proceso físico, químico u otro, o la combinación de procesos, que dé lugar a la falla. Es un atributo del evento de falla que puede deducirse técnicamente, p.ej. la causa aparente observado de la falla. La (s) causa (s) raíz de la falla se codifica(n) siempre que esta información esté disponible (este Estándar Internacional recomienda incluir un cambo separado para esta información).

Los códigos de mecanismo de falla se están relacionados a las siguientes categorías generales de tipos de fallas:

- a) fallas mecánicas;
- b) fallas de material;
- c) fallas de instrumentación;
- d) fallas eléctricas;
- e) influencia externa;
- f) varios.

Esta categorización es bastante general, y dentro de cada categoría se recomienda utilizar una categorización más detallada, según lo mostrado en la Tabla B.2. Si no existe suficiente información para aplicar los códigos en este

subnivel, entonces los códigos en el nivel principal según el listado anterior pueden ser utilizados. Esto implica que los códigos descriptivos para fallas mecánicas, con los números 1.1, 1.2, etc., son preferibles al código general de categoría de falla, 1.0 etc. (véase Tabla B.2).

El mecanismo de falla generalmente debe estar relacionado a un nivel jerárquico menor (nivel de sub-unidad o ítem mantenible). En términos prácticos, el mecanismo de falla representa un modo de falla al nivel del ítem. Se debe tener cuidado de distinguir entre el mecanismo de falla y el modo de falla.

EJEMPLO Se registra que una válvula empezó a presentar una fuga de hidrocarburos al ambiente, pero no se registraron causas adicionales. Aquí, el modo de falla debe ser codificado bajo ELP (fuga externa del medio del proceso), y el mecanismo de falla debe ser codificado como desconocido (6.4) y no fuga (1.1).

El mecanismo de falla también está relacionado a la causa de falla (véase B.2.3); éste último tiene el propósito de revelar la causa raíz subyacente de la falla.

Se identifican seis categorías de mecanismos de falla en la Tabla B.2, junto con las subdivisiones y códigos relacionados para el uso en bases de datos.

Tabla B.2 — Mecanismo de falla

Mecanismo de falla		Subdivisión del mecanismo de falla		Descripción del mecanismo de falla
Número de código	Notación	Número de código	Notación	
1	Falla mecánica	1.0	General	Falla relacionada a algún defecto mecánico, pero donde no se conocen detalles mayores.
		1.1	Fuga	Fugas externas e internas, ya sean de líquidos o gases: si el modo de falla al nivel del equipo se codifica como "fuga", se debe utilizar un mecanismo de falla orientado a la causa siempre que sea posible.
		1.2	Vibración	Vibración anormal: Si el modo de falla al nivel del equipo es "vibración", un mecanismo de falla orientado a la causa, la causa de la falla (causa raíz) debe ser registrado siempre que sea posible.
		1.3	Alineamiento/ espacio	Falla provocada por un espacio o alineamiento inadecuado.
		1.4	Deformación	Distorsión, flexión, abolladura, mellas, exceso de tensión, contracción, formación de ampollas, reptación, etc.
		1.5	Soltura	Desconexión, ítems sueltos.
		1.6	Atascamiento	Atascamiento, agarrotamiento, bloqueo por razones aparte de la deformación o problemas de alineamiento/espacio.
2	Falla de material	2.0	General	Falla relacionada a un defecto del material, pero donde no se conocen detalles mayores.
		2.1	Cavitación	Relevante para los equipos tales como las bombas y válvulas
		2.2	Corrosión	Todo tipo de corrosión, tanto húmeda (electroquímica) como seca (química)
		2.3	Erosión	Desgaste por erosión
		2.4	Desgaste	Desgaste abrasivo y adhesivo, p.ej. ralladuras, engrane, raspado, frotamiento
		2.5	Rotura	Fracturas, quebrantamientos, grietas
		2.6	Fatiga	Si la causa de la falla puede ser trazado a la fatiga, se debe utilizar este código.
		2.7	Sobrecalentamiento	Daños al material debido al sobrecalentamiento/ quemado
		2.8	Estallido	Ítem estallido, reventado, explosión, implosión, etc.
3	Falla de instrumentos	3.0	General	Falla relacionado al instrumento, pero donde no se conocen detalles mayores.
		3.1	Falla de control	Falta de regulación o regulación inapropiada
		3.2	Sin señal/ indicación/ alarma	Falta de señal/indicación/alarma esperada
		3.3	Señal/ indicación/ alarma defectuosa	Señal/indicación/alarma inapropiada en relación al proceso real. Puede ser falsa, intermitente, oscilante, arbitraria
		3.4	Desajuste	Error de calibración, cambio de parámetros
		3.5	Error de software	Falta de control/monitoreo/operación, control/monitoreo/operación inapropiada debido a error de software
		3.6	Falla de causa común/modo común	Varios instrumentos fallaron simultáneamente, p.ej. detectors de incendio y gas redundantes; también fallas relacionadas a una causa común.
^a La persona responsable de adquirir los datos debe juzgar cuál de los descriptores de mecanismo de falla es más importante si existe más de uno, intentando evitar los códigos 6.3 y 6.4.				
^b Los errores humanos no están considerados bajo los mecanismos de falla, sino que se consideran como parte de las causas de falla.				

