



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Industrial y Comercial

**ANÁLISIS DE CUELLOS DE BOTELLA PARA
INCREMENTAR LA TASA DE PROCESAMIENTO DE
MINERAL DE UNA MINERA**

**Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero
Industrial y Comercial**

CHUNG ROMÁN, CÉSAR AUGUSTO

Asesor:

Michael Zelada García

Lima – Perú

2017

JURADO DE LA SUSTENTACION ORAL

.....

Presidente

.....

Jurado 1

.....

Jurado 2



Entregado el:03/05/2017

Aprobado por:

.....

Graduando: Cesar Chung

.....

Asesor de Tesis: Michael Zelada

UNIVERSIDAD SAN IGNACIO DE LOYOLA
FACULTAD DE INGENIERIA

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Cesar Augusto Chung Roman, identificado/a con DNI N° 70289043 Bachiller del Programa Académico de la Carrera de Ingeniería Industrial y Comercial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad San Ignacio de Loyola, presento mi tesis titulada:

Análisis de cuellos de botella para incrementar la tasa de procesamiento de mineral de una minera

Declaro en honor a la verdad, que el trabajo de tesis es de mi autoría; que los datos, los resultados y su análisis e interpretación, constituyen mi aporte. Todas las referencias han sido debidamente consultadas y reconocidas en la investigación.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad u ocultamiento de la información aportada. Por todas las afirmaciones, ratifico lo expresado, a través de mi firma correspondiente.

Lima, Mayo del 2017

.....
Cesar Augusto Chung Roman

DNI N° 70289043

EPÍGRAFE

El hombre que mueve
montañas empezó moviendo
pequeñas piedras

Confucio

INDICE DE CONTENIDOS

Identificación del problema	18
Problema general	21
Problema específico	21
Antecedentes Internacionales	22
Antecedentes Nacionales	23
Marco Histórico	38
Importancia de la minería para la economía del país	39
Definiciones	40
Geología.	40
Yacimientos.	40
Mineral.	40
Mena.	40
Ganga.	40
Minería.	41
Tipos de explotación minera.	41
Tajo abierto.	41
Subterránea.	42
Metalurgia	42
Ley de mena.	42
Chancadora Primaria.	43
Molienda.	43
Flotación.	44
Espesamiento.	45
Concentrado de mineral.	45
Relave.	46
La Compañía Minera	47
Proceso de la compañía minera	48
Mejora Continua	52
Círculo de Deming	52
Teoría de Restricciones	54
Six sigma	57
Lean Manufacturing	58
Kaizen	59
DMAIC	60
Cuellos de botella	63

Objetivo general	66
Obejtivos específicos	66
Justificación Teórica	68
Justificación Práctica	68
Justificación Social	68
Metodología	71
Paradigma	71
Enfoque	71
Método	71
Variable independiente	72
Variable dependiente	72
Población (N=365 días (emitido por la planta concentradora))	73
Muestra	73
Instrumentos	75
Procedimiento	76
Análisis chancadora primara	79
Análisis de los principales datos del Pareto	82
Análisis de falta de camiones	82
Análisis Rocas Grandes	86
Análisis de mantenimiento	90
Resultado Final	100
VALORIZACION Y CUANTIFICACION DE COSTO BENEFICIO	107
DISCUSIÓN	110
CONCLUSIONES	111

RECOMENDACIONES	112
REFERENCIAS	113
ANEXOS	116

INDICE DE TABLAS

TABLA 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA	70
TABLA 2: VARIABLES	72
TABLA 3: RESPUESTAS-ENCUESTA CAMIONES	85
TABLA 4: RESPUESTAS - ENCUESTA ROCAS GRANDES	90
TABLA 5: RESPUESTAS - ENCUESTA MANTENIMIENTO	95
TABLA 6: HORAS PERDIDAS CHANCADO PRIMARIO	97
TABLA 7: DATOS CAMIÓN KOM-930E	97
TABLA 8: COSTO DE LA IMPLEMENTACIÓN	101
TABLA 9: CUANTIFICACIÓN DEL POTENCIAL DE MEJORA	102
TABLA 10: BALANCE METALÚRGICO - SIN OPTIMIZAR	103
TABLA 11: BALANCE METALÚRGICO - ESCENARIO PESIMISTA	104
TABLA 12: BALANCE METALÚRGICO - ESCENARIO OPTIMISTA	104
TABLA 13: RESUMEN COSTO-BENEFICIO	109

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: INVERSIÓN MINERA EN EL PERÚ 2006-2015	18
FIGURA 2: PRECIO DEL COBRE US\$/TON	19
FIGURA 3: ANÁLISIS DE METODOLOGÍAS PARA MINERÍA	32
FIGURA 4: MODELO DE MEJORA HEXAGONAL PROPUESTO PARA PLANTAS DE BENEFICIO DE MINERAL	33
FIGURA 5: USO DE TOC EN DIFERENTES TIPOS DE COMPAÑÍAS	35
FIGURA 6: RESULTADOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE TOC	35
FIGURA 7: PROCESOS OPERATIVOS Y ADMINISTRATIVOS EN LA INDUSTRIA MINERA	36
FIGURA 8: EJEMPLO VISUAL DE UN MAPA DE PROCESOS	37
FIGURA 9: POSICIÓN DEL PERÚ EN EL RANKING DE RESERVAS METÁLICAS	38
FIGURA 10: PARTICIPACIÓN EN EL VALOR DE LAS EXPORTACIONES	39
FIGURA 11: PARTICIPACIÓN EN LAS RESERVAS MUNDIALES DE COBRE	39
FIGURA 12: TAJO ABIERTO - MINA CHUQUICAMATA CODELCO	41
FIGURA 13: MINA SUBTERRANEA – ATACOCHA	42
FIGURA 14: CHANCADORA PRIMARIA – CONICA	43
FIGURA 15: MOLIENDA DE BOLAS	43
FIGURA 16: MOLIENDA SEMIAUTÓGENA (SAG)	44
FIGURA 17: CELDAS DE FLOTACIÓN	44
FIGURA 18: ESPESADOR	45
FIGURA 19: ALMACÉN DE CONCENTRADOS DE MINERAL	45
FIGURA 20: RELAVERA DE UNA COMPAÑÍA MINERA	46
FIGURA 21: FLUJOGRAMA DE PRODUCCIÓN	50
FIGURA 22: DIAGRAMA DE BLOQUES	51
FIGURA 23: CÍRCULO DE DEMING	52
FIGURA 24: CÍRCULO DE DEMING	53
FIGURA 25: GRÁFICA DE DISTRIBUCIÓN NORMAL	57

FIGURA 26: SIGNIFICADO DE KAIZEN	60
FIGURA 27: DIAGRAMA DE FLUJO DMAIC	62
FIGURA 28: DEFINICIONES DMAIC	62
FIGURA 29: CAPACIDADES MÁXIMAS POR ÁREAS	78
FIGURA 30: TONELAJE CHANCADO 2015	79
FIGURA 31: DIAGRAMA DE PARETO - CHANCADO PRIMARIO	80
FIGURA 32: ANÁLISIS DE ÁRBOL-FALTA DE CAMIONES	82
FIGURA 33: ENCUESTA CAMIONES - PREGUNTA 1	83
FIGURA 34: ENCUESTA CAMIONES - PREGUNTA 2	84
FIGURA 35: ENCUESTA CAMIONES - PREGUNTA 3	84
FIGURA 36: ENCUESTA CAMIONES - PREGUNTA 4	85
FIGURA 37: ANÁLISIS DE ÁRBOL - ROCAS GRANDES	86
FIGURA 38: ENCUESTA ROCAS GRANDES - PREGUNTA 1	87
FIGURA 39: ENCUESTA ROCAS GRANDES - PREGUNTA 2	88
FIGURA 40: ENCUESTA ROCAS GRANDES - PREGUNTA 3	88
FIGURA 41: ENCUESTA ROCAS GRANDES - PREGUNTA 4	89
FIGURA 42: ENCUESTA ROCAS GRANDES - PREGUNTA 5	89
FIGURA 43: ANÁLISIS DE ÁRBOL - MANTENIMIENTO	91
FIGURA 44: ENCUESTA MANTENIMIENTO - PREGUNTA 1	92
FIGURA 45: ENCUESTA MANTENIMIENTO - PREGUNTA 2	92
FIGURA 46: ENCUESTA MANTENIMIENTO - PREGUNTA 3	93
FIGURA 47: ENCUESTAS MANTENIMIENTO - PREGUNTA 4	93
FIGURA 48: ENCUESTA MANTENIMIENTO - PREGUNTA 5	94
FIGURA 49: ENCUESTA MANTENIMIENTO - PREGUNTA 6	94
FIGURA 50: ENCUESTA MANTENIMIENTO - PREGUNTA 7	95
FIGURA 51: HORAS UTILIZADAS CHANCADORA PRIMARIA	96
FIGURA 52: BALANCE METALÚRGICO	102

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	116
ANEXO 2: PRESUPUESTO	118
ANEXO 3: ENCUESTA FALTA DE CAMIONES	119
ANEXO 4: ENCUESTA ROCAS GRANDES	120
ANEXO 5: ENCUESTA MANTENIMIENTO	121
ANEXO 6: DIAGRAMA DE FLUJO PLANTA CONCENTRADORA	123
ANEXO 7: TABLA DE DATOS-PRODUCCIÓN-MOLIENDA-HORAS	124
ANEXO 8: FICHA TÉCNICA - CAMIÓN KOMATSU 930E	128
ANEXO 9: FOTOS DE LA MINA	130

DEDICATORIA

A mi padre Kapin Chung: Padre ejemplar, compañero y amigo de toda la vida. Que has sabido guiarme desde pequeño por el camino correcto, y enseñarme a terminar todo lo que uno empieza. “Ñu Teu Mao Mui”. Mi gratitud eterna contigo.

A mi madre Sandra Roman: Madre ejemplar, guía y mejor amiga. Que siempre me has apoyado en los momentos difíciles y me ha enseñado que de la mano de Dios todo se puede. El fruto de este trabajo para ti.

A mi hermana: Ñuclam Chung, compañera de risas y juegos, que siempre me apoya en todo, Para ella este trabajo.

A kopito: Amigo de toda la vida, que siempre ha estado en los mejores y peores momentos.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por darme la fuerza y persistencia para poder terminar este trabajo de investigación, pues nada se hace sin su voluntad.

Agradezco especialmente a mi familia quienes con su apoyo incondicional me han acompañado durante todo este camino, gracias por haber sembrado en mí esas ganas de superarme siempre.

Agradezco a mi tío Augusto Chung, por enseñarme lo increíble que es el trabajo en la minería y la metalurgia

Al Ing. Michael Zelada, por ser mi asesor de tesis, por guiarme durante todo el proyecto de investigación

RESUMEN

El presente trabajo tiene como finalidad aplicar análisis de cuello de botella para incrementar la tasa de procesamiento de mineral de una compañía minera polimetálica, que está ubicada en el distrito de San Marcos, en la región de Ancash, Perú, aproximadamente a 200 km de la ciudad de Huaraz y a una altitud promedio de 4,300 metros sobre el nivel del mar.

La propuesta se enfoca en realizar el análisis de la planta concentradora y de la operación en la mina con el fin de identificar el cuello de botella, usando herramientas de mejora continua, para luego proponer una solución para el equipo que genere el cuello de botella, con el fin de incrementar el procesamiento de mineral.

Se analizarán las principales etapas de producción de la planta, con el fin de estudiar capacidades, mínimas y máximas para conocer cual es la restricción por etapa. Nos enfocaremos en el análisis del cuello de botella físico antes que el cuello de botella líquido para incrementar la producción de concentrados de Cu y Zn.

Palabras clave: Cuellos de Botella, Minería, Mejora Continua, mejora de procesos, concentrado de mineral, metalurgia

ABSTRACT

This thesis aims to apply bottleneck analysis in order to increase mineral processing rate on a polymetallic mining company, which is located in San Marcos district, in Ancash Region, Peru, approximately 200 km from the city of Huaraz at an average altitude of 4,300 meters above sea level.

The proposal focuses on the analysis of the concentrator plant in order to identify the bottleneck, using continuous improvement tools and then propose a solution to the equipment that generates the bottleneck, to increase the mineral processing rate.

We are going to analyze the principal steps of the production plant, to study capacities, minimum and maximum to try to know which the constraint per step is. We are going to focus in the physical bottleneck analysis and not in the liquid bottleneck analysis to increase the concentrate production of Cu and Zn

Key words: Bottleneck, Mining, Continuous Improvement, Business Improvement, mineral concentrate, metallurgy

INTRODUCCION

El presente trabajo de investigación surge debido a la coyuntura actual en la que se encuentra la minería peruana, con el objetivo de identificar los cuellos de botella para hacer de la compañía minera en estudio, más competitiva en el mercado actual.

La empresa minera que es parte de este estudio, posee un sistema productivo bastante complejo debido al rubro en él se encuentra, sin embargo eso no quita que este en busca de la optimización y mejora de procesos a través de estudios que permitan hacer sostenible un crecimiento en la producción.

Para esto, en el primer capítulo, se han identificado, el problema general y específicos de la investigación con el fin de identificar las hipótesis del estudio. Así mismo se definió el marco teórico, marco metodológico y las variables.

Posteriormente, en el capítulo dos, se muestran el análisis del estudio, las técnicas e instrumentos utilizados con el fin de presentar una propuesta de mejora utilizando una metodología de análisis

Finalmente en el tercer capítulo, se presentan las propuestas de mejorar una vez identificado y relevado el cuello de botella, así como las conclusiones y recomendaciones del estudio. Se realizó también un análisis de costo beneficio con el fin de identificar el tiempo de retorno del proyecto.

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Identificación del problema

El estancamiento económico en el que nos encontramos actualmente viene afectando a diversos sectores económicos a lo largo de todos los continentes. Países del primer mundo, como los son Estados Unidos o Rusia, con una gran economía, vienen siendo afectados por la variación bursátil del precio de los metales base.

En el caso particular del continente americano, principalmente el área del sur, en donde la actividad minera es una de las fuentes de ingreso para los países que explotan yacimientos mineros como recurso primario, se ven afectados por el bajo precio de los metales, la poca inversión en proyectos de gran envergadura, como se observa en la *Figura 1: Inversión Minera en el Perú 2006-2015*, y el costo operativo de extracción y procesamiento de mineral, por lo que se busca la reducción de costos con el fin de generar una mayor rentabilidad.



Figura 1: Inversión Minera en el Perú 2006-2015

Fuente: Ministerio de Energía y Minas

El Perú, que es un país minero por excelencia y que viene explotando yacimientos mineros, cupríferos en su mayoría, se ve afectado por la poca inversión de proyectos mineros y los altos costos de producción que este tipo de rubro involucra.

Dentro de los principales metales que se extraen en el Perú se encuentran: el cobre (Cu), zinc (Zn), hierro (Fe), plomo (Pb), oro (Au), plata (Ag) y molibdeno (Mo). En el caso particular del cobre el precio durante el último año ha ido reduciéndose hasta llegar a un promedio de 2.1 \$/lb de Cu (Kitco, 2016). El bajo precio al cual estamos sometidos al día de hoy afecta a la mayoría de minas a lo largo de la región, pues estas poseen en su mayoría minerales de cobre como mineral primario.

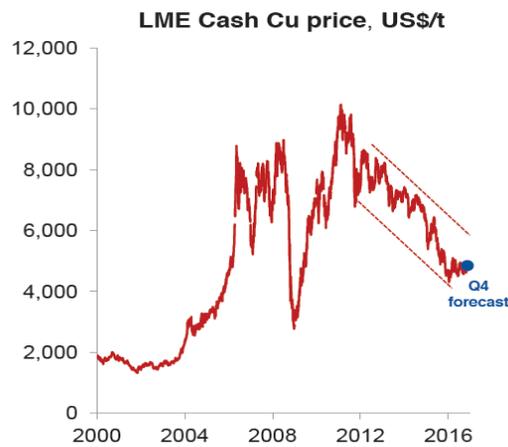


Figura 2: Precio del cobre US\$/ton

Fuente: Kitco

La compañía minera, que es parte de este trabajo de investigación, es un complejo minero polimetálico, que actualmente produce concentrados de cobre, zinc, molibdeno y subproductos de plata y plomo. La mina está ubicada en el distrito de San Marcos, en la región de Ancash, Perú, aproximadamente a 200 km de la ciudad de Huaraz y a una altitud promedio de 4,300 metros sobre el nivel del mar

La mina opera a tajo abierto con una chancadora primaria alimentando la concentradora por faja a través de un túnel de 2.6 km. Las instalaciones de procesamiento fueron diseñadas para procesar mineral a través de un circuito de molienda unifilar y una planta de flotación diferencial convencional.

Se procesan tres tipos principales de mineral, entre ellos minerales de Cobre-Molibdeno (CuMo), Cobre-Zinc (CuZn) y Bornita (Bn). Las campañas para cada uno se programan por separado a través de la concentradora para adaptar los diferentes requisitos de molienda y flotación. Las campañas varían desde unos cuantos días hasta varias semanas, y dependen del plan de producción de la Mina y los requerimientos comerciales.

En el marco actual donde la competitividad es un factor importante para el rubro minero, se busca la captura de valor a través de proyectos que tengan un mínimo costo de inversión. Dentro de las posibilidades para lograr esto se encuentran diversos estudios que permiten la mejoría de las minas en las dos áreas más importantes que poseen, en la mina reduciendo costos de acarreo y voladura y en la planta concentradora reduciendo consumo de reactivos o a través de la identificación de posibles mejoras en el proceso de obtención de concentrado.

Ante la problemática presentada surge como idea, el análisis de cuellos de botella en la planta concentradora para aumentar la tasa de procesamiento de mineral y así incrementar la rentabilidad de la compañía minera, de manera que agregue valor con un mínimo costo de inversión y que sea sostenible en el tiempo.

FORMULACION DEL PROBLEMA

Problema general

¿Cuál será el impacto del análisis de cuellos de botella en el incremento de la tasa de procesamiento de mineral?

Problema específico

¿Cuáles es la etapa que genera cuello de botella en la planta de procesamiento de mineral?

¿Cuáles son los tiempos muertos que podrán optimizarse en la etapa donde este el cuello de botella?

¿Cuánto es la cantidad de mejora en la tasa de procesamiento de la etapa en donde se encuentra el cuello de botella?

¿Cuál es la relación costo-beneficio para el análisis de cuellos de botella?

MARCO REFERENCIAL

Antecedentes Internacionales

Flores Ortiz, Marco (2009, Ecuador) presento la tesis “Optimización de la producción en el proceso de mezclado de la línea de caucho, en la empresa Plasticaucho industrial S.A.”. La tesis tuvo como objetivo optimizar la producción en el proceso de mezclado de la empresa. Esta investigación se enfocó en el análisis de tiempo de la línea de producción para la reducción de tiempos muerto para el aumento de producción de la línea de mezclado.

Gamarra Martínez, Karen A. y Jiménez Martínez, Jhon E. (2012, Colombia) presentaron la tesis “Análisis de dos metodologías para identificar el cuello de botella en procesos productivos”. La tesis tuvo como objetivo comparar los resultados obtenidos a partir de dos métodos de identificación de cuellos de botella en un sistema de producción. Esta investigación se enfocó en el uso de dos teorías, la del tiempo determinístico y la de teoría de restricciones, para comparar cual es la más viable.

Pisco Rios, Ricardo J. (2006, Ecuador) presento la tesis “Análisis y planteamiento de mejoras de una planta de producción de materiales de aceros laminados aplicando teoría de las restricciones (TOC)”. La tesis tuvo como objetivo analizar la planta de manufactura con la finalidad de identificar las restricciones que impiden satisfacer las demandas requeridas. Esta investigación se enfocó en uso de la teoría de restricciones (TOC) para identificar las opciones de mejora en la línea productiva.

Sierralta, Naileth (2010, Venezuela) presento la tesis “mejoramiento del nivel de producción de las maquinas empaquetadoras en la empresa Mavenga, Barquisimeto, estado Lara”. La tesis tuvo como objetivo mejorar el nivel de producción de las maquinas empaquetadoras con la finalidad de elaborar productos de calidad que puedan competir en el mercado de hoy. Esta investigación se enfocó en el uso de herramientas de ingeniería industrial (paretos, DOP, causa efecto) para identificar las principales causas que ocasiona el nivel bajo de producción.

Rincon Garcia, Javier (2009, España), Presento la tesis “análisis mejora en los procesos de gestión de un parque de maquinaria”. La tesis tuvo como objetivo principal analizar y proponer planes de mejora para el parque de maquinarias. Esta investigación se enfocó en el análisis de procesos y la identificación de mejoras para proponer cambios en el parque de maquinarias.

Antecedentes Nacionales

Alvarez Reyes, Carla y De la Jara Gonzales, Paula (2012, Lima), Presentaron la tesis “análisis y mejora de procesos en una empresa embotelladora de bebidas rehidratantes”. La tesis tuvo como objetivo la optimización de producción, reducción de costos e incremento de la calidad de la línea de producción de la compañía. Esta investigación se enfoca en el método SMED para la reducción de tiempo en las paradas de planta por mantenimiento, para optimizar la producción.

Castellares Torres, Pedro A. (2009, Lima) Presentó la tesis “Optimización en la planta de beneficio de compañía minera Volcan S.A.A. de unidad de producción Animón, mediante el uso de una celda de flotación Flash”. La tesis tuvo como objetivo principal optimizar y mejorar el circuito de flotación de la unidad minera mediante el uso de celdas Flash. Esta investigación se enfocó principalmente en minimizar los costos operacionales que causaba la remolienda de minerales valiosos, mediante la implementación de celdas Flash y de esta manera reducir el costo operacional de la producción de concentrado producido.

Cordoba Rojas, Frank P. (2012, Lima) presento la tesis “Mejoras en el proceso de fabricación de spools en una empresa metalmecánica usando la manufactura esbelta”. La tesis tuvo como objetivo el diseño de herramientas de manufactura esbelta para optimizar la producción además de demostrar su factibilidad económica. Esta investigación se enfocó en el uso de las herramientas de la manufactura esbelta para eliminar todas las operaciones que no generan valor al producto o procesos

Fernandez Leaño, Dan G y Narvaez Encarnación, Walter I. (2015, Huacho) Presentaron la tesis “Optimización en la flotación para aumentar la recuperación

de plomo-plata en la unidad minera Uchucchacua”. La tesis tuvo como objetivo principal proponer innovación tecnológica para mejorar la recuperación de concentrados de plomo-plata. Esta investigación se enfocó principalmente en hacer un cambio del método de flotación de minerales, para disminuir el tiempo de residencia en la celda y aumentar la recuperación de plomo-plata.

Palomino Delgado, Nestor J. (2004, Lima) Presentó la tesis “Optimización de los procesos y operaciones metalúrgicos en compañía minera Caraveli S.A.C”. La tesis tuvo como objetivo mejorar y optimizar la capacidad de las instalaciones existentes, para un mejor rendimiento de procesos para una reducción de costos. Esta investigación se enfocó principalmente en encontrar las capacidades instaladas existentes que no están siendo utilizadas para mejorar el proceso de tratamiento de minerales.

ESTADO DEL ARTE

Las empresas que cuentan con áreas de explotación y producción de concentrado de minerales, pertenecen al sector: minería, petróleo y gas. Siendo esta una actividad primaria, ya que recolecta y transforma los recursos naturales, junto con la ganadería, agricultura, explotación forestal y la pesca.

Muchas empresas mineras, tienen plantas concentradoras, ya que es aquí en donde se obtiene el concentrado de mineral. Otras poseen refinerías o fundiciones que permiten purificar aún más el metal que se extrae.

En el artículo científico **“Teoría de restricciones aplicada a empresas manufactureras y de servicios”** (Penagos, Acuña, & Galvis, 2012), los autores tratan de presentar conceptos que sustentan el TOC para la toma de decisiones en aspectos críticos de la empresa. Explican también que el TOC se basa en la teoría de sistemas, es decir que todo tiene un objetivo o propósito.

Los investigadores aplican los siguientes pasos, para tener un proceso de mejoramiento continuo:

1. Identificas las restricciones del sistema
2. Explotar las restricciones del sistema
3. Subordinar cualquier otra cosa a la decisión anterior
4. Elevar las restricciones del sistema
5. Volver al paso 1, si la restricción es superada.

Finalmente los autores, después de la implementación es una empresa de manufactura, reducen los atrasos de 50% a 1%, incrementan las ventas en 22% la utilidad neta en 12%.

Como conclusión, los autores afirman que es necesario que los gerentes tengan clara la meta de la empresa, ya que esto ayudara a la toma de decisiones y sugieren que TOC es un principio básico para la gerencia y buen manejo de procesos.

En el artículo científico **“To better maps: A TOC primer for strategic planning”** (Gupta, Boyd, & Sussman, 2004), proponen el uso de TOC como parte del planeamiento estratégico de una empresa ya que apoya a los gerentes a formar sus mapas estratégicos para la compañía. Los autores comentan que manejar y mejorar el sistema la empresa, requiere de cambios de procesos en tres niveles: La Mentalidad del negocio, las Medidas que controlan las áreas funcionales y la Metodología que se usa para gerenciar los recursos y mejorar los procesos. Los investigadores sugieren que hay que poner mayor esfuerzo en estas “3 M’s” ya que son la clave para gerenciar los recursos y mejorar los procesos.

Se comenta también la aplicación de la teoría de restricciones, al planeamiento estratégico en base a las preguntas “¿Que Cambiar?” y “¿Cómo hacer el cambio?”.

En el artículo científico **“Teoría de las restricciones (TOC) y la mecánica del throughput accounting (TA). Una aproximación a un modelo gerencial para toma de decisiones: Caso Compañía de cementos Andinos S.A.”** (González & Escobar, 2008), los investigadores proponen en este paper, como un modelo de decisión propuesto por TOC y TA, sirve para maximizar las utilidades en base a las decisiones que tome el gerente.

Los autores comentan que la meta de todo negocio es ganar dinero, pero como sostienen los autores, de no tener restricciones las utilidades serian infinitas, es por este motivo que siempre existirán las restricciones. El autor comenta que existen dos tipos de restricciones principales:

1. Restricciones por proceso: Son aquellas que se presentan cuando un proceso u operación en la compañía posee insuficiente capacidad para satisfacer la demanda.
2. Restricciones por políticas: Estas se dan cuando la plana gerencial o los sindicatos de trabajadores, le ponen límites a la capacidad de producción.

Por último el autor define una tercera restricción, como aquella que se da por falta de recursos o materia prima.

En el artículo se menciona que hay tres medidas básicas para medir el desempeño de un negocio, estas son: **Throughput Accounting (TA), Retorno de la inversión (ROI) y el flujo de caja.**

El throughput accounting se define según Goldratt (Goldratt, 1996), como el inventario, gasto operacional y ganancia.

El inventario que son materias primas y como es mencionado por el autor también debe de considerar el terreno o maquinas que inciden en la creación de valor a futuro.

El gasto operacional es definido como aquel gasto que se tiene que realizar para que exista ganancia, incluyendo los costos de mano de obra directa y los costos indirectos de fabricación (Goldratt, 1996).

Por último la ganancia, es la diferencia entre lo que se ha vendido y los costos operacionales de producción. Dentro de los costos operaciones se encuentran los impuestos, seguros, fletes entre otros (González & Escobar, 2008)

Finalmente el Retorno por inversión (ROI) se define por la siguiente formula:

$$ROI = \frac{Ganancia - Gasto Operacional}{Inventario}$$

Finalmente, el autor implementa los pasos de la teoría de restricciones en la compañía "Cementos Andinos S.A.", y logra encontrar como restricción una mala política de la empresa en el uso de los hornos. Luego de elevar la restricción y realizar los cambios correspondientes, el autor pudo observar que hubo un margen de utilidad adicional de 5 millones de dólares.

El autor concluye el TOC y TA, como herramientas gerenciales para la toma de decisiones, permiten una mejora continua y ganar competitividad frente a sus competidores.

En el artículo científico **“Using Theory of Constraints to Control Manufacturing Systems: A Conceptual Model”** (Panizzolo & Garengo, 2013), los autores realizan una comparación entre el TOC, MRP y JIT, con el fin de encontrar las principales relaciones y diferencias que existen entre estos sistemas de control.

La primera comparación que realizan los investigadores, sugiere que el uso de la teoría de restricciones brinda resultados mucho más eficientes que el de MRP debido a que este último solo brinda apoyo para la lista de material (MRP) y la estructura de procesos, es decir cuál es el camino o ruta que debe seguir el producto.

En cuanto a la comparación entre el TOC y el JIT, los autores que ambas técnicas ofrecen la misma mejoría para el área planificación, pero después de realizar simulaciones con ambas se observó que TOC proporciona una mejor planificación cuando se trata de una estacionalidad de mucha variabilidad, mientras que JIT, para cuando la estacionalidad no es tan variable.

Finalmente los autores concluyen que la efectividad del proceso, independientemente de si es por TOC, MRP o JIT, dependen de la importancia de medir o controlar cada actividad relacionada al proceso productivo. Finalmente incluyen la importancia de los supervisores o jefes, llamados dueños del proceso, ya que ellos determinan que tan productiva es la línea de producción.

