



UNIVERSIDAD ADOLFO IBÁÑEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL EN MINERÍA

ESTUDIO Y REDISEÑO DE SISTEMA PARA TRATAMIENTO DE INCHANCABLES EN PLANTA DE
REMANEJO DE PEBBLES

INFORME DE PASANTÍA

TOMÁS ALBERTO MENDOZA MUÑOZ

PROFESOR GUÍA
ALBERTO INOSTROZA V.

TUTOR
CARLOS RENCORET F.

SANTIAGO DE CHILE
2023

RESUMEN

Uno de los procesos en la minería es el tratamiento del material resultante de la fase de molienda, para ello se consideran procesos adicionales y paralelos a la línea de operación principal, uno de ellos es el tratamiento de los Pebbles, este material remanente no solo genera apilamientos importantes en el tiempo, si no que demanda impactos ambientales en función de los compromisos adquiridos por cada minera responsable de la administración de ellos, además de la opción de recuperación de producción dado las leyes de mineral que normalmente caen a medida que pasa el tiempo. Dicho lo anterior, este informe de pasantía se enfoca en el estudio y rediseño de una planta de remanejo de pebbles, específicamente con el objetivo de aportar valor en la solución respecto al problema de la alta presencia de material inchancable en los acopios de Pebbles a tratar y que al no controlarlo son capaces de provocar fallas catastróficas en el activo.

Se realizó un análisis detallado de las tecnologías disponibles en el mercado y metodologías de investigación que permitió identificar la mejor solución implementando un tercer electroimán de banda para abordar el problema en cuestión. En el corto período de implementación donde se logró una reducción del 11,6% en los costos operativos en promedio mensuales. Además, se experimentó un aumento del 17,1% en la disponibilidad mecánica de la planta mensualmente, lo que contribuyó a la eficiencia operativa y por consiguiente en la maximización de los estados de pago por producción. Los beneficios económicos se reflejaron en un incremento del 50,5% en los ingresos promedio mensuales. Este aumento, va de la mano con una mejora del 38,5% en la producción mensual

ABSTRACT

One of the processes in mining is the treatment of the material resulting from the milling phase, for this additional and parallel processes to the main operation line are considered, one of them is the treatment of Pebbles, this remaining material not only generates significant piles over time, but also demands environmental impacts depending on the commitments made by each mining company responsible for the management of them, in addition to the option of production recovery given the ore grades that normally fall as time goes by. Having said that, this internship report focuses on the study and redesign of a pebble re-handling plant, specifically with the objective of providing value in the solution to the problem of the high presence of uncrushable materials in the pebble stockpiles to be treated, which when not controlled can cause catastrophic failures in the asset.

A detailed analysis of the technologies available in the market and research methodologies was carried out to identify the best solution by implementing a third band electromagnet to address the problem in question. This project was successfully carried out, and its results have been the reduction of 11,6% in average-monthly operating costs was achieved. In addition, an 17,1% increase in the mechanical availability of the plant was experienced. The economic benefits were reflected in a 50,5% increase in average monthly revenues. This increase came combined with a 38,5% improvement in monthly production.

TABLA DE CONTENIDOS

1. Introducción.....	5
1.1 Contexto de la empresa	
1.2 Fundamentación	
2. Objetivos.....	6
2.1 Objetivo general	
2.2 Objetivos específicos	
3. Estado del arte.....	7
3.1 Marco teórico	
3.2 Revisión de literatura	
3.3 Tecnologías existentes	
4. Propuestas de solución.....	17
4.1 Soluciones propuestas	
4.2 Criterios de selección	
4.3 Riesgos y mitigaciones de solución a implementar	
4.4 Análisis económico	
5. Metodología.....	29
6. Medidas de desempeño.....	30
7. Desarrollo del proyecto.....	31
8. Resultados.....	34
9. Conclusiones y discusión.....	36
10. Referencias.....	37
11. Anexos.....	39

INTRODUCCIÓN

La empresa Mantenimiento Proyectos y Montajes (MPM), fue creada el año 2008, sus líneas de negocios consisten en la ejecución de contratos de construcción, mantenimiento, movimiento de tierra y operaciones mineras, posee una fuerte complementación con su división de RENTAL de equipos donde es pionera en desarrollo de la implementación de la electromovilidad en contratos mineros.

La compañía cuenta con alrededor de 1500 colaboradores, las oficinas de gerencia están ubicadas en Santiago con su casa matriz, la mayoría del personal se encuentra trabajando en los contratos en la zona norte y actualmente en el centro del país. MPM destaca en el mundo competitivo de la industria minera chilena, como una entidad comprometida con la excelencia en el desarrollo de su cartera de proyectos. Una de sus nuevas líneas de negocios es el montaje y la operación de plantas de chancado diseñadas con la finalidad de procesar pebbles.

La planta de remanaje de pebbles se encuentra ubicada dentro de las inmediaciones de una gran y destacada minera, específicamente en la zona de laguna seca, 6km al sur-este del yacimiento. Esta planta, fue diseñada por una empresa brasileña, personalizada con los requerimientos de MPM con la finalidad de procesar un máximo de 230.000 toneladas por día de pebbles. Se firmó un acuerdo con el cliente de modalidad BOO (Build, Own, Operate), el cual dispone que la empresa contratista debe construir, operar y es dueña de los activos de la prestación del servicio.

La operación comenzó en diciembre del año 2022, luego de 8 meses de construcción (marzo 2022 – noviembre 2022). El material por procesar se encuentra en un acopio ubicado 200 metros al oeste de la planta, se cargan camiones tolva de 20 metros cúbicos mediante cargadores frontales, el ciclo de carguío y transporte demora alrededor de 25 minutos. A pesar de los avances y logros en la operación de esta planta, enfrenta un gran desafío: una presencia notable de inchancables, estos elementos se materializan en bolas de acero, hormigón armado, caucho, entre otras. Los cuales no pueden ser procesados adecuadamente, por lo que provocan detenciones y fallas en correas transportadoras y chancadores, esto último ha disminuido la disponibilidad mecánica de la planta, alcanzando niveles de producción mensuales de alrededor de un 40% más bajo de lo proyectado, además de una alta cantidad de detenciones diarias, por presencia de inchancables en la planta y chancadores, lo que disminuyó en un 35% la disponibilidad mecánica diaria.

Costo Actual del problema:

Tabla 1: Pérdidas de producción

NO PRODUCCIÓN			
\$/TON	8000 CLP		
Mes	Ton Total	Ton No Producción	Pérdidas de producción (clp)
dic-22	44.782	94.796	\$ 758.367.277
ene-23	133.819	128.812	\$ 1.030.493.238
feb-23	117.095	104.920	\$ 839.362.914
mar-23	98.928	157.460	\$ 1.259.678.467
abr-23	143.557	111.468	\$ 891.746.800
may-23	136.466	101.405	\$ 811.243.067
jun-23	176.037	66.979	\$ 535.828.067
jul-23	143.882	84.852	\$ 677.499.047
ago-23	181.647	48.652	\$ 388.460.892
sept-23	136.466	94.581	\$ 755.180.047
Total	1.312.679	993.925	\$ 7.947.859.817

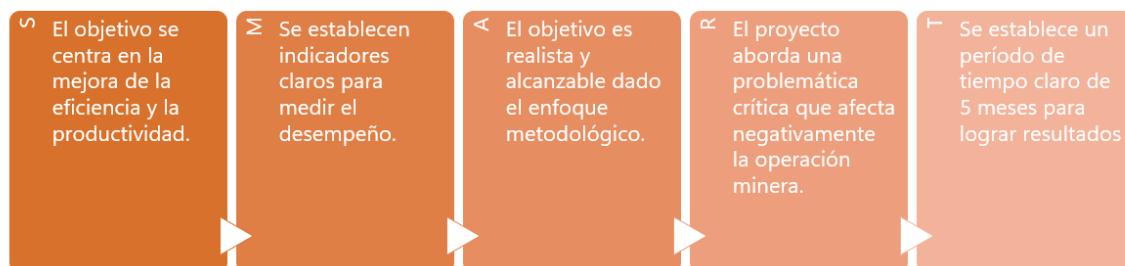
Fuente: Datos Oficina Técnica - MPM

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- El objetivo general del proyecto es rediseñar el sistema de eliminación de inchancables de la planta de remanejo de pebbles, para aumentar la disponibilidad mecánica y eficiencia de la planta, a través de la implementación de tecnologías de detección y remoción de inchancables.

Figura 1 : Objetivo SMART



Fuente: Elaboración propia

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Reducir las detenciones diarias de la planta por causa de los inchancables.
- Aumentar el promedio de la producción diaria.
- Reducir costos operativos mensuales.
- Aumentar el margen de utilidad mensual del contrato.

ESTADO DEL ARTE

MARCO TEÓRICO

Esta problemática se extiende a la mayoría de las operaciones mineras de cobre a nivel mundial, inclusive en aquellas de mayor envergadura, donde persiste de manera latente, incluso en naciones vanguardistas en tecnologías mineras, tales como Australia, Estados Unidos y Canadá. La raíz del problema parte en la planta central procesadora de minerales, específicamente en los molinos SAG y molinos de bolas, donde todo aquel material que pasa por este proceso y no cumple con los parámetros para seguir en la línea de procesamiento, son segregados y transportados a un sector de acopio, este material acumulado está compuesto tanto por pebbles como desechos que quedan del procesamiento mineral previo.

Estos desechos principalmente pueden ser de naturaleza metálica, tales como, bolas de acero de distintos diámetros, pequeños trozos de revestimiento de molinos, vigas de distintas longitudes, además de trozos de hormigón, correas de caucho y otros residuos que quedan por consecuencia del proceso de molienda.

Chile no está ajeno a este problema, por el contrario, existe una gran cantidad de minas que van desde la mediana a la gran minería, que deben lidiar con este obstáculo en la operación de procesamiento de pebbles. Actualmente, operaciones como, El teniente, Chuquicamata, Escondida, Centinela, Sierra Gorda y Zaldívar, presentan problemas con los inchancables en sus plantas. Sin tener una respuesta o una solución concreta para resolver esta problemática, CODELCO en conjunto con empresas privadas del ámbito minero, han abierto concursos de investigación e innovación para buscar soluciones de distinta naturaleza para la detección y remoción de inchancables.

