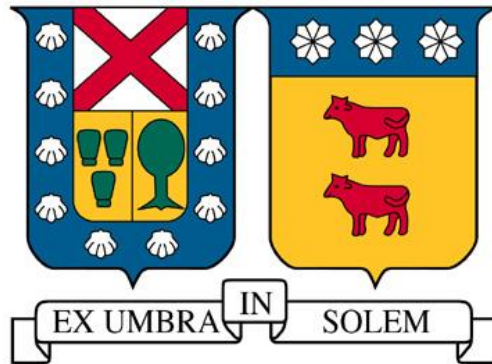


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS
VALPARAISO – CHILE



EVALUACION Y PROPUESTA PARA EL PROGRAMA DE MANTENCION ANUAL DE LAS PLANTAS DE CHANCADO PRIMARIO Y MOLIENDA

CESAR ANDRÉS CABRERA VIVANCO

TRABAJO FINAL PARA OPTAR AL GRADO DE
MAGÍSTER EN GESTIÓN DE ACTIVOS Y MANTENIMIENTO

PROFESOR GUÍA: SR. PABLO VIVEROS

AGOSTO 2025



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☐ Memoria o trabajo de título; ☒ Tesis de Postgrado;

Título del trabajo: Evaluación y propuesta para el programa de mantención anual de las plantas de chancado primario y molienda

Nombre del candidato(a): César Cabrera Vivanco

Carrera / Grado: Magíster en Gestión de Activos y Mantenimiento

Campus: Santiago Vitacura ; **Departamento:** Industrias

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Pablo Viveros Gunckel, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL

☒ El trabajo **NO contiene información que amerite confidencialidad** y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (embargo) por:

☐ 6 meses; ☐ 12 meses; ☐ 2 años; ☐ 3 años; ☐ 5 años; ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 5-09-2025

; Firma: _____

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 05-09-2025

; Firma: _____

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

ÍNDICE

RESUMEN.....	3
INTRODUCCIÓN.....	5
OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS.....	6
ALCANCE	6
DESARROLLO DEL TEMA	7
MODELO PARA LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO	7
ETAPA 1: ANTECEDENTES DEL PROCESO MINERO.....	8
ETAPA 2: JERARQUIZACIÓN DE LOS EQUIPOS.	8
ETAPA 3: ANÁLISIS DE PUNTOS DÉBILES DE ALTO IMPACTO	9
ETAPA 4. DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO	10
ETAPA 5: EVALUACIÓN DE ESCENARIOS PARA EL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO ANUAL	11
ETAPA 6: PROPUESTA DEL PLAN DE MANTENIMIENTO ANUAL.	17
CONCLUSIÓN	19
BIBLIOGRAFÍA.....	19
ANEXOS.....	20
ANEXO 1: PLANTA DE CHANCADO PRIMARIO	21
ANEXO 2: PLANTA DE MOLIENDA	23
ANEXO 3: MÉTODO SOM (STANDARDS OPERATING METRICS)	25
ANEXO 4: MÉTRICAS OPERATIVAS.....	27

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS
PROGRAMA DE MAGÍSTER
VALPARAISO – CHILE

RESUMEN

**EVALUACION Y PROPUESTA PARA EL PROGRAMA DE MENTENCION ANUAL
DE LAS PLANTAS DE CHANCADO PRIMARIO Y MOLIENDA**

Por
Cesar Andres Cabrera Vivanco

PROFESOR GUÍA: SR. PABLO VIVEROS

Agosto de 2025 - Santiago de Chile

Hoy en día las organizaciones mineras enfrentan un entorno económico de alta competitividad generando nuevos desafíos para la operación y el mantenimiento, exigiendo cada día una mayor eficiencia, con el fin de mantenerse en el mercado y mejorar la rentabilidad del negocio, es por ello que las áreas de operaciones y mantenimiento deben aplicar el conocimiento técnico y su experiencia, que, en muchos casos sin aplicar una metodología formal de análisis, conlleva a la búsqueda de soluciones, lo cual por este motivo el presente trabajo plantea el uso de la metodología SOM, el cual en el año 2012, los representantes de los sitios de Teck acordaron códigos comunes para la utilización de las mejores prácticas, para el análisis del proceso de operación y mantenimiento de la Planta de Chancado Primario y la Planta de Molienda.

El presente trabajo, desarrollado en el marco del Magíster en Gestión de Activos y Mantenimiento, analiza la aplicación de la metodología SOM (Standards Operating Metrics) para optimizar la planificación de las detenciones mayores en las Plantas de Chancado Primario y Molienda de la operación minera Quebrada Blanca de Compañía Minera TECK.

La metodología SOM permite medir y comparar indicadores clave de desempeño (Disponibilidad, Utilización del Activo y Eficiencia Operacional) a partir de la estandarización de tiempos de producción, mantención y espera. Se evaluaron tres escenarios para cada Planta: Optimista, Conservador y Pesimista, considerando variaciones en horas de mantenimiento no programado, detenciones mayores y tiempos de espera operacionales.

En la Planta de Chancado Primario, los resultados de Utilización del Activo variaron entre 80,4% (Optimista) y 69,1% (Pesimista), mientras que en la Planta de Molienda variaron entre 94,0% y 91,5%. El análisis determinó que el escenario Conservador ofrece un balance óptimo entre cumplimiento de criterios de diseño, tiempos de producción y tonelaje tratado.

Se propone un programa anual sincronizado de detenciones mayores: en Chancado Primario cada 3 meses (24 h) y cada 6 meses (120 h), y en Molienda cada 6 meses por línea (50 h), buscando sinergias operativas, reducción de riesgos y optimización de recursos.

Palabras claves: Planta de Chancado Primario, Planta de Molienda, Metodología SOM (Standards Operating Metrics), Disponibilidad, Utilización del Activo y Eficiencia Operacional.

INTRODUCCIÓN

El resultado de esta evaluación será un apoyo para el área de mantenimiento y operaciones de las Plantas de Chancado Primario y Molienda pertenecientes al proyecto de Quebrada Blanca (QB), el cual es una operación administrada por Compañía Minera TECK, ubicada en la región de Tarapacá a 165 kilómetros al sureste de la capital regional de Iquique, y con una elevación de 4.300 metros sobre el nivel del mar.

Durante la evaluación se utilizarán indicadores claves de desempeño, los cuales tienen como objetivo apoyar al área de la operación de ambas Plantas y al área de mantenimiento durante la intervención de los equipos, en donde se tiene como objetivo llegar a una propuesta que corresponde a la cantidad de detenciones mayores durante el periodo de un año.

La herramienta definida para obtener la propuesta del número de las detenciones mayores anuales será utilizando del método SOM (Standards Operating Metrics) para la medición de los indicadores claves de desempeño organizacionales y de los equipos, aplicado como método estandarizado para todas las operaciones de Compañía Minera TECK.

Este estándar es implementado con el fin de facilitar la evaluación de parámetros e identificar oportunidades de mejora en producción, ya que una detención mayor significa dejar de producir una gran cantidad de mineral, lo cual se traduce en ingresos monetarios.

En la definición del mantenimiento de los equipos, la principal idea es analizar diferentes escenarios para definir intervenciones que sincronicen la etapa de chancado primario y la molienda durante la detención mayor de Planta, en base a los parámetros de tiempo, que da cuenta las 8.760 horas del año, lo cual es una pieza clave de éxito y es asegurar las distintas actividades que se asignen de manera correcta en la administración de contratos de mantención, reparación u otros contratos externos específicos

Este método estandarizado es administrado por el Equipo de Confiabilidad, el cual es revisado periódicamente para estar alineados con las mejores prácticas en el uso de la energía requerida para su operación obtenida desde el Sistema Interconectado Central, a través de un conjunto de líneas eléctricas de alta tensión, subestaciones y líneas eléctricas de distribución.

OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS

- Presentar una propuesta correspondiente a un número de detenciones mayores durante el periodo de un año, que afecte de menor forma la producción y los ingresos.
- El resultado de la evaluación será una base inicial para el equipo de planificación y confiabilidad de la compañía, para las mantenciones programadas en el periodo de un año de operación.
- Evaluar diferentes escenarios utilizando la metodología SOM, para logra una planificación simétrica entre las detenciones mayores de las Plantas de Chancado Primario y de Molienda.

ALCANCE

- Durante el análisis se ocuparán los valores de Utilización de Activos entregados por los criterios de diseño para la Planta de Chancado Primario y la Planta de Molienda, lo cual nos permitirá calcular mediante distintos escenarios la obtención de diferentes valores de utilización, disponibilidad, tiempos de mantenimiento, tiempos de producción y eficiencia Operacional, para presentar la mejor alternativa.

DESARROLLO DEL TEMA

Modelo para la gestión del mantenimiento

La **figura 1** se muestran 2 ciclos de trabajo muy representativos y necesarios que se enmarcan en un modelo de gestión de mantenimiento. El primero, conocido como el ciclo habitual del mantenimiento o ciclo de trabajo estándar, en la cual se explica la secuencia lógica del proceso táctico – operativo del mantenimiento: planificación, programación, asignación de tareas y ejecución. Mientras que el segundo es conocido como ciclo de mejoramiento continuo. Este ciclo se incrementa en dos nuevas actividades: análisis del trabajo ejecutado y el proceso de identificación de tareas para la implementación de mejoras.

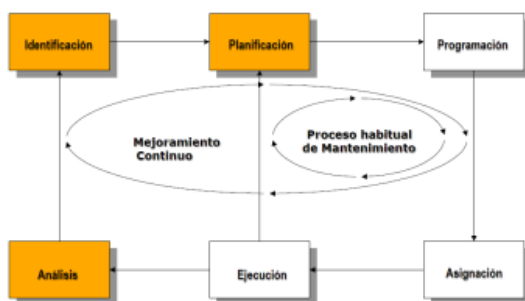


Figura 1: Ciclo de trabajo del mantenimiento

Para la evaluación de la mejor propuesta del número de detenciones mayores, se proponen seis etapas para la implementación de un modelo de gestión de mantenimiento que se propone aplicar al proyecto de Quebrada Blanca (QB), en donde todos los equipos son nuevos, y por ende no poseen un historial de falla, solo se desarrollarán las etapas que se describen a continuación:

- **Etapla 1:** Antecedentes del Proceso Minero
- **Etapla 2:** Jerarquización de los equipos.
- **Etapla 3:** Análisis de puntos débiles de alto impacto.
- **Etapla 4:** Diseño del plan de mantenimiento para las Plantas de Chancado Primario y Molienda
- **Etapla 5:** Evaluación de escenarios para el Programa de Mantenimiento Anual
- **Etapla 6:** Propuesta del plan de mantenimiento anual.

Etapa 1: Antecedentes del Proceso Minero

La planta de Chancado Primario fue diseñada para una capacidad de 140.000 t/día, compuesto por un chancador giratorio, un alimentador de tipo placa (Apron Feeder) ubicado bajo chancador que descarga a un Sistema de Transporte dos cintas o correas en serie que llevan el mineral grueso hacia una reserva (Stock Pile).

El sistema de transporte fue diseñado con una capacidad máxima de 10.000 t/h, mientras que el chancador primario tiene una capacidad nominal de 8.333 t/h.

En general, la Chancado Primario y el Sistema de Transporte de mineral grueso está diseñado para un esquema operativo de 24 horas al día, 365 días al año y un tiempo de ejecución del 70%. La reserva de mineral grueso (Stock Pile) tiene una capacidad de carga viva de 80.000 t, suficiente para 14 horas de operación a flujo nominal. La capacidad total de la reserva de mineral grueso es de 268.000 t.

Tiempo Calendario	365	días
	8.760	horas
Tonelaje nominal CH PR	8.333	t/h
Utilización del Activo	70	%
Tiempo de Producción	6.132	horas
Horas de Detención	2.628	horas
Tonelaje anual	51.097.956	t
Tratamiento diario	139.994	t/día

Tabla 1. Resumen de los Criterios de Diseño de la Planta de Chancado Primario

La Planta de Molienda se encuentra diseñada para una capacidad de 140.000 t/d, con dos líneas paralelas e independientes. Cada línea de molienda está compuesta por un molino SAG y dos molinos de bolas, los cuales operará a un flujo nominal de 3.170 t/h, pudiendo alcanzar un flujo máximo de alimentación fresca de 3.645 t/h, dependiendo de las características del mineral (tales como dureza o tamaño)

El diseño de la Planta de Molienda ha considerado un esquema operativo de 24 horas al día, 365 días al año y un 92% de tiempo de ejecución.

Tiempo Calendario	365	días
	8.760	horas
Tonelaje nominal por ambos molinos SAG1 y SAG2	6.344	t/h
Utilización del Activo	92	%
Tiempo de Producción	8.060	horas
Horas de Detención	700	horas
Tonelaje Anual	51.133.122	t
Tratamiento Diario	140.091	t/día

Tabla 2. Resumen de los Criterios de Diseño de la Planta de Molienda

Cuando se tienen detenidas ambas plantas, el costo es de 345 mil dólares/ hora = 140.0000 Ton día / 24 hrs * 2,2 kg /libra * 4,6 U\$D/libra*0,6% de ley.

Etapas 2: Jerarquización de los equipos.

El proceso de jerarquización de los activos sirve para definir el número de elementos o componentes de una planta que trabajan en conjunto para alcanzar objetivos establecidos.

En el caso del Chancador Primario, la frecuencia de intervención está determinada por el desgaste de los componentes internos, tales como la cóncava, coraza interior, estructuras internas sometidas a la abrasión y el motor principal.

Para los molinos SAG y Bolas, la frecuencia de intervención está determinada por el cambio de los revestimientos del casco, de la tapa de alimentación, de la tapa de descarga y de las intervenciones en el motor síncrono de anillos rozantes.

Etapas 3: Análisis de puntos débiles de alto impacto

¿Qué actividades es posible analizar en función del valor de Utilización del Activo de la Planta de Chancado Primario y de Molienda?

Lo que sí es posible gestionar es el cambio de componentes, inspecciones, modificaciones, mejoramientos, detenciones en secuencia, lo que para ello aplicamos el Mantenimiento Preventivo que constituyen un proceso que se presentan en toda faena, que nos permite anticiparnos a las fallas, para evitar el mantenimiento no programado a causa de imprevistos.

El mantenimiento por oportunidad, también nos permite evitar de tal manera progresivamente las intervenciones preventivas, para lograr la disminución de fallas y minimizar los daños que provocan.

Lo que no es posible controlar son las detenciones por eventos climáticos, falta de energía de energía eléctrica por black-kout y falta de agua para el servicio a las personas y eventos laborales como huelgas entre otras.

Etapas 4. Diseño del plan de mantenimiento para las Plantas de Chancado Primario y Molienda

Necesidades Operacionales para tiempos de detención en ambas Plantas.

- Falta de alimentación de mineral desde los equipos mina hacia la Planta de Chancado Primario
- Falta de alimentación de mineral desde la Planta de Chancado Primario hacia la Planta de Molienda.
- Falta de alimentación eléctrica de los equipos productivos.
- Retraso por cambios de turno del personal de día y noche.
- Eventos de fuerza mayor por factores climáticos, huelgas por falta de los servicios a las personas.

Necesidades de Mantenimiento para los tiempos de detención de la Planta de Chancado Primario

- Detención por cada 3 meses del Chancador Primario para el cambio de componentes principales (poste y cóncavas).
- Detención Mayor de la Planta de Chancado Primario por cada 6 meses, para el mantenimiento de los sistemas hidráulicos y de lubricación del Chancador Primario, además de cambio de polines, raspadores, poleas, segmento de cinta, reparación del empalmes y mantenimiento de los sistemas eléctricos de las correas transportadoras.