En el artículo científico **“The theory of constraints as a manufacturing strategy: a case study in a small manufacturing company”** (Pozo, Tachizawa, & Luiz Soarez, 2012), los autores prueban la teoría de restricciones en una compañía pequeña, con el fin de probar que la teoría no ve a las organizaciones como un conglomerado de distintos procesos, sino más bien como un sistema integrado o una cadena sincronizada en donde cada eslabón es capaz de crear sinergia para la compañía. Para los autores TOC puede ser definido en 3 niveles:

1. Manejo de producto: Que permite la resolución de problemas, de cuellos de botella, planeamiento e inventarios

2. Análisis de procesos: que permite revisar y mejorar los procesos no solo de los sub-sistemas sino de todo el sistema, y permite, en términos estadísticos, controlar la variabilidad del proceso.
3. Aplicación general de TOC: que está enfocado en los problemas variables de los procesos y que permite identificar qué factores son los que frenan a la empresa, en cuanto a cumplimiento de metas se refiere.

Finalmente los autores aplican la teoría de restricciones a una pequeña planta metalúrgica, ubicada en la ciudad de Campo Lindo, Brasil. Después de que realizaron un análisis de demanda y de la estructura de la planta se pudo definir que le faltaba capacidad en el área “b”. Una vez subordinada la restricción se pudo obtener una utilidad de 84,000 dólares.

Como conclusiones finales, los investigadores afirman que TOC es bueno para controlar las causas y controlar los efectos que generan las restricciones, sin afectar el flujo de producción. Así mismo, definen que TOC proporciona nuevas formas de mirar los problemas antiguos, identificando soluciones innovadoras para enfrentar las restricciones.

En el artículo científico **“A framework to simplify the management of throughput and constraints”** (Cambitsis, 2012), el autor sugiere que para la toma de decisiones, se debe tener como prioridad el mejoramiento del negocio, tomando en cuenta que un cambio en un área, puede cambiar todo el sistema.

El autor define que para visualizar el modelo de negocio de una empresa es necesario un “value driver Tree” que traducido significa “árbol de factores clave”, este tipo de imagen o figura, permite identificar que o cuales son los valores que generan impacto en el negocio y que los accionistas toman en cuenta. Este árbol es de mucha utilidad pues:

1. Es visualmente atractivo
2. Muestra como existe un vínculo entre áreas (por ejemplo: operaciones y mantenimiento) genera una métrica de valor

Para el caso de las empresas mineras el autor define una unidad básica de producción, que está dada por la siguiente ecuación:

$$\text{Cantidad producida} = \text{Tasa de producción} \times \text{tiempo neto de producción}$$

Después de realizar esta definición, el autor comenta que el tiempo neto de producción se define en dos sub-tiempos: tiempo disponible y retrasos operativos. Para aumentar el tiempo disponible se debe de planificar mejor los retrasos operativos, estos retrasos se definen como:

1. Retrasos Internos: son aquellos retrasos que se dan por falta de operadores.
2. Retrasos externos: aquellos que se dan por problemas externos como el mal clima
3. Retrasos consecuentes: son aquellos que por consecuencia de algo no pueden darse, por ejemplo incrementar el flujo de entrada de un molino cuando este ya está saturado o lleno.

Teniendo en cuenta esto el autor sugiere que para incrementar la cantidad de producción se debe de tener más disponibilidad de equipos es decir aumentar la utilización de cada uno de estos con el fin de generar más valor.

Finalmente el autor indica que existen 3 beneficios de este tipo de acercamiento usando el árbol de factores clave:

1. Se puede determinar qué actividad tiene la menor capacidad y por lo tanto sea el posible cuello de botella.
2. Se puede mostrar cuanta producción ha sido perdida por el cuello de botella tanto procesos anteriores como procesos posteriores
3. Se puede observar el efecto que genera el cuello de botella más allá de los factores productivos (hablando de ganancias o utilidades)

Como conclusión el autor destaca que enfocarse en aumentar el throughput o tasa de procesamiento en una compañía minera es una manera muy efectiva de generar valor porque:

1. Un cambio porcentual en el throughput, genera el mismo valor que hacer un cambio en los costos
2. Existe generalmente un valor que no es considerado en la utilización de equipos, por la interdependencia del flujo de mineral.

En el artículo científico “**A model for continuous improvement at a south african minerals beneficiation plant**” (Ras & Visser, 2015), los autores describen la importancia de la minería en Sudáfrica debido a la variedad de recursos minerales y de plantas de beneficio que están actualmente en operación. Comentan también que es importante el manejo efectivo de estas plantas pues así se asegura que los productos sean internacionalmente competitivos. Para esto los autores propondrán un modelo basado en lean manufacturing, six sigma, y teoría de restricciones, cabe resaltar que la mayoría de gerentes prefiere una combinación de todas estas herramientas antes que utilizar una sola.

Los autores comentan que actualmente las plantas concentradoras son sistemas complejos muy diferentes a empresas de ensamble o manufactura, por las siguientes razones:

1. Restricciones: en el mundo minero las plantas concentradoras son el cuello de botella, esto se da por el consumo de energía, capacidad restringida o poca mano de obra
2. Alto capital de inicio: Las plantas de procesamiento son extremadamente caras al inicio y poseen un costo muy alto de operación y mantenimiento
3. Proceso continuo: solo se realizan paradas de planta cuando estas están programadas, debido a que estas son largas y se necesita mucho tiempo, usualmente entre 4 a 7 días
4. Mercado comprimido: En el mercado en el que nos desenvolvemos actualmente, se busca el mejor metal a un menor precio y mayor pureza.

Los investigadores, argumentan que a pesar de que existen varias herramientas de mejora continua, estas son utilizadas mayormente en plantas de ensamble o de manufactura y no es plantas de proceso continuo, es decir la aplicación de estas herramientas de mejora, deben ser vistas desde un punto de vista del negocio de procesamiento de minerales.

El problema principal que se encuentra es que este tipo de herramientas no pueden ser aplicadas de manera directa y se les debe de realizar unas pequeñas modificaciones.

Por lo tanto los autores proponen la creación de un nuevo modelo de mejora pues algunos de los pasos de las herramientas de mejora continua no son aplicables a minería como se muestra en el cuadro siguiente:

	Six sigma (5S)	Theory of constraints (TOC)	Lean manufacturing (LM)
Principle	Continually reducing defects	Constraint optimisation	Ceaseless elimination of waste
Application	Manufacturing - quality	Manufacturing - throughput	Manufacturing - optimisation
Incompatibility	<ul style="list-style-type: none"> • Reliance on data • Quality focus • Analysis-driven 	<ul style="list-style-type: none"> • Focus on fixed cost dilution 	<ul style="list-style-type: none"> • Pull model • Quality focus • Systems approach

Figura 3: Análisis de metodologías para minería

Fuente: Ras & Visser, 2015

Es por este motivo que los autores plantean la creación de un nuevo modelo de mejora, presentado en la siguiente figura:

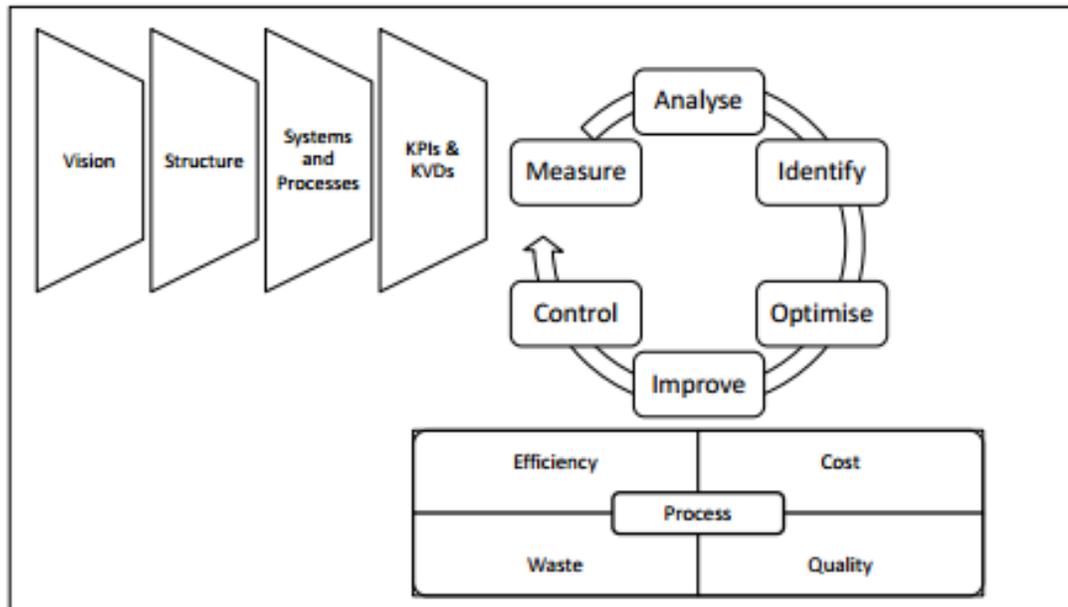


Figura 4: Modelo de mejora hexagonal propuesto para plantas de beneficio de mineral

Fuente: Ras & Visser, 2015

Este modelo propuesto por los autores (Ras & Visser, 2015), está basado en identificar un caso de negocio que represente mejoría a la compañía. Llamado “Hexagonal improvement model” (HIM) o modelo hexagonal de mejora, es una combinación de las herramientas de mejora continua estudiadas que puede ser aplicado a plantas concentradoras.

Este modelo propuesto se basa en 6 pasos críticos para alcanzar la mejora continua:

1. Medir: Se debe medir procesos específicos y sus variables, el propósito de medir es obtener, organizar y representar datos que nos permitirán revisar cómo está el proceso actual
2. Analizar: En la plantas de procesamiento de mineral hay varias variable que afectan el proceso ya que existen procesos que interactúan entre sí. Este paso sirve para saber que variables afectan el proceso por sí mismas.

3. Identificar: Una vez realizado el análisis se procede a identificar cuál de las variables es la que tiene el impacto más significativo en el proceso.
4. Optimizar: Consiste en optimizar la variable con el fin de solucionar los problemas encontrados que afecten el proceso en las plantas de beneficio
5. Mejorar: A diferencia del paso anterior, este busca mejorar la variable y no solo estabilizarla. Esto se busca mediante innovación metalúrgica o tecnológica.
6. Controlar: El paso final en el modelo propuesto por los autores, es controlar la variable para monitorearla efectivamente genere buenos resultados.

Finalmente este tipo de modelo de mejora continua fue probado por los investigadores en una fundición en Sudáfrica llamada: “South african Ferro-Alloy smelter”, obteniendo resultados significativos, pero más importante demostrando que el modelo puede ser aplicable satisfactoriamente en un entorno metalúrgico.

En el artículo científico **“Practical application the theory of constraints: experience and challenges of Russian companies”** (Kaspina, 2015), El autor rescata la importancia que tuvo la aplicación de la teoría de restricciones durante la crisis económica que hubo entre 2008-2009. Este artículo se basa principalmente en compañías rusas que implementaron o están implementando TOC y los resultados que estos han dado.

Se presenta un cuadro en donde esta se puede ver la aplicación de teoría de restricciones por sector económico:

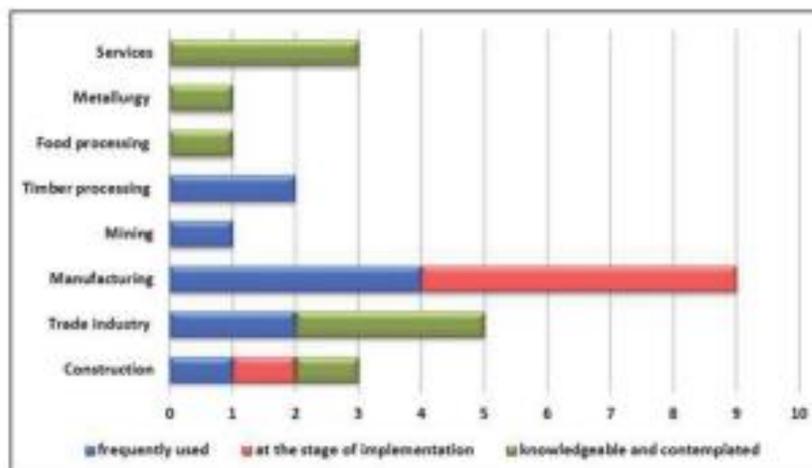


Figura 5: Uso de TOC en diferentes tipos de compañías

Fuente: Kaspina, 2015

Se puede observar que la mayoría de empresas que aplicaron TOC, son del sector manufactura, después le siguen las empresas de trade, construcción servicios. Finalmente si juntamos minería y metalurgia seguirían en el ranking.

Después de realizar un estudio de como las empresas rusas mejoraron sus indicadores después de la implementación de TOC, los investigadores obtuvieron el siguiente cuadro:

Key indicator	Before implementation of TOC	After implementation of TOC
Panel A. Sovitalprod mash CJSC (machinery)		
Sales	20 million dollars	70 million dollars
Inventory turnover	60 days	12 days
Term deliveries	60 days	7 days
Capacity utilization	5 %	70 %
Panel B. LPK Continental Management LLC (timber processing)		
Cycle times	long	reducing cycle times up to 75%
Level of availability of products in warehouse	lack of a number of need positions and excess of other positions	increasing in the availability of products in warehouse - up to 95%
Panel C. ERGIS Group LCC (wholesale)		
Shipping	was delayed for 14-21 days	trouble-free
Volume of filled orders	60 %	99 %
Sales vs. market level	lower than market level	increased by 10 % with an overall market falls by 35 %

Figura 6: Resultados de la implementación de TOC

Fuente: Kaspina, 2015

Finalmente el autor (Kaspina, 2015) concluye que la implementación de TOC se dio, en la mayoría de casos, en empresas manufactureras (36%), y que gracias a la implementación de esta herramienta de calidad, hubo mejorías en las áreas de inventario, utilización de capacidad y volúmenes de producción.

En el artículo científico “**Analysing the benefits of value stream mapping in mining industry**” (Kumar, 2014), el autor empieza resaltando la importancia del sector minero en la economía mundial y que en los últimos años se ha visto un crecimiento en términos de cantidad y valor en muchas compañías mineras. Muchas de estas compañías han integrado metodologías de lean y six sigma como herramientas de mejora, el “value stream mapping” o correcciones de flujo nació como la herramienta preferida para la identificación de mejora de procesos.

El autor genera un marco de actividades que se debe de considerar en el Value stream mapping para tener en cuenta cuales son las áreas o actividades que más generan valor a la compañía, esto es presentado en la figura siguiente:



Figura 7: Procesos operativos y administrativos en la industria minera

Fuente: Kumar, 2014

Después de identificar las actividades clave, realiza un mapa de procesos con el fin de identificar cuales actividades dependen de otras, y así poder asignar responsables, actividades y tiempos, esto se observa en la figura siguiente:

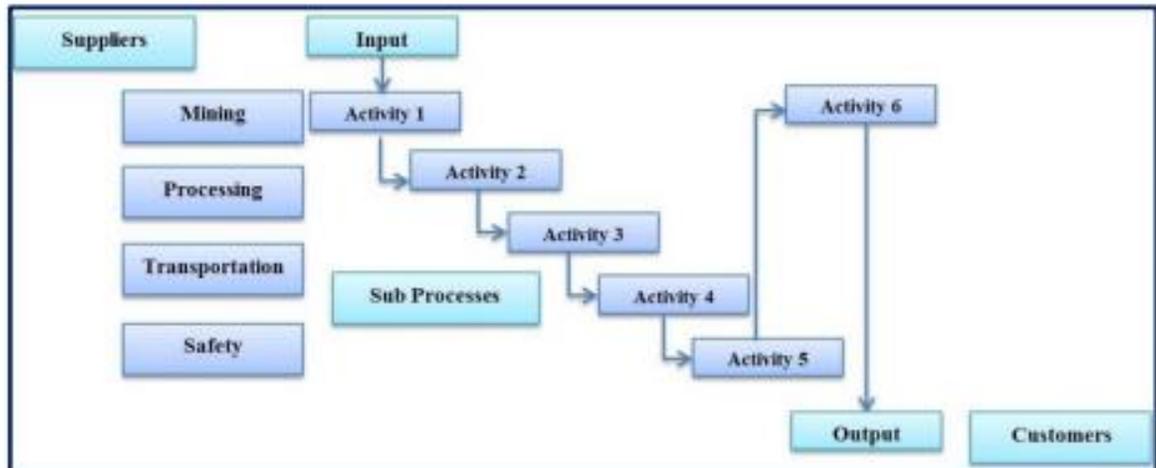


Figura 8: Ejemplo visual de un mapa de procesos

Fuente: Kumar, 2014

Gracias a que cada compañía minera es diferente existen diversas áreas en donde se pueden hacer mejorías, todo esto basado en las necesidades estratégicas de cada compañía.

El autor concluye, que si uno quiere aplicar los principios lean en la industria minera, debe de entender que las operaciones dependen de muchos factores que no son controlables, pero a pesar de esto, los principios lean tienen potencial de ser aplicados exitosamente en la minería. El autor sugiere que no se debe pensar en Lean, solamente como cambios de proceso, sino también como cambio en la cultura de la compañía (Kumar, 2014).

MARCO TEÓRICO

Marco Histórico

La minería según Roque Benavides, (Benavides, 2013), ha sido fundamental para el desarrollo de la economía peruana sin embargo su función ha ido variando de tiempo en tiempo al igual que su importancia. En la época inca, el rol de la minería era un rol ornamental, aquellos considerados como metales preciosos eran usados por la elite religiosa y política, pero no se consideraban como pagos que se debían de realizar al gobierno.

Tras la conquista de los españoles, la minería se convirtió en un soporte muy importante para el virreinato, es por esto que se acumularon, durante los siglos XVI y XVII, grandes cantidades de oro que sirvió como fuente de riqueza a la corona española, pero a pesar de esto la minería se detuvo por un tiempo para luego ser retomada luego de la instauración de la república.

En la actualidad, la minería constituye uno de los pilares más importantes del Perú, ya que nuestro país ha logrado un sitio importante en la producción minera mundial de cobre, zinc, estaño, plomo y oro

MINERAL	LATINOAMÉRICA	MUNDO	RESERVA	%
PLATA*	1	1	4,485,258	24.47%
ORO*	1	6	84,457	4.6%
COBRE	2	3	80,745	11.2%
ZINC	1	3	24,997	12.7%
PLOMO	1	4	6,294	7.1%
MOLIBDENO	2	2	2,856	21.6%

*En este caso las cifras están en miles de onzas finas.

Figura 9: Posición del Perú en el ranking de reservas metálicas

Fuente: US Geological survey report 2016

Importancia de la minería para la economía del país

La industria minera ha jugado una parte importante en la historia del reciente crecimiento de Perú, sobre todo en términos de exportaciones, de producción, de inversión, y como fuente de recursos para financiar el gasto que realizan los gobiernos en algunas regiones del país. Según una evaluación publicada por McKinsey & Co. en el 2013, la industria minera en Perú tiene costos competitivos y cuenta con operaciones modernas y una gran presencia de empresas internacionales (Melero, y otros, 2013).

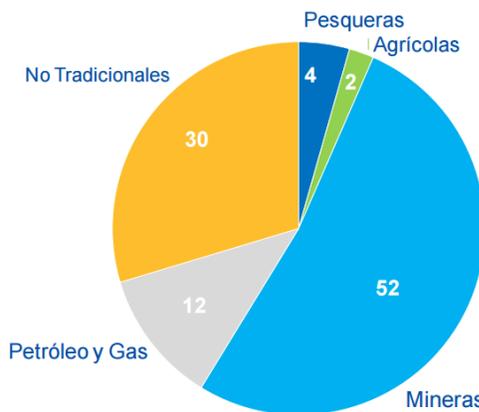


Figura 10: Participación en el valor de las exportaciones

Fuente: BBVA research 2015

Así mismo según el BBVA (BBVA, 2015), el Perú posee el 10% de las reservas de cobre del mundo, dándole un beneficio competitivo intrínseco.



*Hay un rubro otros que representa el 13% de la producción mundial de cobre.

Figura 11: Participación en las reservas mundiales de cobre

Definiciones

Luego es importante mencionar algunas definiciones relacionadas al ámbito minero:

Geología.

La ciencia geológica, según la RAE (RAE, 2016), define el termino como la ciencia que estudia, en forma exterior o interior el globo terrestre, la naturaleza de las materias que los componen su formación, los cambios o alteraciones que estas han sufrido desde su origen hasta el estado actual.

Yacimientos.

Según el servicio geológico mexicano (SGM, 2014) un yacimiento se conoce como aquella parte de la corteza terrestre, que debido a proceso geológicos, ha habido la acumulación de materia prima (mineral), la cual por sus características, es rentable para su futura explotación.

Mineral.

Un mineral según la SNMPE (SNMPE, 2014), es aquella sustancia que se genera en la capa rocosa de la tierra y se caracterizan por tener una estructura y una composición química bien definidas

Mena.

Según CODELCO (CODELCO, 2016), se define mena como aquellos minerales localizados en las minas, que pueden ser extraídos y que reportan un interés económico.

Ganga.

Según CODELCO (CODELCO, 2016), la ganga son los minerales sin valor económico y que acompañan a los elementos metálicos que se recuperan en el proceso metalúrgico

Minería.

Según la RAE (RAE, 2016), minería es el arte o acción de laborear o trabajar las minas. Bajo este concepto se define minería como la actividad primaria que trabaja los recursos de la tierra para obtener un producto final.

Según la Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía - SNMPE (SNMPE, 2014), es la actividad productiva mediante la cual se identifican yacimientos, se extraen y luego se procesan con el fin de obtener un producto final.

Tipos de explotación minera.

Dentro de la actividad minera existen dos tipos de explotación de zonas mineralizadas.

Tajo abierto.

La minería a tajo abierto según la SNMPE (Sociedad Nacional de Minería, 2011), es un método de minado para la extracción de minerales que se realiza cuando los yacimientos son de gran tamaño y están ubicados cerca de la superficie



Figura 12: Tajo abierto - Mina Chuquibambilla CODELCO

Fuente: Codelco - Chile

Subterranea.

La minería subterránea según la SNMPE (Sociedad Nacional de Minería, 2011), es la extracción de minerales a través de diversos métodos ingenieriles debajo de la superficie terrestre.



Figura 13: Mina Subterranea – Atacocha

Fuente: Compañía minera Atacocha

Metalurgia

Según la SNMPE (SNMPE, 2014) se define metalurgia, como la ciencia que se encarga de la concentración, refinamiento y la transformación de los metales.

Ley de mena.

Según Codelco (CODELCO, 2016), la ley es el contenido de determinado metal en la mena, expresado en %, PPM o en gramos por tonelada (g/t)

Chancadora Primaria.

Según (SPCC, 2016), la chancadora primaria, es aquella máquina que permite chancar y reducir el tamaño del mineral con el fin de ser enviado a la molienda.

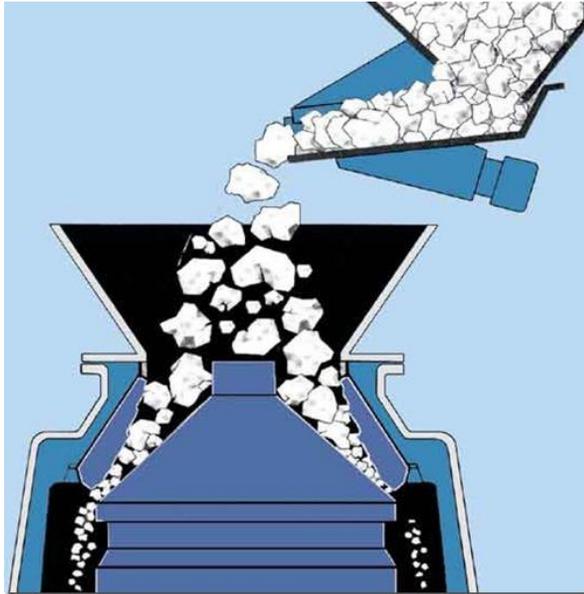


Figura 14: Chancadora Primaria – Conica

Fuente Metso Minerals

Molienda.

Según (SPCC, 2016), es aquel proceso en donde se busca reducir el mineral a partículas muy pequeñas, por medio de presión o impacto. Existen varios tipos de molienda entre las más comunes, molienda Semiautogena (SAG), molienda de bolas y molienda de barras.



Figura 15: Molienda de Bolas

Fuente: Volcan – Compañía minera



Figura 16: Molienda Semiautógena (SAG)

Fuente: Compañía Minera Antapaccay

Flotación.

Según SPCC (SPCC, 2016), es aquel proceso que se usa para concentrar minerales, en base a la adhesión selectiva de ciertos minerales a las burbujas de aire en una mezcla de agua con mineral molido, en donde se agregan ciertos reactivos.



Figura 17: Celdas de Flotación

Espesamiento.

Según SPCC (SPCC, 2016), es aquella máquina que sirve para sacar el agua de una pulpa o concentrado, aumentando el porcentaje de sólidos, mediante sedimentación.



Figura 18: Espesador

Concentrado de mineral.

Según Southern Perú Copper Corporation (SPCC), (SPCC, 2016), lo define como un producto de la concentradora que contiene un % de mineral mucho a mayor a los de la mena. Es la materia prima para la fundición.



Figura 19: Almacén de concentrados de mineral

Relave.

Según SPCC, (SPCC, 2016), lo define como material de desecho de la molienda, que sale de la flotación.



Figura 20: Relavera de una compañía Minera

La Compañía Minera

La compañía minera, que es parte de este trabajo de investigación, es un complejo minero polimetálico, que actualmente produce concentrados de cobre, zinc, molibdeno y subproductos de plata y plomo. La mina está ubicada en el distrito de San Marcos, en la región de Ancash, Perú, aproximadamente a 200 km de la ciudad de Huaraz y a una altitud promedio de 4,300 metros sobre el nivel del mar

La mina es un depósito de skarn polimetálico, de los más grandes y complejos del mundo. El skarn se formó por una intrusión multifase de pórfido de cuarzo monzonita en una roca calcárea anfitriona. El mineral de sulfuro de cobre predominante es la calcopirita. Aproximadamente el ocho por ciento de la mineralización de cobre se encuentra en la forma de mineral sulfuro de cobre, bornita. La plata está normalmente asociada con la calcopirita; sin embargo, también se asocia con la galena, las sulfosales de bismuto y la tenantita.

El zinc y el molibdeno se presentan como los minerales de sulfuro esfalerita y molibdenita respectivamente. Los minerales de bismuto más comunes son la bismutinita, la cosalita, la witichenita, la cuprobismutita, la aikinita, y la cobelita. Se ha identificado aproximadamente 20 minerales de bismuto.

La mina opera en una manera a tajo abierto con una chancadora primaria alimentando la concentradora por faja a través de un túnel de 2.6 km. Las instalaciones de procesamiento fueron diseñadas para procesar mineral a través de un circuito de molienda unifilar y una planta de flotación diferencial convencional.

Se procesan tres tipos principales de mineral, entre ellos minerales de CuMo, CuZn y Bornita. Las campañas para cada uno se programan por separado a través de la concentradora para adaptar los diferentes requisitos de molienda y flotación. Las campañas varían desde unos cuantos días hasta varias semanas, y dependen del plan de producción de la Mina y los requerimientos comerciales.

Proceso de la compañía minera

Para la obtención de minerales primero se realizan los siguientes procesos.

Se empieza con la exploración y perforación, esto permite conocer el tipo de yacimiento que poseemos, así como los minerales que se encuentran en el tajo. Permite también saber cuáles son las reservas de mineral que tiene la mina, esto es importante debido a que debe ser declarado al estado.

Seguidamente luego de identificar los minerales que tenemos, se pasa al minado del tajo en sí, que consiste en la voladura de la roca con el fin de ser transportada a la chancadora primaria. Después la voladura, los fragmentos de roca son cargados por palas eléctricas, en camiones con una capacidad de hasta 400 toneladas, luego estos realizan el acarreo o transporte hacia el destino final, esto depende de si lo que carga es mineral o es desmonte. Finalmente si se trata de mineral lo descargan en la chancadora primaria y si se trata de desmonte lo llevan a los botaderos.

La chancadora primaria se encarga de la reducción de tamaño de la roca hasta un tamaño aproximado de 8 pulgadas, luego es mineral chancado es transportado, a través de una faja hacia unos stock piles o pilas, en donde se separan de acuerdo al tipo de mineral que contengan. Se tiene 3 pilas de mineral, una de Cobre-Molibdeno, una de cobre-zinc y bornita y finalmente una tercera pila que recibe mineral para cuando se realizan los cambios de campaña.

Se le llama campaña al tipo de mineral que va a ser tratado en la planta concentradora, estas campañas duran aproximadamente entre 2 días y una semana, estas dependen netamente de los requerimientos comerciales.

Una vez en las pilas, y con los requerimientos comerciales listos, se procede a enviar el mineral, a la etapa de molienda, donde primero pasa por una reducción de tamaño en la molienda SAG, seguido de los molinos de bolas, en donde se le agrega agua y reactivos formando la pulpa de mineral.

Una vez la pulpa lista se envía al nido de hidrociclones que clasifica las partículas finas de las gruesas, las finas conocidas como over flow son enviadas a

las celdas de flotación, y las gruesas conocidas como underflow son recirculadas a la molienda de bolas.