Sistemas avanzados pueden identificar patrones complejos en la composición de los materiales transportados y ajustar automáticamente los parámetros de detección y separación en tiempo real. Además, se han introducido sensores de alta resolución que pueden detectar metales no ferrosos a tamaños cada vez más pequeños, lo que mejora la calidad del producto final al eliminar incluso las partículas metálicas más diminutas. Estos dispositivos ahora pueden eliminar metales incrustados en el material transportado sin necesidad de detener la operación, lo que minimiza los tiempos de inactividad y aumenta la productividad. Esto permite a los operadores supervisar y controlar los

dispositivos de eliminación de metales desde ubicaciones remotas, lo que mejora la eficiencia operativa y la capacidad de respuesta ante problemas inesperados.

REVISIÓN DE LITERATURA

- En la industria de procesamiento de minerales, la eliminación de impurezas metálicas es esencial para evitar daños en los equipos y garantizar la calidad del concentrado. Los detectores de metales y los electroimanes suspendidos son ampliamente utilizados para este propósito. *[Universidad de Queensland. (2022, 24 de febrero)]*
- La automatización de sistemas de detección, como el uso de circuitos integrados y comunicación Wi-Fi, está ganando popularidad en la industria minera para garantizar una detección precisa y una respuesta rápida a la presencia de metales no deseados. *[Universidad del Noreste de Shenyang. (2023, 21 de agosto)]*
- La optimización de trituradoras en operaciones mineras es un área de investigación en constante evolución. El ajuste del CSS y la presión de sujeción son factores críticos para mejorar la eficiencia de trituración y evitar daños por material atrapado. *[Metso Minerals. (2009, 12 de mayo)]*

El control efectivo de inchancables en la industria de procesamiento de minerales, se presenta como una necesidad imperativa para mantener la integridad de los equipos y asegurar la calidad del chancado. La implementación de tecnologías como detectores de metales y electroimanes suspendidos, desempeña un papel fundamental en este proceso, ofreciendo soluciones probadas y confiables. Asimismo, se observa una tendencia en la industria minera hacia la automatización de sistemas de detección mediante el empleo de circuitos integrados y comunicación Wi-Fi, según lo evidencia el informe de la universidad del Noreste de Shenyang.

Esta evolución tecnológica no solo busca una detección más precisa, sino también una respuesta eficaz ante la presencia de material no deseado, contribuyendo a la eficiencia operativa, a la disminución de tiempos de mantención y reducción del número de fallas. Por otro lado, la optimización de trituradoras en operaciones mineras es un campo de investigación dinámico y en constante evolución.

TECNOLOGÍAS EXISTENTES

Sistema Shovel Smart Tooth:

Figura 2: Dispositivo SST



Fuente: SIMTEXX

Principio de El Sistema de Shovel Smart Tooth (SST) funciona durante la carga de material en el balde de una pala, supervisando la presencia del diente a través de un circuito integrado emisor. En caso de detectar el desprendimiento o ruptura diente, el sistema emite una señal de alerta al receptor en la cabina del operador. Ante esta alerta, el operador puede tomar medidas preventivas, como desviar la carga o retirar el diente antes de que alcance el chancador, evitando así daños costosos y tiempos de inactividad no planificados.

La funcionalidad de SST se traduce en beneficios significativos, como la prevención de daños en equipos, la reducción de tiempos de inactividad imprevistos, mejoras en la seguridad laboral y una mayor eficiencia en las operaciones de carga y transporte de material. Además de ofrecer ahorros a largo plazo, el sistema se adapta de manera versátil a diversas aplicaciones industriales, consolidándose como una solución integral para optimizar la productividad y la integridad del equipo. [SIMTEXX. (2022, Mayo)]

Electroimán de banda:

Figura 3: Electroimán de banda



Fuente: Eriez

Principio de funcionamiento: Un electroimán suspendido auto limpiante es un dispositivo magnético que utiliza un electroimán para generar un campo magnético potente. Este campo magnético atrae y retiene las partículas metálicas ferrosas que están presentes en el material transportado.

Método de implementación: El electroimán se instala suspendido sobre una cinta transportadora o un transportador similar. Su posición generalmente se encuentra en la parte superior de la cinta, de modo que el campo magnético atraiga y retenga cualquier material metálico que pase por debajo.

Autolimpieza: La característica clave de este tipo de electroimán es su capacidad de autolimpieza. Periódicamente, se activa un mecanismo que invierte brevemente la polaridad del electroimán. Esto provoca que el campo magnético se debilite temporalmente, lo que permite que las partículas metálicas retenidas caigan en una tolva o una bandeja de recolección.

Detector de Metales:

Figura 4: Detector de metales



Fuente: Eriez

Principio de Funcionamiento: Un detector de metales, como el Modelo 1250 de Eriez (figura 4), utiliza una serie de bobinas para generar un campo electromagnético en la zona de inspección. Cuando una partícula metálica, ya sea ferrosa o no, pasa a través de este campo, induce una señal eléctrica en las bobinas del detector.

Detección de Metales: El detector de metales está calibrado para identificar las señales inducidas por las partículas metálicas. Cuando detecta la presencia de metal, activa una señal de alarma y un sistema de rechazo para eliminar el material contaminado del flujo de producción.

Beneficios: El detector de metales identificará materiales ferrosos y no ferrosos, mientras que el electroimán los eliminará de forma eficiente. Esto mejorará la calidad del concentrado y reducirá los costos asociados con daños en los equipos. [ERIEZ. (2019, 9 de agosto)].

XRF (CON-X):

Figura 5: XRF



Fuente: Baltic Scientific instruments

Principio de Funcionamiento: Su función es detectar todo tipo de material ya sea ferroso o no, a través de rayos X, un tubo de rayos X genera excitación de los electrones del material y un detector de rayos X mide el espectro completo de los materiales del flujo. Se envían datos al dispositivo receptor en tiempo real y a través de un software el operador puede verificar y analizar la presencia de inchancables sobre la correa transportadora.

Método de Implementación: La máquina de rayos X con forma de caja de alrededor de 3 metros cúbicos, se ancla a una base, sosteniendo el dispositivo 1 metro por sobre la correa transportadora, posicionado posterior al harnero vibratorio. Debe tener revestimiento de plomo u otro aislante, debido a la radiación que este equipo genera, tiene que ser conectado a un sistema trifásico de 380V, lo que conlleva un alto gasto energético.

Efectividad: Los estudios realizados por la empresa Baltic Scientific instruments y la federación internacional de control automático, determinaron que su efectividad es del 65%. [*Baltic Scientific Instruments Ltd. (2015, 28 de octubre)*]

RPT (radar de penetración terrestre)

Figura 6: RPT



Fuente: RADARTEAM

Principio de funcionamiento: Los sensores funcionan mediante la emisión de impulsos electromagnéticos los cuales son generados por medio de una antena emisora que, en su trayectoria a través del material puede encontrar objetos de distinto tipo. Al momento de la configuración del dispositivo, se pueden ajustar los parámetros para que alerte de manera automática al operador del receptor (PC), de la existencia de inchancables dentro del flujo del material.

Método de implementación: Banda de sensores que se instalan sobre la correa transportadora, se pueden anclar a un solo portal o varios pórticos a lo largo de la línea de procesamiento, para tener una mayor efectividad de detección. Además, deben ser conectadas a corriente eléctrica y tener antenas para la emisión de datos, las cuales van a computadores receptores.

Efectividad: 98% de efectividad, según estudio de Baltic Scientific instruments y la federación internacional de control automático [Baltic Scientific Instruments Ltd. (2015, 28 de octubre)].

ROBOTIA (cámaras IA):

Figura 7: Detección de inchancables con IA



Fuente: ROBOTIA

Principio de Funcionamiento: La cámara envía el flujo de video en tiempo real al software de IA, que opera con un motor detector y un sistema de mejora continua, a través del machine learning, cada vez que detecta nuevos tipos de inchancables, se van agregando automáticamente a una base de datos del servidor, lo que hace más efectiva su detección. La visualización del circuito de cámaras se despliega en el computador del operador en tiempo real, el cual paralelamente genera reportes en tiempo real

Método de implementación: Se construyen portales sobre la correa transportadora, con tal dimensión para que las cámaras queden a una distancia cercana a la correa, las cámaras deben posicionarse alineadas con el eje central de la correa, para así tener una imagen centrada y que analice un área definida de la correa. [ROBOTIA. (2021, diciembre)]

Efectividad: Sin información, sin embargo, se está aplicando esta innovación en empresas de la gran minería tales como CODELCO y Escondida, debido a su forma de detección.

Planta seleccionadora móvil:

Figura 8: Planta seleccionadora MS-702-EVO



Fuente: SALFA

Principio de funcionamiento: La planta seleccionadora móvil es una clasificadora de material rocoso según su granulometría, su movilidad la genera una oruga hidráulica ubicada por debajo de la unidad de cribado. La producción comienza con el recibimiento del material en la tolva de recepción, luego de esto entra a una correa transportadora, con dirección a la unidad de cribado, en este punto el material procesado se separa según su granulometría, entre fracciones inferiores, intermedias y superiores. El equipo funciona de manera hidráulica y su combustible es el petróleo.

Método de implementación: El proveedor debe armar la planta in situ, bajo condiciones geomecánicas estables. La reubicación de la planta en zonas cercanas (menor a 200 metros) debe ser realizada por los operadores de la planta seleccionadora. [SALFA. (2017, enero)]

Efectividad: En cuanto a la separación de inchancables del material limpio, va a depender de las dimensiones de estos, ya que al dividir el material por granulometría (configuración de clasificación según requerimientos del cliente) puede haber presencia de material de alto valor en conjunto con inchancables.

ANÁLISIS TÉCNICO CUANTITATIVO

Tabla 2: Análisis técnico

Función/Tecnología	XRF	Electroimán	cámara IA	sensor GPR	simtexx sst	cámara IR	Planta Sel.
Detecta metal	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Detecta caucho	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Detecta concreto	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Automático	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Tiempo real	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Simulación 3D	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Análisis superficie	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Análisis volumen total	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Rápida Implementación	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Difícil implementación (-2)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
total	4	6	5	5	4	5	5

Fuente: Elaboración propia

El análisis se realizó considerando que el objetivo principal es mejorar la disponibilidad mecánica de la planta, con lo cual se persigue una producción constante sin alterar negativamente los costos aumentando de forma invasiva un diseño ya implementado.

La *tabla 1* nos representa que, dentro de las tecnologías existentes en la industria, hay una que logra un mayor puntaje en cuanto a una evaluación técnica cuantitativa, con respecto al problema de la planta de remanejo de pebbles, el análisis está basado en parámetros relacionados a la detección, automatización e implementación de las tecnologías. La medida de “difícil implementación” le resta 2 puntos dentro de la suma de puntos, mientras que cada una de las otras funciones suma 1 punto, la sumatoria final que tenga el valor más alto será la que mejor se adapte como solución según el análisis técnico, en este caso el electroimán.

