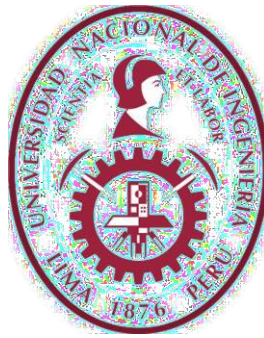


**NATIONAL UNIVERSITY OF
ENGINEERING**

**COLLEGE OF GEOLOGICAL, MINING
AND METALLURGICAL ENGINEERING**

MINING ENGINEERING PROGRAM



**PROPOSAL OF A BLASTING AND DRILLING
METHOD FOR THE REDUCTION OF ENERGY
COSTS IN MINING OPERATIONS**

Course: GM106 Mining Planning

Students:

**Cueva Salazar Davy Cutipa Ramos Luis Felipe
Del Carpio Calderón Enrique Jesús Deudor
Benavente Hugo Rodrigo Diaz Cucho César Antonio**

**Instructor-Advisor: Henry Brañes Gallardo, MSc, PE
Omar Landa Calderón, MSc, PE**

2020

ABSTRACT

In these times of falling metal prices and the tendency to want to achieve cost reduction, energy has to be evaluated and a source of savings that remains untapped in the mining sector. Typically, 15% to 40% of operating costs can be attributed to power in mining operations. This process variable is a complex variable, multiple facets that involve government regulations, social pressures, cost and competitiveness. A company with an energy efficiency program is more than a successful mining company.

Programs of production optimization, currently relatively common, increased production, increased availability of assets and, in many cases, better quality. He usually ignores the question of power altogether.

The objective of this work is to propose a new method for rock blasting and drilling using gasified emulsion pointing for the reduction of energy costs in mining operations.

INDEX

ABSTRACT

INTRODUCTION

CHAPTER I. PROBLEM FORMULATION

1.1. DESCRIPTION OF PRESENT SITUATIONAL STATE

1.2. PROBLEM FORMULATION

1.3. SCOPE

1.3.1. Space Scope

1.3.2. Temporal Scope

1.3.3. Social Scope

1.4. GENERAL OBJECTIVE

1.5. SPECIFIC OBJECTIVES

1.6. PROJECT JUSTIFICATION

1.7. MINING COMPANY

1.8. GENERAL HYPOTHESIS

II. GENERAL CONSIDERATIONS

2.1. BACKGROUND

2.2. CONSIDERATIONS

2.2.1. Rock Blasting in the Mining Operations

2.2.2. Relative Cost of Energy in Mining Operations

2.2.3. Energy Sources in the Mining Site

2.2.4. Equipment and Tools in the Mining Operation

2.2.5. Energy Supply for a Mining Company

III. METHODOLOGY

3.1. RESEARCH TYPE

3.2. METHODOLOGY

IV. PROPOSAL OF ENERGY

4.1. PROPOSAL OF A NEW ROCK BLASTING SYSTEM BASED ON GASIFIED EMULSION

4.2. APPLICATION OF GASIFIED EMULSION TO ACCESS TUNNEL

4.3. BUNDLED EMULSION.

4.4. LOADING TIMES WITH GASIFIED EMULSION AND BUNDLED EMULSION

4.5. DRILLING COSTS

V. CONCLUSIONS

VI. RECOMMENDATIONS

BIBLIOGRAPHY

INTRODUCCIÓN

En este trabajo que hemos realizado con mucho esmero se puede encontrar el estudio realizado al uso de la energía en una compañía minera. Ya que un correcto uso y manejo de todo tipo de energía presente en las actividades relacionadas a minería ocasionará un ahorro sustancial en el costo operativo.

Dentro del trabajo se encontrará la base teórica de nuestro estudio así como las principales soluciones y casos prácticos a nuestro planteamiento del problema. Esto nos servirá para poder ver el impacto real de nuestra hipótesis de investigación

Sin más preámbulos dejamos nuestro trabajo a su disposición para ser revisado y sirva como fuente de apoyo y/o discusión de trabajos posteriores.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

En la situación actual que se encuentra la minería debido a la caída de precios de los metales y problemas en las relaciones comunitarias, nos obligan a una reducción de costos en la operación para así poder tener un margen bruto de ganancia y seguir la operación de la mina.

La cotización de los principales metales está en mínimos de los últimos 6 años debido a que la presión en el 2015 ha sido claramente bajista. Atrás quedó el impulso de entre +8% y +10% que tuvieron el oro y la plata a inicios del año y que en su momento significaron un respiro para inversionistas y países que dependen de la minería. La realidad es otra, en diciembre del 2015 se experimenta un -18 % a -20% de caída en los metales mencionados (desde el pico máximo de 2015). Siendo el Perú un país que depende de la exportación de metales, la caída del precio del cobre es sin duda alguna, lo que más nos ha afectado; llegando incluso estar cercano a un -30% en lo que va del año.

El fortalecimiento del dólar americano es en definitiva el factor principal que empujado al precio de los metales a la baja ya que deteriora el interés del mercado por los recursos básicos o commodities. “Estos activos se cotizan en dólares. Aquellos que compran materias primas, como los metales entre muchos

otros, pierden rentabilidad al revalorizarse el billete verde y resulta con una reducción o caída en los precios.

Tomando como referencia el cruce de los llamados “Commodity Currencies” (dólar americano versus dólar canadiense), que tiene como referencia la aversión al riesgo de las materias primas, tenemos un claro panorama de esta relación inversa que se produce con el dólar al alza versus materias primas a la baja.

En el Perú, el fortalecimiento del billete verde ha significado ver un tipo de cambio Dólar/Sol en S/. 3.37 lo que significa más de 9% en lo que va del año.

El concepto de las relaciones comunitarias han existido desde hace aproximadamente 30 años en el país, por ejemplo en la Minade Tintaya, cuando en el año „81 se constituye la empresa minera Especial Tintaya S.A., se establece un área de Relaciones Comunitarias para los procesos de compra de tierras, de reubicaciones, y relacionamiento con las autoridades locales. Pero donde empieza a tomar más fuerza es a partir de los „90s, cuando se inician las inversiones privadas en importantes proyectos mineros y expansiones de las operaciones, y las empresas inician sus actividades sociales.

Es por ello que debemos ver en qué proceso del ciclo operativo de una mina y qué soluciones se podrá dar para la reducción de costo en base a un manejo eficiente de la energía.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Problema General:

Cómo alcanzar un manejo óptimo de la energía a usarse y qué soluciones se puede formular para lograr ese objetivo y así reducir nuestro costo operativo.

Problemas Específicos:

Cómo disminuir nuestro costo operativo en la actividad de voladura de rocas

Cómo disminuir nuestro costo operativo en la actividad del procesamiento de minerales

Cómo disminuir nuestro costo operativo monitoreando las fuentes de suministro de energía en una compañía minera

Cómo disminuir nuestro costo operativo monitoreando el estado de nuestros equipos y herramientas a ser usados en las actividades respectivas.

1.3. ALCANCES

1.3.1. ALCANCE ESPACIAL

Este trabajo de investigación tendrá como alcance espacial a toda la compañía minera a ser aplicada nuestras soluciones con respecto al problema planteado.

1.3.2. ALCANCE TEMPORAL

Este trabajo de investigación tendrá como alcance temporal lo que es denominado diacrónico debido a que se puede extender a una sucesión de tiempos determinados.

1.3.3. ALCANCE SOCIAL

Este trabajo de investigación tendrá como alcance social a todos los profesionales, estudiantes relacionados a la operación minera para así tener una mejor toma de decisiones.