Una vez la pulpa en la celda de flotación, se le agregan reactivos para poder empezar con el proceso de extracción metalúrgico. Existen 3 tipos de reactivos que se pueden agregar, activadores, depresores y colectores. Estos dependen netamente del mineral y de cuál es el mineral que se desea tener. Adicionalmente se le agrega un espumante permitiendo formarse espuma en la parte superior de la celda de flotación. Las partículas de mineral contenidas en la pulpa reaccionan a los reactivos añadidos convirtiéndolas en hidrófobas, lo que hace que se peguen al aire que se inyecta, formando burbujas que cuando floten serán parte del colchón de espuma de donde se puede obtener concentrado. Existen 3 tipos de flotaciones una rougher o gruesa, que trata de recuperar la mayor de cantidad que se pueda, la flotación scavenger cuya función es recuperar lo poco de mineral que se va al relave y la flotación cleaner o de limpieza, cuya función es darle una mayor ley al concentrado eliminando todas las posible impurezas que pudieron pasar.

Una vez listo el concentrado se procede a enviar esto a los espesadores, equipos circulares con un cono en la parte de la base, que permiten, como su nombre lo indica espesar el concentrado, es decir aumentar el porcentaje de sólidos y quitarles agua, para que esta pueda ser recirculada a la planta. Este proceso se realiza usando floculantes que permiten la sedimentación del concentrado más rápidamente.

Finalmente el concentrado con un porcentaje de sólidos apto es enviado a través del mineroducto hasta el puerto, en donde es almacenado en pilas de

diferentes calidades y queda a la espera de los barcos para ser embarcado.

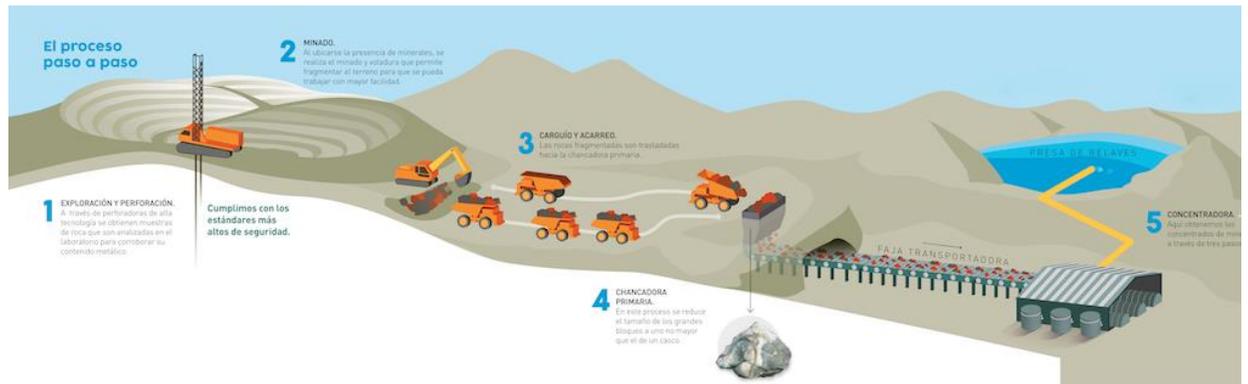


Figura 21: Flujo de producción

A continuación se presenta un diagrama de bloques para un mayor entendimiento:

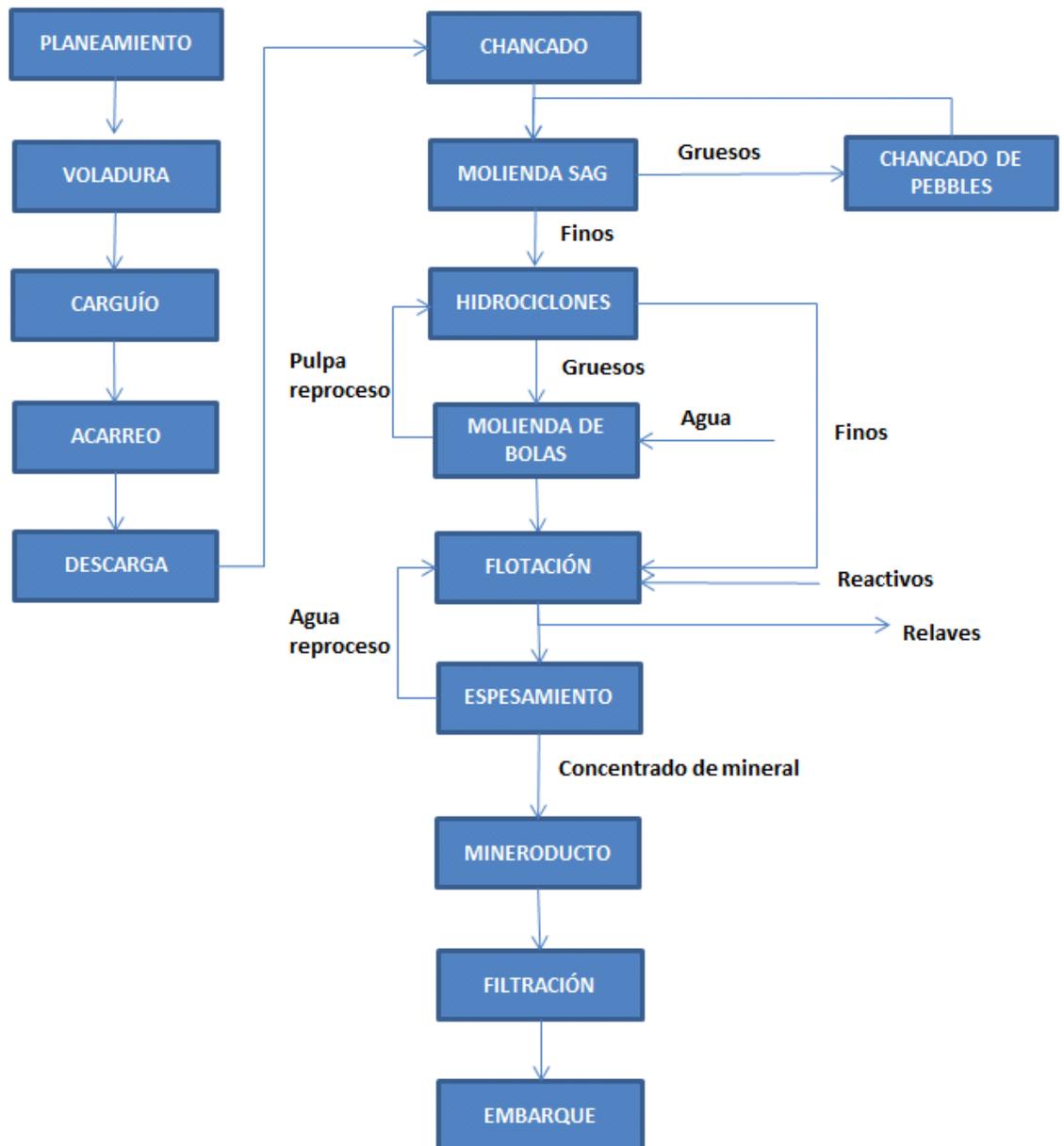


Figura 22: Diagrama de Bloques

Mejora Continua

La mejora continua según (Flores Ripoll, 2010), es una filosofía que intenta optimizar y aumentar la calidad de un producto, servicio o incluso un proceso. En su mayoría se aplica a empresas de manufactura debido a la gran necesidad de la reducción de costos, pero obteniendo la misma calidad de los productos

Según (Flores Ripoll, 2010), existen varias herramientas asociadas a la mejora continua como lo son: Lean manufacturing, Six Sigma, Kaizen, pero de todas se recalca el círculo de deming.

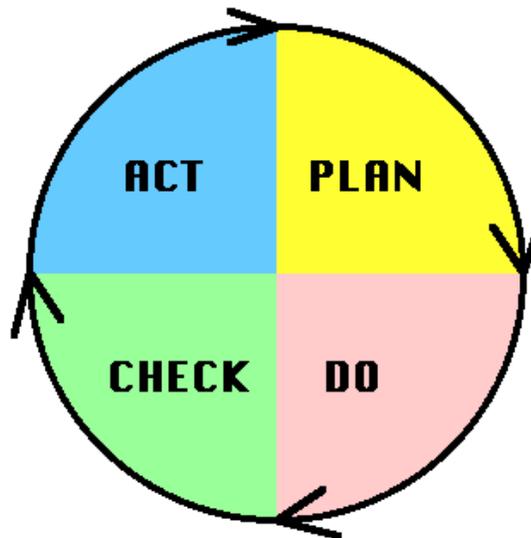


Figura 23: Círculo de Deming

Círculo de Deming

El círculo de Deming o más conocido como ciclo PDCA es una de las herramientas sistemáticas más usadas para la implantación de un sistema de mejora continua.

Según (Bernal, 2013), el ciclo PDCA, creado por Edwards Deming, cuyas iniciales significan en inglés, plan, do, check y act, describe los cuatro pasos que se deben seguir de manera sistemática para lograr la mejora continua, entendiéndose como mejora la disminución de fallos, aumento de la eficiencia o eficacia.

Este círculo lo componen 4 pasos que son cíclicos, debido a que permite, una vez acabo el ciclo, volver a iniciar con el análisis para encontrar nuevas oportunidades de mejoras.



Figura 24: Círculo de Deming

Para la implementación de este ciclo es necesario seguir los siguientes pasos:

1. Plan (planificar): en esta actividad se ubican las actividades que pueden mejorarse y se establecen objetivos, para esto existen diversas técnicas, como grupos de trabajo, lluvia de ideas u otras herramientas de planificación.
2. Do (Hacer): En esta etapa se realizan los cambios propuestos con el fin de implantar la mejora continua, se sugiere primero hacer una prueba piloto a modo de probar el funcionamiento.
3. Check (Verificar): Una vez realizados los cambios, se le da un periodo de tiempo para verificar el funcionamiento, con el fin de corroborar si la mejora cumple con los objetivos planteados en el paso 1.
4. Act (Actuar): Una vez comprobado el correcto funcionamiento, se deben de estudiar los resultados nuevos contra los anteriores a la implantación de la

mejora con el fin de cuantificar los resultados. Si estos son satisfactorios, la mejora se implanta de manera satisfactoria.

Finalmente una vez cumplido el último paso, se debe regresar al primero con el fin de encontrar nuevas oportunidades de mejora.

Teoría de Restricciones

La teoría de restricciones o conocida en inglés como Theory of Constraints (TOC), fue desarrollado por el Dr. Eliyahu Goldratt en la década de 1980 (Leidinger, 2004).

Esta teoría nació como parte de la búsqueda de una solución a los problemas de producción, pero ha ido evolucionando y modificándose incluso para solucionar procesos centrales o problemas diarios.

Según Ronald Leidinger (Leidinger, 2004), la teoría de restricciones se basa en que toda organización nace con una meta y debemos ser conscientes de todas las acciones que tomemos para llegar a la meta planteada como parte de la estrategia de la empresa, estas metas están siendo acotadas o limitadas por las restricciones presentes dentro de la organización, sin estas, los logros serían infinitos.

Existen tres tipos de restricciones:

1. **Restricciones Físicas:** Se da cuando la restricción es tangible y pertenece a un proceso de producción.
2. **Restricciones de Mercado:** este tipo de restricciones es ajena a la empresa se da de acuerdo a la demanda de productos o servicios
3. **Restricciones de Políticas:** este tipo de restricciones cuando la compañía ha tomado decisiones que han cambiado su forma de operaciones y los llevan a resultados ajenos a las metas propuestas

Para la aplicación de la teoría de restricciones se proponen 5 pasos (Añon, 2014):

1. Identificar la restricción del sistema: Se menciona que para poder conocer la capacidad máxima, debemos de conocer que elemento es el determinante para el máximo.
2. Aprovechar al máximo la capacidad de la restricción: Para lograr que la máxima capacidad, la restricción debe estar trabajando a su nivel más alto.
3. Subordinar todos los sistemas a la decisión anterior: Esto quiere decir que se obliga al resto de los recursos o sistema a trabajar al ritmo que marco la restricción que maximizamos en el paso anterior.
4. Elevar las restricciones de la empresa: Consiste en encontrar una solución para incrementar la capacidad de la restricción con el fin de incrementar todo el sistema.
5. Volver al paso 1: Después de realizar los pasos anteriores y eliminar el cuello de botella, el sistema cambia por completo y ahora es cuando se debe de regresar al paso número 1 para identificar la nueva restricción del sistema.

En el artículo científico “Teoría de las restricciones aplicada a empresas manufactureras y de servicios” (Penagos, Acuña, & Galvis, 2012), los autores presentan conceptos que sustentan la teoría de restricciones y que ayudan a las decisiones gerenciales para evaluar los aspectos más críticos de la empresa. Para los autores TOC, ofrece un método de sincronizar la producción, e incluso una forma de mejora continua mientras se realizan las labores diarias, TOC se enfoca principalmente en conseguir mejoras notorias en el flujo de caja, inventarios y el capital de trabajo. También se habla de que la teoría de restricciones tiene como fundamento la teoría de sistemas, que se basa en un fundamento teológico, es decir, que se tiene un objetivo o propósito.

Este artículo concuerda con lo escrito por el Dr. Eliyahu Goldratt (Goldratt, 1996), en donde se comenta que la meta de cualquier sistema industrial, de servicios o comercial es ganar dinero en el presente y ser rentable en el futuro. En palabras de Goldratt se destaca: *“El primer paso es reconocer que el sistema fue constituido para un propósito, no creamos nuestras organizaciones sin ninguna finalidad. Así toda acción tomada por cualquier nivel de la empresa, debería ser juzgada por su impacto global sobre la organización. Esto implica que antes de lidiar con el mejoramiento del sistema, primero necesitaremos saber cuál es la*

meta global del mismo y las medidas que van a permitir que podemos juzgar en el impacto de cualquier subsistema y de cualquier acción local sobre esa meta global”.

Con esto en mente, se puede definir que la teoría de restricciones busca definir el mejoramiento de la empresa con el fin de generar más rentabilidad a la misma, es decir realizando cambios que permitan cuantificar las posibles ganancias al realizar el análisis respectivo como podrían ser, reducción de tiempos muertos, aumento en la utilización de equipos o aumento del throughput para la producción de material terminado.

En el artículo “Un enfoque gerencial de la teoría de restricciones” (Aguilera, 2000), el autor denota que la eficacia empresarial tiene como medida global: tener utilidades a través del tiempo. Menciona también que la empresa funciona como un sistema económico, siempre y cuando tenga un presupuesto continuo y esto alcanza cuando se obtiene una utilidad líquida en periodos largos y cuando esta deja de existir simplemente, la empresa no es viable. De acuerdo al autor, son 6 las medidas operacionales que deben alinearse con la meta de la empresa:

1. El desempeño local medido debe de expresar o estar alineado con la meta de la empresa.
2. Los jefes o gerentes de área deben de conocer el impacto de su gestión a través de medidas
3. Las medidas de desempeño deben ser miradas desde el punto de vista financiero y deben tener prioridad sobre otras medidas
4. Todo control que se realice debe estar enfocado en los desvíos que afecten los resultados
5. Existen formas de desvió: En palabras del autor “Haciendo lo que no debería ser hecho y no haciendo lo que debería ser realizado”
6. En cualquier situación, el responsable es el gestor del proceso.

Six sigma

El six Sigma o seis sigma, según (Arias Montoya, Portilla, & Castaño, 2008) en su artículo científico, es una filosofía de trabajo y una estrategia de enfoque de negocios que se enfoca en un manejo eficiente de datos y metodologías que permite eliminar la variabilidad en los procesos con el fin de alcanzar un nivel de 3 o 4 defectos por millón.

Así mismo definen six sigma como una filosofía que busca obtener mejores resultados, por medio de procesos que permitan reducir los defectos.

Esta filosofía reconoce, que existe una relación entre el número de defectos y los costos de fallos en conjunto con el nivel de satisfacción del cliente. Esta metodología, mide estadísticamente, la capacidad de operar libre de fallos.

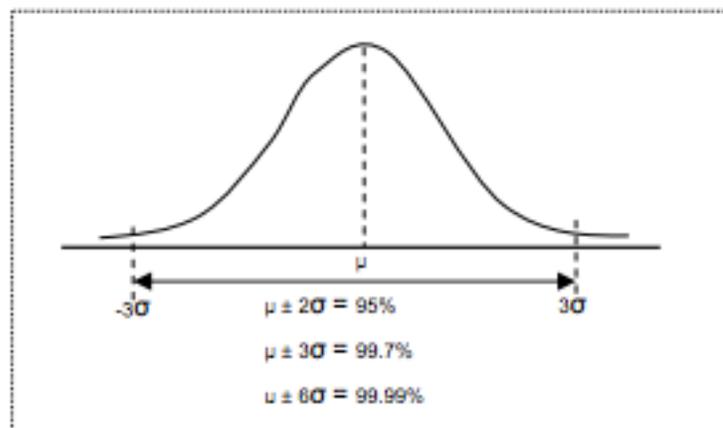


Figura 25: Gráfica de distribución normal

El valor de un sigma nos puede indicar con qué frecuencia pueden ocurrir los fallos o defectos en el proceso.

Según (Gomez & Barrera, 2011), se debe seguir una metodología de trabajo, cuando las empresas requieren diseñar o rediseñar su proceso con el fin de alcanzar el nivel seis sigma. Esta es conocida como la metodología DMADV (Definir, Medir, Analizar, Diseñar, Verificar).

1. Definir: En esta etapa se identifica el producto, proceso o servicio que requiere ser diseñado o rediseñado, para alcanzar un nivel six sigma. Además se definen las metas del proyecto así como las variables internas y externas.
2. Medir: En esta etapa se planea o se mide cuáles son las necesidades del cliente y se definen los requerimientos de una manera cuantitativa y cualitativa.
3. Analizar: Se analizan, revisan y seleccionan las alternativas de diseño o rediseño del producto o proceso, además de revisar de qué manera se reducirán los defectos y las variabilidades del proceso.
4. Diseñar: En esta etapa se desarrollan los detalles del diseño o rediseño del producto, servicio o proceso con el fin de cumplir los requerimientos técnicos para evitar la aparición de fallos o defectos
5. Verificar: finalmente una vez diseñado el proceso, se procede a verificar el producto, servicio o proceso piloto para verificar el cumplimiento de las especificaciones técnicas.

Lean Manufacturing

Según (Hernandez & antonio, 2013), definen Lean Manufacturing es una filosofía, basada en las personas, que define la forma de mejora y optimización de una sistema de producción, enfocándose en identificar y eliminar todo tipo de desperdicios, que son aquellos procesos que usan más recursos de los que deberían o de los que son estrictamente necesarios.

El objetivo final del Lean Manufacturing es generar una cultura de mejoría basada en el trabajo en equipo y en la comunicación. Esta filosofía busca la manera de hacer las cosas más ágiles, flexibles y económicas.

Según (Tejeda, 2011), la metodología Lean Manufacturing incide sobre la sobreproducción, esperas, transporte, inventarios, transporte, desperdicios de procesos y sub utilización de equipos y empleados. Pero además el autor menciona que existe otro aspecto fundamental en la metodología, y es que se

basa en una filosofía de negocio que valora la comprensión de las personas los factores motivacionales que ellos consideran.

Para que el lean manufacturing logre sus objetivos se apoya en las siguientes herramientas:

- Kanban
- Value Stream Mapping (VSM)
- Manufactura celular
- SMED
- Kaizen
- Mantenimiento productivo total (TPM)
- Poka-Yoke
- 5's
- Indicadores

Kaizen

El Kaizen proviene de dos palabras en japonés “kai” que significa Cambio y “Zen” que significa mejora, por lo tanto se puede decir que Kaizen es un cambio para mejorar. Existen dos pilares que sustentan Kaizen, los cuales son los equipos de trabajo y la ingeniería industrial, que se emplean para mejorar los procesos productivos (Atehortua & Restrepo, 2010)

El Kaizen opera sobre 4 principios fundamentales:

1. Principio de restricciones positivas: Implica crear condicionantes que impidan la generación o procesamiento de productos con defectos o fallas
2. Principio de restricciones negativas: este se base en la existencia de cuellos de botella que frenan, impiden o hacen más lento el desarrollo normal del proceso de producción.
3. Principio de enfoque: Este principio se basa en que toda organización tiene un recurso limitado, y la mejor de forma de enfocarlos es en hacer las actividades en las que la organización posee mayor competitividad.
4. Principio de facilitador: es el principio de facilitación de las actividades, proceso o tareas, la automatización y la reingeniería de procesos.

Alrededor de estos principios, se encuentran el Just in time y el Kaizen, esto permite superar las restricciones, mejorar los layouts y los procesos en cuanto a calidad, tiempos y productividad se refiere, permite superar los cuellos de botella haciendo que los recursos se centren en las áreas en donde la empresa posee mayor competitividad.

Además se proponen los siguientes pasos para implementar el Kaizen (Atehortua & Restrepo, 2010)

1. Definir el problema
2. Estudiar la situación actual
3. Analizar las causas potenciales
4. Implementar la solución
5. Verificar los resultados
6. Estandarizar la mejora
7. Establecer futuros planes



Figura 26: Significado de Kaizen

DMAIC

La metodología DMAIC es una filosofía de mejora continua que nace del Six Sigma, sin embargo esta puede aplicarse de manera personal. Es una metodología que tiene como objetivo mejorar un sistema o proceso existente, con

el fin de generar mayor eficiencia o eficacia y reducir los cuellos de botella. (World Class Manufacturing, 2013)

Esta metodología se basa en 5 pasos a seguir:

1. Define (Definir): En este paso se deben de definir el problema, el proceso y los objetivos, con el fin de cuantificar, y dar un valor a la meta u objetivo que deseamos llegar. Algunos prefieren decirle oportunidades de mejora en vez de problemas.
2. Measure (Medir): En esta etapa se debe de empezar a medir o mapear el proceso, ya sea observando o entrevistando. Se deben de medir aspectos claves y recoger datos relevantes que permitan identificar qué factores afectan el proceso que se requiere estudiar.
3. Analyze (Analizar): En este paso se analiza estadísticamente los datos recogidos del paso anterior, se debe tener mucho cuidado con este paso ya que busca explicar la causa o raíz del problema.
4. Improve (Mejorar): Se busca mejorar el proceso, para evitar errores similares, enfocándose en corregir el problema que se encontró en el paso anterior. Un factor que ayuda mucho es trabajar con las personas que conocen del proceso, pues ellos pueden tener una visión diferente para solucionar las cosas.
5. Control (Controlar): En este paso se busca controlar la solución implementada, aquí es donde nace la pregunta ¿se cumplió el objetivo planteado? En esta fase se deben de incluir procesos de control para tomar acciones correctivas si los problemas vuelven a suceder.

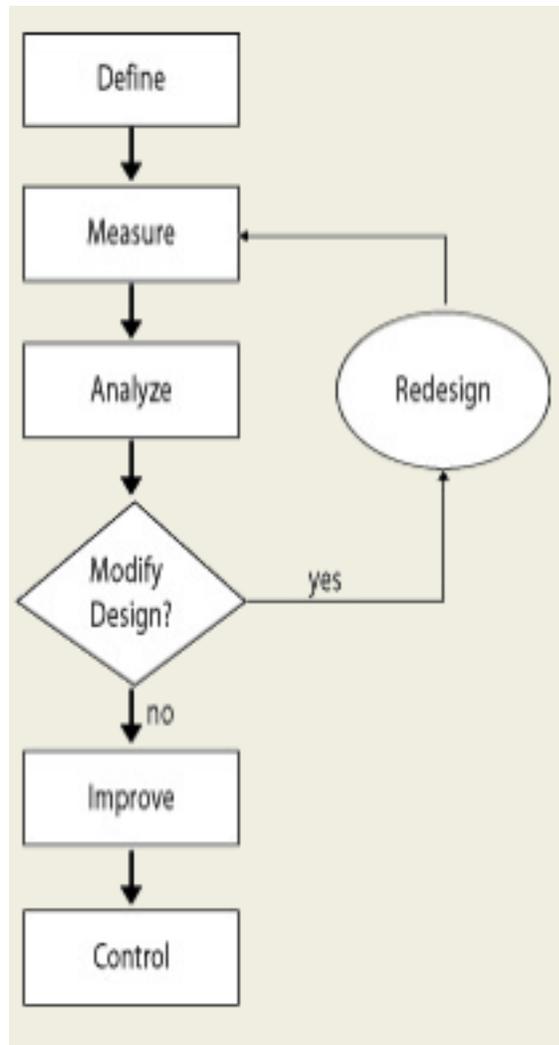


Figura 27: Diagrama de flujo DMAIC

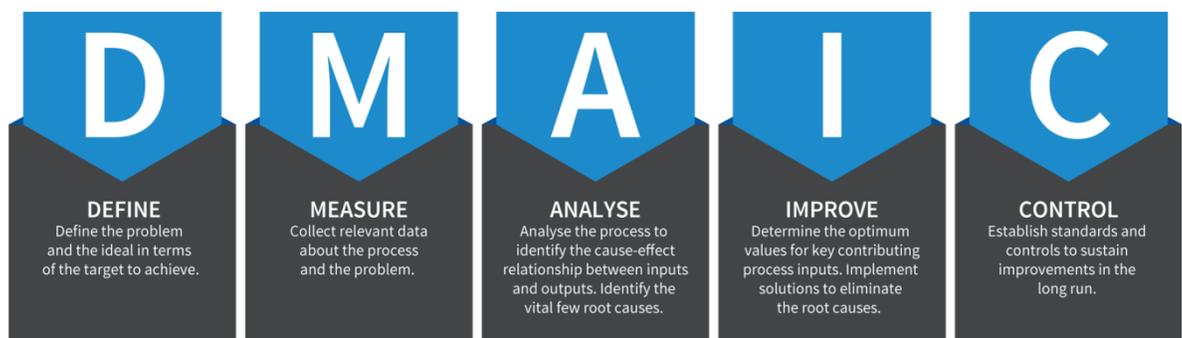


Figura 28: Definiciones DMAIC

Cuellos de botella

Un cuello de botella se refiere a aquellas actividades que disminuyen el flujo del proceso, incrementando los tiempos de espera y reduciendo la productividad del sistema. Como consecuencia esto genera un aumento en costos (Casas, 2014)

Estos cuellos de botella, que se pueden presentar tanto en el personal como en la maquinaria, son aquellos que generan una pérdida considerable de la eficiencia del sistema, debido a varios factores como pueden ser: falta de preparación o entrenamiento, falta de mantenimiento apropiado etc.

También se les conoce como recursos que limitan al sistema de producción. Debido a que existen varias definiciones de cuellos de botella, existen varias definiciones básicas que nos pueden dar una pequeña aproximación:

1. Aquellos puntos de congestión que ocurren en el proceso del producto
2. Aquel recurso cuya capacidad es menor que las demandas exigidas
3. Aquel proceso que limita el rendimiento del sistema
4. Algunos bloqueos temporales que limitan la producción
5. Aquella instalación, maquina, operador o conjunto de procesos que limita la operación
6. Aquella operación que limita la salida de productos

A partir de estas definiciones se puede inferir que existe una diversidad en cuanto a cuellos de botella, y que estos no solo son causando por restricciones físicas, como pueden ser: procesos, instalaciones o recursos, sino que también pueden ser influenciados por otros factores como la función u el operador.

Estos cuellos de botella pueden aparecer temporalmente o ser estaticos, pero una definición común de un cuello de botella es que “algo” limita la tasa de producción o throughput (Yong-Cai, Qian-Chuan, & Da-Zhong, 2015)

Por tal motivo los cuellos de botella, son considerados restricciones o limitantes para los procesos productivos ya que no generan valor para la compañía, es necesario hacer un estudio para identificar oportunidades de mejora

que permitan relevar este cuello de botella con el fin de generar un proceso continuo de bajo costo.

Un cuello de botella necesita atención debido a que se busca que el sistema tenga un proceso continuo, y estos cuellos de botella restringen el flujo de trabajo y causan inventario generando costos mayores a cualquier empresa.

En la mayoría de plantas procesadores los cuellos de botella, son limitadas por los equipos, por lo que para este tipo de rubro se propone el optimización de mejora de equipos (Lean Dynamics LLC, 2011)

Existen varios tipos de cuellos de botella (Timilsina, 2012)

1. Restricción de personas: Existen diferentes tipos de personas trabajando en los diversos procesos de la empresa, desde nivel de educación, experiencia, edad entre otros. Es por esto que se debe de tener en cuenta siempre el factor humano.
2. Restricciones de materiales: La capacidad de producción se ve muy afectada por el mal manejo de inventario, cálculo de demanda deficiente, finanzas inadecuadas entre otros. Estos factores pueden causar un flujo de materiales inapropiado que resulta en una reducción de la capacidad de producción y un aumento en el Lead time.
3. Restricciones de equipos: los equipos de producción deben de cumplir con la demanda del mercado, estos deben ser flexibles para poder alcanzar futuras demandas. Debido a un planeamiento inapropiado, ruptura de máquina, pocos repuestos o mantenimiento inapropiado. Un bajo nivel de disponibilidad de las maquinas o equipos genera un cuello de botella.
4. Restricciones de procesos: las restricciones por procesos en empresas de producción continua se dan por problemas de calidad, recursos insuficientes o poco espacio en la planta. Estas restricciones se pueden dar en cualquier parte del proceso ocasionando que una demora en todo el sistema productivo

5. Restricciones de gestión: una gestión eficiente conllevan a un throughput más alto y por lo tanto a una mayor ganancia, es por esto que se debe tener mucho cuidado con la gestión de la empresa. Ya que el manejo o gerenciamiento debe estar alineados con los objetivos de la empresa, ya que algunas veces el gerenciamiento de la empresa puede causar desmotivación o manejo inefectivo de recursos causando una restricción.
6. Restricciones políticas: las políticas de manufactura deben de cumplir con los objetivos, estos deben estar claramente definidos para poder tomar acciones cuando sea necesario. Generalmente, la gestión no es capaz de definir todos los problemas en una forma específica, esto conlleva a una restricción de la planta. Esta es la restricción más común de todas.
7. Restricciones ambientales: existen diversos tipos de leyes, regulaciones, demandas y expectativas al mismo tiempo que la empresa debe de cumplir para ser socialmente responsable. El retraso o carencia de alguna de ellas, pueden generar un cuello de botella.

OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

Objetivo general

Aplicar el análisis de cuellos de botella para definir el impacto en el incremento de la tasa de procesamiento de mineral

Objetivos específicos

Determinar cuál es la etapa que genera cuellos de botella en la planta de procesamiento de mineral

Determinar cuáles son los tiempos muertos que podrían optimizarse en la etapa donde estén los cuellos de botella

Determinar en cuánto podría mejorarse la tasa de procesamiento en la etapa en donde esté el cuello de botella

Cuantificar la relación costo-beneficio de la propuesta de mejora respecto al incremento del flujo de producción.

JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El mundo minero, el día de hoy, está siendo afectado por la baja de los precios de los metales y la poca inversión en proyectos mineros. En el marco estratégico de la compañía está el mejoramiento competitivo del mismo como productor de metales base, principalmente cobre y zinc. El análisis de cuellos de botella para la planta industrial o planta beneficio de tratamiento de minerales, se ajusta al planeamiento estratégico de la compañía, ya que permitirá un incremento en la tasa de tratamiento de minerales y una posible reducción de costos operativos.

Esta investigación se realiza para identificar si es sustentable el aumento de tasa de tratamiento en la planta concentradora de manera sostenible en el tiempo y a una menor inversión, para mantener la competitividad frente a las nuevas compañías mineras que han empezado como proyectos de expansión que les permitirán tener una tasa de procesamiento mayor. Esta información puede ser útil para saber hasta qué capacidad puede ir la planta concentradora, sin necesidad de un rediseño del proceso de obtención de concentrado, de manera sostenible en el tiempo.

El análisis de cuellos de botella se va a realizar aplicando metodologías que nos permitan identificar holguras en la planta concentradora que se pueden aprovechar, con unos pequeños cambios, para que se pueda producir más concentrado.

Justificación Teórica

El presente trabajo tiene como finalidad demostrar la aplicación de herramientas de Ingeniería Industrial en el campo minero, en este caso la teoría de restricciones para eliminar los cuellos de botella, con la finalidad de incrementar el campo de acción del ingeniero industrial

Justificación Práctica

El presente trabajo buscará crear valor para la compañía minera, con el fin de generar competitividad en el estancamiento en el que nos encontramos, aumentando el throughput y reduciendo las posibles restricciones del sistema de procesamiento de mineral. Además se menciona que el presente trabajo es requisito para optar por el título de Ingeniero Industrial y Comercial.

Justificación Social

El presente trabajo servirá para incrementar el tonelaje de procesamiento de mineral lo que generara más ingresos para la compañía minera, por lo tanto tendrá más aporte a la región de Ancash en donde está ubicada, generando una mejor calidad de vida para los pobladores del departamento de Ancash.

HIPOTESIS

Hipótesis General: Aplicar cuellos de botella incrementa la tasa de procesamiento

Hipótesis General Nula: Aplicar cuellos de botella no incrementa la tasa de procesamiento

Hipótesis 1: Existen etapas que generan cuellos de botella en la planta concentradora

H1 Nula: No existen etapas cuellos de botella en la planta concentradora

Hipótesis 2: Existen causales de tiempos muertos que podrían optimizarse

H2 Nula: No existen causales de tiempos muertos que podrían optimizarse

H3: Existen un incremento en la tasa de procesamiento de mineral

H3 nula: no existen un incremento en la tasa de procesamiento de mineral

Hipótesis 4: la relación costo-beneficio de la propuesta de mejora es aceptable

H4 nula: la relación costo-beneficio de la propuesta de mejora no es aceptable

MATRIZ DE CONSISTENCIA

TESIS: APLICACIÓN DE ANALISIS DE CUELLOS DE BOTELLA PARA INCREMENTAR LA TASA DE PROCESAMIENTO DE MINERAL DE UNA MINERA				
Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología
PG: ¿Cuál será el impacto de la aplicación de análisis de cuellos de botella en el incremento de la tasa de procesamiento de mineral?	Aplicar el análisis de cuellos de botella para definir el impacto en el incremento de la tasa de procesamiento de mineral	Aplicar cuellos de botella incrementa la tasa de procesamiento HN: Aplicar cuellos de botella no incrementa la tasa de procesamiento	Variable independiente: Análisis de cuellos de botella	Tipo: No experimental Método cuantitativo Diseño: Correlacional Población: Datos de 365 días del año 2015 Muestra: No probabilístico por conveniencia Instrumentos: Recolección de datos otorgados por la compañía minera Técnicas estadísticas: Análisis de resultados, Análisis gráficos Tablas de dispersión, Diagramas de Pareto
PE 1: ¿Cuáles son las etapas que generan cuellos de botella en la planta de procesamiento de mineral?	Determinar cuáles son las etapas que generan cuellos de botella en la planta de procesamiento de mineral	Existen etapas que generan cuellos de botella en la planta HN: No existen etapas que generen cuellos de botella	Indicadores: -Tiempo de utilización	
PE 2: ¿Cuáles son los causales de tiempos muertos que generan los cuellos de botella?	Determinar cuáles son los tiempos muertos que podrían optimizarse en el área en donde esté el cuello de botella	Existen causales de tiempos muertos que podrían optimizarse HN: No existen causales de tiempos muertos que podrían optimizarse	-Tonelaje de producción Variable dependiente:	
PE 3: ¿En cuánto podría incrementarse el flujo de producción?	Determinar en cuánto podría mejorarse el flujo de producción	Existe un incremento en la tasa de procesamiento de mineral HN: No existe un incremento en la tasa de procesamiento de mineral	Incremento de la tasa de procesamiento Indicadores:	
PE 4: ¿Cuál es la relación costo-beneficio respecto del incremento del flujo de producción?	Cuantificar el costo-beneficio de la propuesta de mejora respecto al incremento de flujo de producción	La relación costo-beneficio es favorable respecto al incremento del flujo de producción HN: La relación costo-beneficio no es favorable respecto al incremento del flujo de producción	-utilización de equipos -Tonelaje procesado	

Tabla 1: Matriz de consistencia

Fuente:Elaboración propia

MARCO METODOLÓGICO

Metodología

Para este trabajo de investigación se propone un método inductivo, debido a la herramienta que utilizaremos para identificar el cuello de botella para inducir la variable independiente y obtener un impacto significativo en el aumento de la tasa de procesamiento de mineral.

Paradigma

El trabajo de investigación tiene un paradigma positivista, ya que la realidad es objetiva y busca encontrar una relación entre los datos cuantificados

Enfoque

Esta investigación es de tipo cuantitativa, ya que para el análisis se necesita recopilar información histórica para hacer el análisis correspondiente

Método

El presente trabajo de investigación es de tipo no experimental, ya que no manipularemos ninguna de las variables

Es correlacional pues analizaremos la relación que existe entre las dos variables expuestas y como el cambio de una afecta a la otra.

Es Transversal, ya que se analizara información de un periodo determinado para una o más variables

VARIABLES

Variable independiente

La variable independiente es aquel fenómeno al que se le evalúa su capacidad de influir o incidir en otras variables.

La variable independiente de esta investigación es: “Aplicación de análisis de cuellos de botella”

Variable dependiente

Es la variable que sufre los cambios como consecuencia de la variable independiente por parte del investigador:

Para la tesis, la variable dependiente es: “Incremento de la tasa de procesamiento de mineral en una minera”

Variable	Indicador
Independiente: Análisis de cuellos de botella	-Diagrama de Pareto de tiempo muertos de operación -% de utilización de equipos
Dependiente: a tasa de procesamiento de mineral	-Tonelaje procesado por día -% de Utilización de los equipos principales

Tabla 2: Variables

Fuente: Elaboración propia

POBLACIÓN Y MUESTRA

Población (N=365 días (emitido por la planta concentradora))

La población está conformada por todos los datos diarios emitidos por la planta concentradora durante el año 2015.

Muestra

Para el caso de estudio, el muestreo será no probabilístico por conveniencia, debido a que la cantidad de datos es igual a la población total. De todas maneras se incluye la fórmula para el cálculo de la muestra.

Se definirá el tamaño de muestra por método estadístico de tipo aleatorio. A este tipo de muestra se le denomina "Muestra aleatoria".

Se calcula con la siguiente formula:

$$n = \frac{N * p * q * Z^2}{(N - 1) * e^2 + p * q * Z^2}$$

Dónde:

N=Población total

p= Nivel de aceptación (0,5)

q= Nivel de rechazo (0,5)

z= Nivel de confianza (1,96)

n= Muestra seleccionada

Con un nivel de confianza 95% y un error de estimación de 5%

UNIDAD DE ANALISIS

La unidad de análisis de este trabajo de investigación será el tonelaje de procesamiento de mineral. Para esta unidad se medirá en toneladas por día (Ton/Day)

INSTRUMENTOS Y TECNICAS

Instrumentos

Para este proyecto de tesis, se utilizó el instrumento de la encuesta para poder definir, dentro de las principales ramas a tratar para incrementar el throughput, cuáles serán los principales puntos a tratar para poder cumplir con el objetivo del proyecto.

Debido a que la data de utilizaremos, se encuentra en el sistema de información de la compañía minera, no existe un instrumento específico para la recolección de datos, pues estos están disponibles para el análisis. Los datos adjuntos se podrán observar en el Anexo 7: Tabla de Datos-Producción-Molienda-Horas

Se realizaron encuestas para medir la percepción sobre la relevancia de los causales que influyen en el problema:” falta de mineral en la chancadora" En esta encuesta se presentaron los tres principales factores levantados previamente en el diagrama de árbol: Falta de camiones, Rocas grandes y mantenimiento.

PROCEDIMIENTOS Y METODO DE ANÁLISIS

Procedimiento

Para la recolección de datos de proceso de transformación de minerales en concentrado, se conversó con los gerentes de mina y planta de la compañía en la que se basa este estudio. Se profundizó más a fondo con los superintendentes y supervisores senior de la planta concentradora, así como con algunos ingenieros de proyectos, que se encuentran en el área de mejora continua para poder tener una idea de cómo funciona la mina, la planta y como podría mejorarse.

Procedimiento para el Objetivo 1

Se realizó el análisis de la situación actual del flujo de producción, para identificar a través de un diagrama de barras, cual es la etapa que genera mayor cuello de botella. Estos datos fueron obtenidos al visitar la planta concentradora y comparada con los datos históricos del 2015.

Procedimientos para el Objetivo 2

Una vez identificados los cuellos de botella, se realizó un diagrama de Pareto, seguido de un diagrama de árbol para identificar cuáles son los causales más resaltantes que generan tiempos muertos en la zona donde se encuentren los cuellos de botella.

Procedimientos para el Objetivo 3

Una vez identificados los causales principales de la falta de alimentación de mineral, se procedió a calcular en cuanto podría mejorarse el flujo de procesamiento de mineral. Se realizaron cálculos con la data histórica obtenida de la planta concentradora, proporcionada por la compañía minera. Los datos considerados para el análisis fueron:

- Throughput
- Tonelaje que pueden cargar los camiones
- Cambios de guardia
- Tipos de campañas de mineral

Procedimientos para el Objetivo 4

Una vez definido en cuanto podría aumentarse el flujo de producción, se procedió a realizar un análisis de costo beneficio para determinar en cuanto impactaría implementar una de las soluciones propuestas

RESULTADOS

RESULTADOS REFERIDOS AL OBJETIVO 1: Determinar cuál es la etapa que genera cuellos de botella en la planta de procesamiento de mineral

Como se puede apreciar en la siguiente imagen, se procedió a calcular, con los datos del Anexo 7: Tabla de Datos-Producción-Molienda-Horas,, cuanto es el promedio de mineral que puede pasar por cada una de las etapas de la planta concentradora, así como sus valores máximos para definir cuanto sería el límite técnico que podría soportar cada etapa del proceso.

Para el caso de la flotación, al ser este un proceso que no depende del tonelaje sino de la ley con la que ingresa el mineral, se calculó el concentrado que podría producir por hora en base a la ley y a la recuperación.

En cuanto a los valores para los espesadores, se procedió a calcular gracias al dato brindado por la empresa, que el mineroducto tiene una capacidad anual limitada de 2,7 millones de toneladas de concentrado al año.

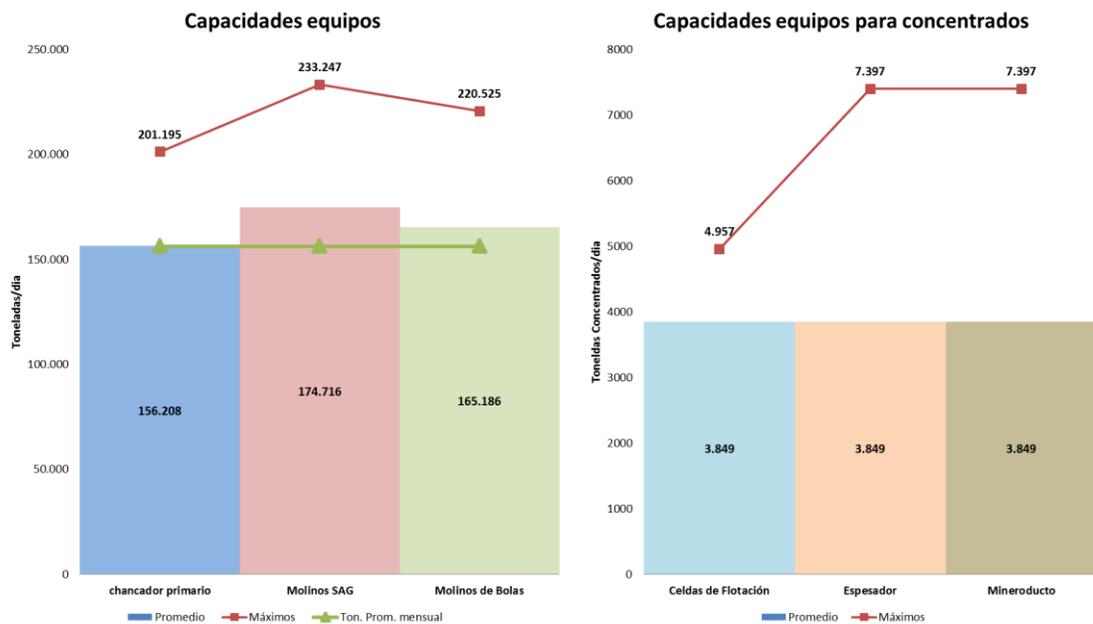


Figura 29: Capacidades máximas por áreas

Luego de identificar que el área de chancado era el área en la que se encuentra el cuello de botella se procedió a graficar el tonelaje chancado por mes y el valor promedio mensual.

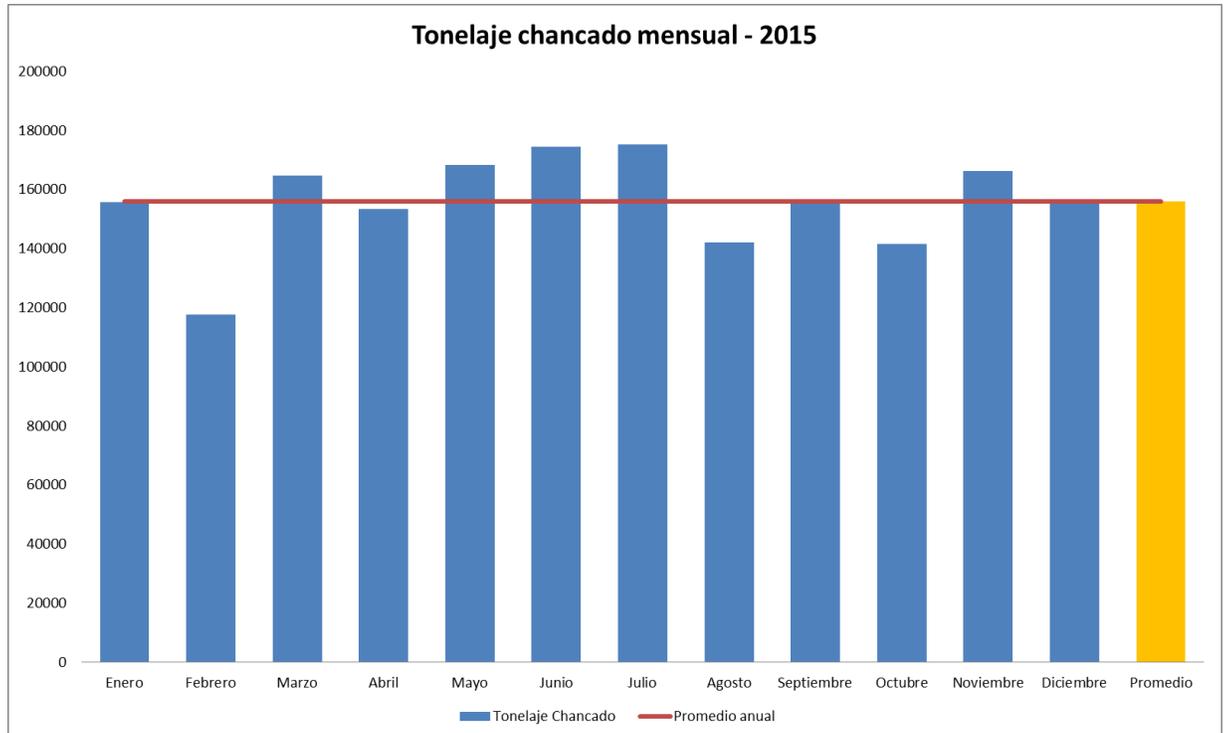


Figura 30: Tonelaje chancado 2015

De acuerdo al gráfico mostrado, se puede ver claramente que la capacidad de chancado puede alcanzar los 160 kt por día.

RESULTADOS REFERIDOS AL OBJETIVO 02: IDENTIFICAR CUALES SON LOS TIEMPOS MUERTOS EN LA ETAPA DONDE SE ENCUENTRA EL CUELLO DE BOTELLA

Análisis chancadora primaria

La chancadora primaria es una máquina trituradora, de gran tamaño, que reduce el tamaño de las rocas, con contenido metálico, que salen de voladura para poder ser ingresados al molino.

La chancadora primaria es una de tipo giratoria de 69'x89', esta chancadora recibe alimentación de la flota de camiones existente en la mina

(existen 120 camiones), para todos los tipos de minerales, y mediante una faja transportadora o, apron feeder como se le conoce en inglés, hacia las pilas apiladoras o stock piles en donde se clasifican según el tipo de mineral que estos poseen.

En la etapa de chancado se realizó en análisis de los eventos que generan paradas y/o tiempos muertos, en donde se recibe alimentación de mineral.

Para esto se generó un diagrama de Pareto con los principales eventos por lo que la chancadora primaria no recibe mineral, como se puede ver en la Figura 31

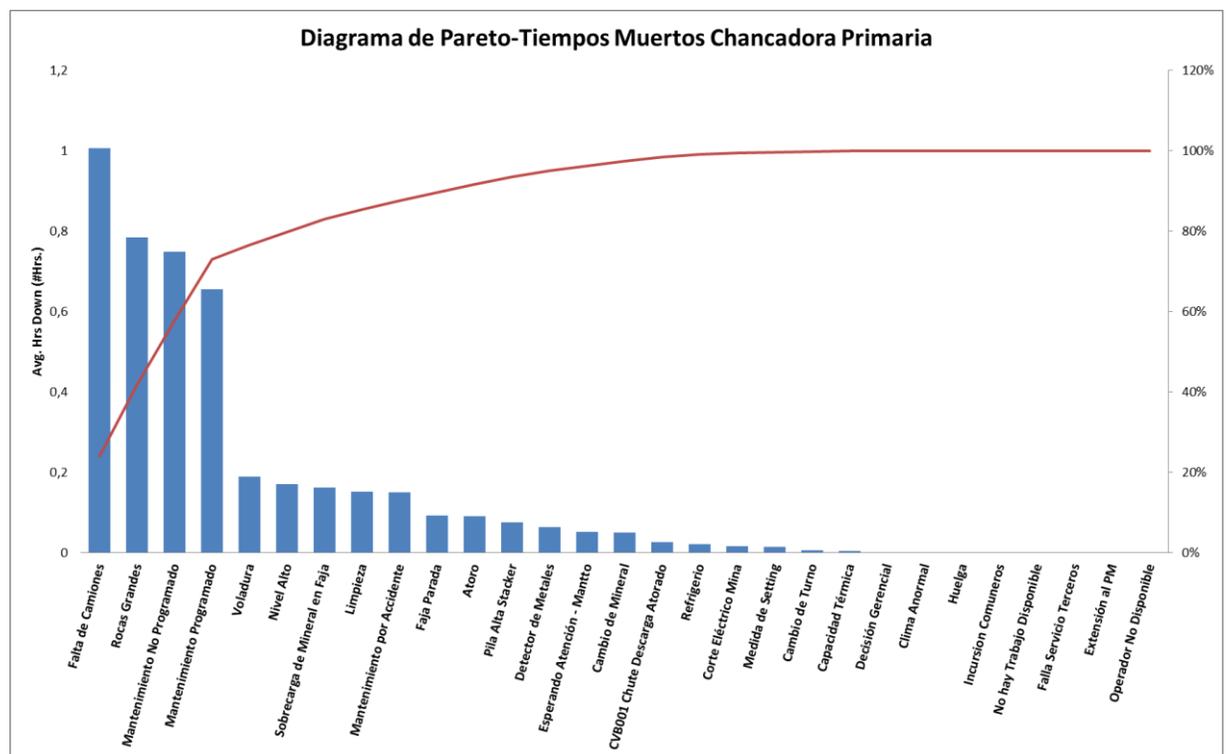


Figura 31: Diagrama de Pareto - Chancado Primario

Se observó que para la data del 2015, los eventos que generaban más tiempos muertos y tiempos de parada, son la falta de camiones, las rocas grandes y los mantenimientos programados y no programados, que serán agrupados como mantenimientos generales.

Con el análisis de estos datos se procedió a iniciar los pasos para identificar cuáles son los causantes principales de estos tiempos muertos y de parada, para llegar a identificar cuáles son los puntos que atacaremos para cumplir el objetivo número 2.

RESULTADOS

Análisis de los principales datos del Pareto

Una vez identificados los principales problemas de la falta de alimentación a la chancadora, se procedió a realizar un análisis de árbol para realizar una encuesta al personal encargado de la operación y así identificar cuáles serán los puntos más importantes para atacar y poder retirar el cuello de botella de la chancadora.

Análisis de falta de camiones

Se entiende por falta de camiones, el tiempo en el que la chancadora primaria esta inoperativa por que no recibe mineral de parte los camiones que no llegan a tiempo .ver Figura 32

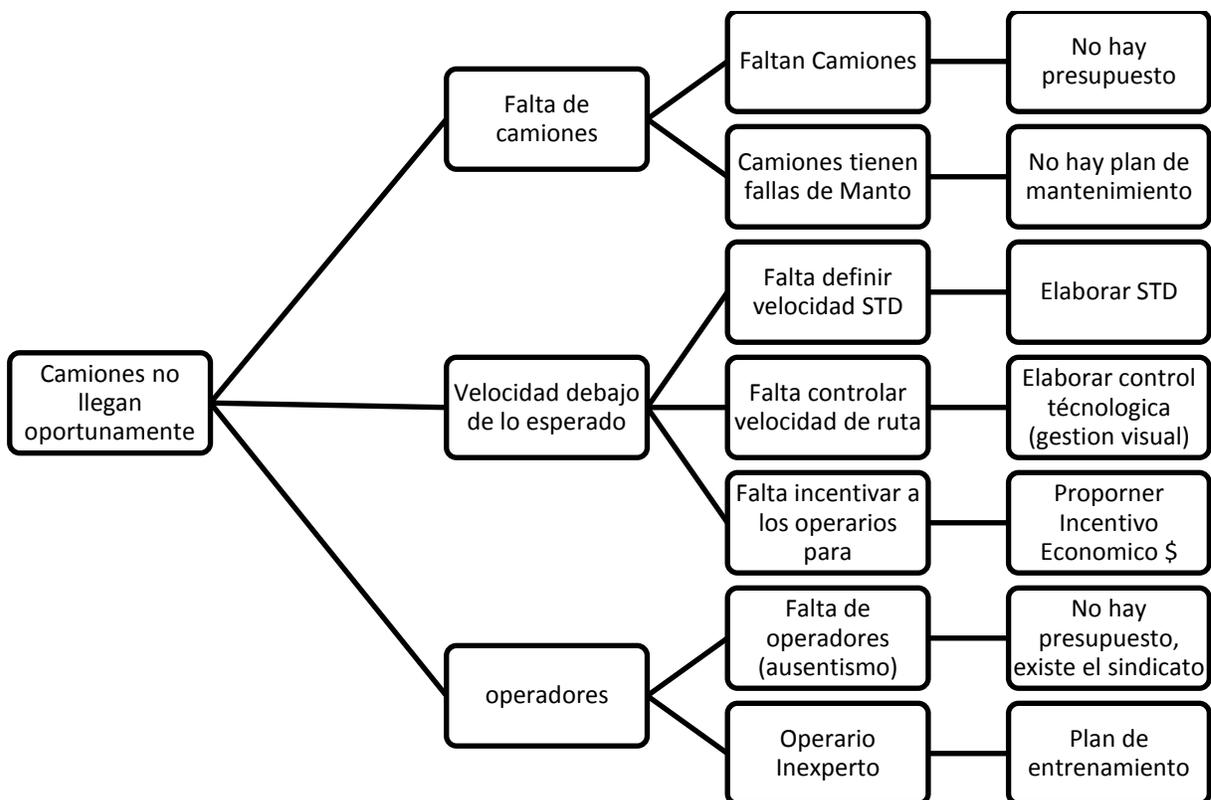


Figura 32: Análisis de árbol-Falta de camiones

Con el diagrama de árbol de causa efecto, se procedió a identificar en el cuarto nivel cuales son las posibles causas por las que no llegan los camiones a la chancadora primaria. Con estos datos se procedió a elaborar una encuesta para conocer la relevancia de los causales (Anexo 3: Encuesta Falta de camiones)

La encuesta se realizó de la siguiente manera, se tiene un grupo de 120 trabajadores, entre ingenieros, supervisores, operarios y jefes.