Necesidades de Mantenimiento para los tiempos de detención de la Planta de Chancado Primario

- Detención Mayor de la Planta de Molienda por cada 6 meses, para el cambio de los revestimientos del casco, de la tapa de alimentación, de la tapa de descarga y de las intervenciones en el motor síncrono de anillos rozantes.

Cruce de tiempos por necesidades de operacionales y mantenimiento.

Estos cruces de tiempo se deben ingresar a la tabla SOM para la obtención del mejor escenario más cercano a valor de “Utilización del Activo” de acuerdo con los criterios de diseño de la Planta.

Etapa 5: Evaluación de escenarios para el Programa de Mantenimiento Anual

Escenario 1 para la Planta de Chancado Primario

Para el escenario se ingresaron en la “Tabla 3” de los siguientes cruces de tiempo por necesidades operacionales y de mantenimiento.

- **6 horas semanales por *mantenimiento no programado*** a causa de imprevistos en los meses de enero, febrero, abril, mayo, julio agosto, octubre y noviembre.
- **3 horas semanales por *mantenimiento no programado*** a causa de imprevistos en los meses de marzo, junio, septiembre y diciembre.
- **6 hora de *mantenimiento por oportunidad*** por una detención corta para todos los meses del año.
- **24 horas por cambio de poste y cóncavas del Chancador Primario** en los meses de marzo, junio, septiembre y diciembre.
- **96 horas para Detención Mayor (Shut Down) de la Planta de Chancado Primario**, en los meses de junio y diciembre.
- **2 horas diarias por tiempos de espera** debido a necesidades operacionales.
- **1 hora diaria por retrasos operacionales sin carga** por temas de inspección de los equipos.

Concepto	Sigla	Unidad	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Año
Tiempo Calendario	CT	días	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365
Tiempo Calendario	CT	horas	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744	8.760
Tempo excluido del calendario	ECT	horas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mant. No Programado	MNS	horas	27	24	13	26	27	13	27	27	13	27	26	13	261
Mant. Programado	MS	horas	0	0	24	0	0	24	0	0	24	0	0	24	96
Mant. Mayor SD	MMS	horas	0	0	0	0	0	96	0	0	0	0	0	96	192
Mant. por Oportunidad	MO	horas	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	72
Tiempo Mantenimiento	MT	horas	33	30	43	32	33	139	33	33	43	33	32	139	621
Disponibilidad	D	%	95,6	95,5	94,2	95,6	95,6	80,7	95,6	95,6	94,0	95,6	95,6	81,3	92,9
Tiempo Disponible	AT	horas	711	642	701	688	711	581	711	711	677	711	688	605	8.139
Tiempo Stand-by	ST	horas	62	56	62	60	62	60	62	62	60	62	60	62	730
Tiempo Utilizado	UT	horas	649	586	639	628	649	521	649	649	617	649	628	543	7.409
Retrasos Operativos	OD	horas	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365
Tiempo de Produccion	PT	horas	618	558	608	598	618	491	618	618	587	618	598	512	7.044
Eficiencia Operacional	EO	%	95,2	95,2	95,1	95,2	95,2	94,2	95,2	95,2	95,1	95,2	95,2	94,3	95,1
Utilización del Activo	UA	%	83,1	83,0	81,7	83,1	83,1	68,2	83,1	83,1	81,5	83,1	83,1	68,8	80,4

TABLA 3. Escenario 1 para la Planta de Chancado Primario

Con los valores de tiempo ingresados se obtuvo un 80,4% de “Utilización del Activo” siendo mayor al valor entregado en los “Criterios de Diseño” y un 92,9% de Disponibilidad, con lo cual en podríamos decir que es un Escenario OPTIMISTA.

Escenario 2 para la Planta de Chancado Primario

Para el escenario se ingresaron en la “Tabla 4” de los siguientes cruces de tiempo por necesidades operacionales y de mantenimiento.

- 12 horas semanales por *mantenimiento no programado* a causa de imprevistos en los meses de enero, febrero, abril, mayo, julio agosto, octubre y noviembre.
- 6 horas semanales por *mantenimiento no programado* a causa de imprevistos en los meses de marzo, junio, septiembre y diciembre.
- 6 hora de *mantenimiento por oportunidad* por una detención corta para todos los meses del año.
- 24 horas por cambio de poste y cóncavas del Chancador Primario en los meses de marzo, junio, septiembre y diciembre.
- 96 horas para Detención Mayor (Shut Down) de la Planta de Chancado Primario, en los meses de junio y diciembre.
- 2 horas diarias por tiempos de espera debido a necesidades operacionales.
- 1 hora diaria por retrasos operacionales sin carga por temas de inspección de los equipos

Concepto	Sigla	Unidad	Año												Año
Tiempo Calendario	CT	días	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365
Tiempo Calendario	CT	horas	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744	8.760
Tiempo excluido del calendario	ECT	horas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mant. No Programado	MNS	horas	53	48	27	51	53	26	53	53	26	53	51	27	521
Mant. Programado	MS	horas	0	0	24	0	0	24	0	0	24	0	0	24	96
Mant. Mayor SD	MMS	horas	0	0	0	0	0	96	0	0	0	0	0	96	192
Mant. por Oportunidad	MO	horas	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	72
Tiempo Mantenimiento	MT	horas	59	54	57	57	59	152	59	59	56	59	57	153	881
Disponibilidad	D	%	92,1	92,0	92,4	92,0	92,1	78,9	92,1	92,1	92,3	92,1	92,0	79,5	89,9
Tiempo Disponible	AT	hrs	685	618	687	663	685	568	685	685	664	685	663	591	7.879
Tiempo Stand-by	ST	hrs	62	56	62	60	62	60	62	62	60	62	60	62	730
Tiempo Utilizado	UT	hrs	623	562	625	603	623	508	623	623	604	623	603	529	7.149
Retrasos Operativos	OD	hrs	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365
Tiempo de Producción	PT	hrs	592	534	594	573	592	478	592	592	574	592	573	498	6.784
Eficiencia Operacional	EO	%	95,0	95,0	95,0	95,0	95,0	94,1	95,0	95,0	95,0	95,0	95,0	94,1	94,9
Utilización del Activo	UA	%	79,6	79,5	79,9	79,5	79,6	66,4	79,6	79,6	79,8	79,6	79,5	67,0	77,4

Tabla 4. Escenario 2 para la Planta de Chancado Primario.

Con los valores de tiempo ingresados se obtuvo un 77,4% de “Utilización del Activo” siendo mayor al valor entregado en los “Criterios de Diseño” y un 89,9% de Disponibilidad, con lo cual en podríamos decir que es un Escenario CONSERVADOR.

Escenario 3 para la Planta de Chancado Primario

Para el escenario 3 se ingresaron en la “Tabla 5” de los siguientes cruces de tiempo por necesidades operacionales y de mantenimiento.