1.4. OBJETIVO GENERAL

El objetivo de este trabajo es ayudar a comprender mejor los procesos, herramientas y tecnologías que permiten la reducción de costos mediante un tratamiento y uso adecuado de la energía en el campo de la minería.

1.5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Conocer de qué manera se puede obtener un mejor resultado en la actividad de voladura de rocas

Realizar un análisis en una planta de procesamiento de minerales para así poder realizar un estudio detallado de esta.

Conocer que suministros de energía pueden ser usados en la industria minera y así poder reemplazar la tradicional.

Determinar el impacto que genera en el costo operativo un monitoreo de equipos y herramientas a ser usados.

1.6 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Debido a que los costos operativos tienen que ser disminuidos, el análisis del de la eficiencia del uso de la energía será de ayuda para poder identificar las actividades donde se puede optimizar para lograr una mayor producción y reducción de los costos y así obtener una mayor ganancia luego de nuestra operación minera.

1.7. COMPAÑÍA MINERA

Este trabajo de investigación tendrá como alcance espacial a las compañías mineras que estén prestas a dar un cambio positivo en el manejo eficiente de la energía; como alcance temporal lo que es denominado diacrónico debido a que se puede extender a una sucesión de tiempos determinados y como alcance social a todos los profesionales, estudiantes relacionados a la operación minera para así tener una mejor toma de decisiones.

1.8. HIPOTESIS

I.8.1 HIPÓTESIS GENERAL

Se obtendrá una reducción de costos de operación y un mejor resultado luego de un control eficiente del uso de la energía en todas las operaciones estudiadas.

I.8.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

Usando emulsiones gasificadas en la voladura de rocas se obtendrá una fragmentación óptima.

Al tener un control en el flow sheet de una planta de procesamiento de minerales se obtendrá una reducción del costo operativo notorio.

Las energías eólica y solar nos proporcionaran una disminución considerable en lo que respecta en el suministro de energía.

Al realizar un remplazo de equipos obsoletos y monitoreo constante de herramientas a usarse se tendrá una mayor eficiencia en la operación.

II. CONSIDERACIONES GENERALES

2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

La técnica de la optimización de la producción de energía combina las reducciones en el consumo de energía con mejoras en la producción para reducir el costo por unidad de producción al tiempo que mejora el control de los impactos ambientales. Una estrategia energética en las operaciones de extracción y procesamiento de minerales es un componente crítico de la optimización de la producción energética. Esta estrategia debe ser compatible con la integridad financiera y operativa de la empresa. El desarrollo de una estrategia energética con éxito requiere un enfoque bien estructurado como el siguiente:

- La comprensión de dónde se está utilizando la energía y por qué
- Recomendar y aplicar medidas de conservación de energía
- Monitoreo de los objetivos y resultados,
- Re-evaluar de forma continua.

¿Por qué Costear?

Un Sistema de Costos es parte del Sistema de Gestión de una empresa, y tiene los siguientes objetivos:

- a) Saber si hay utilidades.-

Debe permitir conocer que pasó, dónde, cuándo, cuánto y por qué pasó.

b) Evaluación de Presupuestos.-

Facilitar la corrección de los desvíos del pasado y preparar mejor el futuro.

c) Control de Operaciones.-

Ofrecer información para el control administrativo de las operaciones y actividades.

d) Toma de decisiones.-

Dar información sobre la cual se basa la administración para el planeamiento, y apoyo al proceso de la toma de decisiones, priorizando el mejoramiento del futuro.

Aplicaciones de los costos

- 1) Cálculo del precio.- adecuado de los productos y servicios, y su optimización.
- 2) Conocer qué bienes o servicios producen utilidades o pérdidas.
- 3) Comparar los costos reales con los presupuestados.
- 4) Permite comparar los costos entre diferentes períodos.
- 5) Permite comparar los costos entre sus diferentes departamentos o áreas.
- 6) Permite comparar los costos entre diferentes empresas.
- 7) Localiza los puntos débiles de una empresa.
- 8) Determina las áreas que requieren urgentes medidas de racionalización.
- 9) Controla el impacto de las medidas de racionalización realizadas.

- 10) Facilita diseñar e impulsar programas de expansión y/o optimización.
- 11) Facilita diseñar e impulsar nuevos productos y servicios.
- 12) Como criterio en las decisiones de inversión.
- 13) Facilita negociar con los clientes y proveedores.
- 14) Facilita estructurar eficientes procesos y servicios.
- 15) Se utiliza como instrumento de planificación y control.

2.2. CONSIDERATIONS

2.2.1. VOLADURA EN UNA OPERACIÓN MINERA

La voladura de rocas agregan valor si:

- El rendimiento de extracción es alto
- La productividad de chancado es alta
- Se requiere un mínimo trabajo de limpieza y acomodación del material
- Las paredes quedan estables
- No genera daños colaterales (ruidos, vibración de terreno, proyección de rocas, polvo, etc.)



Figura 4.1 Material Volado

La voladura de rocas tiene como objetivo garantizar el abastecimiento de mineral y estéril disparado en forma sostenida para su extracción, acorde con el plan de minado establecido, garantizando homogeneidad y buena fragmentación del material

Parámetros fundamentales:

A) PARAMETROS DE LA ROCA

Son los más determinantes y estos son: La densidad, la dureza, la tenacidad, la frecuencia sísmica, resistencia a la compresión y tensión, textura y estructura, grado de fisuramiento, variabilidad, grado de alteración, porosidad, humedad.

B) PARAMETROS DEL EXPLOSIVO

Son los que tipifican a cada explosivo y que sirven también para encontrar sus equivalentes. Es conveniente mencionar los siguientes conceptos

Presión del Taladro

Se refiere a la fuerza de empuje que ejercen los gases de la explosión sobre las paredes del taladro. •

Volumen Normal de Gases.-

Es la cantidad de gases en conjunto que se generan como resultado de la detonación.

C) PARAMETROS DE CARGA

Corresponden a la forma de ubicar y distribuir la carga explosiva en la roca.

D) CONDICIONES DE SEGURIDAD

Los riesgos son: en el manipuleo, transporte, almacenamiento, caída de rocas, contaminación con humos tóxicos , proyección de fragmentos volantes, la vibración y la concusión de la onda de choque. Existen diversas teorías de la voladura de rocas, los cuales nos sirven como referencia inicial en el diseño del mismo, los cuales son oportunidades de mejoraren cada centro de operación.

Las variables controlables en la voladura de roca son las siguientes:

- Diámetro de los taladros
- Altura de banco
- Inclinação de los taladros
- Taco
- Sobreperforación
- Burden y espaciamento
- Esquemas de perforación
- Geometría del frente libre
- Configuración de las cargas
- Desacoplamiento de las cargas
- Explosivos
- Distribución de los explosivos en los taladros
- Consumo específico de explosivos

- Iniciación y cebado de cargas
- Tiempos de retardo y secuencias de encendido
- Influencia del equipo de carga en el diseño de las voladuras
- Desviación de los taladros.

2.2.2. COSTO RELATIVO A LA ENERGÍA EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE UNA OPERACIÓN MINERA

Antes de revisar el funcionamiento de su planta de tratamiento de efluentes, se insta a las empresas a tomar medidas para minimizar la cantidad y la fuerza de los efluentes creados por los procesos de producción.

Producir menos efluentes en primer lugar reducirá las demandas en la planta de tratamiento de efluentes y ahorrará dinero y esfuerzo.

Una comprensión profunda de la naturaleza y las propiedades de los efluentes de su empresa es esencial para el control de la contaminación rentable.