Se sacó una muestra mediante la siguiente formula:

$$n = \frac{N * p * q * Z^2}{(N - 1) * e^2 + p * q * Z^2}$$

$$n = \frac{120 * 0,5 * 0,5 * 1,96^2}{(120 - 1) * 0,05^2 + 0,5 * 0,5 * 1,96^2}$$

Siendo el Valor de n= 91,62, aproximadamente 92 personas

Después de realizar la encuesta, se obtuvieron los siguientes datos:

Pregunta 1:

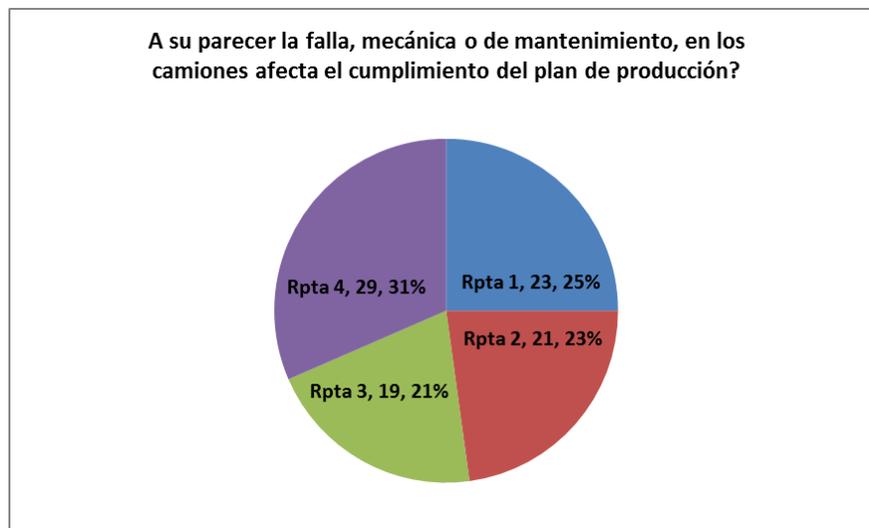
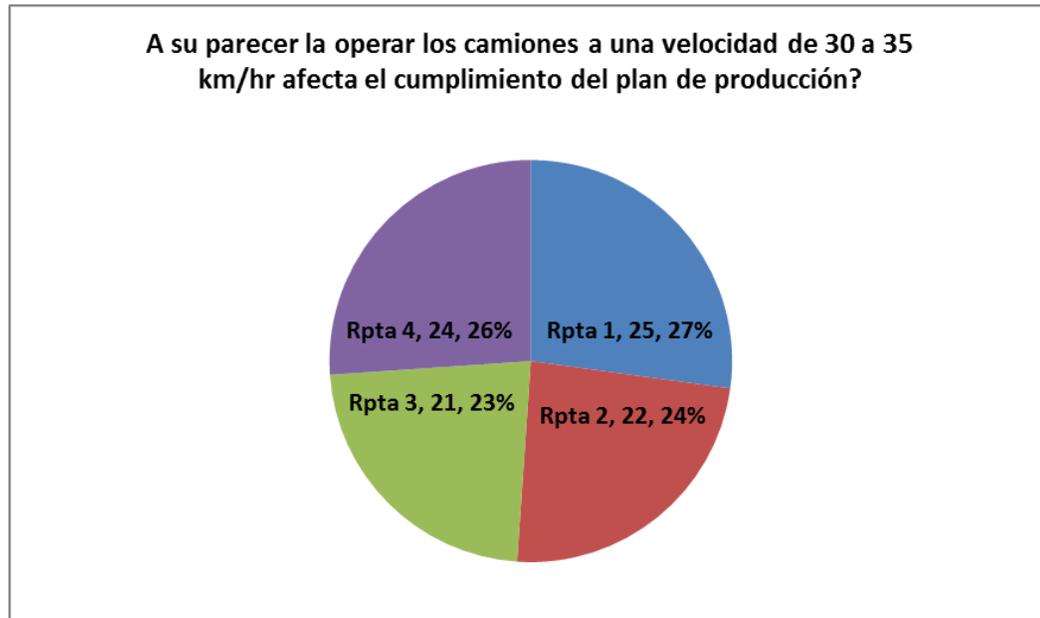
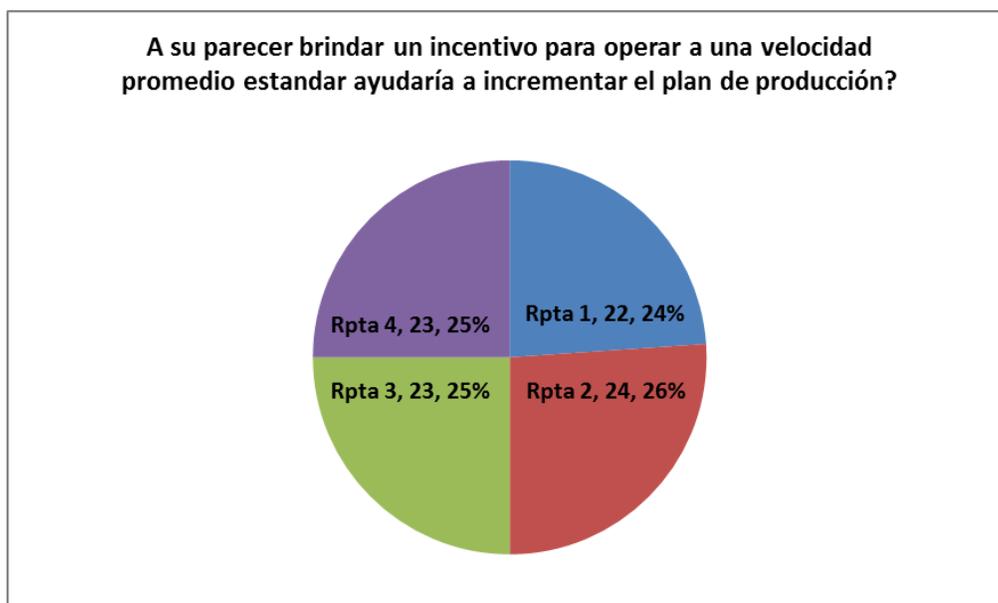


Figura 33: Encuesta camiones - Pregunta 1

Para la pregunta 1, del 100% de trabajadores el 31%, marco la opción numero 4 siendo esta la respuesta que tiene más relevancia.

Pregunta 2:**Figura 34: Encuesta camiones - Pregunta 2**

Para la pregunta 2, del 100% de trabajadores, el 27% marco la opción número 1, siendo esta la tercera pregunta en orden de relevancia

Pregunta 3:**Figura 35: Encuesta camiones - Pregunta 3**

Para la pregunta 3, del 100% de trabajadores, el 26%, marco la opción 2, siendo esta la cuarta pregunta en orden de relevancia

Pregunta 4:

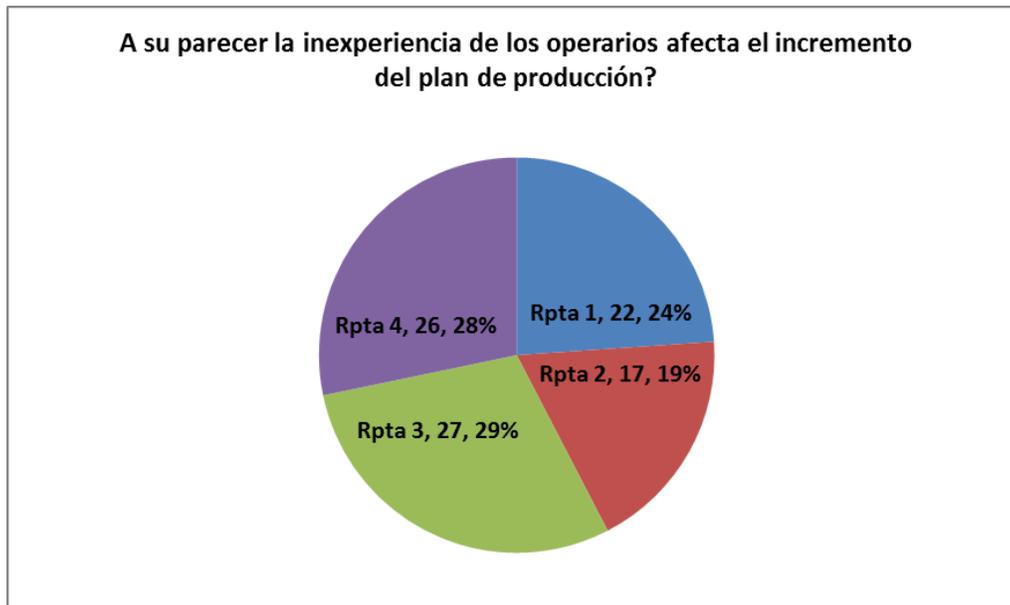


Figura 36: Encuesta camiones - Pregunta 4

Para la pregunta 4, del 100% de trabajadores el 29% marco la opción número 3, siendo esta la segunda pregunta en orden de relevancia,

De acuerdo a la respuesta de las encuestas se pudo encontrar que para las 4 preguntas tomadas:

Pregunta	Respuesta	Orden de relevancia
1	4, 31%	1
2	1, 27%	3
3	2, 26%	4
4	3, 29%	2

Tabla 3: Respuestas-Encuesta camiones

Siendo las preguntas 1 y 4 las que poseen mayor porcentaje se procederán a analizar posteriormente.

Análisis Rocas Grandes

Se les llama rocas grandes a aquellas rocas que no cumplen el tamaño mínimo, o granulometría mínima para poder ser chancada. Este tipo de rocas se generan debido a varios factores que pueden venir desde un mal estudio de la roca (dureza, densidad específica) o por un cartucho de explosivo que no ha detonado, e inclusive por prevención a que exista una roca que salga disparada, luego de que se dé el disparo de voladura.

Este tipo de rocas no pueden ser mapeadas cuando la pala carga a los camiones debido a que para el carguío, el palero carga perpendicularmente para proteger la cabina por lo que no puede ver de manera directa el tamaño de roca que carga. Este tipo de rocas reducen la utilización de la chancadora primaria, debido que la chancadora utiliza más energía y más potencia para poder reducirle el tamaño, lo que genera un tiempo de reproceso en la chancadora, un consumo extra de energía además de un tiempo de espera al siguiente camión para que pueda descargar mineral.

Se realizó un análisis de árbol para encontrar las causas principales:

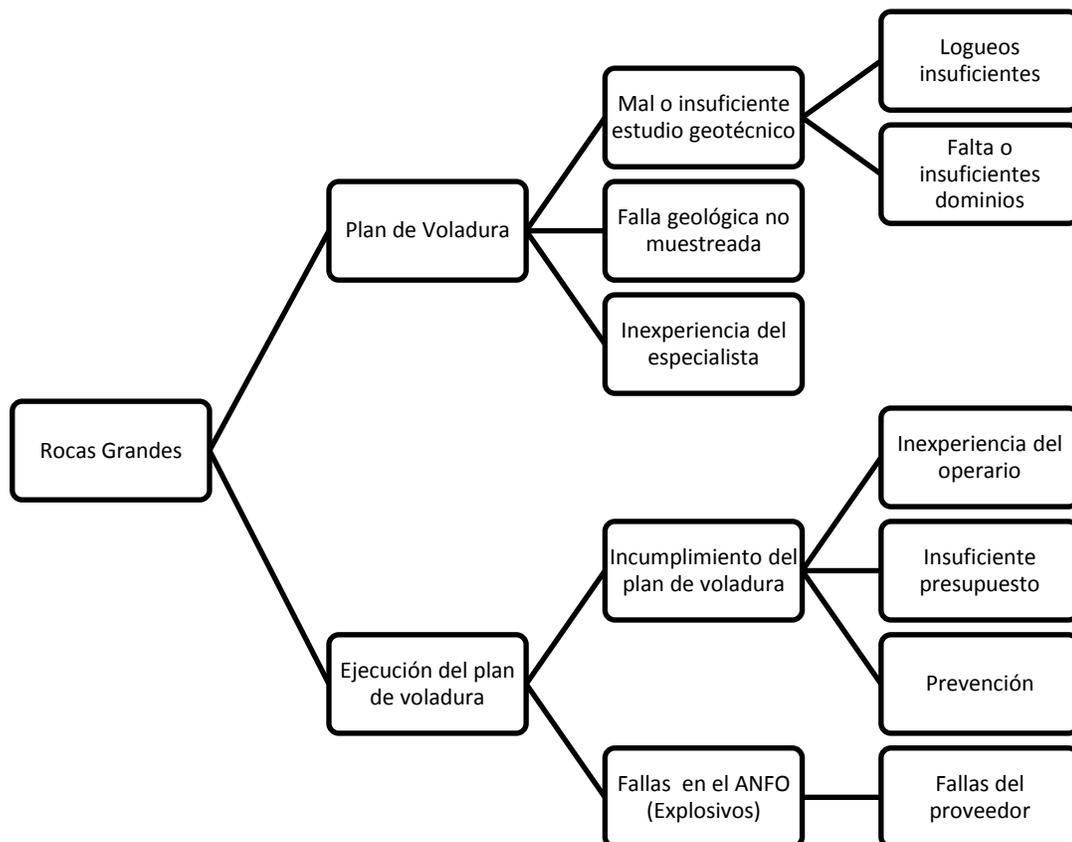


Figura 37: Análisis de árbol - Rocas Grandes

Con el árbol de causa-efecto, se pudo identificar las posibles causas que generan las rocas grandes. Con estos datos se elaboró una encuesta para poder asignarle valores y saber cuál es la causa que atacaremos para quitar el cuello de botella de la chancadora primaria. Anexo 4: Encuesta Rocas Grandes

La encuesta se realizó de la siguiente manera, se tiene un grupo de 120 trabajadores, entre ingenieros, supervisores, operarios y jefes.

Se sacó una muestra mediante la siguiente formula:

$$n = \frac{N * p * q * Z^2}{(N - 1) * e^2 + p * q * Z^2}$$

$$n = \frac{120 * 0,5 * 0,5 * 1,96^2}{(120 - 1) * 0,05^2 + 0,5 * 0,5 * 1,96^2}$$

Siendo el Valor de n= 91,62, aproximadamente 92 personas

Después de realizar la encuesta, se obtuvieron los siguientes datos.

Pregunta 1:

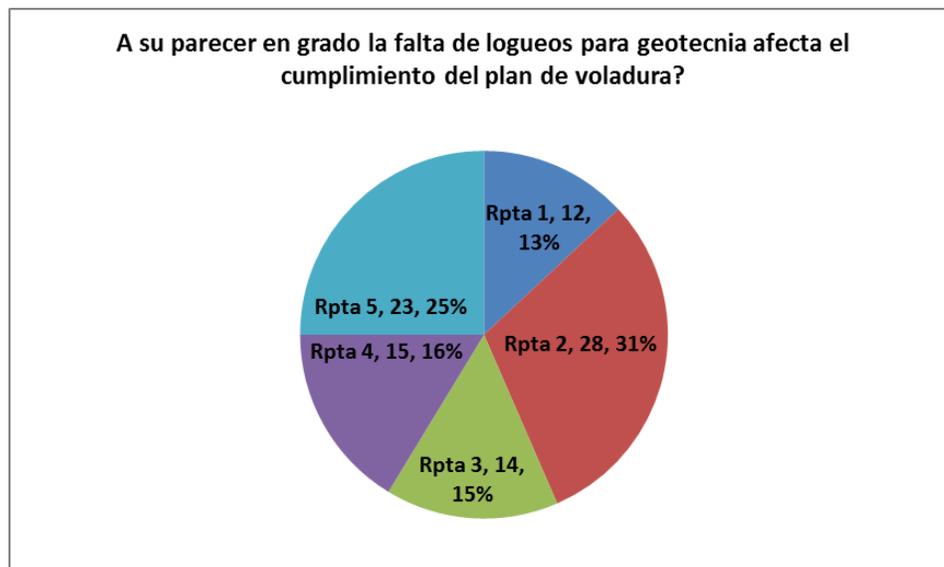
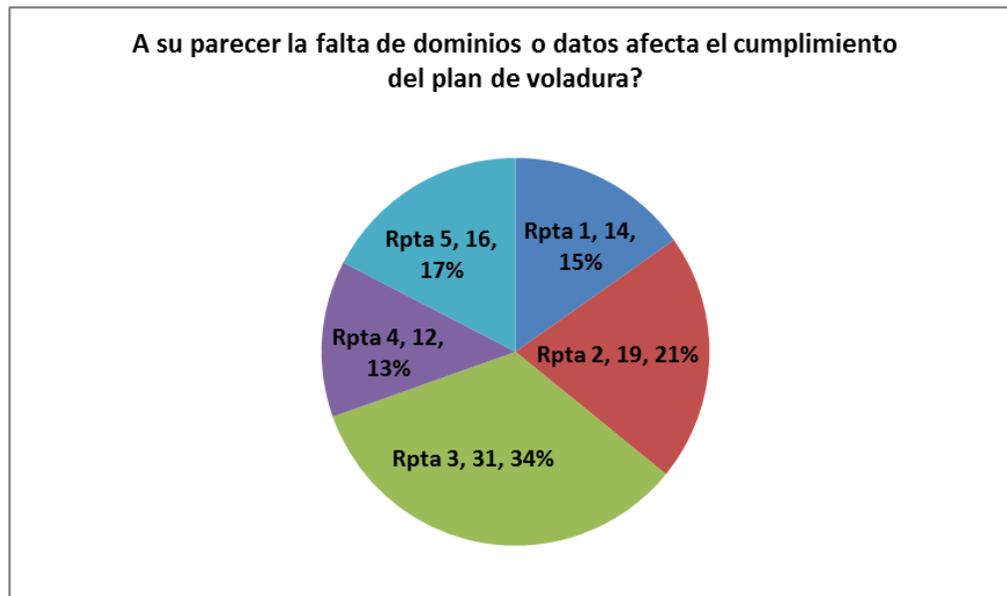
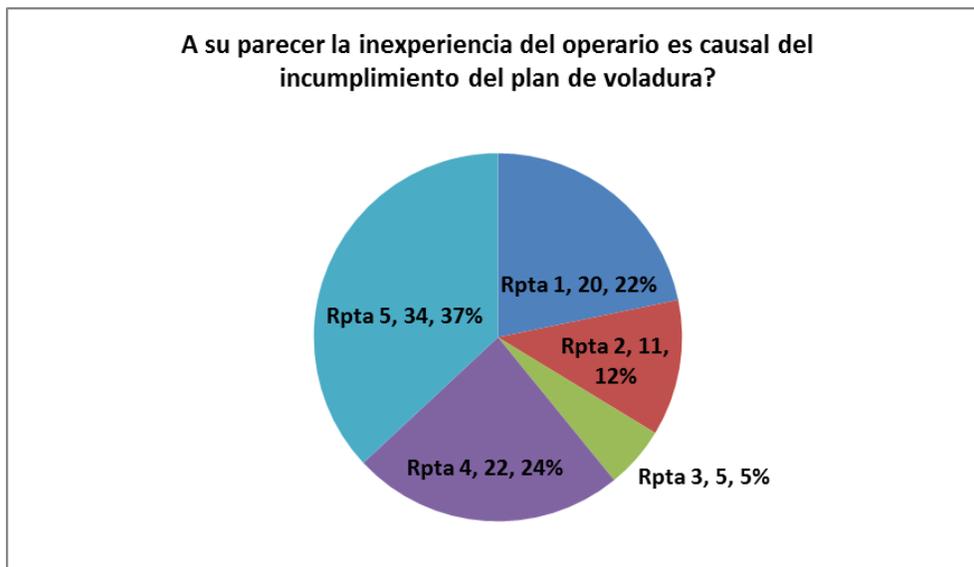


Figura 38: Encuesta Rocas grandes - Pregunta 1

Para la pregunta 1, del 100% de trabajadores el 31%, marco la opción numero 4 siendo esta, la cuarta pregunta en orden de relevancia

Pregunta 2:**Figura 39: Encuesta Rocas grandes - Pregunta 2**

Para la pregunta 2, del 100% de trabajadores, el 34% marco la opción número 3, siendo esta la tercera pregunta en orden de relevancia

Pregunta 3:**Figura 40: Encuesta Rocas Grandes - Pregunta 3**

Para la pregunta 3, del 100% de trabajadores, el 37%, marco la opción 1, siendo esta la pregunta con mayor orden de relevancia

Pregunta 4:

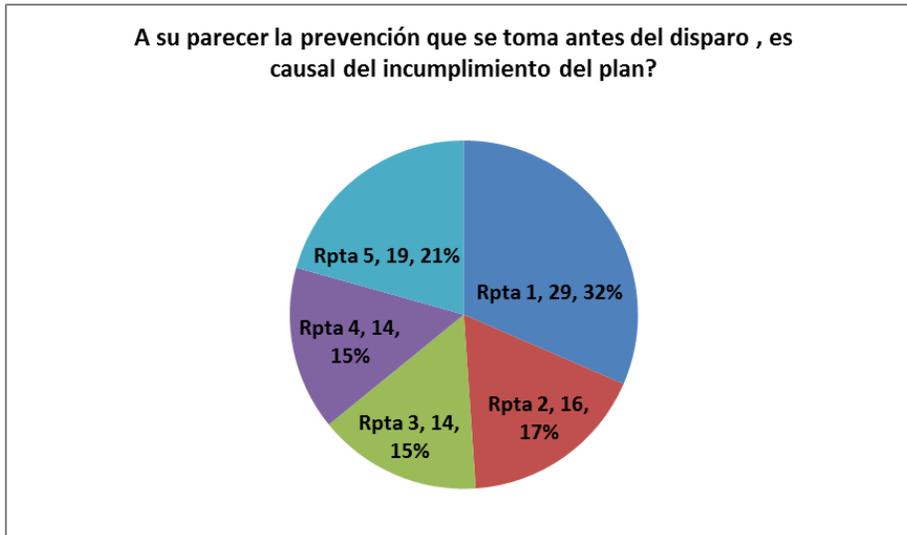


Figura 41: Encuesta Rocas grandes - Pregunta 4

Para la pregunta 4, del 100% de trabajadores el 32% marco la opción número 1, siendo esta la quinta pregunta en orden de relevancia,

Pregunta 5:

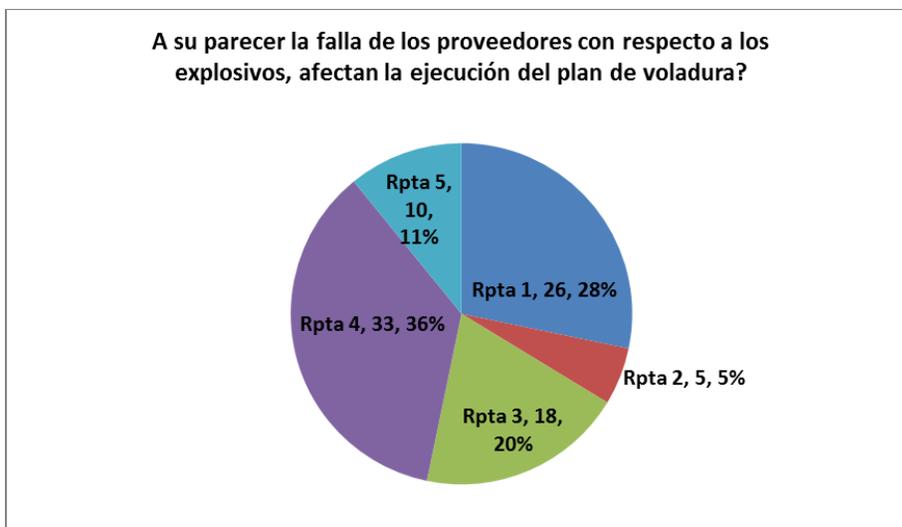


Figura 42: Encuesta Rocas grandes - Pregunta 5

Para la pregunta 5, del 100% de trabajadores el 36% marco la opción número 4, siendo esta la segunda pregunta en orden de relevancia,

De acuerdo a la respuesta de las encuestas se pudo encontrar que para las 5 preguntas tomadas:

Pregunta	Respuesta	Orden de relevancia
1	2, 31%	4
2	3, 34%	3
3	5, 37%	1
4	1, 32%	5
5	4, 36%	2

Tabla 4: Respuestas - Encuesta Rocas grandes

Siendo las preguntas 3 y 5 las que poseen mayor porcentaje se procederán a analizar posteriormente.

Análisis de mantenimiento

Dentro del análisis de mantenimiento, se encuentran los mantenimientos programados y no programados. Los mantenimientos programados, son aquellos mantenimientos que se realizan al llegar a número de horas determinadas y por motivos de aseguramiento y continuidad de la operación se realizan este tipo de mantenimientos. Los mantenimientos no programados son aquellos que se realizan por imprevistos en la operación, por ejemplo problemas eléctricos o mecánicos que surgen por algún hecho fortuito ajeno a la operación.

Este tipo de actividades que generan tiempos muertos o tiempos de parada, constituyen el tercer pilar a atacar para reducir el cuello de botella de la chancadora primaria, para este caso también se realizó un análisis de árbol para identificar cuales serían los causales. Anexo

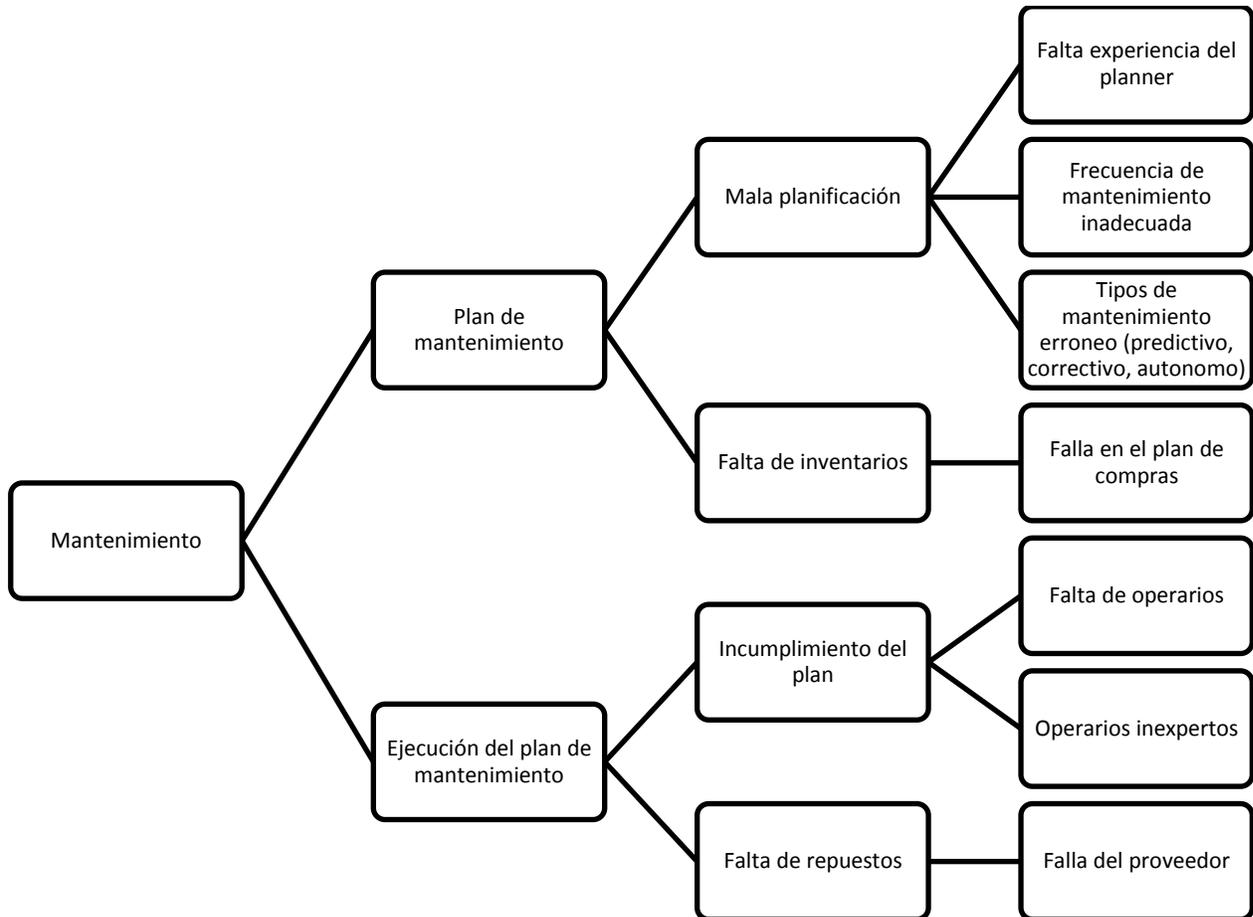


Figura 43: Análisis de árbol - Mantenimiento

Con el árbol de causa efecto se pudo identificar las diferentes causales del incumplimiento del plan que afectan la alimentación de mineral a la chancadora primaria.

La encuesta se realizó de la siguiente manera, se tiene un grupo de 120 trabajadores, entre ingenieros, supervisores, operarios y jefes.

Se sacó una muestra mediante la siguiente fórmula:

$$n = \frac{N * p * q * Z^2}{(N - 1) * e^2 + p * q * Z^2}$$

$$n = \frac{120 * 0,5 * 0,5 * 1,96^2}{(120 - 1) * 0,05^2 + 0,5 * 0,5 * 1,96^2}$$

Siendo el Valor de n= 91,62, aproximadamente 92 personas

Después de realizar la encuesta, se obtuvieron los siguientes datos.