En base a esta tabla y las tecnologías con mayor puntuación según el análisis, se configuraron las 3 propuestas de solución.

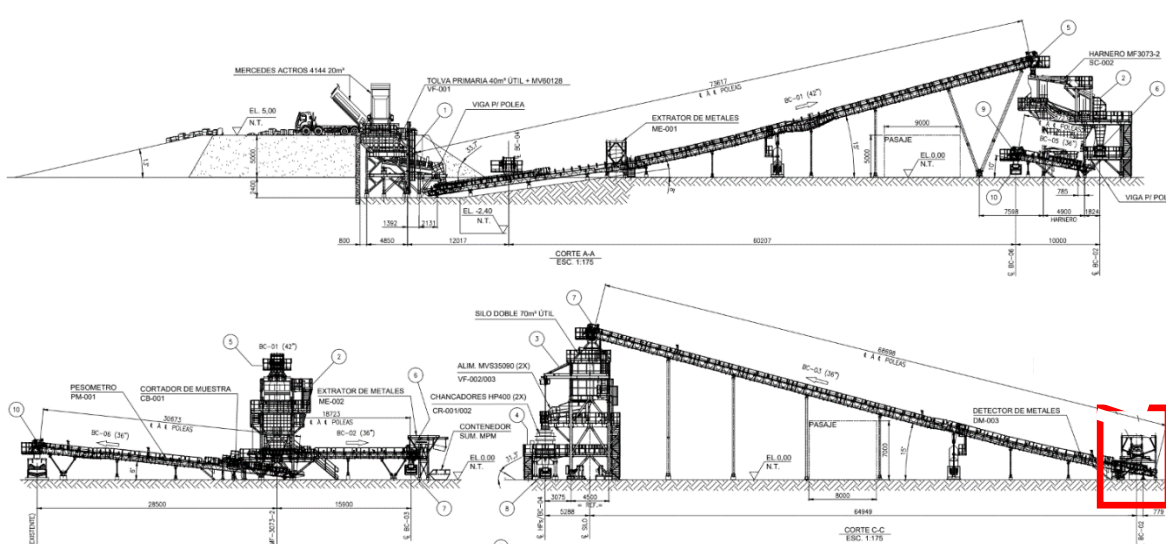
PROPUESTAS DE SOLUCIÓN

Propuesta #1:

- Esta solución consiste en instalar 1 electroimán (Eriez 7910) más dentro de la planta, esta propuesta se basa a partir de los resultados obtenidos del análisis técnico, la fácil implementación de esta medida, además de la rapidez con la cual se puede llevar a cabo, la hace una solución para resolver con inmediatez parte del problema que se busca resolver en la planta, no es una solución que abarca transversalmente la remoción de inchancables, debido a que apunta solo a la sustracción de materiales ferrosos dentro de la línea de producción, sin embargo, dentro de los inchancables que se encuentran, es el tipo de que más predomina y afecta la planta.

A continuación, podemos apreciar un plano transversal de la planta y una vista aérea, señalando donde se implementaría el nuevo electroimán de banda.

Figura 9: Vista transversal plano - Planta de remanejo de Pebbles LS



Fuente: Información de la ingeniería del proyecto

Figura 10: Vista aérea - Planta de remanejo de pebbles LS



Fuente: Registro Visual - MPM

Para la implementación, se deben construir las fundaciones de soporte del electroimán y traslape de correas, luego se debe realizar el montaje. Por otro lado, debido a su complejidad, la estructura de soporte debe ser diseñada por una empresa de ingeniería externa a nuestra compañía, el cual debe ajustarse y cumplir con el diseño original de la planta, sin embargo, el proceso de implementación en la planta, lo realiza el área de MPM montajes.

La zona en la cual se instalaría el electroimán de banda se discutió en un comité operativo donde participó la oficina técnica, planificadores, jefe de operaciones y personal del contrato, ya que debe haber un respaldo matemático y funcional para elegir estratégicamente la posición óptima de implementación del electroimán además del análisis financiero basado en el impacto de la instalación.

Luego de esta reunión se decidió que el lugar correcto de implementación es en el punto de descarga correa BC 002 , traspaso a BC 003, tal como se detalla en las *figuras 9 & 10*. Se tomó esta decisión por dos razones, la primera es debido a que el material entre las dos correas se redistribuye y es posible remover una mayor cantidad de inchancables, por otro lado, el jefe de oficina de

operaciones planta, indicó que la producción de la planta no debía ser detenida, por lo que la obra de montaje del electroimán no tenía que afectar mayormente la disponibilidad mecánica.

Propuesta #2:

Instalar cámaras con inteligencia artificial, sobre las correas transportadoras y el harnero vibratorio, esta solución busca mejorar y ampliar el rango de detección de cualquier tipo de inchancables visibles dentro de la línea de producción.

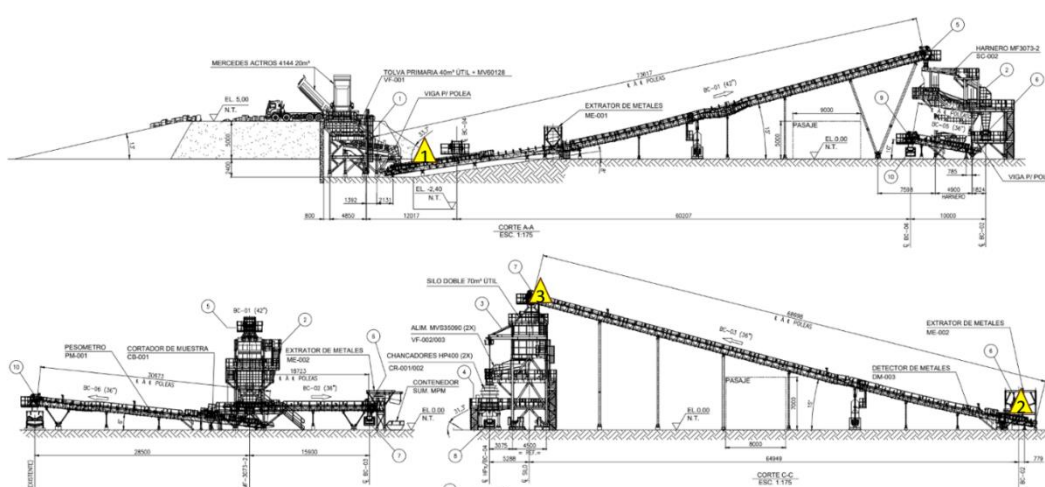
Se tendrá que detener la planta al detectar cualquier tipo de inchancables de gran envergadura y así poder remover el material. Para inchancables de mediano y pequeño tamaño, queda a disposición del operador si es necesario detener la operación o no. A continuación, podemos visualizar gráficamente las posiciones estudiadas estratégicamente de las cámaras de la empresa ROBOTIA.

Figura 11: Vista aérea - Planta de remanejo de pebbles



Fuente: Registro visual - MPM

Figura 12: Vista Transversal Plano - Planta de remanejo de Pebbles LS



Fuente: Información de la ingeniería del proyecto

Los triángulos 1, 2 y 3 señalados en las *figuras 11 y 12*, representan donde estarían posicionadas las cámaras con IA, las cuales fueron escogidas dentro de una gran cantidad de combinaciones posibles de posicionamiento del hardware. Este trabajo se llevó a cabo en conjunto con técnicos de la planta, los cuales realizaron mediciones, con el fin de analizar a cabalidad las condiciones óptimas para instalar las cámaras.

Esto último se refiere al lugar donde exista un buen cuadro de imagen y también el punto específico dentro de la línea de producción, donde el material cambie su distribución sobre la correa transportadora. En este caso, la primera zona donde eso ocurre es en el punto de descarga de los camiones, en la primera correa transportadora, posterior al buzón de vaciado ($\Delta 1$). La segunda ubicación en la cual se redistribuye la carga es en la segunda correa, después de que la carga pasa por el harnero vibratorio, en esta misma se instalará la segunda cámara ($\Delta 2$). Luego de esto, se debe volver a analizar el material por última vez. El propósito del análisis es certificar que la menor cantidad o incluso ningún inchancable alcance los chancadores de la planta, para esto se montará la última cámara ($\Delta 3$), posicionada sobre el sitio de descarga de la correa al silo.

Para el montaje, se requiere de la construcción de 3 puntos clave. Los 2 primeros corresponden a los pórticos de acero, anclados al suelo y con un techo perpendicular a la correa, estos son necesarios para la instalación de las cámaras, las cuales irán ubicadas en el centro del techo del portal, el tercero será el montaje de la cámara sobre la estructura de los silos.

Propuesta #3

Instalar una planta seleccionadora y utilizar georadares para generar un acopio de material limpio, externo a la planta.

Figura 13: Vista aérea - Acopio de Pebbles



Fuente: Registro visual - MPM

Figura 14 : Vista aérea - Planta de remanejo de pebbles



Fuente: Registro visual - MPM

Para esta propuesta, se busca implementar una planta seleccionadora de material ubicada entre el acopio y la planta de remanejo, tal como se grafica en la *figura 13*. La finalidad de la nueva planta es segregar el material en distintas granulometrías, con tal de discernir el material contaminado con

inchancables, con el propósito de no afectar la operación de la planta de chancado, bajar los tiempos de mantenimiento y falla, aumentando su disponibilidad mecánica diaria. De esta materia resultante, se segregará el material contaminado del material limpio, el cual será llevado por el cargador frontal a un acopio nuevo, del cual se alimentará a la planta de chancado.

Por otro lado, se probará la efectividad de detección de inchancables de los radares de penetración o geo-radares. Estos se utilizarán de forma manual por un técnico especializado, el cual irá analizando con el equipo sobre el acopio de material, con lo cual se podrá estudiar la capacidad de detección que puede obtener el radar y analizar los posibles beneficios de su uso.