Mejorar el rendimiento de la planta de tratamiento de efluentes (ETP) reducirá los costos de operación y facilitará que se cumpla con sus condiciones de consentimiento de descarga. Los sitios que descargan a la alcantarilla también reducirán sus cargas comerciales del efluente.

Gestión eficaz de efluentes

Los cinco pasos para el manejo efectivo de efluentes son:

- Caracterizar todos los efluentes producidos in situ;
- Implementar un programa de minimización de desechos para reducir el volumen y las fortalezas de los efluentes;
- Incorporar en el proceso de acondicionamiento y tratamiento, cuando sea apropiado;
- Determinar e instalar zonas de segregación para adaptar las opciones de tratamiento;
- Optimizar el rendimiento del ETP.

Para cumplir con las condiciones de consentimiento de descarga y reducir la carga ambiental de sus descargas, las empresas a menudo tienen que modificar sus procesos y / o instalar una planta de tratamiento de efluentes (ETP). La administración eficaz de un ETP tiene una serie de beneficios, incluyendo:

- Reducción de costos operativos;
- Mejor imagen de la empresa;
- Un cumplimiento más efectivo de la ley.

Reducción de costo

El costo real del efluente puede ser más de seis veces mayor que el costo de la eliminación de efluentes, ya que incluye:

- El valor de las materias primas y el producto perdido en el efluente;

- Los costos de producción perdido debido al desperdicio de producto;
- El uso de agua y productos químicos de tratamiento;
- Los costos de operación de los equipos de control de la contaminación;
- Costos de eliminación de desechos, incluyendo costos de efluentes comerciales y costos de bombeo;
- Los costos asociados con el incumplimiento de la legislación, incluyendo multas, honorarios legales, el costo del trabajo de remediación después de los incidentes de contaminación, tiempo del personal y aumento de las primas de seguro;
- Pérdida de ventas potenciales a los clientes que se niegan a comerciar con una compañía que posee un historial ambiental pobre.

2.2.3. FUENTES DE SUMINISTRO DE ENERGÍA EN UNA COMPAÑÍA MINERA

Asegurar un suministro eléctrico confiable es esencial para cualquier proyecto de exploración y explotación minera, con requisitos que varían enormemente dependiendo de la etapa que el proyecto ha alcanzado. En áreas remotas del mundo, las redes de suministro eléctrico locales, si es que existen, puede que no tengan la capacidad de respaldar una nueva mina hambrienta de energía eléctrica, y establecer una estación generadora puede ser la única opción. La innovación ha sido durante mucho tiempo la consigna en este sentido,

con esquemas geotérmicos micro-hidráulicos y de baja temperatura que han sido utilizados para alimentar minas, así como la capacidad generadora más convencional alimentada por petróleo, diésel y gas natural.

Estos sistemas, por supuesto, dependen del transporte de combustible, por lo que hoy los operadores de mina más conscientes de los costos están investigando cada vez más, las energías renovables como posible reemplazo de una proporción de su energía generada de forma convencional. La disponibilidad depende, evidentemente, si el viento sopla o el sol brilla, pero en lugares apropiados, esto se está convirtiendo rápidamente en una opción viable, con una cantidad de empresas que ahora ofrecen la tecnología necesaria para regular y gestionar la energía eléctrica producida a partir de diferentes fuentes en distintos momentos del día.

Este artículo analiza algunas de las opciones disponibles para el suministro de energía eléctrica, en lugares donde las redes son inadecuadas para las necesidades de la industria minera y de procesamiento de minerales. Los grupos electrógenos para este mercado se clasifican en megavatios en lugar de kilovatios, proporcionados por las máquinas omnipresentes que pueden ser remolcadas detrás de la camioneta de un instalador; a menudo arrendadas, éstas tienen su sitio en el mundo de la minería también, pero tienen sus limitaciones en términos del suministro de energía permanente.

2.2.4. ESTADO DE EQUIPOS Y HERRAMIENTAS EN UNA OPERACIÓN MINERA

Es posible que existan usos inadecuados de la energía como producto de malos hábitos, los cuales incluyen aspectos relacionados con Motores, Bombas, Compresores, Iluminación y Sistema eléctrico.

Motores

- Se mantienen encendidos algunos motores operando en vacío en las áreas productivas
- Se arrancan varios motores al mismo tiempo ocasionando elevados picos de demanda
- Se intercambian motores en el proceso productivo ocasionando que algunos resulten operando con bajo factor de carga, en condiciones distintas a las nominales.
- Se reparan motores sin llevar un registro apropiado, lo cual contribuye a incrementar la incertidumbre acerca de las pérdidas en eficiencia que la unidad tiene acumulada.

Bombas

- Se operan las bombas en condiciones de caudal y altura de presión distintas a las establecidas por el diseño original del sistema
- Se operan las bombas en forma estrangulada para condiciones de carga parcial
- Se operan bombas en serie y paralelo para atender cargas parciales

- Se utiliza una sola bomba de gran capacidad para atender todo el proceso
- Se intercambia las bombas en diferentes partes de la planta sin considerar las características del proceso.
- Se incrementa la presión de las bombas en lugar de reducir fugas en las tuberías o válvulas

Compresores

- Se utiliza el aire comprimido para fines no productivos (limpieza, aire fresco, etc.)
- Se eleva la presión de operación del compresor en lugar de reparar múltiples fugas en la línea de distribución.
- Se operan los compresores en forma desordenada en lugar de instalar un tanque pulmón
- Se ubica la admisión de aire al compresor cerca de fuentes de calor.
- Se utiliza compresores para aplicaciones que requieren poca presión.
- Se utiliza el compresor en forma continua aun cuando el proceso no lo requiera

Iluminación

- Se mantienen encendidas las lámparas durante horas de descanso del personal o periodos no productivos.
- Se mantienen encendidas las lámparas en las zonas de almacenes sin personal en el interior

- Se encienden todas las lámparas de varias áreas con un solo interruptor.
- Se colocan las lámparas fluorescentes a gran altura desde donde la iluminación no es efectiva.
- Se encienden todas las lámparas para efectuar tareas de mantenimiento o limpieza en horarios no productivos.
- Se sobre ilumina innecesariamente algunas áreas.
- No se retiran las lámparas quemadas de las luminarias, ocasionando un consumo innecesario de energía (reactor)
- No se retiran las lámparas defectuosas de las luminarias, ocasionando un consumo innecesario de energía (reactor y lámpara).

Sistema eléctrico

- No se modula la carga, se trabaja dentro de las horas punta (18:00 a 23:00 horas) cuando la actividad en cuestión, se puede correr fuera de estas horas.
- Existe consumo de energía reactiva, no se revisa el correcto funcionamiento de los bancos de compensación o no se tiene compensación de la energía reactiva
- Falta de diagramas unifilares o no se actualizan
- No se controla la máxima demanda en horas de punta o pico
- Se tiene transformadores operando con baja carga o sobrecargados
- Se mantienen equipos obsoletos que ocasionan gran consumo de energía

- Se observa un crecimiento desordenado del sistema eléctrico de la planta como producto de la exigencia del proceso.
- Se utilizan conductores con muchos años de antigüedad que presentan recalentamiento, pérdidas de aislamiento y por ende fugas de corriente.
- No se controla la calidad de la energía en la planta.

2.2.5. SUMINISTRO DE ENERGÍA PARA UNA COMPAÑÍA MINERA

Energía Eólica

A 4.100 metros sobre el nivel del mar, en la cordillera de Los Andes, la mina Veladero, operación de Barrick en Argentina, cuenta con el generador eólico instalado a mayor altura del mundo. La turbina, capaz de producir hasta 2 megawatts, proporcionará energía limpia y renovable a la mina, para lo que aprovechará los vientos extremos de la zona. El diseño del generador fue modificado para compensar la baja densidad del aire en las alturas de la montaña y durante el año 2011 pasado proveyó el 3,5%, mientras que el 2012 alcanzó un máximo de 5% en la provisión de la energía de la mina.