Tabla B.2 (continua)

Mecanismo de falla		Subdivisión del mecanismo de falla		Descripción del mecanismo de falla
Número de	Notación	Número de código	Notación	
4	Falal eléctrica	4.0	General	Fallas relacionadas al suministro y transmisión de energía eléctrica, pero donde no se conocen detalles mayores.
		4.1	Cortocircuito	Cortocircuito
		4.2	Circuito abierto	Desconexión, interrupción, cable roto
		4.3	Sin energía/voltaje	Suministro de energía eléctrica faltante o insuficiente
		4.4	Energía/voltaje inapropiado	Suministro de energía eléctrica inapropiado, p.ej. exceso de voltaje
		4.5	Falla de puesta a tierra/ aislamiento	Falla de puesta a tierra, baja resistencia eléctrica
5	Influencia externa	5.0	General	Failure debido a algún evento externo o sustancia fuera del límite, pero donde no se conocen detalles mayores.
		5.1	Bloqueo/ taponamiento	Restricción/taponamiento de flujo debido a incrustaciones, congelamiento, aseguramiento de flujo (hidratos) etc.
		5.2	Contaminación	Fluido/gas/superficie contaminado, p.ej. contaminación de aceite de lubricación, contaminación del cabezal del detector de gas
		5.3	Otra influencia externa	Objetos externos, impactos, influencia ambiental desde sistemas cercanos
6	Varios ^{a, b}	6.0	General	Mecanismo de falla que no entre en las categorías anteriores
		6.1	Ninguna causa encontrada	Falla investigada, pero no se reveló la causa o existe demasiada incerteza
		6.2	Causas combinadas	Varias causas: Si existe una causa predominante, esta debe ser codificada.
		6.3	Otros	Sin código aplicable: Utilizar texto libre.
		6.4	Desconocido	No existe información disponible

^a La persona reonsable de adquirir los datos debe juzgar cuál de los descriptores de mecanismo de falla es más importante si existe más de uno, intentando evitar los códigos 6.3 y 6.4.

^b Los errores humanos no están considerados bajo los mecanismos de falla, sino que se consideran como parte de las causas de falla.