Pregunta 1:

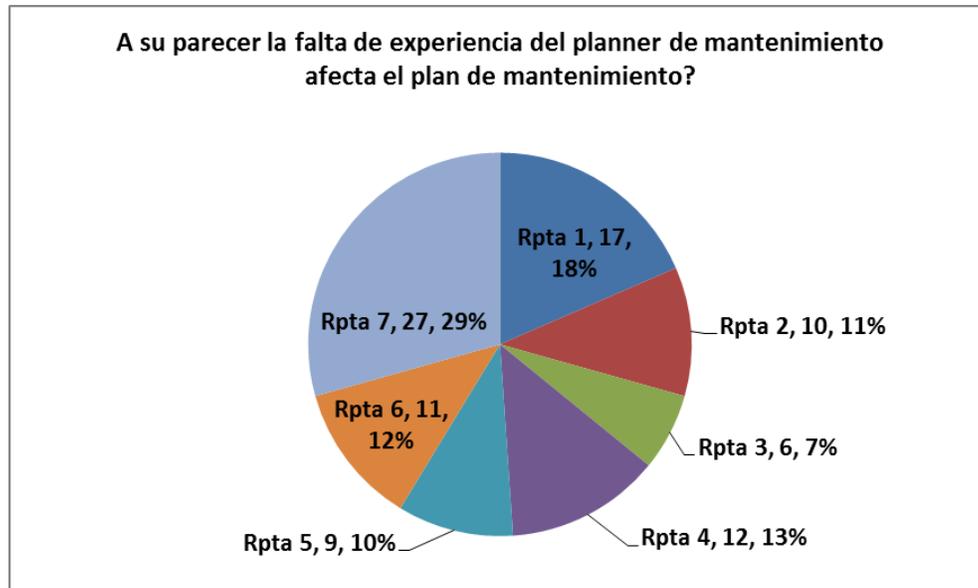


Figura 44: Encuesta Mantenimiento - Pregunta 1

Para la pregunta 1, del 100% de trabajadores el 29%, marco la opción numero 7 siendo esta, la pregunta con mayor orden de relevancia

Pregunta 2:

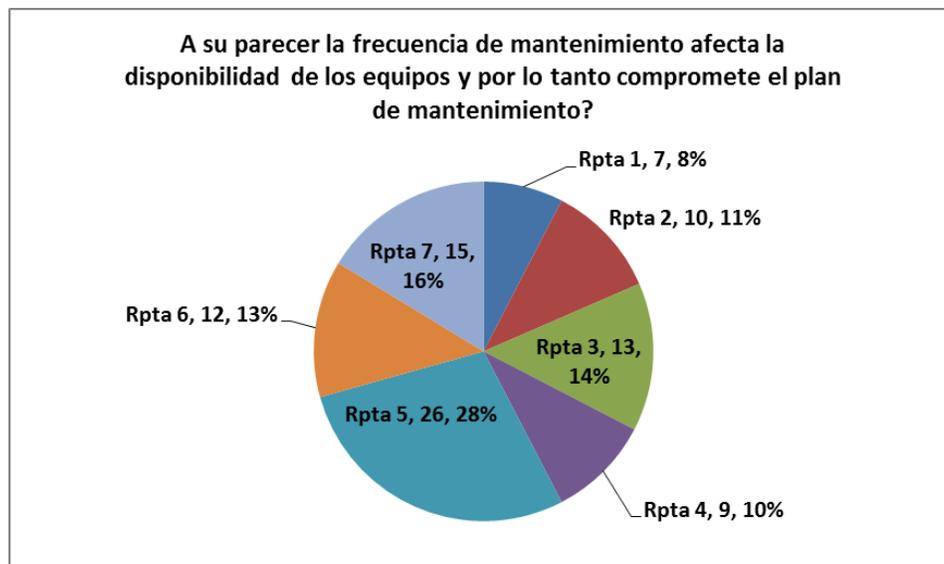


Figura 45: Encuesta Mantenimiento - Pregunta 2

Para la pregunta 2, del 100% de trabajadores, el 28% marco la opción número 5, siendo esta la tercera pregunta en orden de relevancia

Pregunta 3:

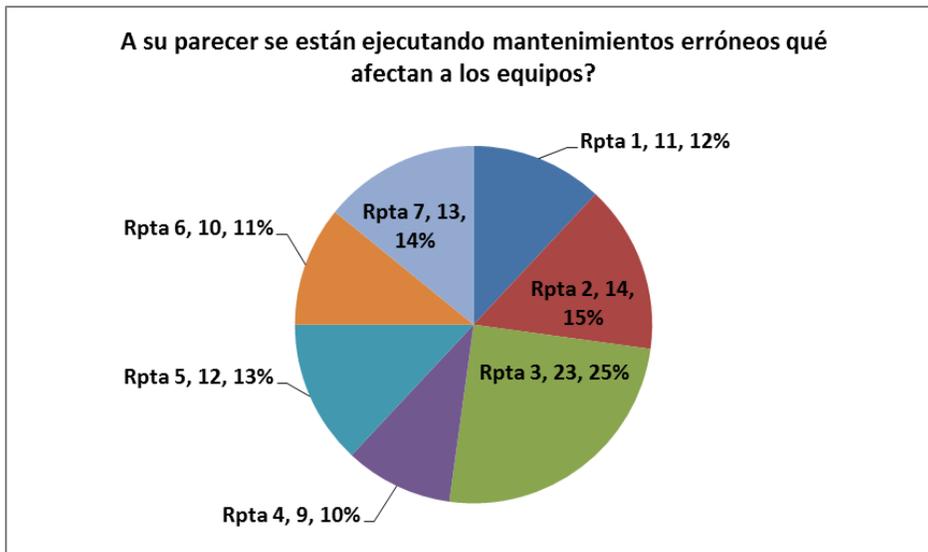


Figura 46: Encuesta Mantenimiento - Pregunta 3

Para la pregunta 3, del 100% de trabajadores, el 25%, marco la opción 3, siendo esta la quinta pregunta en orden de relevancia

Pregunta 4:

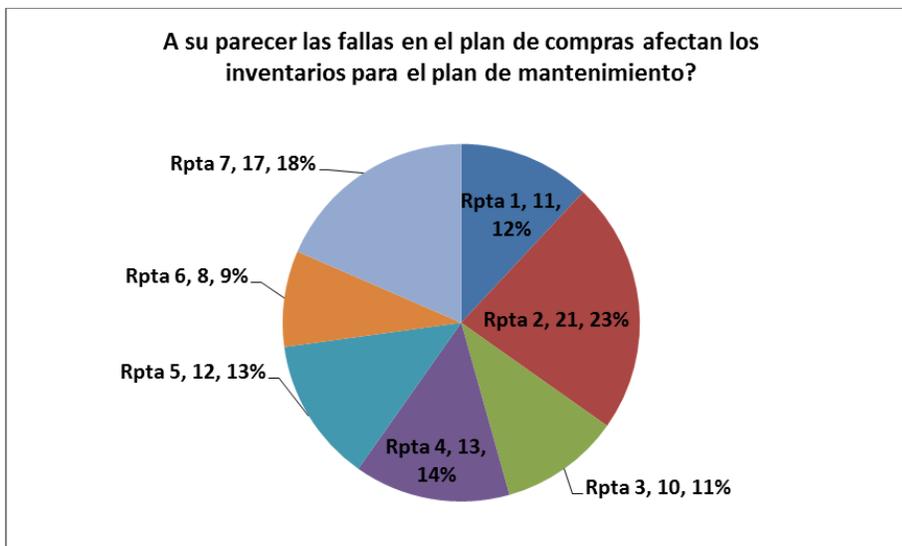


Figura 47: Encuestas Mantenimiento - Pregunta 4

Para la pregunta 4, del 100% de trabajadores el 23% marco la opción número 2, siendo esta la sexta pregunta en orden de relevancia,

Pregunta 5:

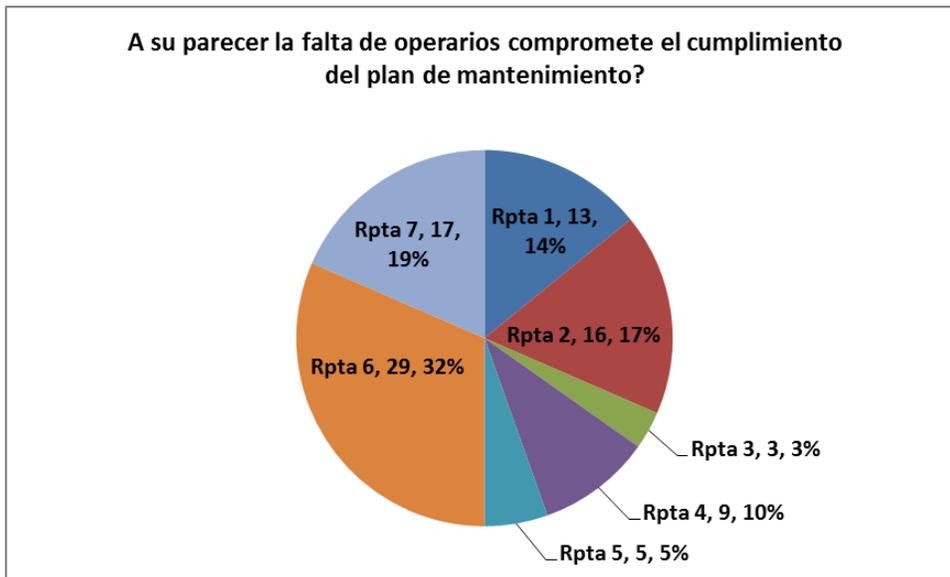


Figura 48: Encuesta Mantenimiento - Pregunta 5

Para la pregunta 5, del 100% de trabajadores el 32% marco la opción número 6, siendo esta la segunda pregunta en orden de relevancia,

Pregunta 6:

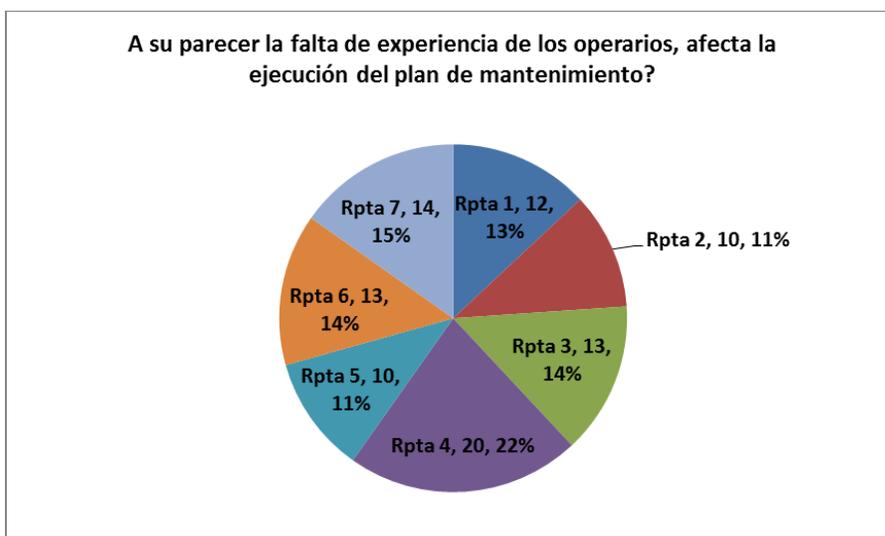


Figura 49: Encuesta Mantenimiento - Pregunta 6

Para la pregunta 6, del 100% de trabajadores el 36% marco la opción número 4, siendo esta la cuarta pregunta en orden de relevancia,

Pregunta 7:

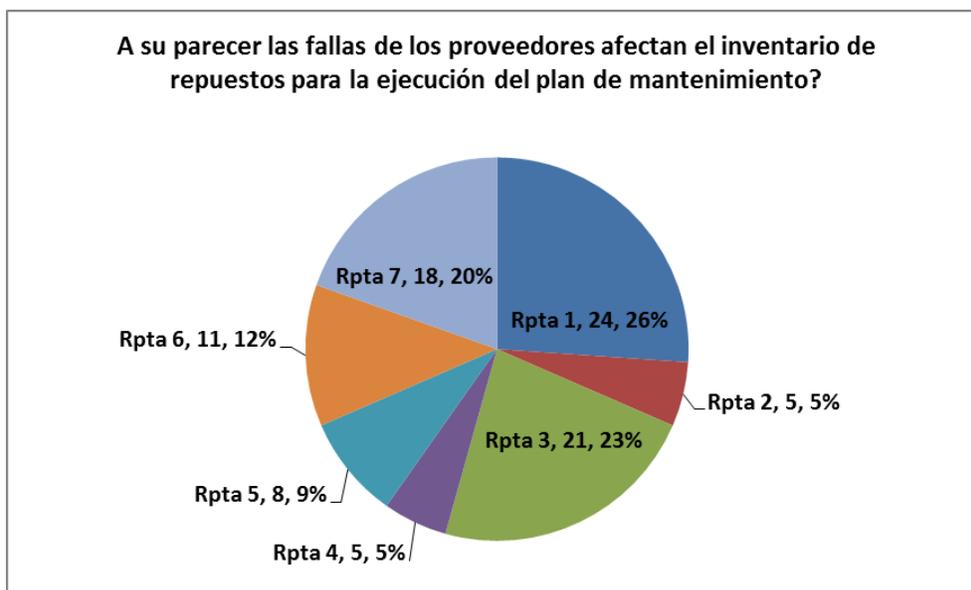


Figura 50: Encuesta Mantenimiento - Pregunta 7

Para la pregunta 7, del 100% de trabajadores el 26% marco la opción número 1, siendo esta la pregunta con menor orden de relevancia. De acuerdo a la respuesta de las encuestas se pudo encontrar que para las 7 preguntas tomadas:

Pregunta	Respuesta	Orden de relevancia
1	7, 29%	1
2	5, 28%	3
3	3, 25%	5
4	2, 23%	6
5	6, 32%	2
6	4, 22%	4
7	1, 26%	7

Tabla 5: Respuestas - Encuesta Mantenimiento

Siendo las preguntas 1 y 5 las que poseen mayor porcentaje se procederán a analizar posteriormente.

RESULTADOS OBEJTIVO 03: CUANTIFICAR EN CUANTO PODRIA MEJORARSE LA TASA DE PROCESAMIENTO

Identificados cuales son los principales causales que producen tiempos muertos en las chancadoras se procederá a cuantificar, a cuanto equivalen estos tipos de causales en producción de tonelaje chancado en la chancadora primaria.

Se cuantifico cuantas horas de producción, falta de camiones, rocas grandes y mantenimientos para el año 2015, Anexo 7: Tabla de Datos-Producción-Molienda-Horas:

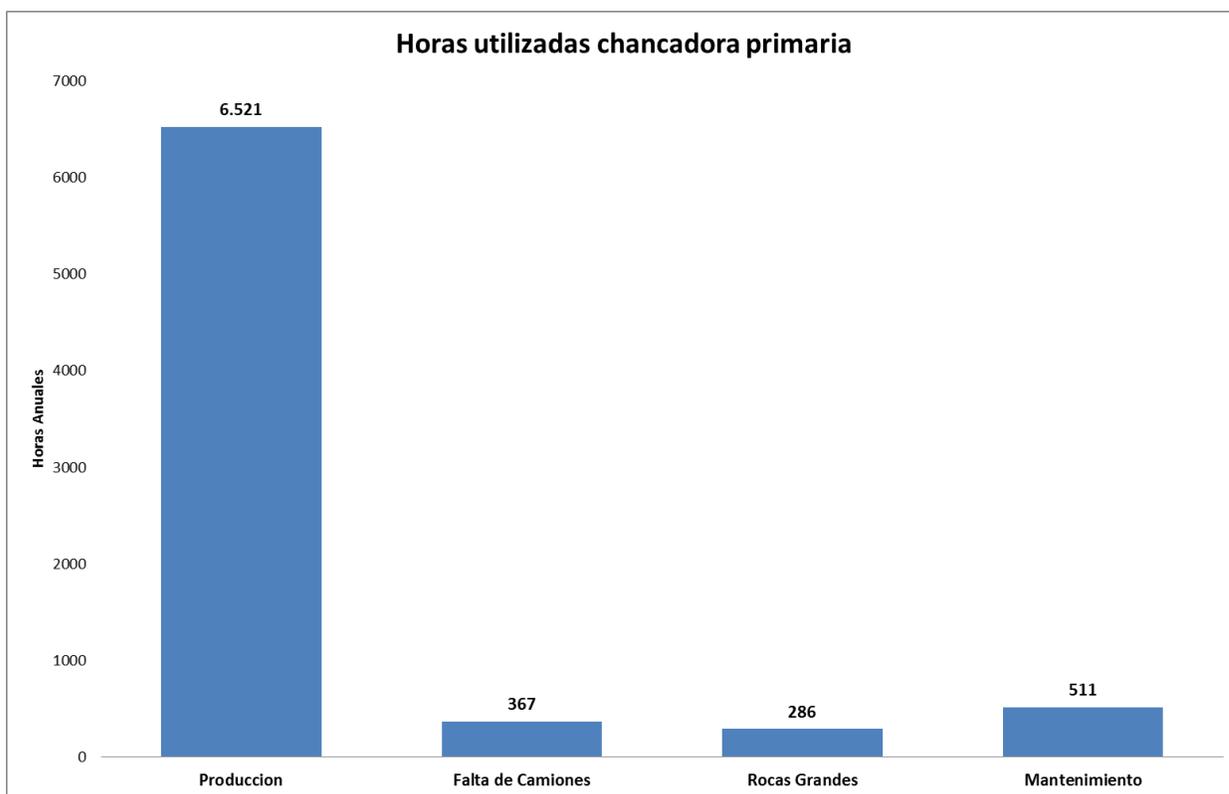


Figura 51: Horas utilizadas Chancadora Primaria

Para el año 2015 se obtuvo que la chancadora primaria, trabajo cerca de 6521 horas solo en producción, Habiendo trabajado 337 días, contando 28 días de paradas de planta (mantenimiento total a la planta) y con una disponibilidad del 91%

Dentro de los principales causales el porcentaje al que cada uno equivale es el siguiente ver Anexo 7: Tabla de Datos-Producción-Molienda-Horas:

Causal	Horas	% de horas de perdida de producción
Falta de camiones	367	5,6%
Rocas Grandes	286	4,4%
Mantenimiento	511	7,8%

Tabla 6: Horas perdidas chancado primario

Análisis de faltas de camiones

La compañía minera posee una flota de 120 camiones, de la marca Komatsu, modelo 930E.

De acuerdo a la ficha técnica del camión ubicada en el Anexo 8: Ficha Técnica - Camión Komatsu 930E, se tienen los siguientes datos:

Peso	
Sin carga	215,307 Kg
Con carga	505,755 Kg

Tabla 7: Datos camión KOM-930E

Fuente: Hoja técnica Komatos 930E

Por lo que una carga de mineral equivale a:

$$505,755 - 215,307 = 290,448 \text{ Kg de mineral}$$

Esto es equivalente a **290 toneladas** de mineral por descarga de camión.

Así mismo, tenemos el dato, Anexo 7: Tabla de Datos-Producción-Molienda-Horas, que el promedio diario de falta de camiones para el año 2015 fue de: **1,01 horas**

Si realizamos el cálculo al mes, la falta de camiones al mes es de:

$$1,01 \times 30 = 30,3 \frac{\text{horas}}{\text{mes}}$$

Finalmente el cálculo anual de horas que no hay producción por falta de camiones es el siguiente:

$$30,3 \times 12 = 363,6 \frac{\text{horas}}{\text{año}}$$

Esto siendo equivalente a 13,78 días que no hay producción, considerando la misma disponibilidad de 91%.

El promedio diario de descarga de mineral a la chancadora es de 156,000 toneladas de mineral.

Calculamos la descarga de mineral por hora:

$$\frac{156000}{24 \times 0,91} = 7142,85 \frac{\text{Ton}}{\text{horas}}$$

De acuerdo a los datos obtenidos en los cálculos anteriores, podemos obtener cuanto tonelaje perderíamos por la falta de camiones.

$$363,6 \times 7142,85 = 2,597,140,6 \frac{\text{Ton}}{\text{Año}}$$

Diariamente, esto equivale a:

$$\frac{2,597,140,6}{365} = 7115,45 \frac{\text{ton}}{\text{dia}}$$

Análisis de Rocas Grandes:

Tenemos el dato, Anexo 7: Tabla de Datos-Producción-Molienda-Horas, que el promedio diario de rocas grandes para el año 2015 fue de: **0,78 horas**

Si realizamos el cálculo al mes, tenemos rocas grandes al mes:

$$0,78 \times 30 = 23,4 \frac{\text{horas}}{\text{mes}}$$

Finalmente el cálculo anual de horas que no hay producción por rocas grandes es el siguiente:

$$23,4 \times 12 = 280,8 \frac{\text{horas}}{\text{año}}$$

Con el dato cálculo de descarga de mineral del problema anterior, procedemos a calcular cuánto estaríamos perdiendo por las horas de rocas grandes:

$$280,8 \times 7142,85 = 2,005,712.3 \frac{\text{ton}}{\text{año}}$$

Diariamente, esto equivale a:

$$\frac{2,005,712.3}{365} = 5495,10 \frac{\text{ton}}{\text{dia}}$$

Análisis de mantenimientos:

Tenemos el dato, Anexo 7: Tabla de Datos-Producción-Molienda-Horas, que el promedio diario mantenimientos (programados y no programados) para el año 2015 fue de: **0,70 horas**

Si realizamos el cálculo al mes, tenemos rocas grandes al mes:

$$0,70 \times 30 = 21 \frac{\text{horas}}{\text{mes}}$$

Finalmente el cálculo anual de horas que no hay producción por Mantenimientos es el siguiente:

$$21 \times 12 = 252 \frac{\text{horas}}{\text{año}}$$

Con el dato cálculo de descarga de mineral del problema anterior, procedemos a calcular cuánto estaríamos perdiendo por las horas de mantenimiento:

$$252 \times 7142,85 = 1,799,998.2 \frac{\text{ton}}{\text{año}}$$

Diariamente, esto equivale a:

$$\frac{1,799,998.2}{365} = 4931,5 \frac{\text{ton}}{\text{dia}}$$

Resultado Final

La chancadora primaria recibe en promedio una descarga diaria de 156000 toneladas de mineral diario.

Adjuntado las mejoras propuestas por los 3 causales se llega a:

$$156000 + 7115,45 + 5495,10 + 4931,5 = 173,542,05$$

Pudiendo existir una mejora potencial de 10%, de acuerdo a los datos obtenidos de la Tabla 6: Horas perdidas chancado primario.

Para esto realizamos un cuadro donde analizaremos los posibles planes de mejoras:

Plan de mejora	Causales	Impacto Real	Escenario Pesimista(25%)	Escenario Optimista (50%)	Propuesta de mejora	Costo	Comentarios
Falta de camiones	Falta de plan de mantenimiento	5,6%	1,4%	2,8%	Nuevo plan de mantenimiento	\$ 300.000	Tercerizacion consultora en Manto
	Inexperiencia del operario				Entrenamiento Tecsup	\$ 213.600	120 operarios el curso esta S/.5995 o \$1780
Rocas Grandes	Inexperiencia del opeario	4,4%	1,1%	2,2%	Entrenamiento Tecsup	\$ 16.640	13 operarios Curso de voladura S/ .4300 o \$1280
	Falla del proveedor				Nueva licitacion/arreglo del contrato	\$ 700.000	Nuevo contrato Proveedor \$700,000
Mantenimientos	Mantenimiento erroneos	7,8%	2,0%	3,9%	capacitacion	\$ 12.000	6 planners de manto curso de planificacion 2000\$
	Frecuencia de mantenimiento incorrecta				Nuevo plan de mantenimiento	\$ 500.000	Tercerizacion Mckinsey 500000\$ Para encontrar frecuencia correcta
Costo total						\$ 1.742.240	

Tabla 8: Costo de la implementación

Fuente: Elaboración propia

Resultados del objetivo 4: Se cuantificaron los costos de la propuesta de mejora de reducción de tiempos muertos en la etapa de chancado, con el fin de analizar la relación costo-beneficio para la producción en la compañía minera.

Cuantificación del potencial de mejora

Cuantificación del potencial de mejora						
Escenario Real			Escenario Pesimista (25%)		Escenario optimista (50%)	
Tonelaje Perdido			% de mejora	Potencial de mejora (Ton)	% de mejora	Potencial de mejora (Ton)
Falta de camiones	5,6%	8.747,60	1,4%	122,47	2,8%	244,93
Rocas grandes	4,4%	6.873,20	1,1%	75,61	2,2%	151,21
Mantenimientos	7,8%	12.184,20	2,0%	243,68	3,9%	475,18

Tabla 9: Cuantificación del potencial de mejora

Fuente: Elaboración propia

Una vez identificado cuanto es el potencial de mejora para cada escenario

- Escenario pesimista: $156208 + 122,47 + 75,61 + 243,68 = 156649,76$
- Escenario optimista: $156208 + 244,93 + 151,21 + 475,18 = 157079,32$

Balance Metalúrgico

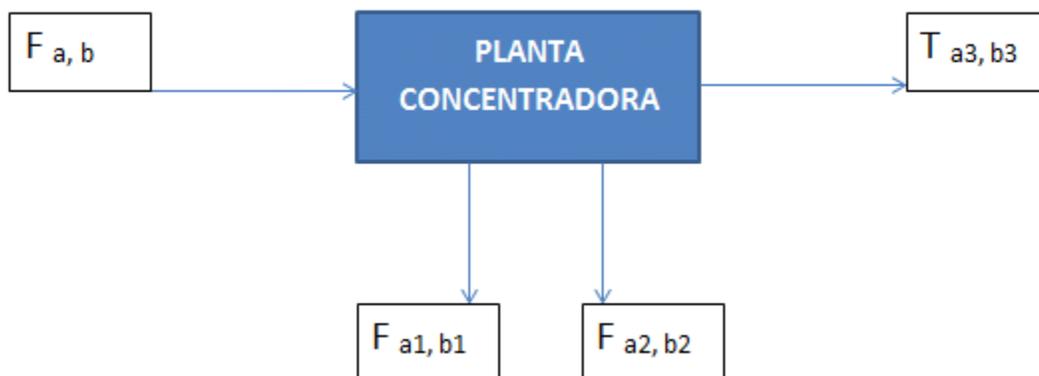


Figura 52: Balance Metalúrgico

Balance de materiales

$$F = A + B + T$$

Balance de metal A

$$Fa = Aa1 + Ba2 + Ta3$$

Balance de metal B

$$Fb = Ab1 + Bb2 + Tb3$$

Tenemos que:

$$1 = \frac{A}{F} + \frac{B}{F} + \frac{T}{F}$$

Donde

$$f1 = \frac{A}{F}; f2 = \frac{B}{F}; f3 = \frac{T}{F}$$

Y

$$a = a1f1 + a2f2 + a3f3$$

$$b = b1f1 + b2f2 + b3f3$$

Teniendo un sistema de tres incógnitas con 3 ecuaciones, se puede obtener la cantidad de concentrado que se produce para el caso de 1556649,76 y el caso de 1157079,32 toneladas de mineral por día.

Balance Metalúrgico Para el caso base sin optimizar a 156208 toneladas diarias:

Balance Metalúrgico	Peso	% Peso	Ley		Contenido Metalico		% Distribucion		Ratio de concentracion	% de recuperacion
			Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn		
Mineral	156208	100	1,06%	2,0%	1660,49	3092,9184	100	100		
concentrado de Cobre	5311,1	0,034	27,5%	2,8%	1460,54	148,71002	87,96	4,81	29,41	88%
Concentrado de Zinc	4061,4	0,026	1,3%	57,8%	50,7676	2347,0877	3,06	75,89	38,46153846	76%
Relave	146836	0,94	0,1%	0,4%	146,836	587,34208	8,84	18,99		

Tabla 10: Balance metalúrgico - Sin optimizar

Fuente: Elaboración propia

Balance Metalúrgico para el escenario pesimista

Balance Metalurgico	Peso	% Peso	Ley		Contenido Metalico		% Distribucion		Ratio de concentracion	% de recuperacion
			Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn		
Mineral	156649	100	1,06%	1,98%	1665,18	3101,6502	100	100		
concentrado de Cobre	5326,1	0,034	27,50%	2,80%	1464,67	149,12985	88,21	4,82	29,41	88%
Concentrado de Zinc	4072,9	0,026	1,25%	57,79%	50,9109	2353,7139	3,07	76,10	38,46153846	76%
Relave	147250	0,94	0,10%	0,40%	147,25	589,00024	8,87	19,04		

Tabla 11: Balance metalúrgico - Escenario pesimista

Fuente: Elaboración propia

Balance Metalúrgico para el escenario optimista

Balance Metalurgico	Peso	% Peso	Ley		Contenido Metalico		% Distribucion		Ratio de concentracion	% de recuperacion
			Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn		
Mineral	157079	100	1,06%	1,98%	1669,75	3110,1642	100	100		
concentrado de Cobre	5340,7	0,034	27,50%	2,80%	1468,69	149,53921	88,45	4,83	29,41	88%
Concentrado de Zinc	4084,1	0,026	1,25%	57,79%	51,0507	2360,1748	3,07	76,31	38,46153846	76%
Relave	147654	0,94	0,10%	0,40%	147,654	590,61704	8,89	19,10		

Tabla 12: Balance metalúrgico - Escenario optimista

Fuente: Elaboración propia

VALORIZACION Y CUANTIFICACION DE COSTO BENEFICIO

COSTO TOTAL PLAN DE MEJORA 1, 742,240 DOLARES AMERICANOS

Para el escenario Pesimista:

BENEFICIO DIARIO:

CONCENTRADO DE Cu:

$$1464,67 - 1460,54 = 4,03 \text{ toneladas de concentrado diarios}$$

CONCENTRADO DE Zn:

$$2353,71 - 2347,08 = 6,63 \text{ toneladas de concentrado diario}$$

Haciendo el cálculo anual:

$$Cu = 4,03 * 337 = 1358 \text{ toneladas de concentrado de Cu anuales}$$

$$Zn = 6,63 * 337 = 2234 \text{ toneladas de concentrado de Zn anuales}$$

Adicionalmente calculamos el valor del concentrado de Cu y de Zn respectivamente

Para el Cu:

Asumiendo una *humedad del 6%* en los concentrados y una *merma del 5%*

$$1358 \text{ toneladas} \times 6\% = 81,48 \text{ toneladas}$$

$$1358 - 81,48 = 1276,52 \text{ toneladas secas}$$

Peso neto del concentrado de Cu

$$1276,52 * 5\% = 63,86 \text{ toneladas de merma}$$

$$1276,52 - 63,86 = 1212,7 \text{ toneladas de concentrado de Cu}$$

Ahora calculamos el contenido fino del concentrado, de acuerdo a la ley de concentrado:

$$1212,7 * 27\% = 327,4 \text{ TMF de Cu}$$

Calculamos el contenido de Cu pagable (Factor de Recuperación estándar: 75%)

$$327,4 \times 0,75\% = 245,6 \text{ TMF de cobre pagable}$$

Siendo el valor del cobre por tonelada fina de 5675,58 dolares (Valor sacado de KITCO ®)

La ganancia por Cu es:

$$245,6 * 5675,68 = 1,393,779.8 \text{ dolares al año}$$

Para el Zn:

Asumiendo una humedad del 6% en los concentrados y una merma del 5%

$$2234 \text{ toneladas} \times 6\% = 134,04 \text{ toneladas}$$

$$2234 - 134,04 = 2099,96 \text{ toneladas secas}$$

Peso neto del concentrado de Zn

$$2099,96 * 5\% = 104,99$$

$$2099,96 - 104,99 = 1994,96 \text{ toneladas de concentrado de Zn}$$

Ahora calculamos el contenido fino del concentrado, de acuerdo a la ley del concentrado:

$$1994,96 * 57,8\% = 1153,1 \text{ TMF de Zn}$$

Contenido de Zn pagable (Factor de Recuperacion estándar 75%)

$$1153,1 * 75\% = 864,82 \text{ TMF de Zinc pagable}$$

Siendo el valor del Zn por tonelada fina de 2604,98 dólares (Valor sacado de KITCO ®)

La ganancia por Zn es:

$$864,82 * 2604,98 = 2,252,828,5 \text{ dolares al año}$$

El costo de la implementación de los procesos de mejora es de \$1,742.240 dólares

Mientras que la ganancia por mejorar los concentrados es de:

$$1,393,779.8 + 2,252,828.5 = 3,646,608.3 \text{ millones de dólares}$$

Tiempo de Retorno

TR= Costo/Beneficio

$$\frac{1,742,240}{3,646,608.3} = 0,48 \text{ años}$$

Entonces:

$$0,48 * 12 = 5,73 \text{ meses}$$

El tiempo de retorno es igual a **6 meses**.