- **16 horas semanales por *mantenimiento no programado*** a causa de imprevistos en los meses de enero, febrero, abril, mayo, julio agosto, octubre y noviembre.
- **8 horas semanales por *mantenimiento no programado*** a causa de imprevistos en los meses de marzo, junio, septiembre y diciembre.
- **6 hora de *mantenimiento por oportunidad*** por una detención corta para todos los meses del año.
- **24 horas por cambio de poste y cóncavas del Chancador Primario** en los meses de marzo, junio, septiembre y diciembre.
- **100 horas para Detención Mayor (Shut Down) de la Planta de Chancado Primario**, en los meses de junio y diciembre.
- **2,5 horas diarias por tiempos de espera** debido a necesidades operacionales.
- **2 hora diaria por retrasos operacionales sin carga** por temas de inspección de los equipos

Concepto	Sigla	Unidad	Año												Año
			Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
Tiempo Calendario	CT	días	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365
Tiempo Calendario	CT	horas	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744	8.760
Tempo excluido del calendario	ECT	horas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mant. No Programado	MNS	horas	71	64	35	69	71	34	71	71	34	71	69	35	695
Mant. Programado	MS	horas	0	0	24	0	0	24	0	0	24	0	0	24	96
Mant. Mayor SD	MMS	horas	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	100	200
Mant. por Oportunidad	MO	horas	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	72
Tiempo Mantenimiento	MT	horas	77	70	65	75	77	164	77	77	64	77	75	165	1063
Disponibilidad	D	%	89,7	89,6	91,2	89,6	89,7	77,2	89,7	89,7	91,1	89,7	89,6	77,8	87,9
Tiempo Disponible	AT	hrs	667	602	679	645	667	556	667	667	656	667	645	579	7.697
Tiempo Stand-by	ST	hrs	77,5	70	77,5	75	77,5	75	77,5	77,5	75	77,5	75	77,5	912,5
Tiempo Utilizado	UT	hrs	590	532	601	570	590	481	590	590	581	590	570	501	6.785
Retrasos Operativos	OD	hrs	62	56	62	60	62	60	62	62	60	62	60	62	730
Tiempo de Produccion	PT	hrs	528	476	539	510	528	421	528	528	521	528	510	439	6.055
Eficiencia Operacional	EO	%	89,5	89,5	89,7	89,5	89,5	87,5	89,5	89,5	89,7	89,5	89,5	87,6	89,2
Utilización del Activo	UA	%	70,9	70,8	72,5	70,9	70,9	58,4	70,9	70,9	72,3	70,9	70,9	59,0	69,1

Tabla 5. Escenario 3 para la Planta de Chancado Primario

Con los valores de tiempo ingresados se obtuvo un 69.1% de “Utilización del Activo” siendo menor al valor entregado en los “Criterios de Diseño” y un 87,9% de Disponibilidad, con lo cual en podríamos decir que es un Escenario PESIMISTA.

Escenario 1 para la Planta de Molienda

Para el escenario se ingresaron en la “Tabla 6” de los siguientes cruces de tiempo por necesidades operacionales y de mantenimiento.

- **4 horas semanales por *mantenimiento no programado*** a causa de imprevistos en los meses de enero, febrero, marzo, mayo, junio, julio, septiembre, octubre y noviembre.
- **2 horas semanales por *mantenimiento no programado*** a causa de imprevistos en los meses de abril, agosto y diciembre.
- **3 hora de *mantenimiento programado*** para todos los meses del año.
- **2 hora de *mantenimiento por oportunidad*** por una detención corta para todos los meses del año.
- **72 horas para Detención Mayor (Shut Down) de la Planta de Molienda**, en los meses de abril, agosto y diciembre.
- **0,1 horas diarias por tiempos de espera** debido a necesidades operacionales.
- **0,1 hora diaria por retrasos operacionales sin carga** por temas de inspección de los equipos.

Concepto	Sigla	Unidad	Año												Año
			Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
Tiempo Calendario	CT	días	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365
Tiempo Calendario	CT	horas	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744	8.760
Tiempo excluido del calendario	ECT	horas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mant. No Programado	MNS	horas	18	16	9	17	18	9	18	18	9	18	17	9	174
Mant. Programado	MS	horas	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	36
Mant. Mayor SD	MMS	horas	0	0	0	72	0	0	0	72	0	0	0	72	216
Mant. por Oportunidad	MO	horas	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	24
Tiempo Mantenimiento	MT	horas	23	21	14	94	23	14	23	95	14	23	22	86	450
Disponibilidad	D	%	96,9	96,9	98,1	86,9	96,9	98,1	96,9	87,3	98,1	96,9	96,9	88,5	94,9
Tiempo Disponible	AT	hrs	721	651	730	626	721	706	721	649	706	721	698	658	8.310
Tiempo Stand-by	ST	hrs	3,1	2,8	3,1	3	3,1	3	3,1	3,1	3	3,1	3	3,1	36,5
Tiempo Utilizado	UT	hrs	718	648	727	623	718	703	718	646	703	718	695	655	8.274
Retrasos Operativos	OD	hrs	3,1	2,8	3,1	3	3,1	3	3,1	3,1	3	3,1	3	3,1	36,5
Tiempo de Produccion	PT	hrs	715	645	724	620	715	700	715	643	700	715	692	652	8.237
Eficiencia Operacional	EO	%	99,6	99,6	99,6	99,5	99,6	99,6	99,6	99,5	99,6	99,6	99,6	99,5	99,6
Utilización del Activo	UA	%	96,1	96,0	97,3	86,1	96,1	97,3	96,1	86,4	97,3	96,1	96,1	87,6	94,0

TABLA 6. Escenario 1 para la Planta de Molienda

Con los valores de tiempo ingresados se obtuvo un 94.0% de “Utilización del Activo” siendo mayor al valor entregado en los “Criterios de Diseño” y un 94,9% de Disponibilidad, con lo cual en podríamos decir que es un Escenario OPTIMISTA.

Escenario 2 para la Planta de Molienda

Para el escenario se ingresaron en la “Tabla 7” de los siguientes cruces de tiempo por necesidades operacionales y de mantenimiento.

- 4 horas semanales por *mantenimiento no programado* a causa de imprevistos en los meses de enero, febrero, marzo, mayo, junio, julio, septiembre, octubre y noviembre.
- 2 horas semanales por *mantenimiento no programado* a causa de imprevistos en los meses de abril, agosto y diciembre.
- 3 hora de *mantenimiento programado* para todos los meses del año.
- 2 hora de *mantenimiento por oportunidad* por una detención corta para todos los meses del año.
- 100 horas para Detención Mayor (Shut Down) de la Planta de Molienda, en los meses de abril, agosto y diciembre.
- 0,25 horas diarias por tiempos de espera debido a necesidades operacionales.
- 0,25 hora diaria por retrasos operacionales sin carga por temas de inspección de los equipos.

Concepto	Sigla	Unidad	Año												Año
			Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
Tiempo Calendario	CT	días	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365
Tiempo Calendario	CT	horas	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744	8.760
Tiempo excluido del calendario	ECT	horas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mant. No Programado	MNS	horas	18	16	9	17	18	9	18	18	9	18	17	9	174
Mant. Programado	MS	horas	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	36
Mant. Mayor SD	MMS	horas	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	100	200
Mant. por Oportunidad	MO	horas	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	24
Tiempo Mantenimiento	MT	horas	23	21	14	22	23	114	23	23	14	23	22	114	434
Disponibilidad	D	%	96,9	96,9	98,1	96,9	96,9	84,2	96,9	96,9	98,1	96,9	96,9	84,7	95,0
Tiempo Disponible	AT	hrs	721	651	730	698	721	606	721	721	706	721	698	630	8.326
Tiempo Stand-by	ST	hrs	7,75	7	7,75	7,5	7,75	7,5	7,75	7,75	7,5	7,75	7,5	7,75	91,25
Tiempo Utilizado	UT	hrs	714	644	722	690	714	599	714	714	699	714	690	622	8.235
Retrasos Operativos	OD	hrs	7,75	7	7,75	7,5	7,75	7,5	7,75	7,75	7,5	7,75	7,5	7,75	91,25
Tiempo de Producción	PT	hrs	706	637	715	683	706	591	706	706	691	706	683	615	8.144
Eficiencia Operacional	EO	%	98,9	98,9	98,9	98,9	98,9	98,7	98,9	98,9	98,9	98,9	98,9	98,8	98,9
Utilización del Activo	UA	%	94,9	94,8	96,1	94,8	94,9	82,1	94,9	94,9	96,0	94,9	94,8	82,6	93,0

Tabla 7. Escenario 2 para la Planta de Molienda

Con los valores de tiempo ingresados se obtuvo un 93.0% de “Utilización del Activo” siendo mayor al valor entregado en los “Criterios de Diseño” y un 95,0% de Disponibilidad, con lo cual en podríamos decir que es un Escenario CONSERVADOR.