El flujo de energía que entrega el molino eólico varía en función de la velocidad del viento: el D8.2 es tan sensible, que comienza a generar con brisas de 4 metros por segundo, llegando a su potencia nominal con vientos de unos 14 m/s. El límite máximo son 25 m/s (90 metros por hora). En este último caso, y para evitar daños en el generador, el sistema cuenta con un freno aerodinámico que varía la posición de las aspas y de la

barquilla (cápsula donde se encuentra la maquinaria en el extremo superior de la torre) hasta detener por completo el rotor.

Construido a un costo de US\$ 8,5 millones, el prototipo se trata del modelo D8.2, provisto por la firma británica SeaWind y fabricado por la alemana DeWind, con capacidad para producir hasta 2 MW. Con una torre de 60 metros de altura, aspas de 40 metros y un rotor de 80 metros de diámetro, tiene carácter de prototipo experimental, ya este tipo de equipos nunca ha sido testeado en condiciones atmosféricas y climáticas extremas como las de Veladero, con baja presión del aire y vientos de hasta 222 k/h.

Operación del molino

Dos computadoras gemelas, una ubicada en la barquilla y otra en la base de la torre, controlan en tiempo real cada parámetro de funcionamiento, desde la posición de las aspas, para conseguir el máximo rendimiento energético, hasta la regularidad de la frecuencia en la energía producida. Los datos provienen de distintos tipos de sensores, entre ellos dos estaciones meteorológicas idénticas situadas en el exterior de la barquilla, que miden velocidad y dirección del viento y temperatura ambiente. Toda esta información es transmitida por fibra óptica al centro de control en Veladero y a las oficinas del fabricante en Alemania, desde donde se pueden operar todos los procesos del molino de manera remota.



Imagen 7.9 Molino Eólico

Aplicación de Energía Solar

Collahuasi inauguró planta solar fotovoltaica que cubrirá el 13% de su consumo eléctrico

Collahuasi y Solarpack inauguraron oficialmente la planta fotovoltaica Pozo Almonte Solar, ubicada en la Región de Tarapacá, que cubrirá el 13% del consumo eléctrico de la minera durante las horas de sol. Con una capacidad de 25 MW, generará 60.000 MWh de energía al año, equivalente a la usada por 25.000 hogares en el mismo lapso, evitando la generación de 50.000 ton de CO₂.

La planta es fruto de la primera licitación hecha por una compañía minera en Chile para el desarrollo de este tipo de energía renovable, adjudicada en este caso a la empresa española Solarpack, y representa la de mayor envergadura instalada por dicha empresa hasta la fecha, siendo además la más grande en operación en el SING.

El presidente ejecutivo de Collahuasi, Jorge Gómez, recordó que la planta debió haberse inaugurado en abril pasado, pero que el terremoto del norte obligó a postergar la ceremonia. El directivo resaltó que uno de los hitos de esta planta es que su licitación demostró que las Energías Renovables No Convencionales (ERNC) son competitivas, lo que posteriormente impulsó el desarrollo de nuevos proyectos de esta naturaleza en el país.

“Es el primer proyecto de generación de ERNC de Collahuasi, lo que significa diversificar nuestra matriz energética”, subrayó, afirmando que la iniciativa es parte de una visión estratégica que se inició con la

construcción de un proyecto renovable para la comunidad de Huatacondo, hace unos años.

“Estamos en línea con los compromisos asumidos por nuestro país en poder incrementar la capacidad de generación eléctrica de fuentes provenientes de ERNC”, añadió.

Gómez también destacó la eficiencia energética que ha logrado la compañía, bajo la norma ISO 50001, mejorando el indicador de eficiencia energética de 34,21 giga joules a 22,61 giga joules por ton de cobre entre 2012 y 2013.

EQUIPOS Y HERRAMIENTAS A SER USADAS (dividir lo de teoría y aplicación)

Motores de Alto Rendimiento disminuyen los costos de energía

Una investigación indica que el 70% de la energía que consume la industria es para alimentar los motores eléctricos. Si consideramos que un motor de “alto rendimiento” tiene un consumo energético de entre 1,5 a 2% inferior al de un motor que no lo es, la factura que pagaremos en el año será inferior en más del 1%. Un motor de elevada calidad tecnológica no solo tendrá una mayor eficiencia durante el período de marcha a plena carga, sino que nos brindará mejores condiciones en el arranque y condiciones excepcionales de funcionamiento a los niveles de carga parcial.



Imagen 7.10 Motores de Alto Rendimiento

Un motor de elevada calidad tecnológica no sólo tendrá una mayor eficiencia durante el período de marcha a plena carga, sino que nos brindará mejores condiciones en el arranque y condiciones excepcionales de funcionamiento a los niveles de carga parcial (el rendimiento a $\frac{3}{4}$ de carga es similar y en algunos casos superior al 100% de carga). Los costos de operación de un motor, durante su vida útil, se forman con el precio pagado por unidad, el costo de su instalación, el del mantenimiento y el costo de la energía.

La comparativa de todos los puntos precedentes no resiste análisis alguno, pues el 97% del total lo representa el "costo de la energía" (ver Figura 7.11).

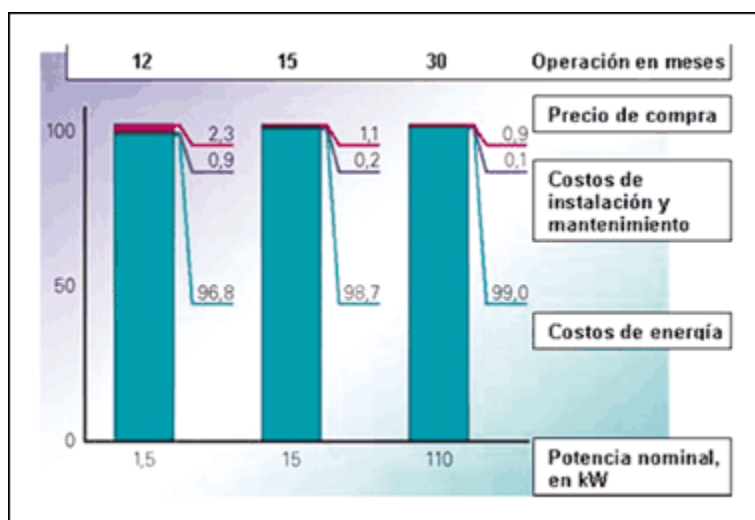


Imagen 7.11 Costo de la Energía

Cuando se habla de motores de "Alto Rendimiento" (EFF2), también podemos definirlos como de "bajo consumo". Para que un motor sea de bajo consumo sin variar (en gran medida) el precio, debe brindar mejores condiciones en el arranque como durante la marcha. Durante el arranque, las condiciones que debe reunir son mayor par inicial y par máximo; menor momento de inercia; y menor corriente.

En síntesis, cuando se realiza una ampliación, se instala una máquina nueva o se debe reemplazar un motor viejo, es necesario tener en cuenta cuánto nos costará en el futuro mantener ese equipamiento. Pero además hay que tener en cuenta el empeoramiento del resultado y el estado de las líneas, pues de no ser así y antes de tiempo, el crecimiento inexorable de la producción nos llevará a aumentar el recurso energético con:

- Nuevo equipamiento generador.
- Solicitud de un cupo mayor de energía.
- La incorporación de sistemas de compensación.