Tabla B.3 — Causas de Falla

Número de código	Notación	No. Código de subdivisión	Subdivisión de la causa de falla	Descripción de la causa de falla
1	Causas relacionadas al diseño	1.0	General	Diseño o configuración inapropiada del equipo (forma, tamaño, tecnología, configuración, operabilidad, mantenibilidad, etc.), pero no se conocen mayores detalles.
		1.1	Capacidad inapropiada	Dimensiones/capacidad inadecuada.
		1.2	Material inapropiado	Selección de materiales inapropiados.
2	Causas relacionadas a la fabricación/ instalación	2.0	General	Falla relacionada a la fabricación o instalación, pero no se conocen mayores detalles.
		2.1	Falla de fabricación	Falla de fabricación o procesamiento.
		2.2	Falla de instalación	Falla de instalación o montaje (no incluye montaje después de mantenimiento)
3	Causas relacionadas a la operación/ mantenimiento	3.0	General	Falla relacionada a la operación/uso o mantenimiento del equipo, pero no se conocen mayores detalles.
		3.1	Servicio no provisto/ no diseñado	Condiciones de servicio imprevistas o no diseñadas, p.ej. operación del compresor fuera del rango apropiado, presión mayor a las especificaciones, etc.
		3.2	Error de operación	Error humano: Error, mal uso, negligencia, descuido, etc. durante la operación (ej. debido a fatiga humana)
		3.3	Error de mantenimiento	Error humano: Error, mal uso, negligencia, descuido, etc. durante el mantenimiento (ej. debido a fatiga humana)
		3.4	Desgaste esperado	Falla causada por el desgaste resultante de la operación normal del equipo
4	Falla relacionada a la gestión	4.0	General	Falla relacionada a problemas de gestión, pero no se conocen mayores detalles.
		4.1	Error de documentación	Error humano: Falla relacionada a procedimientos, especificaciones, planos, reportes, etc. (ej. debido a fatiga humana)
		4.2	Error de gestión	Falla relacionada a la planificación, organización, aseguramiento de calidad, etc.
5	Varios ^a	5.0	Varios - general	Causas que no entran en una de las categorías anteriores
		5.1	Ninguna causa encontrada	Falla investigada, pero no encontró una causa específica
		5.2	Causa común	Causa/modo común ^b
		5.3	Causas combinadas	Varias causas actúan simultáneamente. Si existe una causa predominante, esta debe ser codificada.
		5.4	Falla de otra unidad/ en cascada	Falla debido a la falla de otro equipo, sub-unidad o ítem mantenible (falla en cascada)
		5.5	Otros	Sin código aplicable: Utilizar texto libre para registrar causa.
		5.6	Desconocido	No existe información disponible acerca de la causa de falla
^a La persona responsable de adquirir los datos debe juzgar cuál de los descriptores de mecanismo de falla es más importante si existe más de uno, intentando evitar los códigos 5.5 y 5.6.				
^b Véase mayor información en B.2.3.2 y también F.3.2.				

B.2.4 Método de detección

Es el método o actividad mediante el cual la falla se descubre. Esta información es de importancia crítica al momento de evaluar el efecto del mantenimiento, p.ej. para distinguir entre las fallas descubiertas a través de una acción planificada (inspección, mantenimiento PM), y aquellas detectadas por casualidad (observación casual). Se identifican nueve categorías de métodos de detección en la [Tabla B.4](#), junto con los códigos correspondientes para el uso en las bases de datos.

Tabla B.4 — Método de detección

Número	Notación ^a	Descripción	Actividad
1	Mantenimiento periódico	Falla descubierta durante el mantenimiento, reemplazo o reacondicionamiento preventivo de un ítem al ejecutar el programa de mantenimiento preventivo.	Actividades Programadas
2	Pruebas funcionales	Falla descubierta al activar una función prevista y comparar la respuesta contra un estándar predefinido. Esto es un método típico de detección de fallas ocultas.	
3	Inspección	Falla descubierta durante la inspección planeada, p.ej. inspección visual, pruebas no destructivas	
4	Monitoreo periódico de condiciones ^b	Fallas reveladas durante el monitoreo planeado y programado de condiciones de un modo de falla predefinido, ya sea manual o automático, p.ej. termografía, medición de vibraciones, análisis de aceite, etc.	
5	Pruebas de presión ^c	Falla observada durante pruebas de presión	
6	Monitoreo continuo de condiciones ^b	Fallas reveladas durante el monitoreo continuo de condiciones de un modo de falla predefinido	Monitoreo continuo
7	Interferencia de producción	Falla descubierta debido a una interrupción, reducción etc. de la producción	
8	Observación casual	Observación casual durante las revisiones rutinarias o casuales del operador, principalmente a través de los sentidos (ruido, olor, humo, fugas, apariencia, etc.)	Ocurrencias casuales
9	Mantenimiento correctivo	Falla observada durante mantenimiento correctivo	
10	Bajo demanda	Falla descubierta durante un intento de activar un equipo bajo demanda (ej. la válvula de seguridad no cierra tras la señal ESD; la turbina de gas no inicia bajo demanda, etc.)	
11	Otros	Otro método de observación y/o combinación de diferentes métodos	Other

^a La notación específica para detectores de incendio y gas, sensores de proceso y unidades de lógica de control debe ser interpretada según lo siguiente:

prueba funcional: pruebas funcionales periódicas
observación casual: observación en terreno
CM periódico: estado anormal descubierta por personal de sala de control (sin anuncio de falla)
CM continuo: anuncio de falla en sala de control (alarma audible y/o visible)