Escenario 3 para la Planta de Molienda

Para el escenario 3 se ingresaron en la “Tabla 8” de los siguientes cruces de tiempo por necesidades operacionales y de mantenimiento.

- **4 horas semanales por *mantenimiento no programado*** a causa de imprevistos en los meses de enero, febrero, marzo, mayo, junio, julio, septiembre, octubre y noviembre.
- **2 horas semanales por *mantenimiento no programado*** a causa de imprevistos en los meses de abril, agosto y diciembre.
- **3 hora de *mantenimiento programado*** para todos los meses del año.
- **2 hora de *mantenimiento por oportunidad*** por una detención corta para todos los meses del año.
- **72 horas para Detención Mayor (Shut Down) de la Planta de Molienda**, en los meses de abril, agosto y diciembre.
- **0,5 horas diarias por tiempos de espera** debido a necesidades operacionales.
- **0,5 hora diaria por retrasos operacionales sin carga** por temas de inspección de los equipos.

Concepto	Sigla	Unidad	Año												Año
			Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
Tiempo Calendario	CT	días	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365
Tiempo Calendario	CT	horas	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744	8.760
Tiempo excluido del calendario	ECT	horas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mant. No Programado	MNS	horas	18	16	9	17	18	9	18	18	9	18	17	9	174
Mant. Programado	MS	horas	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	36
Mant. Mayor SD	MMS	horas	0	0	0	0	0	72	0	0	0	0	0	72	144
Mant. por Oportunidad	MO	horas	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	24
Tiempo Mantenimiento	MT	horas	23	21	14	22	23	86	23	23	14	23	22	86	378
Disponibilidad	D	%	96,9	96,9	98,1	96,9	96,9	88,1	96,9	96,9	98,1	96,9	96,9	88,5	95,7
Tiempo Disponible	AT	hrs	721	651	730	698	721	634	721	721	706	721	698	658	8.382
Tiempo Stand-by	ST	hrs	15,5	14	15,5	15	15,5	15	15,5	15,5	15	15,5	15	15,5	182,5
Tiempo Utilizado	UT	hrs	706	637	715	683	706	619	706	706	691	706	683	643	8.200
Retrasos Operativos	OD	hrs	15,5	14	15,5	15	15,5	15	15,5	15,5	15	15,5	15	15,5	182,5
Tiempo de Produccion	PT	hrs	690	623	699	668	690	604	690	690	676	690	668	627	8.017
Eficiencia Operacional	EO	%	97,8	97,8	97,8	97,8	97,8	97,6	97,8	97,8	97,8	97,8	97,8	97,6	97,8
Utilización del Activo	UA	%	92,8	92,7	94,0	92,8	92,8	83,9	92,8	92,8	93,9	92,8	92,8	84,3	91,5

Tabla 8. Escenario 3 para la Planta de Molienda

Con los valores de tiempo ingresados se obtuvo un 91.5% de “Utilización del Activo” siendo mayor al valor entregado en los “Criterios de Diseño” y un 95,7% de Disponibilidad, con lo cual en podríamos decir que es un Escenario PESIMISTA.

Etapa 6: Propuesta del plan de mantenimiento anual.

La aplicación de la metodología SOM permitió obtener valores de Disponibilidad, Eficiencia Operacional y Utilización del Activo. Con esos indicadores y en base al análisis se obtuvieron escenarios nominados como OPTIMISTA, CONSERVADOR y PESIMISTA para el programa de las Detenciones Mayores anuales en las Plantas de Chancado Primario y de Molienda.

INDICADOR	Unidad	Escenarios para la Planta Chancado Primario		
		OPTIMISTA	CONSERVADOR	PESIMISTA
Disponibilidad	%	92,9	89,9	87,9
Eficiencia Operacional	%	95,1	94,9	89,2
Utilización del Activo	%	80,4	77,4	69,1

Tabla 9. Escenarios para la Planta Chancado Primario

INDICADOR	Unidad	Escenarios para la Planta de Molienda		
		OPTIMISTA	CONSERVADOR	PESIMISTA
Disponibilidad	%	94,9	95,0	95,7
Eficiencia Operacional	%	99,6	98,9	97,8
Utilización del Activo	%	94,0	93,0	91,5

Tabla 10. Escenarios para la Planta de Molienda.

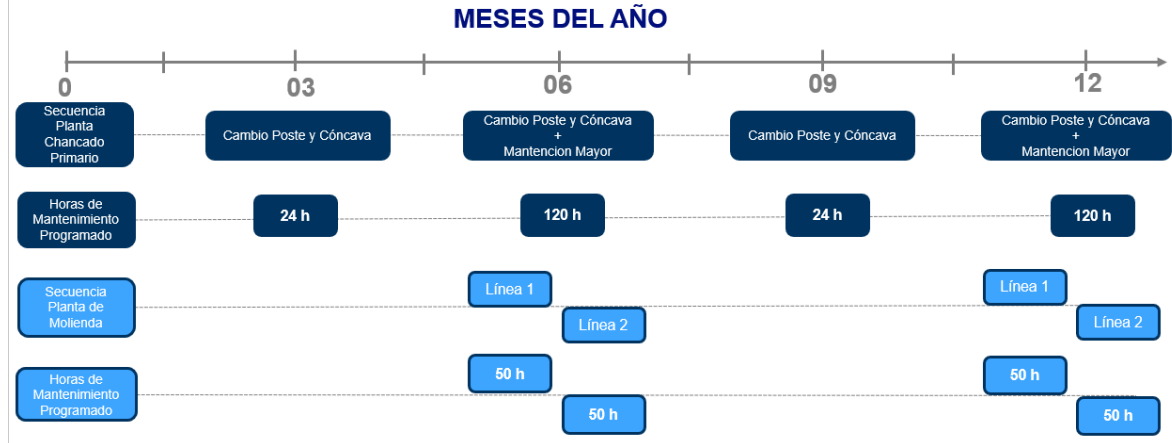
Tiempo de Producción Anual	horas	7.044	6.784	6.055
Tratamiento Diario	t/día	160.825	154.876	138.228
Tonelaje Anual	t	58.701.223	56.529.882	50.453.339
Tiempo Mantenimiento Anual	horas	621	881	1.063
Costo de Detención por Mantenimiento = 345.000 USD/hora	USD	\$ 217.200.000	\$ 308.400.000	\$ 372.000.000

Tabla 11. Costos de Detención por el tiempo de Mantenimiento Anual

Con información disponible en las “Tablas 9 y 10”, se determinó desde el punto de vista operacional que el mejor escenario es el CONSERVADOR, debido a que nos entregan valores más ajustados al de los Criterios de Diseño, como lo son los Tiempos de Producción, Tonelaje Anual y el Tratamiento diario.

Basado en el escenario CONSERVADOR, presentamos el programa de las Detenciones Mayores anuales para ambas Plantas para un año calendario.

Escenario CONSERVADOR



- La propuesta es detener la Planta de Chancado Primario cada 3 meses de 24 horas, con una frecuencia de detenciones mayores cada 6 meses de 120 horas.
- Con la finalidad de lograr un proceso de planificado simétrico, para el caso de la Planta de Molienda la propuesta es tener Detenciones Mayores con una frecuencia de cada 6 meses por cada línea de 50 horas, para obtener un total de 100 horas dentro de ese mes.
- Bajo los puntos anteriores aparece necesidad de detener ambas Plantas completamente, por falta de mineral al detener el Chancador Primario y el bajo nivel en el Stock Pile para alimentar ambas líneas de molienda.
- Esta configuración en la programación permite sinergias y optimización de todos recursos al concentrar un evento cada 6 meses, reduciendo el nivel de riesgos y costos para la compañía.