VALORIZACION Y CUANTIFICACION DE COSTO BENEFICIO
COSTO TOTAL PLAN DE MEJORA 1, 742,240 DOLARES AMERICANOS

Para el escenario optimista:

BENEFICIO DIARIO:

CONCENTRADO DE Cu:

$$1468,69 - 1460,54 = 8,15 \text{ toneladas de concentrado diarios}$$

CONCENTRADO DE Zn:

$$2360,17 - 2347,08 = 13,09 \text{ toneladas de concentrado diario}$$

Haciendo el cálculo anual:

$$Cu = 8,15 * 337 = 2746,55 \text{ toneladas de concentrado de Cu anuales}$$

$$Zn = 13,09 * 337 = 4411,33 \text{ toneladas de concentrado de Zn anuales}$$

Adicionalmente calculamos el valor del concentrado de Cu y de Zn respectivamente

Para el Cu:

Asumiendo una *humedad del 6%* en los concentrados y una *merma del 5%*

$$2746,55 \text{ toneladas} \times 6\% = 164,8 \text{ toneladas}$$

$$2746,55 - 164,8 = 2581,76 \text{ toneladas secas}$$

Peso neto del concentrado de Cu

$$2581,76 * 5\% = 129,1 \text{ toneladas de merma}$$

$$2581,76 - 129,1 = 2452,7 \text{ toneladas de concentrado de Cu}$$

Ahora calculamos el contenido fino del concentrado, de acuerdo a la ley de concentrado:

$$2452,7 * 27\% = 662,22 \text{ TMF de Cu}$$

Calculamos el contenido de Cu pagable (Factor de Recuperacion estándar: 75%)

$$662,22 \times 0,75\% = 496,7 \text{ TMF de cobre pagable}$$

Siendo el valor del cobre por tonelada fina de 5675,58 dolares (Valor sacado de KITCO ®)

La ganancia por Cu es:

$$496,7 * 5675,68 = 2,818,917.9 \text{ dolares al año}$$

Para el Zn:

Asumiendo una humedad del 6% en los concentrados y una merma del 5%

$$4411,33 \text{ toneladas} \times 6\% = 264,8 \text{ toneladas}$$

$$4411,33 - 264,8 = 4146,7 \text{ toneladas secas}$$

Peso neto del concentrado de Zn

$$4146,7 * 5\% = 207,33$$

$$4146,7 - 207,33 = 3939,4 \text{ toneladas de concentrado de Zn}$$

Ahora calculamos el contenido fino del concentrado, de acuerdo a la ley del concentrado:

$$3939,4 * 57,8\% = 2276,95 \text{ TMF de Zn}$$

Contenido de Zn pagable (Factor de Recuperacion estándar 75%)

$$2276,95 * 75\% = 1707,7 \text{ TMF de Zinc pagable}$$

Siendo el valor del Zn por tonelada fina de 2604,98 dolares (Valor sacado de KITCO ®)

La ganancia por Zn es:

$$1707,7 * 2604,98 = 4,448,565.5 \text{ dolares al año}$$

El costo de la implementación de los procesos de mejora es de \$1,742.240 dólares

Mientras que la ganancia por mejorar los concentrados es de:

$$2,818,917.9 + 4,448,565.5 = 7,267,483,4 \text{ millones de dólares}$$

Tiempo de Retorno**TR= Costo/Beneficio**

$$\frac{1,742,240}{7,267,483.4} = 0,24 \text{ años}$$

Entonces:

$$0,24 \times 12 = 2,87 \text{ meses}$$

El tiempo de retorno es igual a **3 meses**.**Resumen de costo-beneficio:**

Escenario	Concentrado de Cu	Concentrado de Zn	Ganancia	Costo de mejora	Tiempo de retorno
Pesimista	1.464,67	2.353,71	3.646.608,40	1.742.240,00	6 meses
Optimista	1.468,69	2.360,17	7.267.483,40	1.742.240,00	3 meses

Tabla 13: Resumen costo-beneficio

DISCUSIÓN

El principal aporte del estudio, fue encontrar cuales eran los causales que generaban tiempos muertos, en el día a día para la chancadora primaria, con este hallazgo, se procedió a calcular en cuanto podría mejorarse el flujo de producción si estos causales eran relevados. Adicionalmente, debido a que en la industria minera, a pesar de que es un empresa de flujo continuo, la obtención del producto final depende de características que no podemos manejar, la forma de incrementar producción se da relevando el cuello de botella físico, como es el caso de este proyecto de investigación, o se puede dar relevando el cuello de botella “liquido” o de flujo.

Como se puede apreciar en los escenarios de la propuesta, tanto el escenario pesimista como el escenario optimista, generan una ganancia para la empresa si se releva el cuello de botella, atacando los principales causales que nos muestran las encuestas.

Se puede apreciar que gracias al estudio de capacidades de los equipos principales, se logro identificar el cuellos de botella, que es la etapa de chancado primario, seguido de la identificación de los causales de los tiempos muertos y de la mejora de flujo de producción que podría darse, si se llegan a relevar estos cuellos de botella. Finalmente para lograr comprobar las hipótesis planteadas se realizo el cálculo de costo-beneficio, mostrando valores de retorno positivos

Se debe tener en cuenta que este estudio tuvo como limitante, el desconocimiento de las futuras leyes de mineral para futuros años, pues estas caracterisiticas son externos y controladas por la mineralización en el yacimiento,se debe de realizar un mapeo geológico para encontrar la ley media para el cálculo de concentrado producido según avancen los años.

Finalmente, los datos mostrados indican que relevando el cuello de botella, ubicado en la chancadora primaria, se puede incrementar la producción de concentrado de Cu y Zn.

CONCLUSIONES

Desde la situación actual de la compañía minera se plantearon propuestas de mejora para reducir el tiempo muerto en la chancadora primaria, en ese sentido se concluye que:

- a) Se determinó que existen cuellos de botella en la planta concentradora, se ubican en la etapa de chancado primario, siendo este proceso el que restringe a los demás con un valor promedio de 156,000 toneladas vs las 174,00 que puede tratar la moleinda SAG
- b) Se logró identificar 6 principales raíces o causales de por qué no hay alimentación a la chancadora primaria. Estos se encuentra mostrados en los diagramas de árbol así como por las encuestas tomadas, estos equivalen a potencial mejora del 17%, si se releva el cuello de botella
- c) Se logró cuantificar en cuanto aumentaría la producción de concentrado con de Cu y Zn
 - Concentrado de Cu: 4 y 8 toneladas por día para cada escenario respectivamente
 - Concentrado de Zn: 6 y 12 toneladas por día para cada escenario

Generando una ganancia de 3,6 y 7,2 millones de dólares respectivamente.

- d) Es rentable hacer la implementación de las mejoras debido a que, para ambos escenarios, el tiempo de retorno es menor a 1 año, bordeando los 5 meses, como lo demuestran los cálculos de relación costo-beneficio

RECOMENDACIONES

- a) Se recomienda realizar un análisis de causas post- implementación para encontrar cuales son las nuevas restricciones en la etapa de chancado primario.
- b) Se recomienda estudiar los causales de los tiempos muertos en chancado, para incrementar la producción, pues la planta tiene una capacidad máxima de 200 ktpd
- c) Se recomienda revisar adicionalmente la capacidad del mineroducto con el fin de asegurar que el envío de la tasa de procesamiento sea la adecuada.
- d) Se recomienda implementar las mejoras, pues ambos escenarios de mejora, muestran que es factible y que su tiempo de retorno es menor a un año
- e) Se recomienda realizar un nuevo análisis de capacidades para saber cual es el nuevo de botella, se un cuello de botella físico o un cuello de botella liquido (de flujo).

REFERENCIAS

- Alvarez R. Carla y De la Jara G. Paula (2012, Lima). Tesis “Análisis y mejora de procesos en una empresa embotelladora de bebidas rehidratantes”
- Castellares T. Pedro A. (2009, Lima). Tesis “Optimización en la planta de beneficio de compañía minera Volcan S.A.A. de unidad de producción Animón, mediante el uso de una celda de flotación Flash”.
- Cordoba R. Frank P. (2012, Lima). Tesis “Mejoras en el proceso de fabricación de spools en una empresa metalmecánica usando la manufactura esbelta”
- Fernandez L. Dan G y Narvaez E. Walter I. (2015, Huacho). Tesis “Optimización en la flotación para aumentar la recuperación de plomo-plata en la unidad minera Uchucchacua”
- Flores O. Marco (2009, Ecuador) Tesis “Optimización de la producción en el proceso de mezclado de la línea de caucho, en la empresa Plasticaucho industrial S.A.”.
- Gamarra M. Karen A. y Jimenez M. Jhon E. (2012). Tesis “Análisis de dos metodologías para identificar el cuello de botella en procesos productivos”.
- Palomino D. Nestor J. (2004, Lima). Tesis “Optimización de los procesos y operaciones metalúrgicos en compañía minera Caraveli S.A.C”.
- Pisco R. Ricardo J. (2006, Ecuador). Tesis “Análisis y planteamiento de mejoras de una planta de producción de materiales de aceros laminados aplicando teoría de las restricciones (TOC)”.
- Rincon G. Javier (2009). Tesis “Análisis mejora en los procesos de gestión de un parque de maquinaria”.

Sierralta, Naileth (2010, Venezuela). Tesis "mejoramiento del nivel de producción de las maquinas empaquetadoras en la empresa Mavenga, Barquisimeto, estado Lara"

Nassir Sapag Chain – Reinaldo Sapag Chain; Preparación y Evaluación de Proyectos (Cuarta Edición, Mc Graw Hill – Interamerica, Chile 2002) pp. 293 – 321

William K. Hodson; Maynard, Manual del Ingeniero Industrial (Cuarta Edición, Mc Graw Hill, México 1996) pp. 5.62 - 7.-61.

McGraw Hill. □ LEFCOVICH, Mauricio. Kaizen (2003). "La mejora continua aplicada en la calidad, productividad y reducción de costos".

Marcana, Franklin (2006). "Las 5“S”, Metodología japonesa de calidad y productividad".

Meyers E, Fred (2000). "Estudio de tiempos y movimientos".

Olavarrieta de la Torre, Jorge (1999). "Conceptos generales de productividad, sistemas, normalización y competitividad para la pequeña y mediana empresa". Universidad Iberoamericana Dirección de difusión Universitaria.

Scherkenbach W, William (1994). "La ruta Deming hacia la mejora continua" 1ra Edición. México. Editorial Cecsca.

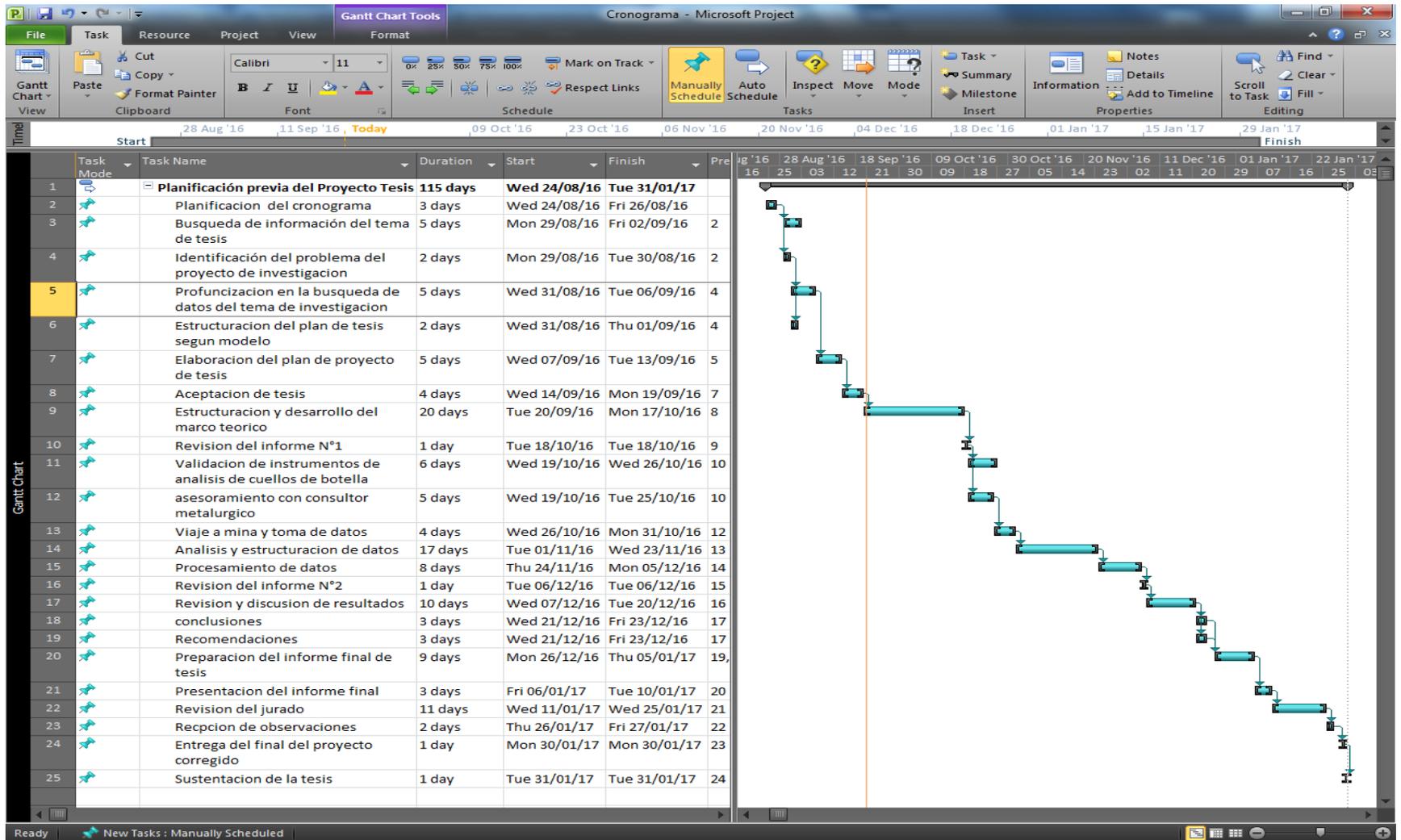
Villacorta Gamarra, Raúl (2008)."Ingeniería de Métodos". Universidad de San Martin de Porres. Facultad de Ingeniería y Arquitectura.

NTP 350.043-1 (2011). "EXTINTORES PORTÁTILES. Selección, distribución, inspección, mantenimiento, recarga y prueba hidrostática" 3era Edición. INDECOPI □

Manual de Seguridad de la Compañía Inblasa S.A.C (2011). □ Manual de Higiene y Seguridad Industrial del Grupo Salud Coop (2011).

Vladimir Rodríguez, Raúl Bao, Luis Cárdenas, (2005). “Formulación y Evaluación de Proyectos Industriales”

ANEXOS CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES



Anexo 1: Cronograma de Actividades

PRESUPUESTO

Recursos Humanos				
N°	Item	Cantidad	Precio Unitario	Total (S/.)
1	Asesoría externa	1	3,000.00	3,000.00
2	Equipo de trabajo	1	1,000.00	1,000.00
Total				4,000.00

Servicios				
N°	Servicios	Cantidad	Precio Unitario	Total (S/.)
1	Tipeado	1000	1.00	1,000.00
2	Anillado	5	20.00	100.00
3	Empastado	5	70.00	350.00
4	Internet	40	5.00	200.00
5	Viaje a Mina (*)	2	250.00	500.00
Total				2,150.00

Bienes y Materiales				
N°	Item	Cantidad	Precio Unitario	Total (S/.)
1	Laptop	1	1,900.00	1,900.00
2	Impresora	1	750.00	750.00
3	Cámara digital	1	500.00	500.00
4	Papel bond (millares)	2	20.00	40.00
5	Lapiceros	8	1.00	8.00
6	Correctores	2	2.50	5.00
7	Lapices	6	0.50	3.00
8	Disco Duro (1TB)	1	450.00	450.00
Total				3,656.00

Resumen	Costo Total
RRHH	4,000.00
Bienes y Materiales	3,656.00
Servicios	2,150.00
Total	9,806.00

Anexo 2: Presupuesto

Anexo 3: Encuesta Falta de camiones**Encuesta para análisis de la chancadora primaria****FALTA DE CAMIONES**

Área: Operaciones Mina y operaciones planta

Instrucciones:

La encuesta consta de 4 preguntas de opción múltiple, marcar con un aspa la relevancia que crea conveniente para pregunta, siendo 1 menos relevante y 4 más relevante.

IMPORTANTE: Solo marcar una opción por pregunta, no se pueden repetir repuestas.

Preguntas

1. ¿A su parecer la falla, mecánica o de mantenimiento, en los camiones afecta el cumplimiento del plan de producción?

1 2 3 4

2. ¿A su parecer la operar los camiones a una velocidad de 30 a 35 km/hr afecta el cumplimiento del plan de producción?

1 2 3 4

3. ¿A su parecer brindar un incentivo para operar a una velocidad promedio estándar ayudaría a incrementar el plan de producción?

1 2 3 4

4. ¿A su parecer la inexperiencia de los operarios afecta el incremento del plan de producción?

1 2 3 4

Anexo 4: Encuesta Rocas Grandes**Encuesta para análisis de la chancadora primaria****ROCAS GRANDES**

Área: Operaciones Mina

Instrucciones:

La encuesta consta de 5 preguntas de opción múltiple, marcar con un aspa la relevancia que crea conveniente para pregunta, siendo 1 menos relevante y 5 más relevante.

IMPORTANTE: Solo marcar una opción por pregunta, no se pueden repetir repuestas.

Preguntas

1. ¿A su parecer en grado la falta de logueos para geotecnia afecta el cumplimiento del plan de voladura?

1 2 3 4 5

2. ¿A su parecer la falta de dominios o datos afecta el cumplimiento del plan de voladura?

1 2 3 4 5

3. ¿A su parecer la inexperiencia del operario es causal del incumplimiento del plan de voladura?

1 2 3 4 5

4. ¿A su parecer la prevención que se toma antes del disparo, es causal del incumplimiento del plan?

1 2 3 4 5

5. ¿A su parecer la falla de los proveedores con respecto a los explosivos, afectan la ejecución del plan de voladura?

1 2 3 4 5

Anexo 5: Encuesta Mantenimiento**Encuesta para análisis de la chancadora primaria****MANTENIMIENTO**

Área: Mantenimiento mina

Instrucciones:

La encuesta consta de 5 preguntas de opción múltiple, marcar con un aspa la relevancia que crea conveniente para pregunta, siendo 1 menos relevante y 7 más relevante.

IMPORTANTE: Solo marcar una opción por pregunta, no se pueden repetir repuestas.

Preguntas

1. ¿A su parecer la falta de experiencia del planner de mantenimiento afecta el plan de mantenimiento?

1 2 3 4 5 6 7

2. ¿A su parecer la frecuencia de mantenimiento afecta la disponibilidad de los equipos y por lo tanto compromete el plan de mantenimiento?

1 2 3 4 5 6 7

3. ¿A su parecer se están ejecutando mantenimientos erróneos que afectan a los equipos?

1 2 3 4 5 6 7

4. ¿A su parecer las fallas en el plan de compras afectan los inventarios para el plan de mantenimiento?

1 2 3 4 5 6 7

5. ¿A su parecer la falta de operarios compromete el cumplimiento del plan de mantenimiento?

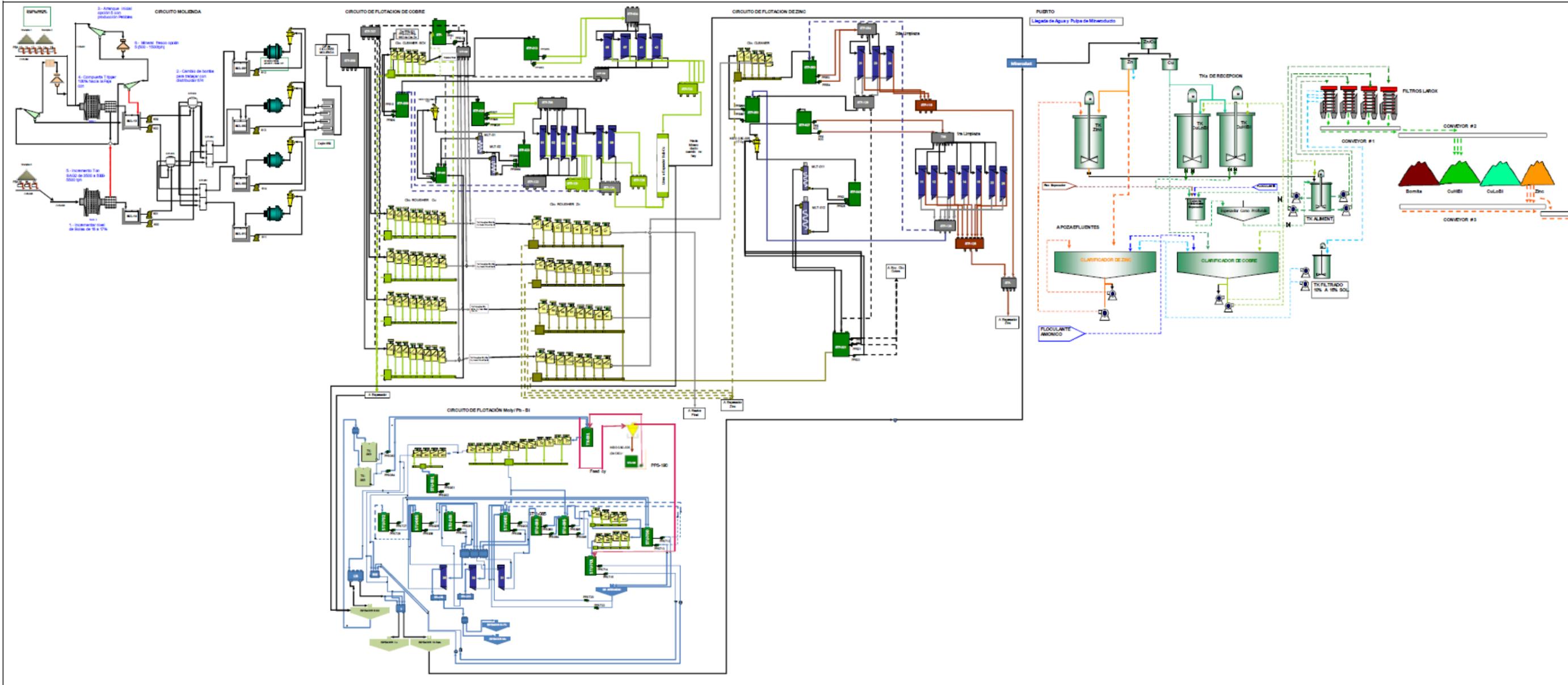
1 2 3 4 5 6 7

6. ¿A su parecer la falta de experiencia de los operarios, afecta la ejecución del plan de mantenimiento?

1 2 3 4 5 6 7

7. ¿A su parecer las fallas de los proveedores afectan el inventario de repuestos para la ejecución del plan de mantenimiento?

1 2 3 4 5 6 7



Anexo 6: Diagrama de Flujo planta concentradora

Fuente: Compañía Minera

Anexo 7: Tabla de Datos-Producción-Molienda-Horas

Year	Month	Date	Crushed WMT	Crushed DMT	Ball Milled WMT	Ball mill	SAG mill	Producción	Voladura	Falta de Camiones	Mantenimiento Programado	Mantenimiento No Programado	Cambio de Turno	Medida de Setting	Cambio de Mineral	Pila Alta Stacker	Faja Parada	Atoro
2015	1	01/01/2015	158.548,85	152.841,09	169.019,80	175.780,59	185921,8	20,96	0,50	1,70	0,00	0,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	1	02/01/2015	149.913,51	144.516,62	139.351,71	144.925,78	153286,9	19,99	0,00	1,75	0,00	0,00	1,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	1	03/01/2015	161.477,31	155.664,13	179.282,94	186.454,26	197211,2	20,83	1,46	1,42	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00
2015	1	04/01/2015	147.808,38	142.487,27	144.337,26	150.110,75	158771	19,13	0,44	1,76	0,00	1,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	1	05/01/2015	167.498,68	163.267,75	156.747,91	163.017,82	172422,7	21,43	0,32	1,49	0,00	0,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	1	06/01/2015	170.140,27	165.886,77	159.223,95	165.592,90	175146,3	21,23	0,44	2,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	1	07/01/2015	151.973,80	148.174,45	153.657,72	159.804,03	169023,5	19,74	0,00	1,72	2,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	1	08/01/2015	92.545,18	90.231,55	101.040,65	105.082,28	111144,7	11,93	0,00	0,41	11,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	1	09/01/2015	162.303,50	158.245,91	147.573,22	153.476,15	162330,5	20,61	1,05	1,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	1	10/01/2015	172.413,59	166.256,43	113.396,37	117.932,27	124736	22,19	0,00	0,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	1	11/01/2015	150.470,83	145.053,88	141.898,90	147.574,85	156088,8	20,23	0,00	1,92	0,00	1,07	0,00	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00
2015	1	12/01/2015	136.805,07	131.880,08	136.102,27	141.546,36	149712,5	20,45	0,17	1,62	0,00	1,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27	0,00
2015	1	13/01/2015	175.747,34	169.420,44	156.878,49	163.153,63	172566,3	22,40	0,00	1,02	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	1	14/01/2015	129.398,82	124.740,46	122.088,81	126.972,36	134297,7	19,99	0,00	1,94	0,00	1,12	0,00	0,00	0,00	0,61	0,00	0,00
2015	1	15/01/2015	174.702,68	168.413,38	177.694,43	184.802,21	195463,9	22,45	0,00	1,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,00
2015	1	16/01/2015	161.628,92	155.810,28	157.626,14	163.931,19	173388,8	21,20	0,97	0,77	0,00	0,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,32	0,00
2015	1	17/01/2015	174.361,52	168.084,50	187.670,41	195.177,23	206437,5	22,22	0,00	0,81	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	1	18/01/2015	177.327,51	170.943,72	178.422,62	185.559,53	196264,9	22,67	0,54	0,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	0,00
2015	1	19/01/2015	171.230,01	165.065,73	162.150,64	168.636,67	178365,7	21,82	0,40	1,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	1	20/01/2015	123.169,55	118.735,45	139.334,17	144.907,54	153267,6	15,80	0,00	0,63	0,00	0,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,89
2015	1	21/01/2015	175.147,68	168.842,36	167.964,46	174.683,04	184760,9	22,23	0,00	0,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,46	0,09	0,00
2015	1	22/01/2015	174.461,57	168.180,95	169.003,06	175.763,19	185903,4	22,29	0,00	1,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	1	23/01/2015	164.101,11	158.193,47	156.579,41	162.842,59	172237,4	20,88	1,35	0,36	0,00	0,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00
2015	1	24/01/2015	176.808,30	170.443,20	154.765,03	160.955,63	170241,5	22,62	0,30	0,33	0,00	0,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	1	25/01/2015	175.723,73	170.931,76	157.457,20	163.755,48	173202,9	22,40	0,44	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	1	26/01/2015	154.300,75	150.443,23	144.654,07	150.440,23	159119,5	21,24	0,00	1,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,17	0,00	0,00
2015	1	27/01/2015	170.124,80	165.871,68	158.449,76	164.787,75	174294,7	21,73	0,29	1,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	1	28/01/2015	166.397,00	162.237,08	158.094,62	164.418,40	173904,1	21,19	0,65	0,59	0,00	0,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,49	0,00
2015	1	29/01/2015	174.292,32	168.319,47	181.662,18	188.928,66	199828,4	22,75	0,52	0,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	1	30/01/2015	168.156,53	162.102,90	150.800,32	156.832,33	165880,4	21,36	0,00	0,38	0,00	2,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	1	31/01/2015	179.144,88	172.695,67	184.590,29	191.973,90	203049,3	22,77	0,00	0,31	0,00	0,03	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16
2015	2	01/02/2015	167.961,35	161.914,74	184.180,95	191.548,19	202599	21,46	0,00	2,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	0,00
2015	2	02/02/2015	175.228,27	168.920,06	168.139,66	174.865,24	184953,6	22,33	0,46	1,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	2	03/02/2015	49.573,73	47.789,08	82.330,62	85.623,84	90563,68	6,62	0,00	0,53	0,00	15,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	2	04/02/2015	165.909,25	159.936,52	167.573,25	174.276,18	184330,6	21,52	0,00	0,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,51
2015	2	05/02/2015	172.804,94	166.583,96	168.591,64	175.335,31	185450,8	21,89	0,29	0,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24	0,00
2015	2	06/02/2015	158.579,23	152.870,37	157.829,60	164.142,78	173612,6	20,17	0,17	0,63	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	2	07/02/2015	-	-	52.554,07	54.656,23	57809,47	0,00	0,00	0,00	24,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	2	08/02/2015	-	-	-	-	-	0	0,00	0,00	0,00	24,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	2	09/02/2015	-	-	-	-	-	0	0,00	0,00	0,00	24,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	2	10/02/2015	-	-	-	-	-	0	0,00	0,00	0,00	24,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	2	11/02/2015	-	-	-	-	-	0	0,00	0,00	0,00	24,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	2	12/02/2015	13.664,10	13.172,20	-	-	-	0	3,43	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	4,71	0,00
2015	2	13/02/2015	118.203,00	113.947,69	35.592,26	37.015,95	39151,49	19,38	0,00	1,24	0,00	1,25	0,00	0,00	0,00	0,00	1,21	0,00
2015	2	14/02/2015	155.456,00	149.859,58	149.690,31	155.677,92	164659,3	20,37	0,00	0,54	0,00	2,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00
2015	2	15/02/2015	172.871,00	166.647,64	149.857,71	155.852,02	164844,5	20,49	0,00	0,46	0,00	2,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	2	16/02/2015	176.627,77	170.269,17	148.799,79	154.751,78	163679,8	20,71	0,62	0,67	0,00	1,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,00
2015	2	17/02/2015	182.019,67	177.469,18	180.612,80	187.837,31	198674,1	20,46	0,48	1,01	0,00	1,03	0,00	0,00	0,00	0,29	0,00	0,00
2015	2	18/02/2015	167.343,11	163.159,53	154.039,60	160.201,18	169443,6	19,67	0,00	0,77	0,00	0,30	0,00	0,00	0,00	0,22	0,00	0,00
2015	2	19/02/2015	108.469,34	105.757,61	144.186,34	149.953,80	158605	13,79	0,00	0,30	0,00	9,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	2	20/02/2015	167.512,00	163.324,20	168.438,28	175.175,81	185282,1	20,92	0,21	0,39	0,00	0,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00
2015	2	21/02/2015	171.202,95	166.922,88	136.573,43	142.036,36	150230,8	22,03	0,47	0,28	0,00	0,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	2	22/02/2015	138.191,58	134.736,79	150.342,84	156.356,56	165377,1	19,50	0,00	1,69	0,00	1,51	0,00	0,00	0,59	0,00	0,00	0,00
2015	2	23/02/2015	145.675,64	142.033,75	151.957,06	158.035,34	167152,8	17,93	0,00	1,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00
2015	2	24/02/2015	177.591,94	171.198,63	185.623,30	193.048,23	204185,6	20,62	0,79	1,10	0,00	0,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24	0,00
2015	2	25/02/2015	113.230,02	109.153,74	96.541,27	100.402,92	106195,4	14,29	0,19	1,57	0,00	7,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	2	26/02/2015	175.547,60	169.227,89	184.084,24	191.447,61	202492,7	21,19	0,00	1,95	0,00	0,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26	0,00
2015	2	27/02/2015	169.687,27	163.578,53	171.522,54	178.383,44	188674,8	19,42	0,00	2,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00
2015	2	28/02/2015	159.780,34	154.028,25	159.522,02	165.902,90	175474,2	19,39	0,00	1,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,54	0,00
2015	3	01/03/2015	161.474,93	155.661,83	158.409,49	164												