III. METODOLOGÍA

3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación es de nivel descriptiva ya que se describirá los casos prácticos de las soluciones en las compañías mineras donde se pudo aplicar . Así mismo la presente investigación es de nivel correlacional debido a que se tratará de correlacionar los resultados con una variación porcentual del costo operativo en lo que refiere al uso de energía

3.2. METHODOLOGY

3.2.1 MÉTODOS

El método a usar en la presente investigación será el método experimental, se tomarán los datos de cada aplicación real de las soluciones descritas. Paralelamente se desarrollará el método observacional para identificar condiciones subestándares y así relacionarlas con la pérdida de la eficiencia de la operación minera en lo que refiere a uso de energía.

3.2.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Nuestra investigación tendrán los siguientes pasos secuenciales:

- 1) Planteo de un problema o pregunta de investigación y documentarse sobre el mismo.
- 2) Generar hipótesis de acuerdo a los conocimientos previos.

- 3) Toma de datos experimentales de la labor a estudiar donde se planteó el problema para observación del escenario actual.
- 4) Aplicar las bases teóricas y conceptuales descritas.
- 5) Análisis estadístico de los datos.
- 6) Interpretación de los resultados.
- 7) Elaboración de un informe escrito.

3.3 UNIVERSO, POBLACIÓN Y MUESTRA

El universo de la presente investigación es las operaciones mineras subterráneas y tajo abierto.

Para el desarrollo de esta investigación, se necesitó los casos prácticos aplicados en diversas compañías mineras del mundo por lo que la población de nuestra investigación serán dichas compañías

La muestra de la investigación será cada solución planteada y aplicada en las compañías mineras tomadas como población.

IV. ROCK BLASTING AND DRILLING WITH GASIFIED EMULSION

4.1. PROPUESTA DE UN NUEVO SISTEMA DE VOLADURA Y PERFORACIÓN DE ROCAS USANDO EMULSION GASIFICADA

VOLADURA EN UNA OPERACIÓN MINERA

Emulsión Gasificada

INTRODUCCIÓN DE UN NUEVO SISTEMA DE APLICACIONES DE EXPLOSIVOS PARA EL PROYECTO DEL TÚNEL CHEVES

Trujillo, octubre 2012

CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO

Se ubica en las provincias de Huaura y Oyón, en el departamento de Lima, que utilizará las aguas de los ríos Huaura y Checras operación comercial inicie en el año 2014. La la que demandará una inversión de \$ 250 millones

Potencia	168.2 MW
Energía	837 GWh/año
Caudal del diseño	33 m ³ /s
Caída	600 m
Caída neta	573 m
Factor de planta	58 %
Turbinas	2 Pelton verticales
Casa de máquinas	Caverna
Línea de transmisión	75 km (220 kV)

Tabla 7.1 Especificaciones técnicas

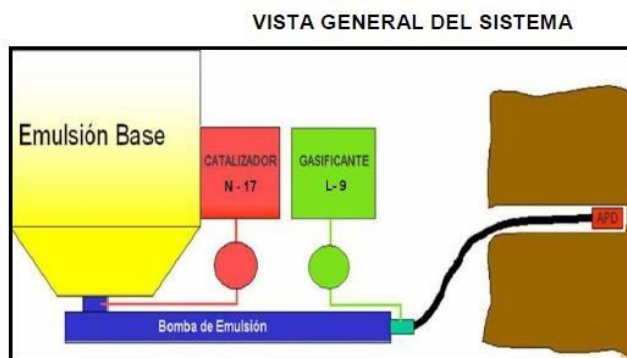


Imagen 7.1 Vista General del Sistema

Emulsión Matriz

Densidad	1.35 - 1.40 g/cm³
Resistencia al agua	Excelente
Viscosidad	45.000 - 55.000 cP
Vida útil	3 meses

Tabla 7.2 Especificaciones de la emulsión matriz

L – 9: Solución acuosa de nitrito de sodio. Su densidad es de 1,06 g/cm³.

N – 17: Solución de ácido acético al 50%. Su densidad es 1,06 g/cm³

MÓDULO UNIDAD BOMBEABLE TÚNEL Y PRODUCTO EXPLOSIVO



Imagen 7.2 UBT



Imagen 7.3 Suministro de insumos para emulsión

Emulsión Gasificada

Densidad	1,05 a 1,15 (g/cm ³)
VOD ⁽¹⁾	3600 - 4000 (m/s)
Energía	857.8 (cal/gr)
Presión	79.6 (Kbar)
Volumen de gases	949.5 (l/kg)
Potencia relativa peso	94.9 (%)
Potencia relativa Volumen	133.8 (%)
Balance de Oxígeno	-6
Vida Util (Shell Life) ⁽²⁾	7

⁽¹⁾ Tubo de cartón 2" iniciado con fulminante N°8

⁽²⁾ Desde el momento del bombeo al taladro

Tabla 7.3 Especificaciones de la emulsión gasificada

PROCESO DE GASIFICACIÓN

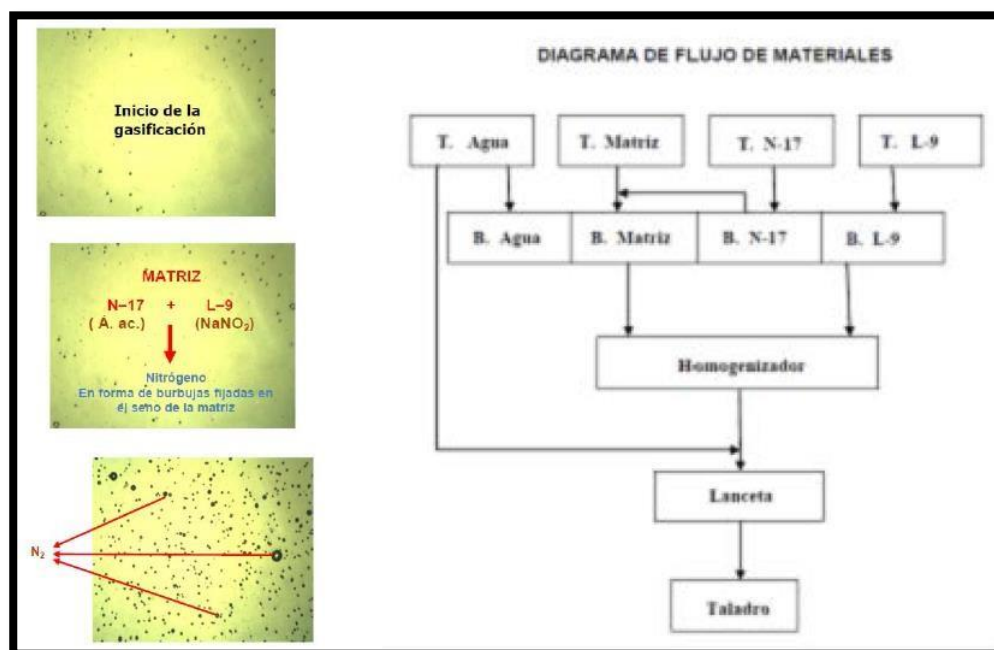
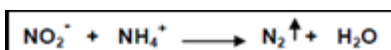


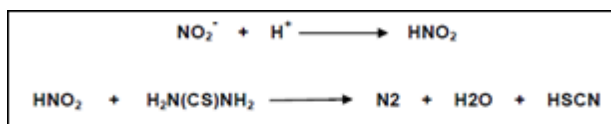
Imagen 7.4 Proceso de gasificación

REACCIONES QUÍMICAS

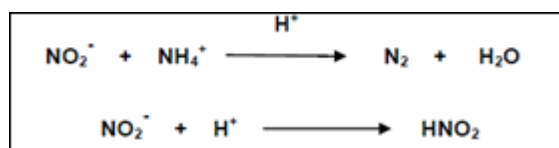
Reacciones químicas: se inicia las reacciones químicas y la producción de las burbujas de nitrógeno:



Catálisis



Efecto pH



Efecto de la temperatura: aumenta o disminuye la cinética del proceso de gasificación, con el cambio de temperatura de la matriz.