SOLUCIÓN SELECCIONADA

La elección de la solución fue hecha bajo los siguientes parámetros de comparación:

1. Complejidad de implementación: Dificultad de la obra necesaria para construir/montar el sistema escogido, además del proceso que debe ser recorrido para llegar a la ejecución del proyecto. (Baja complejidad = +2 puntos, complejidad media = +0 puntos, alta complejidad = -2puntos)
2. Tiempo de implementación: La cantidad de meses proyectados hasta llegar a la puesta en marcha del proyecto. (Bajo 0-3 meses = +2 puntos, Medio 3-6 meses = +0 puntos, alto >6 meses = -2 puntos)
3. Aumento esperado de disponibilidad mecánica: Impacto en el alza de disponibilidad mecánica en la planta. . (Baja 0-5% = -2 puntos, media 5-15% = +0 puntos, alta >15% = +2puntos)
4. Impacto medioambiental: De qué manera afecta el entorno en el cual se desarrolla el proyecto. (Bajo impacto = +2 puntos, mediano impacto = +0 puntos, alto impacto = -2puntos)

Tabla 3: Solución seleccionada

	Propuesta #1	Propuesta #2	Propuesta #3
Complejidad de Implementación	Complejidad moderada, debido a que se debe construir y montar un soporte para el electroimán e instalar el equipo junto con las conexiones eléctricas. Por otro lado, solo se debe contratar maquinaria (grúa y camión de transporte), además de personal extra para realizar la obra de montaje.	Alta complejidad, ya que se deben construir las fundaciones para los pórticos de las cámaras, además se debe armar una sala de control para la supervisión de cámaras, que contenga un servidor y un computador que procese la información, la cual debe ser operada por 2 personas más por turno.	Complejidad moderada, debido a que se debe armar la planta en la zona de acopio y mover dependiendo del área en la que opere, lo que demora el proceso de selección del material.
Tiempo de implementación	Se estima un tiempo de 2 meses, partiendo con las cotizaciones hasta el momento de su puesta en marcha.	Se estima un tiempo de 3 meses, entre las cotizaciones con el proveedor, obras de montaje, armado de sala de control y puesta en marcha.	Se proyecta un tiempo de 5 meses, que incluye tiempos de las licitaciones con el proveedor, envío, construcción y puesta en marcha de la planta.
Aumento esperado de disp. Mecánica.	Se proyecta que la implementación del electroimán aumente la disponibilidad mecánica de un 65% a 80% diario (19 hrs al día).	Se pronostica una detección completa de inchancables, la remoción va a depender de detenciones de la planta, de igual manera podría alzar levemente la disponibilidad mecánica actual (de un 65% a 75%), reduciendo el número de detenciones y fallas en chancadores.	Se espera que la planta seleccionadora logre separar los inchancables de mayor tamaño (mayores a 4") en un 70% (estimado por el proveedor), por consiguiente le de una mayor continuidad y disponibilidad mecánica a la planta de chancado.
Impacto ambiental	No tiene impacto ambiental, debido a que no se afectan ecosistemas ni nuevas áreas de operación, además que su montaje y posterior operación no generan levantamiento de polvo.	Bajo impacto, el único impacto posible es el levantamiento de polvo que se podría generar en las obras de montaje.	La construcción de la planta generará levantamiento de polvo, al igual que la operación, podría contaminar con polvo no tóxico en áreas aledañas a la operación.
Total	6 de 8 puntos posibles	2 de 8 puntos posibles	2 de 8 puntos posibles

punteaje + 2 baja/+producción
 punteaje +0 moderada/bajo aumento de producción
 punteaje -2 alta/ bajo aumento de producción

Fuente: Elaboración propia

La primera propuesta de solución fue la elegida (electroimán de banda), debido a que dentro de los parámetros analizados en la comparación de las soluciones, es la que logra el mayor puntaje en la evaluación, lo que significa una que es una propuesta con la mejor adaptación para utilizarla como solución a este problema.

Riesgos y mitigaciones:

Junto con el prevencionista de riesgos de la planta de remanejo de pebbles , se realizó un análisis de los riesgos potenciales y sus posteriores medidas de mitigación que existen en las etapas de: implementación, puesta en marcha y operación del electroimán.

Tabla 4: Riesgos y mitigaciones

Riesgo Identificado	Probabilidad	Impacto	Valor	Nivel de riesgo	Mitigación
Accidente en Obra	0,3	0,5 ; 1	0,15 ; 0,3	Bajo	Se trabaja bajo una gran cantidad de medidas de seguridad y deben ser supervisadas y exigidas por el prevencionista de riesgos.
Falla en la operación	0,8	0,5	0,4	Moderado	Las mantenciones programadas de los equipos deben ser de carácter preventivo y no correctivo, además se debe inspeccionar cada 3 horas de forma visual el electroimán.
Retraso en Obra	0,75	0,3 ; 0,75	0,2 ; 0,6	Moderado	La planificación de la obra debe contemplar la probabilidad de accidentes o falta de stock de materiales, para así tener un plazo real de construcción.

Fuente: HSEC - MPM

Análisis Económico:

El análisis de factibilidad económica del proyecto se realizó en base a datos de la implementación y proyecciones de producción, los cuales se ven representados en un flujo de caja (en pesos chilenos) proyectado a 5 años con reajustes basados en variaciones las últimas variaciones anuales del IPC.

El estudio se realizó mediante la siguiente estructura:

Inversión Inicial: Dentro de los costos de inversión inicial se incluyó la ingeniería de diseño y cálculos, la contratación de maestros, maquinaria (con sus respectivos operadores), materiales y obras necesarias para el montaje del electroimán. Los precios unitarios contienen valores actuales del mercado, con un tiempo estimado de 1 mes de obras (360 horas).

Tabla 5: Inversión Inicial del proyecto

TOTAL PARTIDAS A SUMA ALZADA				138.231.777,3
TOTAL COSTO DIRECTO				501.166.425,6
TOTAL COSTO DIRECTO + SUMA ALZADA = INVERSIÓN INICIAL				639.398.202,9

Fuente: Datos Oficina Técnica - MPM

Costos Fijos Mensuales: Incluye el arriendo del electroimán, mantención e insumos asociados a su operación. En caso de falla total de total del equipo, la empresa proveedora del servicio corre con los costos de reemplazo.

Tabla 6: Costos fijos año 0

Costos Fijos					
Arriendo Equipos (Electroiman)	239.687.554	251.671.931	263.656.309	273.243.811	282.831.313

Fuente: Datos Oficina Técnica – MPM

Costos Variables Mensuales: Se proyecta la compra de repuestos para reparaciones y obras menores asociadas, los cuales deberían incrementar con el pasar de los años, por el uso y desgaste del activo.

Tabla 7: Costos variables año 0

Costos Variables					
Mantenimiento del equipo	60.000.000	65.940.000	71.880.000	77.820.000	83.760.000
Repuestos	36.000.000	47.476.800	57.360.240	62.100.360	66.840.480
Total	96.000.000	113.416.800	129.240.240	139.920.360	150.600.480

Fuente: Datos Oficina Técnica - MPM

Precio del pebbles (fijo), producción e ingresos antes y después de la implementación:

Tabla 8: Proyección de producción

SIN ELECTROIMÁN DE BANDA ADICIONAL		IMPLEMENTACIÓN NUEVO ELECTROIMÁN DE BANDA	
dic	44.782	octubre	170.000
ene	133.819	noviembre	180.000
feb	117.095	diciembre	190.000
mar	128.928	enero	197.000
abr	143.557	febrero	205.000
may	136.466	marzo	210.000
jun	176.037	abril	215.000
jul	143.882	mayo	222.000
ago	181.647	junio	230.000
sept	136.466	julio	230.000
Tonelaje (Prom./Mes)	134.268		202.111
Produccion año	1.611.215		2.425.333
Tarifa (\$/ton)	8.000		8.000

Fuente: Datos Oficina Técnica - MPM

Tabla 9: Potenciales ingresos a 5 años

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4
Ingresos sin electroimán	12.889.721.280	12.889.721.280	12.889.721.280	12.889.721.280	12.889.721.280
Ingresos con electroimán	19.402.666.667	21.600.000.000	22.080.000.000	22.080.000.000	22.080.000.000
Diferencia de Ingreso \$	6.512.945.387	8.710.278.720	9.190.278.720	9.190.278.720	9.190.278.720

Fuente: Datos Oficina Técnica - MPM

Resultado Operacional (año 0 al 4):

Tabla 10: Resultados operacionales a 5 años

Resultado Operacional (A)	5.537.859.630	8.345.189.989	8.797.382.171	8.777.114.549	8.756.846.927
----------------------------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------

Fuente: Datos Oficina Técnica - MPM

INDICADORES:

WACC:

Tabla 11: Cálculo de WACC

E =	\$ 639.398.203	patrimonio
D=	0	deuda
Re =	9,50%	Coste de capital
Rd=	0	interes deuda
T=	27%	Impuestos

$WACC = \frac{E}{E+D} * R_E + \frac{D}{E+D} * R_D * (1 - T)$	9,5%
--	------

Fuente: Datos Oficina Técnica - MPM

VAN a 5 años:

Tabla 12: VAN del proyecto a 5 años

VAN	\$29.746.274.519
-----	------------------

Fuente: Datos Oficina Técnica - MPM

TIR:

Tabla 13: TIR de 5 años

TIR	910,20%
-----	---------

Fuente: CALCULATE STUFF

Payback:

Tabla 14: Payback del proyecto

Payback	14 días
---------	---------

Fuente: Datos Oficina Técnica - MPM

Análisis de sensibilidad:

Tabla 15: Análisis de sensibilidad del proyecto

VAN Flujo de caja (Base)	\$29.746.274.519			
	Inversión	Precio pebbles o cant. producida	Costo Variable U.	Costos Fijos
(+20%)	\$29.501.609.818	\$36.234.797.602	\$29.651.536.716	\$29.546.408.842
Porcentual +20	-0,82%	21,81%	-0,32%	-0,67%
(-20%)	\$29.990.939.219	\$23.257.751.436	\$29.841.012.321	\$29.946.140.195
porcentual -20	0,82%	-21,81%	0,32%	0,67%

Fuente: Datos Oficina Técnica - MPM

METODOLOGÍA

En primer lugar, se llevará a cabo el análisis de los datos diarios y los resúmenes mensuales de producción, los cuales contienen descripciones detalladas de cada uno de los incidentes diarios, de los turnos día y noche, a través de lo último se puede detectar el problema que más dolores genere en la planta.

Posteriormente, se procederá a la investigación y comparación de tecnologías básicas destinadas a la detección y eliminación de inchancables, así como de nuevas técnicas para el análisis en tiempo real de materiales en las correas transportadoras. El objetivo es identificar la tecnología más adecuada que brinde una solución efectiva y se ajuste al problema en cuestión.

Previo a la elección de la tecnología, se llevaron a cabo inspecciones in situ, reuniones y entrevistas con técnicos especializados en la planta de remanejo de pebbles “Laguna Seca”. Este enfoque permitirá identificar puntos críticos en el proceso productivo y áreas potenciales para la implementación de la solución propuesta.