2015	4	01/04/2015	189.822,58	182.988,97	190.051,03	197.653,07	209056,1	21,58	0,70	0,84	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	4	02/04/2015	182.997,70	176.409,78	185.499,96	192.919,96	204050	20,63	0,58	0,96	0,00	1,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	4	03/04/2015	189.390,48	182.572,42	189.736,81	197.326,29	208710,5	21,70	0,33	1,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	4	04/04/2015	184.590,52	177.945,26	181.829,61	189.102,80	200012,6	21,03	0,00	0,80	0,00	1,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	4	05/04/2015	208.708,73	201.195,22	198.030,50	205.951,72	217833,5	23,55	0,00	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	4	06/04/2015	189.633,84	182.807,02	198.157,95	206.084,27	217973,7	21,37	0,98	1,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	4	07/04/2015	172.414,25	166.207,34	171.217,71	178.066,42	188339,5	19,58	0,38	1,43	0,00	1,71	0,00	0,28	0,00	0,00	0,00	0,01
2015	4	08/04/2015	177.577,93	171.185,12	172.650,54	179.556,56	189915,6	20,20	0,00	1,70	0,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26
2015	4	09/04/2015	187.999,41	181.231,43	192.598,41	200.302,35	211858,3	21,57	0,32	1,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	4	10/04/2015	154.214,01	148.662,30	155.775,02	162.006,02	171352,5	17,79	0,41	3,16	0,00	1,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	4	11/04/2015	176.923,38	170.554,13	155.374,52	161.589,50	170912	20,03	0,44	0,96	0,00	0,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,34
2015	4	12/04/2015	166.893,00	160.884,85	164.108,54	170.672,88	180519,4	18,86	0,00	2,57	0,00	2,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	4	13/04/2015	188.163,54	181.389,65	178.199,49	185.327,47	196019,4	21,35	0,75	1,30	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	4	14/04/2015	198.932,28	191.770,72	190.892,94	198.528,66	209982,2	22,29	0,23	0,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00
2015	4	15/04/2015	194.345,50	187.349,06	200.311,39	208.323,85	220342,5	21,89	0,00	0,61	0,00	1,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	4	16/04/2015	195.111,64	188.087,62	201.383,48	209.438,82	221521,8	21,93	0,40	0,90	0,00	0,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	4	17/04/2015	198.787,77	191.631,41	204.062,43	212.224,93	224468,7	22,36	0,00	0,98	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	4	18/04/2015	169.267,79	164.863,07	147.203,11	153.091,24	161923,4	20,21	0,00	0,92	0,00	0,63	0,09	0,00	0,35	0,00	0,00	0,00
2015	4	19/04/2015	145.435,38	141.799,49	140.322,67	145.935,58	154354,9	19,41	0,41	0,57	0,00	0,19	0,07	0,00	0,84	1,03	0,00	0,00
2015	4	20/04/2015	162.981,55	158.907,02	159.534,11	165.915,47	175487,5	19,46	0,00	0,73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	4	21/04/2015	130.370,89	127.111,62	151.626,32	157.691,37	166788,9	17,21	0,00	0,51	0,00	2,29	0,00	0,00	0,00	1,40	0,16	0,00
2015	4	22/04/2015	170.086,39	165.834,23	157.973,21	164.292,14	173770,5	19,82	0,00	0,84	0,00	1,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	4	23/04/2015	161.022,45	156.996,88	156.058,34	162.300,68	171664,2	19,35	0,53	0,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,46	0,00	0,00
2015	4	24/04/2015	174.621,90	170.256,35	167.289,06	173.980,62	184018	19,99	0,00	0,56	0,00	0,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	4	25/04/2015	176.495,85	172.083,46	178.062,04	185.184,52	195868,2	20,06	0,00	0,92	0,00	1,15	0,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	4	26/04/2015	168.927,86	164.704,66	167.308,61	174.000,95	184039,5	19,56	0,00	1,73	0,00	2,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	4	27/04/2015	138.521,79	133.829,36	146.833,17	152.706,49	161516,5	16,29	0,00	1,76	4,95	0,01	0,16	0,00	0,35	0,00	0,05	0,00
2015	4	28/04/2015			38.012,00	39.532,48	41813,2	0,00	0,00	0,00	24,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	4	29/04/2015	928,31	894,89	46,65	48,52	51,31728	0,68	0,00	0,00	18,29	4,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00
2015	4	30/04/2015	1.075,53	1.036,81	-	-	0	0,61	0,00	0,36	0,00	23,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	5	01/05/2015	77.519,92	74.729,20	57.483,63	59.782,98	63232	11,31	0,00	0,50	0,00	11,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
2015	5	02/05/2015	144.863,93	139.648,82	150.899,50	156.935,48	165989,4	18,45	0,41	1,17	0,00	0,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	5	03/05/2015	174.346,12	168.069,66	161.769,42	168.240,20	177946,4	20,55	0,63	0,99	0,00	0,36	0,00	0,00	0,00	0,14	0,00	0,00
2015	5	04/05/2015	174.785,30	168.493,03	171.090,86	177.934,49	188199,9	20,68	0,36	1,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,17
2015	5	05/05/2015	175.935,44	169.601,76	174.484,88	181.464,28	191933,4	19,96	0,50	0,56	0,00	2,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	5	06/05/2015	192.519,84	185.589,13	186.744,60	194.214,39	205419,1	22,37	0,00	0,73	0,00	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	5	07/05/2015	188.320,37	181.540,83	177.840,01	184.953,61	195624	21,38	0,27	0,74	0,00	0,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	5	08/05/2015	189.479,95	182.658,67	176.959,66	184.038,04	194655,6	21,78	0,00	1,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	5	09/05/2015	176.845,88	170.479,42	185.995,82	193.435,66	204595,4	20,14	0,39	0,37	0,00	0,95	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00
2015	5	10/05/2015	161.263,24	155.457,77	166.350,44	173.004,46	182985,5	18,38	0,00	1,09	0,00	2,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,55	0,00
2015	5	11/05/2015	118.344,05	114.083,66	113.274,30	117.805,27	124601,7	13,46	0,27	0,45	0,00	2,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,92
2015	5	12/05/2015	182.234,94	175.674,48	191.757,18	199.427,46	210932,9	21,05	0,40	1,52	0,00	0,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	5	13/05/2015	193.998,54	187.014,59	177.836,10	184.949,55	195619,7	21,84	0,00	1,30	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	5	14/05/2015	177.328,72	170.944,88	156.860,00	163.134,40	172546	20,01	0,65	1,30	0,00	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	5	15/05/2015	189.574,53	182.749,85	185.404,25	192.820,42	203944,7	21,50	0,00	1,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	5	16/05/2015	198.956,45	191.794,02	169.924,65	176.721,64	186917,1	22,19	0,13	1,15	0,00	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	5	17/05/2015	195.958,65	188.904,14	173.983,05	180.942,38	191381,4	22,19	0,36	1,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	5	18/05/2015	196.308,20	189.241,10	197.174,94	205.061,94	216892,4	21,99	0,46	1,05	0,00	0,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	5	19/05/2015	161.872,91	156.045,49	176.114,39	183.158,96	193725,8	18,61	0,00	1,33	0,00	4,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	5	20/05/2015	122.705,75	119.562,79	99.825,23	103.818,24	109807,8	20,18	0,45	1,71	0,00	0,09	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00
2015	5	21/05/2015	166.194,03	162.039,18	155.658,67	161.885,01	171224,5	21,55	0,40	1,10	0,00	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	5	22/05/2015	186.886,96	182.214,79	184.308,68	191.681,03	202739,6	21,33	0,00	1,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	5	23/05/2015	186.586,91	181.922,24	190.069,96	197.672,76	209077	21,32	0,00	0,74	0,00	1,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	5	24/05/2015	193.731,53	188.888,24	197.289,95	205.181,54	217018,9	21,89	0,00	0,94	0,00	0,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	5	25/05/2015	200.861,01	195.839,48	183.847,17	191.201,05	202231,9	23,08	0,00	0,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00
2015	5	26/05/2015	201.078,45	196.051,48	199.741,41	207.731,07	219715,6	22,39	0,35	0,40	0,00	0,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	5	27/05/2015	201.231,08	196.200,30	193.830,43	201.583,64	213213,5	22,53	0,21	0,27	0,00	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	5	28/05/2015	154.151,30	150.297,51	135.670,48	141.097,30	149237,5	19,14	0,00	0,70	0,00	0,38	0,00	0,00	0,00	2,51	0,00	0,02
2015	5	29/05/2015	137.576,13	134.136,73	151.636,00	157.701,44	166799,6	19,16	0,00	1,33	0,00	2,34	0,00	0,00	0,63	0,00	0,00	0,00
2015	5	30/05/2015	192.531,89	185.600,74	196.213,73	204.062,28	215835,1	21,70	0,32	1,05								

2015	7	01/07/2015	198.183,40	191.048,80	187.463,43	194.961,97	206209,8	22,58	0,46	0,73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	7	02/07/2015	154.038,16	150.128,87	149.675,82	155.662,85	164643,4	19,11	0,99	2,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	7	03/07/2015	153.680,44	149.838,43	163.537,84	170.079,35	179891,6	17,55	0,00	0,73	0,00	2,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	0,00
2015	7	04/07/2015	181.402,20	176.867,14	166.084,88	172.728,28	182693,4	21,11	0,23	0,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	7	05/07/2015	183.127,28	178.549,10	183.370,09	190.704,89	201707,1	20,76	0,43	1,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	7	06/07/2015	172.568,69	168.254,47	164.163,45	170.729,99	180579,8	19,62	0,00	1,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	7	07/07/2015	152.451,13	148.639,85	163.983,11	170.542,43	180381,4	18,88	0,34	1,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00
2015	7	08/07/2015	194.144,52	189.290,91	169.546,64	176.328,50	186501,3	21,81	0,69	0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	7	09/07/2015	194.157,06	189.303,14	177.457,96	184.556,28	195203,8	21,77	0,30	0,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	7	10/07/2015	157.348,95	153.415,23	160.046,33	166.448,19	176051	18,27	0,69	0,80	0,00	2,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00
2015	7	11/07/2015	199.523,63	194.535,54	184.711,69	192.100,16	203182,9	22,30	0,00	0,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14
2015	7	12/07/2015	197.554,46	192.615,60	184.244,82	191.614,62	202669,3	22,15	0,80	0,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00
2015	7	13/07/2015	182.393,88	177.564,58	180.156,87	187.363,14	198172,6	22,01	0,68	0,33	0,00	0,00	0,00	0,16	0,43	0,00	0,27	0,05	0,00
2015	7	14/07/2015	196.489,60	189.415,98	192.932,73	200.650,04	212226	22,00	0,00	0,80	0,00	0,39	0,00	0,24	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00
2015	7	15/07/2015	194.525,93	187.523,00	165.152,59	171.758,70	181667,9	21,76	0,42	0,56	0,00	0,76	0,00	0,00	0,00	0,20	0,05	0,00	0,00
2015	7	16/07/2015	194.448,48	187.448,34	209.454,59	217.832,77	230400	21,84	0,00	0,46	0,00	1,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	0,00
2015	7	17/07/2015	208.059,28	200.569,15	201.700,48	209.768,50	221870,5	23,31	0,00	0,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	7	18/07/2015	199.274,12	192.100,25	191.445,95	199.103,78	210990,5	22,40	0,34	0,99	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	7	19/07/2015	207.281,76	199.819,61	212.042,80	220.524,51	232347,1	23,23	0,00	0,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	7	20/07/2015	196.658,98	189.579,26	176.884,79	183.960,18	194573,3	22,04	0,32	0,76	0,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00
2015	7	21/07/2015	190.018,05	183.177,40	187.001,27	194.481,32	205701,4	22,90	0,16	0,60	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00
2015	7	22/07/2015	202.312,86	195.029,60	199.098,98	207.062,94	219008,9	22,64	0,00	0,87	0,00	0,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	7	23/07/2015	145.223,03	139.995,00	134.351,95	139.726,03	147877,1	22,49	0,42	0,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	7	24/07/2015	168.262,13	162.226,30	171.652,59	178.518,69	188817,8	20,26	0,00	1,15	0,00	1,99	0,00	0,00	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	7	25/07/2015	186.803,85	182.133,76	178.607,57	185.751,87	196468,3	21,06	0,00	1,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	7	26/07/2015	158.255,52	154.299,14	167.105,38	173.789,59	183819,9	19,00	0,46	0,22	0,00	3,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	7	27/07/2015	167.661,88	163.470,33	164.557,00	171.139,28	181017,7	18,82	0,29	0,61	0,00	0,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27	0,00
2015	7	28/07/2015	176.189,76	171.785,01	166.418,13	173.074,85	183059,9	20,26	0,36	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	7	29/07/2015	184.908,05	180.285,35	177.174,05	184.261,01	194891,5	20,89	0,00	0,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,34	0,00	0,00
2015	7	30/07/2015	169.427,30	165.191,62	160.817,45	167.250,15	176899,2	19,68	0,48	1,63	0,00	0,73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,01	0,00
2015	7	31/07/2015	128.319,24	125.111,26	161.129,08	167.574,25	177242	15,43	0,40	1,19	2,33	0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	8	01/08/2015	156.533,69	152.620,35	156.934,70	163.212,09	172628,2	17,88	0,40	2,61	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	8	02/08/2015	130.783,64	127.514,05	139.776,15	145.367,20	153753,8	15,14	0,00	1,15	1,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00
2015	8	03/08/2015	80.343,39	78.334,81	77.179,84	80.267,03	84897,82	9,80	0,00	6,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,70	0,00	0,30	0,00	0,00
2015	8	04/08/2015	198.260,08	191.122,72	162.779,57	169.290,75	179057,5	22,16	0,00	1,36	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	8	05/08/2015	123.356,80	118.915,96	120.345,71	125.159,54	132380,3	14,86	0,00	0,15	5,75	1,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,29	0,00	0,00
2015	8	06/08/2015	-	-	32,02	33,30	35,22337	12,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	8	07/08/2015	-	-	-	-	0	12,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	8	08/08/2015	-	-	-	-	0	3,69	0,00	0,00	20,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	8	09/08/2015	-	-	-	-	0	0,44	0,00	0,00	23,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	8	10/08/2015	141.204,99	136.121,61	88.603,80	92.147,95	97464,18	17,86	0,00	1,73	2,81	0,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00
2015	8	11/08/2015	119.963,07	116.779,70	139.063,88	144.626,44	152970,3	17,35	0,56	0,76	0,00	1,22	0,00	0,00	2,09	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	8	12/08/2015	126.280,78	123.123,76	132.346,35	137.640,21	145581	18,52	0,00	1,33	0,00	0,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,45	0,00	0,00
2015	8	13/08/2015	143.081,46	139.307,95	124.162,80	129.129,31	136579,1	18,95	0,00	0,82	0,00	1,98	0,00	0,00	1,60	0,00	0,11	0,00	0,00
2015	8	14/08/2015	184.283,48	177.649,27	190.895,23	198.531,04	209984,8	21,74	0,00	0,74	0,00	1,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	8	15/08/2015	199.066,79	191.900,38	194.716,00	202.504,64	214817,6	22,61	0,27	0,62	0,00	0,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	8	16/08/2015	198.318,31	191.178,85	183.185,50	190.512,92	201504,1	22,57	0,00	0,53	0,00	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	8	17/08/2015	184.626,83	177.980,26	157.783,88	164.095,23	173562,3	21,25	0,38	0,57	0,00	0,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	8	18/08/2015	195.507,95	190.620,25	167.819,33	174.532,11	184601,3	21,89	0,26	0,27	0,00	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	0,00	0,00
2015	8	19/08/2015	196.274,12	191.367,26	168.845,99	175.599,83	185730,6	21,96	0,32	0,32	0,00	0,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00
2015	8	20/08/2015	193.087,66	188.260,47	176.894,32	183.970,09	194583,8	21,72	0,00	0,51	0,00	1,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	8	21/08/2015	161.221,07	157.190,54	178.117,15	185.241,84	195928,9	18,27	0,33	0,66	0,00	4,22	0,03	0,00	0,00	0,00	0,28	0,00	0,00
2015	8	22/08/2015	198.582,04	193.617,49	189.398,71	196.974,66	208336,6	22,38	0,45	1,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	8	23/08/2015	180.179,46	173.775,50	178.946,61	186.104,47	196841,3	20,65	0,00	1,59	0,00	0,00	0,00	0,00	1,73	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	8	24/08/2015	190.862,53	183.991,48	180.196,84	187.404,71	198216,5	21,82	0,00	2,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	8	25/08/2015	130.303,46	125.612,54	172.119,25	179.004,02	189331,2	14,99	0,00	8,49	0,00	0,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	8	26/08/2015	197.471,74	190.362,76	172.334,66	179.228,05	189568,1	22,15	0,00	1,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	8	27/08/2015	197.682,57	190.566,00	174.707,11	181.695,39	192177,8	22,60	0,42	0,86									

Anexo 8: Ficha Técnica - Camión Komatsu 930E

930E-4SE ELECTRIC DRIVE TRUCK

SPECIFICATIONS



ENGINE

Make and model	Komatsu SSDA18V170
Fuel	Diesel
Number of cylinders	18
Operating cycle	4 cycle
Gross horsepower	2611 kW 3,500 HP @ 1900 rpm
Net flywheel power*	2558 kW 3,429 HP @ 1900 rpm
Weight (wet)	10100 kg 22,266 lb

* Net flywheel power is the rated power at the engine flywheel minus the average accessory losses. Accessories include fan and charging alternator.

Power ratings above represent engine performance in accordance with SAE J1995 and J1349 conditions.



ELECTRIC DRIVE

AC CURRENT	
Alternator	GTA-39
Dual Impeller In-line blower	453 m ³ /min 16,000 cfm
Control	AC Torque Control System
Motorized wheels*	G DY106 AC Induction Traction Motors
Ratio**	32.62:1
Speed (maximum)	64.5 km/h 40 mph

* Wheel motor application depends upon gross vehicle weight, haul road grade, haul road length, rolling resistance and other parameters. Komatsu and G.E. must analyze each job condition to assure proper application.

** Optional ratios available.



TIRES AND RIMS

Rock service, tubeless, radial tires	
Standard tire*	53/80 R63
Taper Lock	
914 mm x 1600 mm x 127 mm 36" x 63" x 5.0" rim assembly	
Rated at 758 kPa 110 psi cold inflation pressure for rims, 600 kPa 87 psi for tires.	

* Tires should meet application requirements for slip/imp, tread, compound, inflation pressure, ply rating or equivalent, etc.



BODY

All-welded steel flat floor body with horizontal bolsters and full canopy. Eyebrow, rear wheel rock ejectors, body up sling, and rubber mounts on frame are standard. Pivot exhaust heating optional.

Floor sheet	16 mm 0.63" 1379 MPa 200,000 psi tensile strength steel (two-piece)
Front sheet	9 mm 0.35" 1379 MPa 200,000 psi tensile strength steel
Side sheet	8 mm 0.31" 1379 MPa 200,000 psi tensile strength steel
Canopy sheet	5 mm 0.19" 690 MPa 100,000 psi tensile strength steel
Standard SAE heaped 2:1	211 m ³ 276 yd³
Standard Komatsu body weight	30362 kg 66,936 lb

* Komatsu must approve all bodies through a Body Application Worksheet.



CAB

Advanced Operator Environment with Integral 4-post ROPS/FOPS structure (meets J1040 Apr88), adjustable air suspension seat w/lumbar support and arm rests, passenger seat, maximum R-value insulation, tilt and telescoping steering wheel, electric windshield wipers w/washer, tinted safety glass, power windows, Komatsu Payload Weighing System, 55,000 Btu/hr heater and defroster, 21,600 Btu/hr air conditioning (HFC - 134A refrigerant).



FRAME

Advanced technology, full butt-welded box sectional ladder-type frame with Integral ROPS supports, Integral front bumper, rear tubular cross members, steel castings at all critical stress transition zones, rugged continuous horsecollar.

Plate material	482.6 MPa 70,000 psi tensile strength steel
Casting material	620.5 MPa 90,000 psi tensile strength steel
Rail width	305 mm 12"
Rail depth (minimum)	864 mm 34"
Top and bottom plate thickness	45 mm 1.77"
Side plate thickness	25 mm 0.98"
Drive axle mounting	Pin and spherical bushing
Drive axle alignment	Swing link between frame and axle



BRAKING SYSTEM

Service brakes: oil-cooled, hydraulic-actuated, multiple disc brakes at each wheel. Traction system wheel slip/slide control.

Max. service apply pressure	17237 kPa 2500 psi
Total friction area per brake	97025 cm ² 15,038 in²
Secondary brakes	Automatically applied prior to hydraulic system pressure dropping below level required to meet secondary stopping requirements.
Wheel brake locks	Switch activated
Parking brakes	Multiple disc, spring-applied, hydraulically-released, dry brakes on Inboard end of each wheel motor rotor shaft. Rated to hold on ±15% grade @ maximum gross vehicle weight.
Electric dynamic retarder	Max 4026 kW 5400 hp Continuous 2909 kW 3900 hp
	Continuously rated high-density blown grids wire retard at engine idle and retard in reverse propulsion.



SUSPENSION

Variable rate hydro-pneumatic with Integral rebound control

Max. front stroke	328 mm 12.92"
Max. rear stroke	239 mm 9.40"
Max. rear axle oscillation	±6.5°

* Rear suspensions are inverted.



COOLING SYSTEM

L&M radiator assembly, split-flow, with deaeration-type top tank measuring 3277 mm x 2164 **10'9" x 7'1"**.



SERVICE CAPACITIES

Cooling System	719 L 190 U.S. gal
Crankcase*	341 L 90 U.S. gal
Hydraulic system	1325 L 350 U.S. gal
Motor gear box (each)	95 L 25 U.S. gal
Fuel	5300 L 1400 U.S. gal

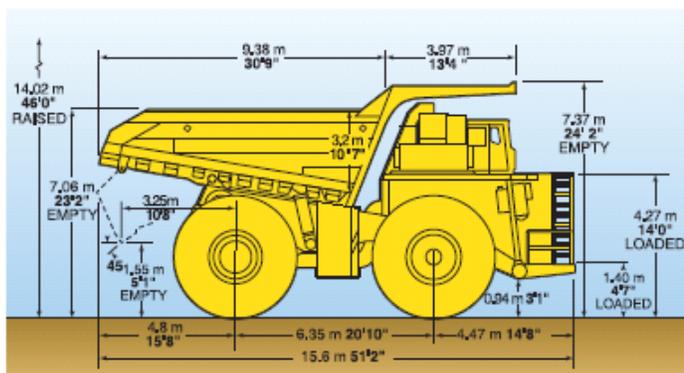
* Includes lube oil filters

ELECTRIC DRIVE TRUCK

930E-4SE



DIMENSIONS



All dimensions are with 218 m³ 285 yd³ body (optional body).

Bodies	Struck	2:1 Heap	*Loading Height
Standard	171 m ³ 224 yd ³	211 m ³ 276 yd ³	7.06 m 23'2"

* Exact load height may vary due to tire make, type, and inflation pressure.



HYDRAULIC SYSTEM

Steering Accumulator assisted with twin double acting cylinders provide constant rate steering. Secondary steering automatically supplied by accumulator.

Turning circle diameter (SAE) 29.7 m 97'7"

Reservoir 947 L 250 U.S. gal

Filtration In-line replaceable elements

Suction Single, full flow, 100 mesh

Holst and steering Dual, in-line, high pressure.

Brake component cabinet Above deck, easily accessible with diagnostic test connections.

Holst Two 3-stage dual-acting outboard cylinders, Internal cushion valve, over-center dampening.

Holst times

Power-up loaded 21 sec

Power-down 23 sec

Float-down empty 24 sec

Pumps Two pumps, single package, end of alternator

Holst and brake cooling Tandem gear pump with output of 1022 lpm 270 gpm at 1900 rpm and 17237 kPa 2,500 psi

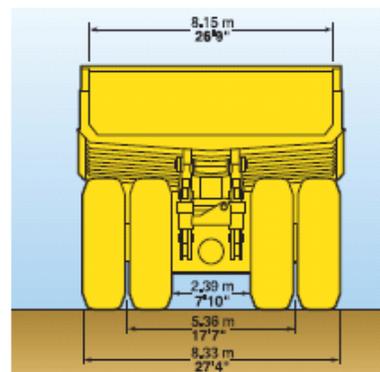
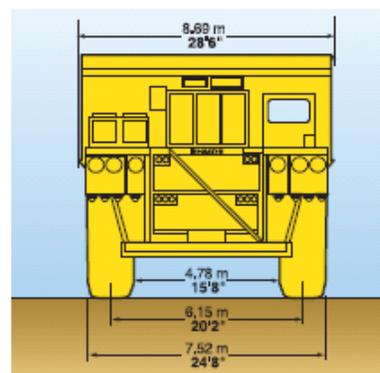
Steering and brake Pressure-compensating axial piston pump with output of 246 lpm 65 gpm at 1900 rpm and 18961 kPa 2,750 psi

System relief pressures

Holst and brake cooling 17237 kPa 2,500 psi

Steering and brake 27579 kPa 4,000 psi

Quick disconnects standard for systems diagnostics and buddy dump.



ELECTRICAL SYSTEM

4 x 8D and 2 x 30H, 220-ampere-hour batteries, bumper-mounted with disconnect switch.

Alternator 24 volt, 140 amp

Lighting 24 volt

Cranking motors two/24 volt



WEIGHT DISTRIBUTION

Empty Vehicle	kg	lb	%
Front axle	104459	230,293	48.5
Rear axle	110847	244,377	51.5
Total (wet, 100% fuel)	215307	474,670	
Loaded Vehicle at maximum GVW rating			
Front axle	165956	365,871	32.8
Rear axle	339649	748,799	67.2
Total	505755	1,115,000	

NOTE: GVW shall not exceed 505755 kg 1,115,000 lb including options, liners, fuel and payload, subject to application approval by Komatsu.

NOTE: Komatsu trucks comply with SAE specifications for cab noise, ROPS, steering and braking. Cover photos and illustrations may show optional equipment. Materials and specifications subject to change without notice.

Anexo 9: Fotos de la mina



Camion Komatsu 930E



Tajo Abierto – Compañía Minera



Tajo abierto



Control Room – Chancadora Primaria



Molino de Bolas – Planta Concentradora



Flotación de Cobre- Planta Concentradora



Celdas de Flotación – Planta Concentradora