En la tabla se muestra la velocidad de gasificado a una temperatura de 20°C la densidad inicial de la matriz es de 1.37 g/cm³.

L-9 (%)	N-17 (%)	Densidad a 15 minutos	Densidad Final
0.5	0.5	1.17	1.14
0.6	0.5	1.14	1.10
0.7	0.5	1.10	1.04
0.6	0.6	1.10	1.08
0.5	0.6	1.16	1.15
0.5	0.7	1.15	1.14

Fuente: Investigación & Desarrollo Exsa S.A.

Tabla 7.4 Densidades

CAUSAS Y EFECTOS DE LA GASIFICACIÓN

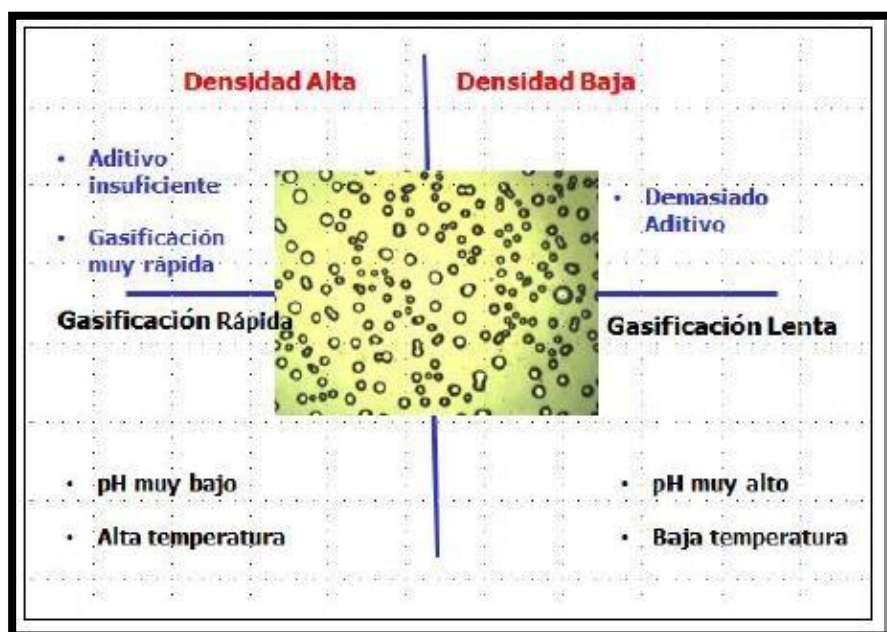


Imagen 7.5 Emulsión gasificada

4.2. APLICACIÓN DE LA EMULSIÓN GASIFICADA EN EL TÚNEL DE ACCESO

Consideraciones para el diseño de la voladura

La clasificación geomecánica del macizo rocoso en el túnel de Acceso según la calificación RMR valorado en el campo es como se ve en la tabla siguiente.

			RANGO	VALOR
RMR 1	UCS (kp/cm ²)		175-240	14-15
RMR 2+3	JOINTS PER METER		10	22
RMR 4	JOINT'S CONDITIONS	PERSISTENCIA	1 - 10 m	2
		APERTURA	0,1 – 5 mm	1
		RUGOSIDAD	Suave	1
		INFILLING	Clay	2
		WEATHERING	Moderada	3
		TOTAL		45-46
RMR 5	GROUNDWATER CONDITIONS		Dry	10-15
			TOTAL	55-61

Tabla 7.5 Consideraciones geomecánicas para la voladura

Burden: Considerando la calidad de la roca según un RMR que varía de 40 a 70 el burden para los dos tipos de explosivos utilizados es de 0.30 cm.

PARÁMETROS DE PERFORACIÓN

La sección del frente 6 x 7.3 m.

Longitud de taladro 3.80 m.

Diámetro de taladros de producción 51 mm.

Diámetro de los taladros de alivio 102 mm.

Tiempo de perforación taladros producción: 3 min. 20 seg.

Tiempo de perforación de 4 taladros de alivio: 6 min. 30 seg.

Tiempo total de perforación real incluyendo las conexiones y posicionamiento de la perforadora es:

- 4 horas 40 minutos en promedio emulsión encartuchada.
- 4 horas 13 minutos en promedio, emulsión gasificada

4.3. VOLADURA CON EMULSIÓN ENCARTUCHADA

CARGUÍO DE TALADROS CON EMULSIÓN ENCARTUCHADA					
Tipo de taladro	Número Taladros	Emulex 80		Emulex 65	
		Cart./Tal.	Kg	Cart./Tal.	Kg
			(0,403)		(0,391)
Arranque	3	11	13,3	0	0
Primera Ayuda	4	11	17,7	0	0
Segunda Ayuda	4	9	14,5	0	0
Producción	17	6	41,1	0	0
Ayuda de corona	6	5	12,1	0	0
Corona	11	0	0	2	8,6
Ayuda de cuadrador	6	8	19,4	0	0
Cuadrador	10	0	0	3	11,7
Ayuda de arrastres	6	9	21,8	0	0
Arrastres	9	11	39,9	0	0
Alivio	4	0	0	0	0
Total	80		179,8		20,3
Total Explosivos					200,2

Fuente: Informe Técnico de Exsa S.A.

Tabla 7.6 Carguío de taladros

VOLADURA CON EMULSIÓN GASIFICADA Control de calidad de la emulsión gasificada Se hace in situ en el momento del carguío basado en el control de la densidad. También se mide VOD

Equipos y materiales para el control

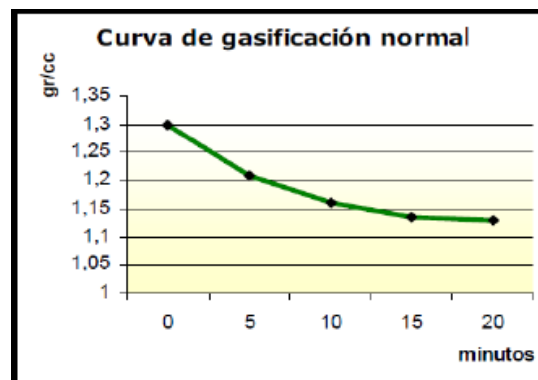
- Un vaso de densidades de 1000 cm³.
- Balanza Analítica 5 kg.
- Termómetro.
- Una espátula o paleta para el enrase.
- Cronómetro.
- Microtrap MREL.

VOLADURA CON EMULSIÓN GASIFICADA

Registro y Resultados de la toma de densidad

Con una Matriz a una temperatura de 20°C.

Tiempo Minutos	Densidad gr/cc	Temp. Emulsión
0	1,30	20°
5	1,21	20°
10	1,16	20°
15	1,15	20°
20	1,13	20°



Fuente: Informe Técnico de Exsa S.A.