CONCLUSIÓN

- La decisión de tomar la opción de uno de los tres escenarios estará muy relacionada con el número de mantenciones mayores durante el año, ya que se debe considerar el impacto directo en los costos por dejar de producir, ya que una detención de ambas Plantas tiene un valor de 345 mil dólares la hora.
- Al posicionar estratégicamente el programa de mantenimiento anual al escenario CONSERVADOR nos permitirá alinear las metas de la organización, ya que valores obtenidos de Utilización del Activo para ambas Plantas, se ajustan a los valores descrito en los Criterios de Diseño. El área de operaciones tendrá en 6.784 horas como tiempo de producción para cumplir con el tonelaje anual. El área de mantenimiento contara con un tiempo 881 horas para los distintos tipos de mantención con un costo anual de USD\$308.400.000. Este periodo se debe destacar que ambas áreas están recibiendo equipos nuevos, para lo cual es crucial realizar inspecciones para detectar y corregir problemas ocultos lo antes posible para pasar a la etapa del escenario OPTIMISTA.
- Luego de haber corregido errores de instalación, defectos de fabricación, cambio de componentes inadecuados o por funcionamiento insuficiente, ambas Plantas se comportarán de manera “madura”, logrando una etapa estabilización. En esta etapa podríamos aplicar el escenario OPTIMISTA, ya que el área de operaciones tendrá el conocimiento de cómo manejar correctamente los equipos en 7.044 horas como tiempo de producción para cumplir con el tonelaje anual, y por otro lado el área de mantenimiento tendrá la oportunidad de disminuir su costo anual a USD\$217.200.000.
- En necesario revisar frecuentemente los lineamientos estratégicos del negocio, con la estrategia del departamento de mantenimiento durante la vida útil de ambas Plantas, ya que comenzara la etapa de “envejecimiento”, en donde la tasa de falla aumentara progresivamente debido a la fase de desgaste, y por esta razón se propone utilizar al aplicar un plan de mantenimiento anual basado en el escenario PESIMISTA, ya que el área de mantenimiento arriesgara un aumento en su costo anual a USD\$372.000.000.
- Si bien no todos los equipos llegaran necesariamente a su fin, pero algunos dejaran de utilizarse por su desgaste, o como también componentes electrónicos deberán ser sustituidos por quedar tecnológicamente obsoletos, a pesar de que todavía estén en pleno funcionamiento.

BIBLIOGRAFÍA

- Process Design Criteria Quebrada Blanca Fase 2 Project Teck 25800-220-3DR-V01T-00101, Rev. 1 – May 08, 2019. Bechtel Chile Ltda.
- Operation Philosophy for Quebrada Blanca Fase 2 Project Teck 25800-220-3DR-V01T-00004, Rev. D – December 06, 2019. Bechtel Chile Ltda.
- Control Philosophy for Quebrada Blanca Fase 2 Project Teck 25800-220-3DR-J11-00003 Rev. 0 – July 02, 2019. Bechtel Chile Ltda.
- Standard WENCO Codes and Operating Metrics. Business Objectives and Application Guide. Teck Resources Limited. May 17, 2018. Craig Yeliga, Specialist Dispatch, Engineering.
- A. Arata. “Ingeniería y gestión de la confiabilidad operacional en plantas industriales”. RIL Editores. 1ª Edición, p. 442. Santiago, Chile. 2009. ISBN: 978-956-284-658-5.
- Diploma en Confiabilidad y Gestión de Activos. DGA102 – Ingeniería en Confiabilidad. Agosto 2020. Relator: Raúl Stegmaier Bravo.

ANEXOS

Anexo 1: Planta de Chancado Primario

El mineral el rajo de la mina es transportado desde camiones de 240 t de capacidad cada uno (300 t para fines de diseño), hasta el edificio del **Chancador Primario**. Los camiones descargan sobre un compartimento de 400 t con capacidad viva, pensada para 2 entradas de camiones en lados opuestos con el compartimento de descarga en el medio. El proceso de descarga de los camiones hacia la boca del chancador está controlado por semáforos y detectores de camiones. El compartimento de descarga incluye un **Sistema Supresión de Polvo** con varios rociadores de agua.

Debajo del compartimento de descarga se instaló el chancador primario giratorio, que recibe el mineral grueso para triturarlo con P80 de 152 mm como producto definido, lo que se logra ajustando la distancia entre el **manto del poste y la cóncava dentro del chancador**. Esta distancia se modifica por la posición horizontal de su eje principal.

El chancador instalado tiene una capacidad de 9.910 t/h con una configuración de lado abierto de 216 mm, producto que cumple con el objetivo del P80 para la distribución del tamaño de definido en el proyecto.

Un **Rompe Rocas** complementa la operación del chancador con un cincel de empuje accionado hidráulicamente montado sobre un brazo mecánico, que el operador ordena manualmente.

El mineral triturado se descarga en una recámara de 400 t capacidad viva, con monitoreo de nivel. Luego el mineral se conduce por un canal a un **Alimentador de Plataforma Hidráulico** con capacidad total de 10.000 t/h.

El Alimentador de Plataforma Hidráulico descarga el mineral triturado a una cinta transportadora de mineral grueso, que luego descarga sobre otra cinta transportador de mineral grueso. Ambas cintas tienen una capacidad de 10.000 t/h.

La **Primera Cinta Transportadora** considera una **Báscula** para el control del proceso y un **Detector de Metales**.

La **Segunda Cinta Transportadora** descarga sobre una **Reserva Cónica de Mineral Grueso**, cuyo nivel es monitoreado por transmisores de nivel de tipo radar.

Se proporcionaron sistemas de supresión de polvo para el área en diferentes ubicaciones, provisto de pulverizaciones de aire-agua. Además, el punto de transferencia de las cintas transportadoras incluye aerosoles de aire-agua del sistema supresor de polvo y en la descarga de mineral de la segunda cinta transportadora.

La siguiente figura describe esta área del proceso.

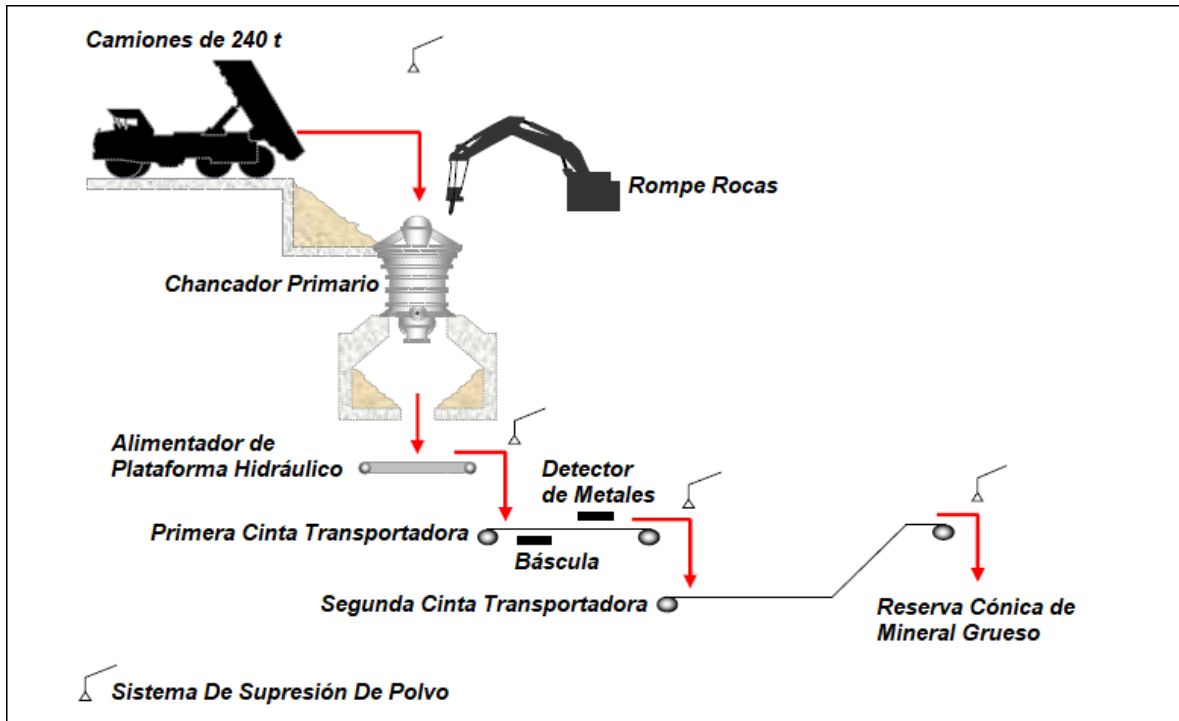


Figura 2. Chancador Primario y Transporte de Mineral Grueso.