La solución seleccionada (electroimán) será sometida a un estudio económico integral, que incluirá cotizaciones con proveedores y un análisis económico con formato de flujo de caja. Este proceso proporcionará una evaluación de la viabilidad de la implementación, así como sus posibles impactos económicos, riesgos asociados y estrategias de mitigación.

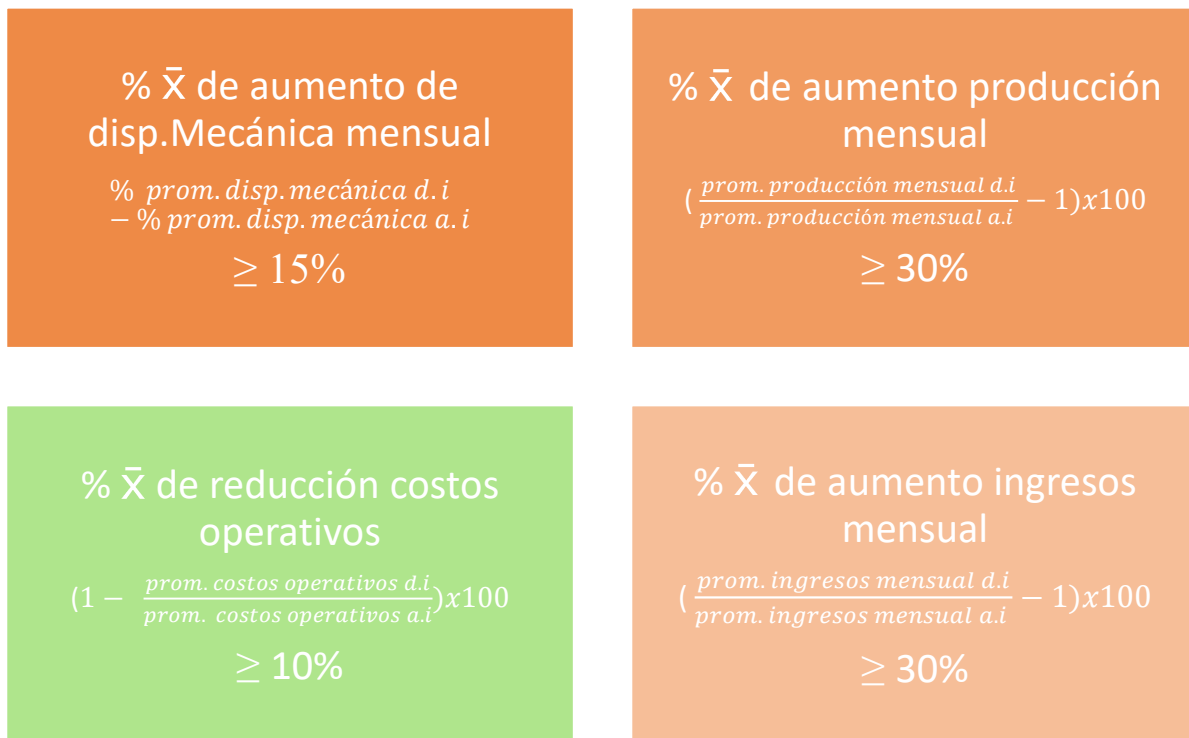
Una vez elegido el método de implementación (arriendo o compra) y recibiendo la propuesta de ingeniería del diseño de la estructura, se llevarán a cabo las construcciones correspondientes del soporte del electroimán y traslape de correas, para su posterior montaje y puesta en marcha.

Para la recolección de datos y análisis de resultados, se utilizarán los reportes diarios y mensuales publicados con el fin de analizar y medir el impacto generado por la implementación de la solución.

MEDIDAS DE DESEMPEÑO

1. Aumento del porcentaje promedio de disponibilidad mecánica (%) en al menos un 15% en la planta después de la implementación de la solución.
2. Aumento de la producción mensual promedio (ton) en al menos 30% debido a la disminución de los tiempos de inactividad.
3. El promedio de costos operativos totales mensuales (CLP) reducidos en al menos un 10%.
4. Aumentar en al menos un 20% los ingresos promedio mensual (CLP).

Figura 15: Medidas de desempeño



Fuente: Elaboración propia

d.i = después de la implementación a.i = antes de la implementación

DESARROLLO DEL PROYECTO

Este proyecto se inició mediante la investigación de diversas tecnologías destinadas a la detección y remoción de inchancables en la planta de remanejo de pebbles, considerando sus capacidades, eficiencia y adaptación a las necesidades específicas de la planta. Para el estudio, se utilizó referencias de papers científicos, archivos e informes de mineras, reuniones con proveedores (ROBOTIA y SIMTEX) y brochures de las propias compañías que construyen los productos tecnológicos.

Paralelamente, se realizaron visitas a terreno en la planta de remanejo de pebbles para comprender mejor el entorno operativo y se llevaron a cabo reuniones y entrevistas con los operadores de la planta. Este proceso permitió recoger información valiosa sobre los desafíos que enfrentaba la planta debido a la presencia de inchancables, así como sus repercusiones en términos de tiempos de detención y producción diaria.

Uno de los aspectos más importantes del análisis fue el estudio de los datos provenientes de la sala de control. Se examinaron detenidamente los tiempos de detención diarios, identificando las razones detrás de estas interrupciones y cuantificando el impacto en la producción diaria sin la implementación de ninguna tecnología adicional.

Luego de esto, se tomó la decisión de implementar un electroimán de banda adicional en la planta. Esta elección se basó en la naturaleza predominantemente ferrosa de los inchancables provenientes de la etapa de molienda, además del análisis técnico realizado anteriormente. La presencia significativa de estos elementos afecta la producción de la planta, generando problemas de disponibilidad mecánica y frecuentes detenciones por mantenimiento.

La planta ya contaba con dos electroimanes y dos detectores de metales. Para la implementación del nuevo electroimán, se cotizó el modelo 7910 de la empresa Eriez. Se realizaron consultas técnicas para el diseño y se decidió contratar a una empresa de ingeniería externa para llevar a cabo los cálculos y el diseño del soporte de acero necesario para la instalación del electroimán de banda y el traslape de correas.

La fase de construcción y montaje del soporte tomó aproximadamente un mes, cumpliendo con los estándares impuestos por el cliente. Posteriormente, el electroimán se instaló a finales de

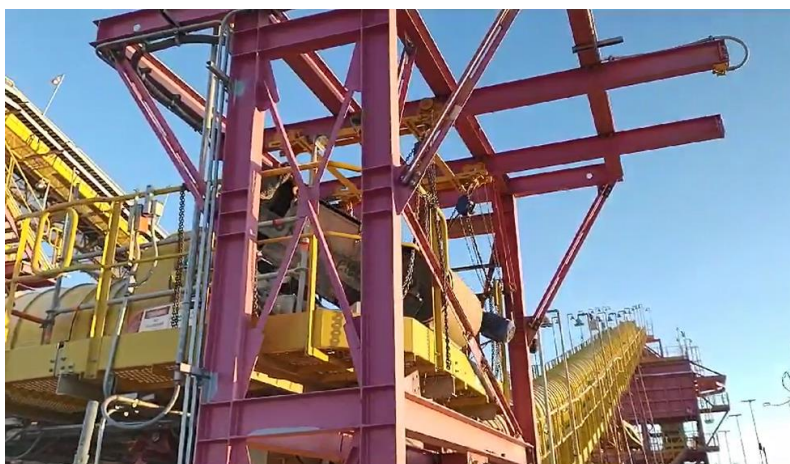
septiembre de 2023. A continuación, podemos visualizar imágenes del nuevo electroimán operando:

Figura 15: Vista lateral electroimán de banda



Fuente: Registro visual - MPM

Figura 16 : Vista lateral electroimán de banda



Fuente: Registro visual – MPM

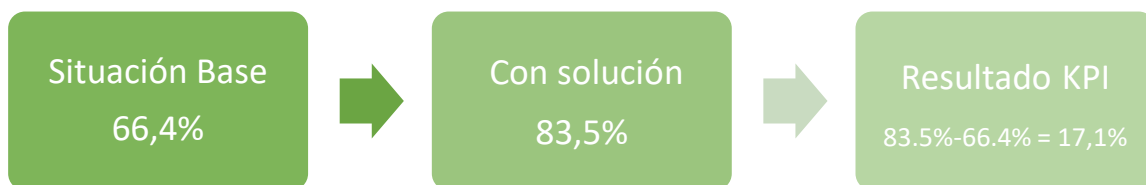
Desde la implementación, se realizó un seguimiento continuo de los datos de la sala de control. Este análisis permitió evaluar el rendimiento de la planta y su producción después de la introducción del nuevo electroimán de banda. Los resultados obtenidos desde la primera semana de octubre hasta la última semana de noviembre indican un funcionamiento óptimo del sistema implementado.

RESULTADOS

La implementación del tercer electroimán de banda se esperaba que, bajo la comprobación de las medidas de desempeño, obtuviera un impacto positivo dentro de la cadena productiva de la planta y se cumplieran las metas propuestas. A continuación, se revisarán los resultados obtenidos y su análisis a través de las medidas de desempeño. Para los resultados se utilizaron los promedios de los dos últimos meses (agosto-septiembre) antes de la implementación y los 2 meses de resultados con el tercer electroimán (octubre- noviembre).

KPI 1: Porcentaje de aumento \bar{X} de disponibilidad mecánica.

Figura 17 : KPI #1

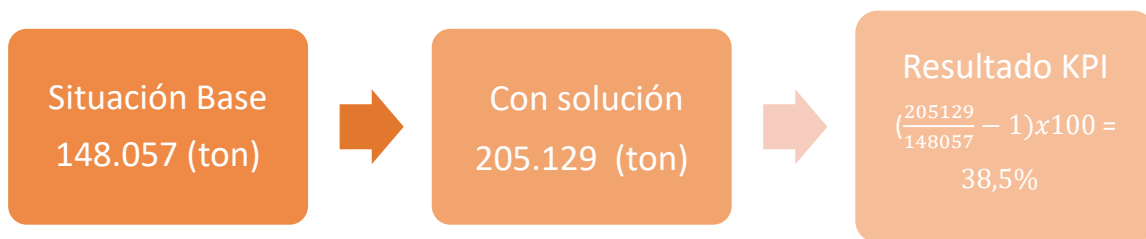


Fuente: Sala de control - MPM

Se aumentó en un 17,1% en promedio la disponibilidad mecánica mensual de la planta.