Imagen 7.6 Resultados parciales

VOLADURA CON EMULSIÓN GASIFICADA

CARGUÍO DE TALADROS CON EMULSIÓN ENCARTUCHADA							
Tipo de taladro	Número Taladros	Emulex 80		Emulex 65		Slurrex-BS	
		Cart./Tal	Kg	Cart./Tal	Kg	Kg/tal	Kg
			(0,403)		(0,391)		
Arranque	4	1	1,6	0	0	6	24
Primera Ayuda	4	1	1,6	0	0	6	24
Segunda Ayuda	4	1	1,6	0	0	5,5	22
Producción	13	1	5,2	0	0	5	65
Ayuda de corona	4	1	1,6	0	0	5	20
Corona	10	0	0	1	3,9	0	0
Ayuda de cuadrador	5	1	2	0	0	5	25
Cuadrador	10	0	0	1	3,9	0	0
Ayuda de arrastres	6	1	2,4	0	0	5	30
Arrastres	8	1	3,2	0	0	5,5	44
Alivio	4	0	0	0	0	0	0
Total	72		19,2		7,8		254
Total Explosivos							281

Fuente: Informe Técnico Exsa S.A.

Tabla 7.7 Carguío de taladros con emulsión encartuchada

4.4. TIEMPOS DE CARGUÍO CON EMULSIONES ENCARTUCHADA Y GASIFICADA

La dosificación exacta de la carga por taladro y el pare automático, favorece en la rapidez del carguío de la emulsión gasificada.

COMPARACION RESUMEN		
EMULSIONES		
	ENCARTUCHADO	GASIFICABLE
Tiempo de Carguío	88min	67min
Costo Perforación (\$/)	2.100	1.907
Personal en el carguío	12	6
Costo voladura (\$/m)	854.14	679.86

Fuente: Informe Técnico Exsa S.A.

Tabla 7.8 Tiempo de carga de explosivos

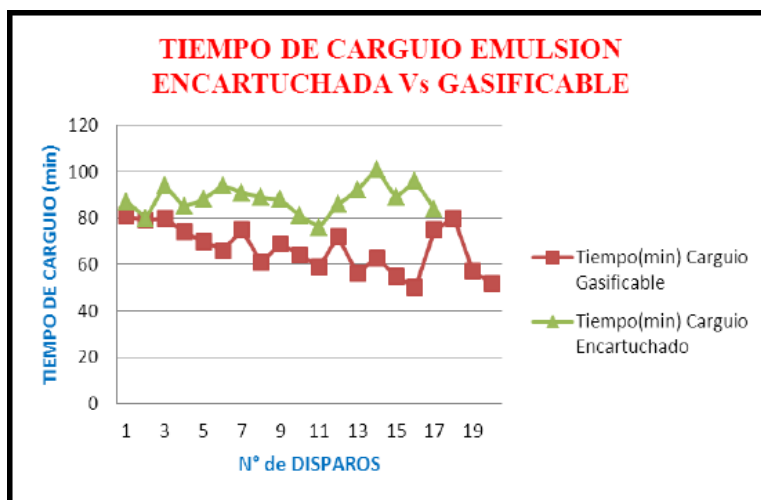


Imagen 7.6 Gráfica de Resultados

4.5. COSTOS DE PERFORACIÓN EMULSIONES ENCARTUCHADAS vs GASIFICADA

los tiempos y costos de perforación comparativos de ambos sistemas, muestra un menor costo de perforación con la emulsión gasificada de 9% en promedio.

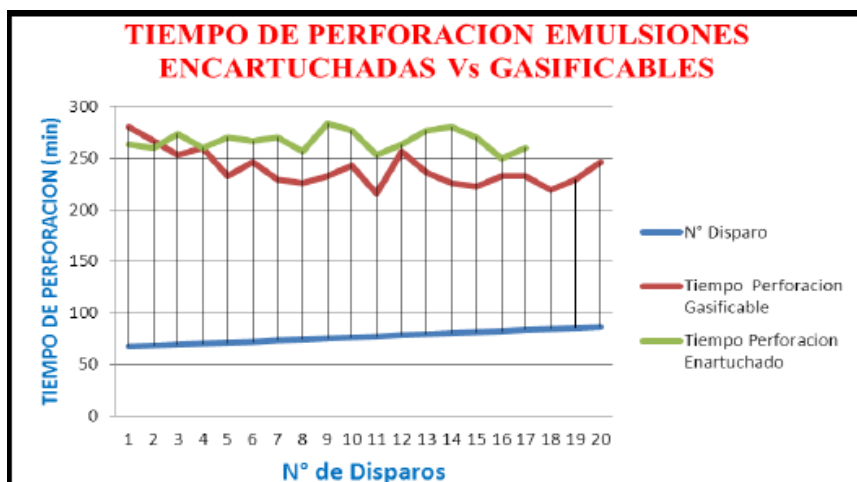


Imagen 7.7 Tiempo de perforación vs N° de disparos

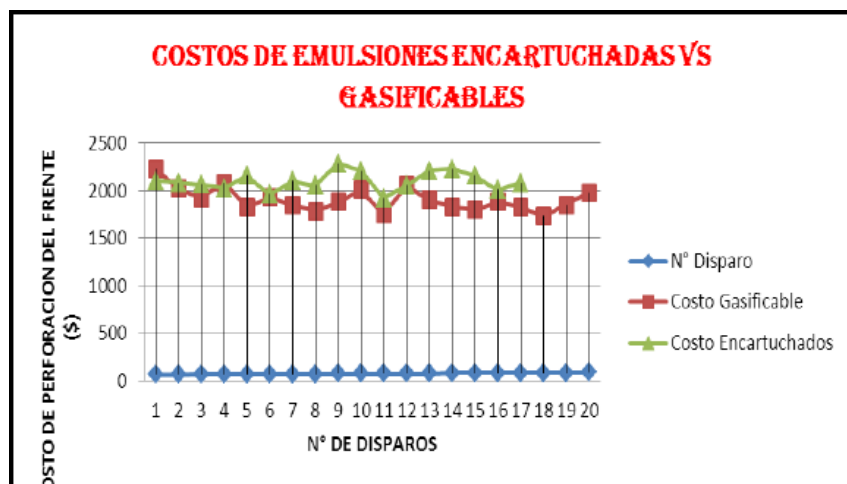


Imagen 7.8 Costo de Emulsiones encartuchadas

VENTAJAS

- Mayor rapidez de carguío.
- No se genera pérdidas, Kg solicitados = kg entregados.
- Menor cantidad de mano de obra.
- Cumple con los avances lineales planificados en un 95%.
- Fragmentación homogénea
- Menor daño a la roca circundante
- Mejor control de los costos globales.
- Alta resistencia al agua
- Se transporta y almacena una emulsión inerte

DESVENTAJAS

- Calibración periódica
- Vida útil de tres meses de la emulsión.
- La temperatura de gasificación que tiene un rango limitado de 40 a menos 10 °C.
- No se recomienda su uso en terrenos muy fracturados

V. CONCLUSIONES

- Un control adecuado del manejo de la energía genera una reducción de los costos operativos de una unidad minera.
- Un control adecuado del manejo de la energía genera un aumento en la productividad de los procesos.
- La emulsión gasificada nos proporciona mejores resultados en fragmentación y costos que los otros tipos de mezclas explosivas.
- La energía eólica y solar pueden ser implementadas en las compañías mineras de nuestro país aprovechando la geografía donde se encuentran cada una respectivamente.
- Los motores de alto rendimiento generan un ahorro sustancial en el uso de energía y en mantenimiento periódico.

VI. RECOMENDACIONES

- Se debe realizarse un control adecuado del manejo de energía en todos los procesos que consta el ciclo operativo de una unidad minera.
- Los resultados se deben compararse con las pruebas hechas en cada compañía minera para poder implementarse debido a que se tiene que tomar en cuenta muchos parámetros que son indistintos para compañía minera.
- Las soluciones dadas en este trabajo investigación deben que ser pie para futuras investigaciones y profundización del tema.
- Realizar las pruebas reiteradas veces para eliminar los errores de medición y experimentación.