El mineral grueso será recuperado desde la Reserva Cónica de Mineral Grueso para alimentar los molinos Semi Autógenos (SAG) de la Planta de Molienda.

Anexo 2: Planta de Molienda

La instalación de la Planta de Molienda está compuesta por dos circuitos de molienda en paralelo, cada uno de los cuales consta de un molino SAG y dos molinos de bolas.

Molino GMD SAG (Semi-autógeno):

- Marca: ABB
- Unidades: 2
- Potencia : 24.4MW
- Voltaje Nominal : 5500 VAC
- Corriente Nominal : 2.700 A
- Número de Polos : 72
- Velocidad Nominal: 9,05 RPM
- Velocidad Max : 10,42 RPM

Molino GMD de bolas:

- Marca: ABB
- Unidades: 4
- Potencia : 16.4MW
- Voltaje Nominal : 4.150 VAC
- Corriente Nominal : 2.450 A
- Número de Polos : 56
- Velocidad Nominal: 11,10 RPM
- Velocidad Max : 12,48 RPM

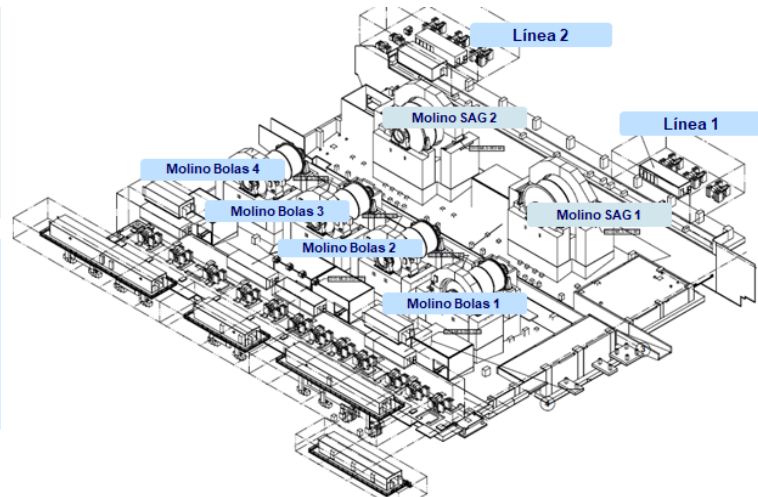
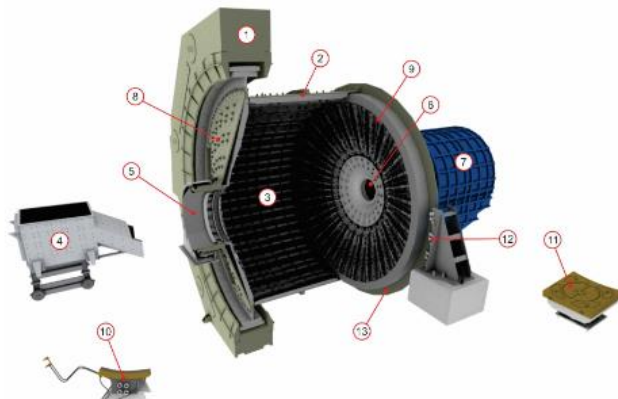


Figura 3. Planta de Molienda.

Molino SAG (Semi-autógeno) de mineral de cobre de 135.000 t/d y una potencia de 24.000 kW. Por medio de Gearless Drive (12,2 m de diámetro y 6,7 m EGL) tiene un trommel de 6,2 m de diámetro y un largo de 5,2 m. Está diseñado para un volumen de carga de bolas del 20% y un 35% del volumen total de carga del molino para el diseño estructural. El consumo de potencia máximo se basará en un 18% de carga de bolas, un 25% de carga total en el molino, a un 78% de la velocidad crítica. El molino gira, rotando violentamente su contenido para causar una acción de ruptura. Está forrado en acero de cromo-molibdeno resistentes al desgaste para proteger la carcasa. Los revestimientos están equipados con elevadores que ayudan a levantar la carga durante la rotación del molino. La carga se eleva aproximadamente 2/3 del camino hacia arriba del arco de rotación de la carcasa antes de caer al pie de la carga.



Nº	DENOMINACIÓN DE PARTE	CANT.
1	Motor de anillo síncrono	01
2	Cuerpo (shell)	01
3	Revestimientos interiores (liners)	-
4	Chute de alimentación	01
6	Trunnion de lado de alimentación	01
8	Trunnion de lado de descarga	01
7	Trommel	01
8	Tapa de lado de alimentación	01
9	Tapa de lado de descarga	01
10	Cojinete fijo	01
11	Cojinete móvil	01
12	Frenos de calíper	06
13	Disco de freno	01

Figura 4. Molino SAG (Molino Semi-autógeno).

La trituración dentro del molino es una combinación de rotura de mineral mediante acción de rotación, picado de mineral entre bolas y abrasión por fricción de partículas uno contra la otra y contra las bolas. La descarga de material del molino SAG va directamente al cajón de descarga para posteriormente ser impulsado a las baterías de ciclones y el material grueso retorna al circuito de Pebbles mediante correas transportadoras.

Molino de Bolas de 140.000 t/d y una potencia de 16.400 kW, 7,9 m de diámetro interno y 12,8 m EGL. Está diseñado para un volumen de carga de bolas del 40% y un 45% del volumen total de carga del molino para el diseño estructural.

El consumo de potencia máximo se basará en un 35% de carga de bolas, un 35% de carga total en el molino, aun 79% de la velocidad crítica.

El molino de bolas es un molino giratorio cilíndrico que usa bolas para moler el mineral a un tamaño más fino. Está diseñado como un sistema de molienda de circuito cerrado.

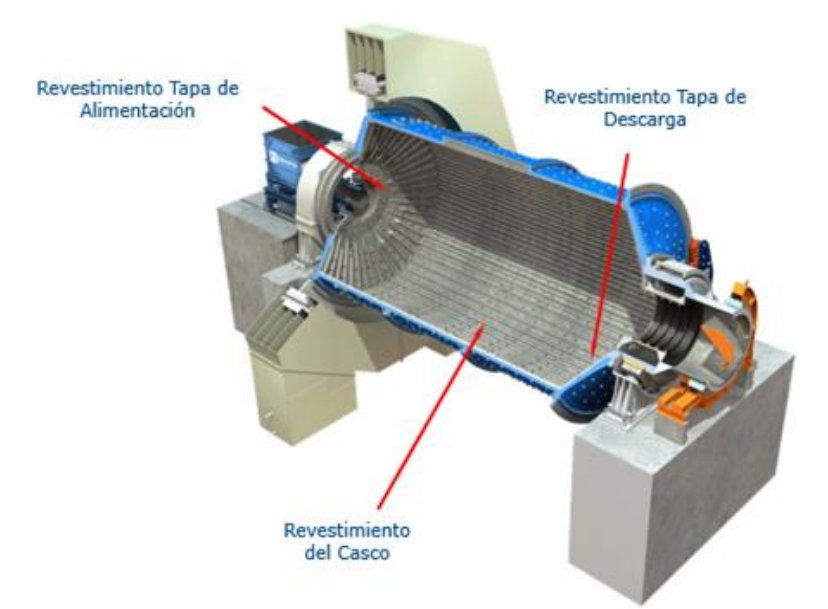


Figura 5. Molino de Bolas.