KPI 2: Porcentaje de aumento \bar{X} en la producción mensual.

Figura 18 : KPI #2

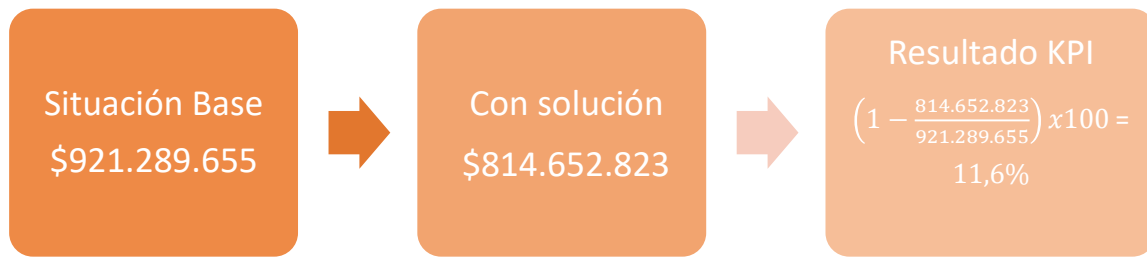


Fuente: Sala de control - MPM

Se alzó en un 38,5% la producción mensual del activo.

KPI 3: Costos operativos totales mensuales (clp) reducidos en al menos un 10%.

Figura 19 : KPI #3

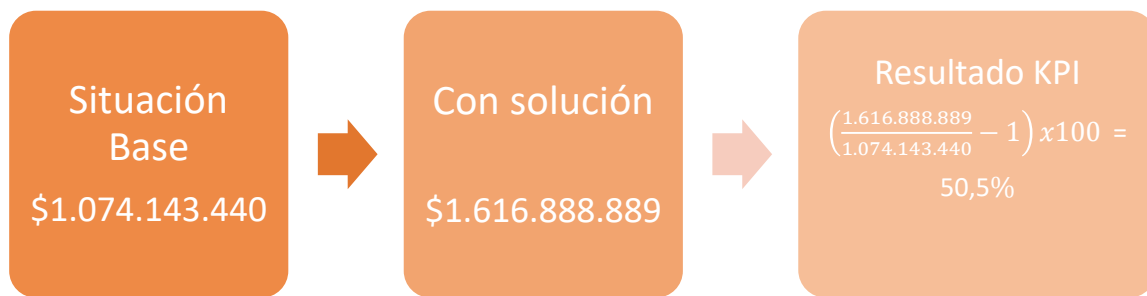


Fuente: Oficina Técnica - MPM

Se redujo en un 17,7% los costos de operación mensuales de la planta de remanejo de pebbles.

KPI 4: Aumentar en al menos un 20% los ingresos promedio mensual (clp).

Figura 20 : KPI #4



Fuente: Oficina Técnica - MPM

Se aumentó en un 50,5% la facturación promedio mensual de la planta.

CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

La decisión de implementar el electroimán de banda fue acertada, así lo demuestran los resultados de las medidas de desempeño y el comportamiento de la planta, esto fue debido al proceso minucioso que se llevó a cabo, partiendo con la investigación y estudio transversal (técnico) en conjunto con el equipo de trabajo que administra el proyecto. Este dispositivo ha demostrado ser altamente efectivo en la separación y extracción de inchancables de sobre tamaño, contribuyendo de manera significativa a mejorar la eficiencia operativa y la disponibilidad mecánica de la planta, elevando en gran magnitud los niveles de producción mensuales, así lo demuestran los resultados obtenidos en las cuatro medidas de desempeño.

A pesar de que se han investigado y desarrollado otras tecnologías complementarias, la que más destaca es el uso de inteligencia artificial, solución que apunta no solo a mejorar un proceso en específico, sino que va de la mano con el avance hacia la minería 4.0, sin embargo, no logra satisfacer la problemática que presenta esta pasantía. Además, se ha demostrado que no ha conseguido igualar la eficacia y confiabilidad demostradas por el electroimán de banda en este tipo de plantas.

Adicionalmente, se propone estudiar como posible línea de investigación, la evaluación de un diseño estructural y mecánico que incorpore una extensión de la correa principal de alimentación equipada con dos electroimanes de banda adicionales. Una estación de detección y extracción adicional que no depende directamente del diseño original de la planta. La adición de extensión fuera de la planta representa una oportunidad para mejorar aún más la eficiencia del proceso y podría no solo optimizar la capacidad de tratamiento de la planta, sino también reducir los tiempos muertos al permitir intervenciones específicas sin afectar la operación principal, cuidando el activo.

REFERENCIAS

Baltic Scientific Instruments Ltd. (2015, 28 de octubre). *Real-time Material Flow Analysis on Conveyor Belts*. Science direct.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896315019473>

ERIEZ. (2018, 21 de marzo). *Suspended Magnets*. Eriez – Global Leader in Separation Technologies. <https://www.eriez.com/Documents/Literature/Brochures/Products/Magnetic-Separation/SB-305-Eriez-Suspended-Magnet.pdf>

ERIEZ. (2019, 9 de agosto). *1200 series metal detectors*. Eriez – Global Leader in Separation Technologies. <https://www.eriez.com/NA/EN/Products/Metal-Detection/1200-Series-Metal-Detectors.htm>

Metso Minerals. (2009, 12 de mayo). *New developments in cone crusher performance optimization*. Elsevier.

https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/48451734/j.mineng.2009.04.00320160830-27485-1r88oqu-libre.pdf?1472603269=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DNew_developments_in_cone_crusher_perform.pdf&Expires=1701624221&Signature=aimMNLazU~JDMo9veEHvH9VHaTKhAlTvxZBybPUUGMOWPOSORC4hNyWbulPWBiqe6nrStvANR~wQTK~9eedG16QghDNGupnrWkJKzxFJ7wPiHDXHsLum53E~8At2-Sls2Fo1Xon13TMpBBPUpsrGIUFcG3dqwgN0t4N9ul7ZQ1XOX5rqGBNtE8H~8xvxjfdflvrrWo5chle6iXdWU~FtjVBYKxk0KzeYbld374R4hIEwxSA5saMMFEmOivMfeLgqK3cKh-

cNxEiAq3gAm3UE8nTX2b-uXad9c6v3B7gPFoK0~XO61dloB1uwmJrbhcBPZXOYJG-7VYNmNDtwQiMkSQ_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

Mining & Geology Research Centre, Sustainable Minerals Institute, The University of Queensland. (2022, 24 de febrero). *Review on advances in mineral processing technologies suitable for critical metal recovery from mining and processing wastes*. Elsevier.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666790822000568>

Northeastern University of Shenyang. (2023, 21 de Agosto). *Rapid detection of iron ore and mining areas based on MSSA-BNVTLM, visible—Infrared spectroscopy, and remote sensing*.

MDPI. <https://www.mdpi.com/2072-4292/15/16/4100>

ROBOTIA. (2021, diciembre). *Sistema automático de detecciones de inchancables*. Robotia Web. <https://robotia.cl/#/detecciones>

SALFA. (2017, enero). *MOBISCREEN MS 702 EVO*. Maquinaria de Construcción, Vialidad y Forestal • Salfa Maquinaria. <https://salfamaquinaria.cl/wp-content/uploads/2021/07/MS-702-EVO.pdf>

SIMTEXX. (2022, mayo). *Shovel smart tooth*. Shovel Smart Tooth. <https://shovelsmarttooth.cl/>

ANEXOS

Análisis Técnico:

ANÁLISIS TÉCNICO DETECCIÓN DE INCHANCABLES

Tech/Análisis	Implementación	Función/Operación	Mantenimiento	Efectividad De detección
XRF	La máquina de rayos X con forma de caja de alrededor de 3 metros cúbicos, se ancla a una base, sosteniendo el dispositivo 1 metro por sobre la correa transportadora, posicionado posterior al harnero vibratorio. Debe tener revestimiento de plomo u otro aislante, debido a la radiación que este equipo genera, tiene que ser conectado a un sistema trifásico de 380v, lo que conlleva un alto gasto energético. Aún no existen soluciones energéticas sostenibles para esta tecnología.	Su función es detectar todo tipo de material ya sea metálico o no a través de rayos X, un tubo de rayos X genera excitación de los electrones del material y un detector de rayos X mide el espectro completo de los materiales del flujo detecta, se envían datos al dispositivo receptor, en tiempo real y a través de un software el operador puede verificar y analizar la presencia de inchancables sobre la correa transportadora, crear una alerta y evitar que los materiales no deseados lleguen al chancador. Un problema que presenta es que para obtener mejores resultados, se necesita que la superficie del flujo del material este lo más parejo posible.	Debido a sus características, su mantención regular es una vez al año o solo en caso de fallar. Técnicos básicos pueden realizar este trabajo.	Los estudios realizados por la empresa Baltic Scientific Instruments y la federación internacional de control automático, determinaron que su efectividad es del 65%.
cámara IA	Se construyen portales sobre la correa transportadora, con tal dimensión para que las cámaras queden a una distancia cercana a la correa, las cámaras deben posicionarse alineadas con el eje central de la correa, para así tener una imagen centrada y que analice un área definida de la correa. También, puede ser posicionada en el buzón d para un pre análisis del material, la cámara puede ir andada a la torre del buzón.	La cámara envía el flujo de video en tiempo real al software de IA, que opera con un motor detector y un sistema de mejora continua, a través del machine learning, cada vez que detecta nuevos tipos de inchancables los va agregando automáticamente a una base de datos del servidor, lo que hace más efectiva su detección. La visualización del circuito de cámaras se despliega en el computador del operador de cámaras en tiempo real, además automáticamente va generando reportes de detección en tiempo real. Toda la información queda guardada en el software.	Se debe limpiar las lentes una vez al día o dependiendo de la suciedad que pueda acumular la cámara. Opera a base de actualizaciones de software, solo se necesita reemplazar hardware cuando falla o se rompe por alguna causa externa. La empresa se encarga de las mantenciones de hardware y software, además de dar las indicaciones de cuando limpiar.	Sin información, Sin embargo, se está aplicando esta innovación en empresas de la gran minería tales como Codelco y la escondida, debido a su tecnología de vanguardia y alta efectividad de detección.
sensor GPR	Banda de sensores que se instalan sobre la correa transportadora, se puede enganchar a un portal o portales a lo largo de la correa para tener una mayor efectividad de detección. Además, deben ser conectadas a corriente eléctrica y tener antenas para la emisión de datos, las cuales van a computadores receptores.	Los sensores funcionan mediante la emisión de impulsos electromagnéticos los cuales son generados por medio de una antena emisora que, en su trayectoria a través del material puede encontrar objetos de distinto tipo. Al momento de la configuración del dispositivo, se pueden ajustar los parámetros para que alerte de manera automática al operador del receptor (PC), de la existencia de inchancables dentro del flujo del material. Además necesita un sistema de enfriamiento con agua.	La calibración de los sensores por parte de operadores del sistema es el único mantenimiento que se debe hacer, si es que llegase a fallar el sistema se deben hacer las mantenciones pertinentes. La calibración y mantención debe ser hecha por técnicos certificados de alto nivel.	98% de efectividad, según estudio de Baltic Scientific Instruments y la federación internacional de control automático.
SST	El sistema integrado receptor se instala en la cabina del operador asociado a una pantalla de 10 pulgadas, el dispositivo se en la parte posterior de cada uno de los dientes. Se debe tener señal wifi y gps.	Se trata de un circuito integrado de mínimas dimensiones, ubicado en la parte posterior del Diente, el cual cumple la función de enviar señales de presencia o ausencia de dicho inchancable. Emite una señal la cual va a un sistema receptor, que consta de una aplicación la cual indica mediante una alarma, la presencia de inchancables, además, notifica cuando se deben hacer mantenciones o reemplazar algún dispositivo del sistema. El método por el cual se detecta, es mediante sensores ferromagnéticos y cámaras.	Se debe cambiar los dientes cuando el software detecta una falla o ruptura para hacerle mantenimiento al dispositivo o bien su reemplazo por una pieza nueva. Los tiempos de cambio de la pieza serán determinados por el uso de la pala y su respectivo desgaste. La mantención la pueden hacer técnicos instruidos o la empresa que ofrece ese servicio.	Altamente efectivo en torno a la detección de metales (>90%), sin embargo, no detecta inchancables de otra naturaleza.
cámara IR	Se instalan sobre la correa de transporte en portales, debe ir conectada a una batería la cual tiene línea a la corriente de 220v, así puede operar de manera continua 24/7, la ventaja es que se pueden utilizar paneles solares para alimentar la batería.	La cámara infrarroja detecta y mide la energía infrarroja de los objetos, regularmente los objetos tienen distintas energías, por lo que se distinguen fácilmente los objetos que no son pebbles, la data infrarroja acumulada la transforma en una imagen electrónica que muestra la temperatura aparente de la superficie de los objetos. Esta imagen se despliega en el software en un computador del operador, donde se puede analizar el flujo material en tiempo real.	Se debe limpiar una vez al día o cuando pierda la imagen debido a suciedad presente en el lente, para esto se debe usar una manguera con aire comprimido y un paño seco, en ningún caso se debe humedecer el lente, ya que puede ser dañado. Este trabajo puede ser hecho cualquier técnico de la planta.	89 a 94% de efectividad en la detección superficial de todo tipo de inchancables.
Planta Seleccionadora	Se debe armar la planta in situ, por el proveedor, la reubicación de la planta en zonas cercanas (menor a 200 metros) debe ser realizada por el operador de la planta seleccionadora.	: La planta seleccionadora móvil es una clasificadora de material rocoso según su granulometría, su movilidad la genera una oruga hidráulica ubicada por debajo de la unidad de cribado. La producción comienza con el recibimiento del material en la tolva de recepción, luego de esto entra a una correa transportadora, con dirección a la unidad de cribado, en este punto el material procesado se separa según su granulometría, entre fracciones inferiores, intermedias y superiores. El equipo funciona de manera hidráulica y su combustible es el petróleo.	Se debe realizar mantenciones semanales al equipo, en caso de falla se debe realizar mantenciones correctivas. No es necesario limpiar el equipo.	Separa inchancables según sus dimensiones o granulometría.

Análisis Económico:

Producción – Agosto 2023:

Día	Ton Día	Ton Noche	Ton Total	PLAN AGOSTO (CH&C)	Plan MPM	Horas Efectivas Producción	Disponibilidad Planta	Rendimiento a Planta x Hrs(Ton)	Ton Total MPM
01-08-2023	2.734	4.076	6.810	6.837	6.826	18,44	76,83	371	6.810
02-08-2023	3.794	4.042	7.836	6.837	6.826	19,52	81,33	350	7.836
03-08-2023	2.740	4.145	6.885	6.837	1.608	17,06	71,08	401	6.885
04-08-2023	3.578	4.146	7.724	6.268	6.826	19,30	80,42	325	7.724
05-08-2023	3.502	4.095	7.597	6.837	6.826	18,65	77,71	367	7.597
06-08-2023	4.010	4.509	8.519	6.837	6.826	21,87	91,13	313	8.519
07-08-2023	2.733	4.383	7.116	5.983	6.826	17,82	74,25	336	7.116
08-08-2023	3.850	3.775	7.625	6.837	4.828	20,17	84,04	339	7.625
09-08-2023	3.905	3.979	7.884	6.837	6.826	19,69	82,04	347	7.884
10-08-2023	3.676	4.262	7.938	6.837	6.826	20,36	84,83	336	7.938
11-08-2023	3.603	3.647	7.250	6.837	6.826	18,39	76,63	372	7.250
12-08-2023	3.385	4.255	7.640	6.837	6.826	19,34	80,58	354	7.640
13-08-2023	3.798	3.044	6.842	6.837	6.826	19,62	81,75	348	6.842
14-08-2023	1.396	3.521	4.917	5.128	6.826	12,36	51,50	415	4.917
15-08-2023	2.069	3.047	5.116	6.837	5.630	14,71	61,29	465	5.116
16-08-2023	3.153	1.009	4.162	6.837	6.826	11,13	46,38	614	4.162
17-08-2023	2.556	3.391	5.947	6.837	6.826	14,85	61,88	460	5.947
18-08-2023	2.817	2.544	5.361	6.268	6.826	14,55	60,63	431	5.361
19-08-2023	2.921	2.761	5.682	6.837	6.826	15,38	64,08	445	5.682
20-08-2023	2.381	4.029	6.410	6.837	6.826	16,48	68,67	415	6.410
21-08-2023	2.315	3.772	6.087	5.983	6.826	15,48	64,50	386	6.087
22-08-2023	3.253	3.379	6.632	4.986	4.828	17,35	72,29	287	6.632
23-08-2023	2.650	1.921	4.571	4.986	6.826	14,31	59,63	348	4.571
24-08-2023	2.332	1.537	3.869	4.986	6.826	14,87	61,96	335	3.869
25-08-2023	1.802	2.332	4.134	4.986	6.826	15,88	66,17	314	4.134
26-08-2023	2.041	742	2.783	4.986	6.826	13,85	57,71	360	2.783
27-08-2023	2.915	2.147	5.062	4.986	6.826	14,02	58,42	356	5.062
28-08-2023	2.359	1.511	3.869	4.986	6.826	11,58	48,25	431	3.869
29-08-2023	1.325	1.988	3.313	4.986	5.630	13,39	55,79	372	3.313
30-08-2023	1.166	1.776	2.942	4.986	5.630	15,85	66,04	315	
31-08-2023	1.696	1.430	3.126	4.986	5.630	11,25	46,88	443	3.126
Total	86.454	95.193	181.647	188.886	197.608		68,2		178.706

Producción - Septiembre 2023:

Día	Ton Día	Ton Noche	Ton Total	PLAN SEPTIEMBRE (CH&C)	Plan MPM	Horas Efectivas Producción	Disponibilidad Planta (%)	Rendimiento a Planta x Hrs(Ton)
01-09-2023	2.734	2.853	5.587	6.837	6.826	18,44	76,83	303
02-09-2023	2.428	2.264	4.692	6.837	6.826	13,47	56,12	348
03-09-2023	2.192	1.741	3.933	6.837	1.608	17,06	71,08	231
04-09-2023	1.932	2.612	4.544	6.268	6.826	16,41	68,35	277
05-09-2023	2.311	1.597	3.908	6.837	6.826	18,65	77,71	210
06-09-2023	2.967	2.615	5.583	6.837	6.826	14,22	59,23	393
07-09-2023	2.733	2.717	5.450	5.983	6.826	14,26	59,40	382
08-09-2023	2.156	2.831	4.987	6.837	4.828	17,14	71,44	291
09-09-2023	3.319	3.183	6.502	6.837	6.826	14,96	62,35	435
10-09-2023	919	1.875	2.794	6.837	6.826	17,31	72,11	161
11-09-2023	1.838	2.341	4.179	6.837	6.826	18,39	76,63	227
12-09-2023	3.385	1.617	5.002	6.837	6.826	19,34	80,58	259
13-09-2023	2.735	2.384	5.118	6.837	6.826	19,62	81,75	261
14-09-2023	1.396	3.521	4.917	5.128	6.826	12,36	51,50	398
15-09-2023	2.069	2.377	4.446	6.837	5.630	14,71	61,29	302
16-09-2023	2.680	1.009	3.689	6.837	6.826	11,13	46,38	331
17-09-2023	2.556	1.119	3.675	6.837	6.826	14,85	61,88	247
18-09-2023	1.268	2.544	3.812	6.268	6.826	14,55	60,63	262
19-09-2023	2.921	2.761	5.682	6.837	6.826	15,38	64,08	369
20-09-2023	2.381	3.102	5.483	6.837	6.826	16,48	68,67	333
21-09-2023	2.315	2.376	4.691	5.983	6.826	15,48	64,50	303
22-09-2023	2.147	1.318	3.465	4.986	4.828	17,35	72,29	200
23-09-2023	2.650	1.921	4.571	4.986	6.826	14,31	59,63	319
24-09-2023	2.332	1.537	3.869	4.986	6.826	14,87	61,96	260
25-09-2023	1.802	2.332	4.134	4.986	6.826	15,88	66,17	260
26-09-2023	2.041	1.405	3.445	4.986	6.826	13,85	57,71	249
27-09-2023	2.915	2.147	5.062	4.986	6.826	14,02	58,42	361
28-09-2023	2.359	1.511	3.869	4.986	6.826	11,58	48,25	334
29-09-2023	1.325	1.988	3.313	4.986	5.630	13,39	55,79	247
30-09-2023	1.166	1.776	2.942	4.986	5.630	15,85	66,04	186
Total	67.971	65.373	133.344	183.900	191.978	465	1.938,8	8.740
Promedio	2.250	2.156	4.405	6.106	12.571	15,51	64,6	573

Producción – Octubre 2023:

Día	Ton Día	Ton Noche	Ton Total	Plan MPM	Horas Efectivas Produccion	Disponibilidad Planta (%)	Rendimiento Planta x Hrs(Ton)
01-10-2023	3.281	3.465	6.745	6.826	19,61	81,70	344
02-10-2023	3.453	3.032	6.484	6.826	19,77	82,37	328
03-10-2023	3.644	3.523	7.167	1.608	21,02	87,58	341
04-10-2023	3.578	3.317	6.895	6.826	20,40	85,00	338
05-10-2023	3.362	3.108	6.470	6.826	18,97	79,06	341
06-10-2023	3.769	3.517	7.286	6.826	21,56	89,82	338
07-10-2023	3.910	3.128	7.038	6.826	20,82	86,76	338
08-10-2023	3.273	3.737	7.010	4.828	20,92	87,19	335
09-10-2023	3.319	3.183	6.502	6.826	19,35	80,64	336
10-10-2023	3.676	3.265	6.941	6.826	19,83	82,63	350
11-10-2023	3.603	2.991	6.594	6.826	19,34	80,57	341
12-10-2023	3.385	3.617	7.002	6.826	20,65	86,06	339
13-10-2023	3.494	3.686	7.180	6.826	20,63	85,97	348
14-10-2023	3.350	3.521	6.871	6.826	21,08	87,82	326
15-10-2023	3.724	2.986	6.710	5.630	19,62	81,75	342
16-10-2023	3.121	3.051	6.172	6.826	17,84	74,33	346
17-10-2023	3.058	3.357	6.415	6.826	18,49	77,03	347
18-10-2023	3.662	2.950	6.612	6.826	18,89	78,72	350
19-10-2023	3.365	3.025	6.390	6.826	19,13	79,72	334
20-10-2023	3.810	2.820	6.630	6.826	20,15	83,97	329
21-10-2023	3.315	3.395	6.710	6.826	19,12	79,65	351
22-10-2023	3.456	3.210	6.666	4.828	18,57	77,37	359
23-10-2023	3.650	3.028	6.678	6.826	19,08	79,50	350
24-10-2023	3.710	3.392	7.102	6.826	21,14	88,07	336
25-10-2023	3.771	3.127	6.898	6.826	20,05	83,55	344
26-10-2023	3.975	3.087	7.062	6.826	21,47	89,44	329
27-10-2023	3.776	2.915	6.691	6.826	19,12	79,66	350
28-10-2023	3.578	3.048	6.625	6.826	19,04	79,32	348
29-10-2023	3.360	3.074	6.434	5.630	18,38	76,60	350
30-10-2023	3.710	3.366	7.076	5.630	20,22	84,23	350
Total	106.138	96.919	203.058	191.978	594	2.476,1	10.258
Promedio	3.547	3.223	6.769	12.571	19,81	82,6	342

Producción – Noviembre 2023:

Día	Ton Día	Ton Noche	Ton Total	Plan MPM	Horas Efectivas Produccion	Disponibilidad Planta (%)	Rendimiento Planta x Hrs(Ton)
01-11-2023	3.691	3.465	7.156	6.925	19,60	81,68	365
02-11-2023	3.756	3.274	7.030	6.925	20,99	87,44	335
03-11-2023	3.644	3.523	7.167	6.925	20,60	85,82	348
04-11-2023	3.578	3.731	7.309	6.925	21,63	90,11	338
05-11-2023	3.922	3.108	7.030	6.925	20,62	85,90	341
06-11-2023	3.769	1.127	4.897	3.250	14,49	60,36	338
07-11-2023	1.208	3.128	4.336	5.500	12,83	53,45	338
08-11-2023	3.812	3.737	7.549	6.925	22,53	93,89	335
09-11-2023	3.866	3.183	7.049	6.925	20,98	87,42	336
10-11-2023	3.676	3.918	7.594	6.925	21,70	90,40	350
11-11-2023	3.815	3.611	7.426	6.925	21,78	90,73	341
12-11-2023	3.385	3.617	7.002	6.925	20,65	86,06	339
13-11-2023	3.494	3.686	7.180	6.925	20,63	85,97	348
14-11-2023	3.630	3.521	7.151	6.925	21,93	91,39	326
15-11-2023	3.724	3.656	7.381	6.925	21,58	89,92	342
16-11-2023	3.941	3.364	7.305	6.925	21,11	87,97	346
17-11-2023	3.858	3.357	7.215	6.925	20,79	86,64	347
18-11-2023	4.113	3.089	7.202	6.925	20,58	85,74	350
19-11-2023	4.015	3.258	7.273	6.925	21,78	90,73	334
20-11-2023	2.505	2.216	4.721	5.026	14,35	59,79	329
21-11-2023	2.865	3.433	6.298	6.180	17,94	74,76	351
22-11-2023	3.685	3.345	7.030	6.925	19,58	81,59	359
23-11-2023	3.669	3.422	7.091	6.925	20,26	84,42	350
24-11-2023	3.710	3.392	7.102	6.925	21,14	88,07	336
25-11-2023	3.850	3.261	7.111	6.925	20,67	86,14	344
26-11-2023	3.975	3.233	7.208	6.925	21,91	91,29	329
27-11-2023	3.776	3.445	7.221	6.925	20,63	85,97	350
28-11-2023	3.816	3.260	7.076	6.925	20,33	84,72	348
29-11-2023	3.684	3.339	7.023	6.925	20,06	83,60	350
30-11-2023	3.763	3.366	7.129	6.925	20,37	84,86	350
Total	108.195	99.064	207.260	200.006	604	2.516,8	10.293
Promedio	3.604	3.297	6.900	6.658	20,13	84,0	342

Flujo de Caja:

Flujo de caja - Caso Negocio (CLP)

Años	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4
Ingresos sin electromán	12.889.721.280	12.889.721.280	12.889.721.280	12.889.721.280	12.889.721.280
Ingresos con electroimán	19.402.666.667	21.600.000.000	22.080.000.000	22.080.000.000	22.080.000.000
Diferencia de Ingreso \$	6.512.945.387	8.710.278.720	9.190.278.720	9.190.278.720	9.190.278.720
Costos Fijos					
Arriendo Equipos (Electroiman)	239.687.554	251.671.931	263.656.309	273.243.811	282.831.313
Obras de Montaje	639.398.203				
Costos Variables					
Mantenimiento del equipo	60.000.000	65.940.000	71.880.000	77.820.000	83.760.000
Repuestos	36.000.000	47.476.800	57.360.240	62.100.360	66.840.480
Resultado Operacional (A)	5.537.859.630	8.345.189.989	8.797.382.171	8.777.114.549	8.756.846.927
VAN	\$29.746.274.519				
TIR	910,20%				
Payback	14 días				
WACC	9,5%				

Inversión Inicial:

		UN	CANT-MES	PU	Valor Total
1	PARTIDAS A SUMA ALZADA				
1.1	Gastos Generales, utilidades y Costos Indirectos				
1.1.1	Gastos Generales y Costos Indirectos (incluye ingeniería)	mes	1	86.850.161	86.850.161
1.1.2	Utilidad sobre el costo directo	%	1	51.381.616	51.381.616
	TOTAL PARTIDAS A SUMA ALZADA				138.231.777,3
	PARTIDAS COSTO DIRECTO				
A	Mano de Obra Directa				
	Capataz Construcción y Montaje	hh	180	25.322	4.558.022
	Maestro Mayor Construcción y Montaje	hh	3.600	23.870	85.931.484
	Maestro Primera Construcción y Montaje	hh	360	22.900	8.244.087
	Operador Grúa Móvil 130 Ton	hh	360	31.709	11.415.390
	Rigger AT	hh	360	23.870	8.593.148
B	Suministros y materiales				
	Combustible suministrado en faena	lt	2.500	1.201	3.001.808
	Prefabricados de Hormigón	un	3	2.329.600	6.988.800
	Estructura (incluye tolva para inchancables)	kg	15.000	5.500	82.500.000
				0	0
C	Herramientas Maquinarias y Equipos				
	Grúa Móvil 130 Ton	hm	360	168.130	60.526.665
	Arriendo Eléctroiman	hm	0	19.907	0
	Herramientas menores		1	4.500.000	4.500.000
D	Subcontratos				
	Ensayos	gl	3	5.809.950	17.429.850
	Andamios	gl	3	8.415.132	25.245.395
	Fletes	gl	10	4.400.000	44.000.000
	TOTAL PARTIDAS A SUMA ALZADA				138.231.777,3
	TOTAL COSTO DIRECTO				501.166.425,6
	TOTAL COSTO DIRECTO + SUMA ALZADA = INVERSIÓN INICIAL				639.398.202,9

Costos Fijos Mensuales:

	PARTIDAS COSTO DIRECTO				
A	Mano de Obra Directa				
	Capataz Construccion y Montaje	hh		25.322	0
	Maestro Mayor Construccion y Montaje	hh		23.870	0
	Maestro Primera Construccion y Montaje	hh		22.900	0
	Operador Grúa Móvil 130 Ton	hh		31.709	0
	Rigger AT	hh		23.870	0
B	Suministros y materiales				
	Combustible suministrado en faena	lt	3.600	1.201	4.322.603
	Prefabricados de Hormigon	un		2.329.600	0
	Estructura (incluye tolva para inchancables)	kg		5.500	0
				0	0
C	Herramientas Maquinarias y Equipos				
	Grúa Móvil 130 Ton	hm	0	168.130	0
	Arriendo Eléctroiman	hm	480	19.907	9.555.360
	Herramientas menores			4.500.000	0
D	Subcontratos				
	Ensayos	gl		5.809.950	0
	Andamios	gl		8.415.132	0
	Fletes	gl		4.400.000	0
	TOTAL COSTO DIRECTO				13.877.962,8
	TOTAL COSTOS FIJOS MENSUALES				13.877.962,8

Costos Variables:

Costos variables					
Años	0	1	2	3	4
Reparación	13.200.000	15.180.000	16.500.000	17.688.000	19.008.000
Repuestos	2.400.000	2.880.000	3.192.000	3.408.000	3.744.000
TOTAL	15.600.000	18.060.000	19.692.000	21.096.000	22.752.000

TIR:

Initial Investment

\$ 639398203.00

Cash Flow

Year 1: \$	5537859630		✖
Year 2: \$	8345189989		✖
Year 3: \$	8797382171		✖
Year 4: \$	8777114549		✖
Year 5: \$	8756846927		✖

Guess

Optional

%

+ Add Year

Calculate

910.242%

Internal Rate of Return