BIBLIOGRAFÍA

- Dirección General de Electricidad, Ministerio de Energía y Minas. (2008). Elaboración de Proyectos de Guías de Orientación del Uso Eficiente de la Energía y de Diagnóstico Energético . Minería Metálica, Guía N° 09, 20
- Australian Government Department of Resources. (2014). Iluka Resources Limited . 2014, de Energy and Tourism Sitio web:
<http://eex.gov.au/files/2014/06/Iluka-Resources-Ltd.pdf>
- Energy-and-Resources. (2015). Sliding productivity and Spiraling Costs. 2015, de Mining Spotlight Sitio web:
<https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/global/Documents/Energy-and-Resources/gx-er-sliding-productivity-and-spiraling-costs.pdf>
- Endress-Hauser-group. (2014). wastewater-treatment. 2014, de Industry-instrumentation-expertise Sitio web: • <http://www.endress.com/en/Endress-Hauser-group/industry-instrumentation-expertise/water-wastewater/water-wastewater-portfolio/wastewater-treatment>
- Energía y minas. (2014). collahuasi-inauguro-planta-solar-fotovoltaica-que-cubrira-el 13% de su consumo-electrico. 2016, de Unidad minera Collahuasi Sitio web: <http://www.mch.cl/2014/09/26/collahuasi-inauguro-planta-solar-fotovoltaica-que-cubrira-el-13-de-su-consumo-electrico/>
- Empresa Barrick. (2012). generador eolico de veladero. 2016, de Barrick Sitio web: • <http://barricklatam.com/generador-eolico-de-veladero/barrick/2012-08-28/180159.html>
- <http://eex.gov.au/industry-sectors/mining/>
- <http://news.alcoa.com/>

- <http://www.gelighting.com/LightingWeb/la/north/productos/industrias/industrial/descripcion/>
- <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=789&edi=44>
- <http://www.srk.com/files/File/newsletters/srknews48-mmp-a4.pdf>
- <http://barricklatam.com/generador-eolico-de-veladero/barrick/2012-08-28/180159.html>
- <http://eex.gov.au/industry-sectors/mining/>
- <http://news.alcoa.com/>

APPENDIX A

Engineering Standards and Regulations Applied in the Project

Engineering Standards

The following engineering standards have been applied in the project:

ISO 18758-1

Mining and Earth-Moving Machinery: Rock Drill Rigs and Rock Reinforcement Rigs

The standard defines the terms relating to rock drill rigs and rock reinforcement rigs, including their intended use, working methods, types, and main components. It also provides several classifications of rock drill rigs, based on intended use, mobility and type of operation.

ISO 18758-2:2018

Mining and earth-moving machinery — Rock drill rigs and rock reinforcement rigs — Part 2: Safety requirements

This standard specifies the safety requirements for rock drill rigs and rock reinforcement rigs designed for the following underground or surface operations:

a) blast hole drilling; b) rock reinforcement; c) drilling for secondary breaking; d) dimensional stone drilling; e) mineral prospecting, e.g. utilizing core drilling or reverse circulation; f) water and methane drainage drilling; g) raise boring.

The standard is not applicable to the following machines: drill rigs for soil and rock mixture; (geothermal drill rigs, water well drill rigs, water jet drill rigs, micro pile drill rigs; surface horizontal directional drill rigs (HDD), kelly drill rigs (and casing drivers); cable tool drill rigs; pre-armouring machines; sonic drill rigs; shaft sinking drill rigs; crane attached drill rigs; drill rigs on derricks; scaling machines.

ISO 723:1991

Rock drilling equipment — Forged collared shanks and corresponding chuck bushings for hollow hexagonal drill steels

The standard specifies the dimensions of both forged collared shanks and corresponding chuck bushings. Values are given for five nominal sizes. Extension of the range of sizes and specification of the size of the internal diameter at the forged collar.

Mine Safety and Health Administration 30 CFR Part 75 RIN 1219–AA11 Safety Standards for Underground Coal Mine Ventilation.

Section 75.310 Installation of Main Mine Fans

Main mine fans serve a vital role in providing ventilation to prevent methane accumulations and possible explosions as well as providing miners with a healthful working environment. Section 75.310 is primarily directed at protecting the main mine fans from fires and damage in the event of an underground explosion so that necessary ventilation can be maintained. Monitoring of the fans to assure that they are operating properly is an element of this protection.

ISO 19225:2017

Underground mining machines — Mobile extracting machines at the face — Safety requirements for shearer loaders and plough systems

ISO 19225:2017 specifies safety requirements to minimize the hazards listed in Clause 4 that can occur during the assembly, use, maintenance, repair, decommissioning, disassembly and disposal of shearer loaders and plough systems when used as intended and under conditions of misuse which are reasonably foreseeable by the manufacturer, in underground mining.

ISO 19225:2017 does not cover any hazards resulting from explosive atmospheres. Requirements for explosive atmospheres can be found in ISO/IEC 80079-38.

ISO 19225:2017 is not applicable to machines that are manufactured before the date of its publication.

National Regulations on Mining and Environment

The following government regulations have been applied in the project:

Supreme Decree No. 040-2014-EM.

Peruvian Government Ministry of Energy and Mining.

Environmental Protection and Management Regulations for Exploitation Activities, Benefit, General Labor, Transportation and Mining Storage.

Government Supreme Decree D.S.N° 059-2005-EM

Regulation of Environmental Liabilities of the Mining Activity.

Identification of the environmental liabilities of the mining activity, responsibility and financing for the environmental remediation of the areas affected by the liabilities, in order to mitigate their negative impacts on the health of the population, the surrounding ecosystem and property.

Maximum Permissible Levels of Elements and Compounds Present in Gaseous Emissions from Mining-Metallurgical Units.

Ministerial Resolution No. 315-96-EM / VMM

Sulfur anhydride emissions, particles emissions, lead emissions, arsenic emissions, gases and particles concentration, control points. Measurements carried out in accordance with the provisions of the Protocol Monitoring of Air Quality and Emissions for the Mining Subsector, Ministry of Energy and Mining.

APPENDIX B

Multiple Constraints, Restrictions and Limitations

The following constraints, restrictions and limitation have been considered in the project

Uncertainties and Risks

Mining exploration and production is a high-risk venture. Geological concepts with respect to structure and mineral charge are uncertain. On the other hand, economic evaluations have uncertainties related to cost estimation, changing conditions in economically viable sites, changes in mining technology, fluctuations in mineral price and market conditions, political situation, community relations, etc. All these issues must be carefully analyzed in order to ensure the profitability of the project for the most conservative economic conditions and diversity of scenarios. In this project, all these issues have been considered from a conservative scenario and criteria.

Safety Considerations

Mining exploration and production present diverse safety issues that must be taken into account in the development of the project. It is important to comply with safety standards pointing to satisfy proper safety levels considering their impact in the project budget. Care of human life, well-being and safety is an important issue to take into account throughout the different stages of the project and its life-cycle.

Environment and Sustainability

The mining industry face diverse and broad environmental issues at both local and global levels which could affect the project sustainability. The project considers environmental issues such as potential effluents spills, soil, air and water pollution, habitat protection and biodiversity. The project also considers community relations with local people as an important stakeholder of the project.

Schedule

The project must be completed in one academic semester. It is estimated the project requires an average of 150 hours of teamwork with 4-5 students per team. Considering that, besides the senior design project course, students are enrolled in 3-4 additional courses in the academic semester, students have to plan ahead in order for identify all required activities, distribute the tasks among all team members and, finally, integrate all partial tasks to configure the final project.