^b El monitoreo de condiciones implica el uso de equipos y/o algoritmos específicos para monitorear la condición del equipo con respecto a modos de falla predefinidos (nótese que "prueba" e "inspección" son códigos distintos). El Monitoreo de Condiciones (CM) puede dividirse además en las siguientes categorías:

- 1) CM periódico: monitoreo periódico de condiciones, incluyendo técnicas tales como la termografía, medición de vibraciones fuera de línea, análisis de aceite, verificaciones de calibración y muestreo;
- 2) CM continuo: vigilancia continua de parámetros del proceso y condiciones de los equipos a través de instrumentación, p.ej. temperatura, presión, flujo, RPM, para detectar condiciones de operación anormales

^c Las pruebas de presión y pruebas funcionales son dos tipos diferentes de pruebas, con propósitos diferentes, que revelan fugas externas o internas, según lo reflejado en el Anexo F.4.

Tabla B.5 — Actividad de Mantenimiento

Código Numérico	Actividad	Descripción	Ejemplos	Uso ^a
1	Reemplazar	Reemplazo del ítem por un ejemplar nuevo o rehabilitado del mismo tipo y marca	Reemplazo de un rodamiento desgastado	C, P
2	Reparar	Acción de mantenimiento manual realizada para restaurar un ítem a su apariencia o estado original	Reempaquetamiento, soldadura, llenado, reconexión, refabricación, etc.	C
3	Modificar ^b	Reemplazar, renovar o cambiar el ítem, o una parte de ello, con una pieza de otro tipo, marca, material o diseño	Instalar un filtro con una malla de menor diámetro, reemplazar una bomba de aceite de lubricación con una bomba de otro tipo, reconfiguración, etc.	C, P
4	Ajustar	Restaurar cualquier condición fuera de tolerancia al rango de tolerancia	Alinear, configurar y reconfigurar, calibrar, equilibrar	C, P
5	Reequipamiento	Actividad de reparación/servicio menor para restaurar un ítem a una apariencia aceptable, tanto interna como externa.	Pulido, limpieza, fresado, pintura, recubrimiento, lubricación, cambio de aceite, etc.	C, P
6	Revisión ^c	Se investiga la causa de la falla, pero no se realiza ninguna actividad de mantenimiento, o la acción se posterga. Función recuperada a través de acciones simples, p.ej. reiniciar o reconfigurar	Reinicio, reconfiguración, ninguna acción de mantenimiento, etc. Especialmente relevante para fallas funcionales, p.ej. detectores de incendio y gas, equipos submarinos	C
7	Servicio	Tareas de servicio periódico: normalmente el ítem no se desarma	ej. limpieza, reposición de suministros consumibles, ajustes y calibraciones	P
8	Prueba	Prueba periódica de funcionamiento o rendimiento	Prueba de función de un detector de gas, prueba de exactitud de un flujómetro	P
9	Inspección	Inspección/verificación periódica: escrutinio cuidadoso de un ítem con o sin desarmado, normalmente a través de los sentidos	Todo tipo de verificación general. Incluye mantenimiento menor como parte de la tarea de inspección.	P
10	Reacondicionamiento	Reacondicionamiento mayor	Inspección/ acondicionamiento general con desarmado y reemplazo de ítems según se especifique o se requiera	C, P
11	Combinación	Incluye varias de las actividades anteriores	Si una actividad predomina, ésta puede registrarse	C, P
12	Otros	Actividad de mantenimiento diferente a las anteriores	ej. actividades de protección	C, P

^a C: utilizado típicamente en el mantenimiento correctivo; P: utilizado típicamente en el mantenimiento preventivo.

^b La modificación no está definida como categoría de mantenimiento, pero a menudo se realiza por personas entrenadas en disciplinas de mantenimiento. La modificación puede tener una influencia importante en la operación y confiabilidad de un equipo.

^c "Revisión" incluye tanto los casos en donde una causa de falla se identificó, pero la acción de mantenimiento se consideró como innecesario o imposible de realizar como en aquellos casos donde no se pudo identificar una causa de falla.

5. DISCO COMPACTO (CD)