Anexo 3: Método SOM (Standards Operating Metrics)

Los estados principales del método SOM, corresponden por ejemplo a los Tiempo de Producción, Retrasos Operativos y Tiempo de Espera, los cuales equivalen a los siguientes en indicadores claves de desempeño:

Tiempo calendario (Calendar Time, CT)						
Tiempo disponible (Available Time, AT)			Tiempo de Mantenimiento (Maintenance Time, MT)			Tiempo calendario excluido (Excluded Calendar Time, ECT)
Tiempo de utilización (Utilized Time, UT)		Tiempo de Espera (Standby Time, ST)	Tiempo de Mantenimiento Activo (Active Maintenance Time, AMT)	Retrasos de Mantenimiento (Maintenance Delays, MD)	Paralización por mantenimiento importante (Major Maintenance Shutdown, MMS)	
Tiempo de Producción (Production Time, PT)	Retrasos Operativos (Operating Delays, OD)					

Tabla 11. Método SOM (Standards Operating Metrics).

Los parámetros con sus códigos de segundo nivel son estandarizados para todos los sitios del proceso, con la finalidad que haya coherencia al introducir los datos en los indicadores claves de desempeño.

Los parámetros con sus códigos de primer nivel pueden utilizarse para comparar el desempeño entre sitios y los niveles segundo y tercero pueden utilizarse para identificar acciones de la gerencia para la mejora.

“TIEMPO CALENDARIO (CT)”, corresponde al total de horas en el período anual y se estandarizó a 8760 horas en un año calendario.

“TIEMPO DISPONIBLE (AT)”, define el tiempo en que los equipos están físicamente disponibles para operar o trabajar.

“TIEMPO DE UTILIZACIÓN (UT)”, es el tiempo que el equipo tiene un operador y está disponible para operar o trabajar.

“TIEMPO DE PRODUCCIÓN (PT)” define el tiempo en que los equipos están realizando su función para la cual se tienen previstos.

“TIEMPO DE ESPERA (ST)” se estandarizó como el tiempo que los equipos están disponibles para operar, pero sin operarios en los equipos. El resultado para algunos sitios es que el cambio de turno se modificará de “Demora operativa” a “Tiempo de Espera”. Los feriados legales no trabajados normalmente son “Tiempo de Espera”, a menos que la gerencia del sitio los designe como “Tiempo Calendario Excluido”. El código ST es para el uso por parte del operario, sino que se utiliza para ajustar el tiempo total informado con respecto a un día de 24 horas.

“TIEMPO DE MANTENIMIENTO (MT)” tiene por objeto ser el único registro del tiempo calendario de los equipos para la mantención. Esto se aplica a equipos específicos inactivos solo

para mantención. El personal de mantención debe modificar esto para importantes “Retrasos de Mantención” cuando no se esté trabajando en los equipos INACTIVOS. Las horas totales de INACTIVIDAD solo se canalizarán directamente en los registros de producción del sitio. El nivel de estado “TIEMPO DE MANTENIMIENTO (MT)” se agrupa en tres áreas:

- **Tiempo de Mantención Activo (AMT):** El equipo está inactivo por mantenimiento y se está trabajando activamente en él, incluidas las tareas de mantención preventiva (Preventive Maintenance, PM). Los detalles adicionales con respecto al equipo deben gestionarse en a través de la orden de trabajo, lo cual, en el futuro, se puede establecer un enlace directo entre el tiempo de inactividad y la orden de trabajo.
- **Retrasos de Mantención (MD):** El equipo está inactivo por mantenimiento y no se está trabajando activamente en él. Se utiliza para registrar importantes períodos de tiempos no programados, identificando potencialmente una inadecuada planificación o prevención de fallas. Si los equipos no están programados para que se trabaje en ellos en un turno de noche o un fin de semana para lograr eficacias planificadas, el tiempo no se informa como un retraso. Los retrasos deben especificarse en las órdenes de trabajo que pueden o no afectar el tiempo de inactividad y ser consideradas individualmente o por separado.
- **Paralizaciones por mantención importante (MMS):** El equipo está inactivo debido a una revisión importante, y se gestionan formalmente mediante una detención planificada de todo el proceso, en donde se registra los trabajos importantes, generalmente de más de cinco días de duración, en el cual se cuenta con un detallado programa o carta Gantt según el cual sea la gestión.

“TIEMPO CALENDARIO EXCLUIDO (ECT)” corresponde al tiempo **No Programado** específicamente definido en el estándar y sujeto a la decisión de la gerencia sénior del sitio. No debe utilizarse en los informes de turnos a corto plazo.

Anexo 4: Métricas Operativas

Utilización de activos (AU)

El porcentaje del tiempo calendario en que el equipo realizó su función principal. Esta métrica es un buen indicador del rendimiento general de la organización y de la utilización del capital para obtener resultados de producción.

$$\text{Utilización del activo (AU)} = \frac{\text{Tiempo de Producción (PT)}}{\text{Tiempo Calendario (CT)}}$$

La utilización (U) también es el producto de:

$$\text{Utilización (U)} = \text{Disponibilidad (A)} * \text{Uso de la Disponibilidad (UA)} * \text{Eficiencia Operativa (OE)}$$

Disponibilidad (A)

Este es el porcentaje del tiempo calendario menos el tiempo calendario excluido en que el equipo estuvo físicamente disponible para el trabajo. Es una medida de la capacidad de funcionamiento del equipo.

$$\text{Disponibilidad (A)} = \frac{\text{Tiempo Disponible (AT)}}{\text{Tiempo Disponible (AT)} + \text{Tiempo de Mantenimiento (MT)}}$$

Disponibilidad Mecánica (MA)

Es el porcentaje de horas de funcionamiento del equipo generadas por el tiempo de inactividad por mantenimiento. Es un indicador de equipo, mantenimiento y operaciones, y es una mejor métrica para comparar entre plantas si existen variaciones significativas en el tiempo de espera. A medida que las horas de espera se reducen a cero, MA equivale a A.

$$\text{Disponibilidad Mecánica (MA)} = \frac{\text{Tiempo de Utilización (UT)}}{\text{Tiempo de Utilización (UT)} + \text{Tiempo de Mantenimiento (MT)}}$$

Uso de la Disponibilidad (UA)

El porcentaje de tiempo que el equipo estuvo físicamente disponible y contó con un operador. Esto depende del tiempo de espera, lo que puede indicar un cuello de botella, exceso de capacidad o subutilización del equipo. Las flotas móviles requieren cierto tiempo de espera para facilitar la asignación normal de equipos y operadores. Una comparación entre sitios podría indicar cuál es el nivel óptimo.

$$\text{Uso de la Disponibilidad (UA)} = \frac{\text{Tiempo de Utilización (UT)}}{\text{Tiempo Disponible (AT)}}$$

Eficiencia Operativa (OE)

El porcentaje de tiempo que el equipo estuvo disponible con un operador y realizó su función principal.

$$\text{Eficiencia Operativa (OE)} = \frac{\text{Tiempo de Producción (PT)}}{\text{Tiempo de Utilización (UT)}}$$

Tiempo medio entre paradas (MTBD)

Es el tiempo promedio en horas entre eventos de mantenimiento, ya sean programados o no, mientras el equipo está en uso. Un "evento de parada" se identifica en el sistema de despacho. El MDT ideal sería el tiempo entre los intervalos de mantenimiento programados más cortos. Es mejor registrarlo y gestionarlo para su mejora.