

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA**  
**FACULTAD DE GEOLOGÍA, GEOFÍSICA Y MINAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**



**Asignatura: Asesoría de tesis**

**CAPSTONE PROJECT 03**

**ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA PARA EL DISEÑO DE TRANSPORTE  
EN MINERÍA A CIELO ABIERTO; SISTEMA DE ACARREO POR CAMIONES  
FRENTE A UN SISTEMA DE ACARREO MECANIZADO POR FAJA  
TRANSPORTADORA**

**PRESENTADO POR:**

**PAUCAR ALFARO, JOHN POOL  
TORRES HUILLCA, LUIS FERNANDO  
LLAVE PALLANI, FRANKLIN JEANPIER  
VENERO LABRA, RICHARD**

**ASESOR: MSc. Rolando Quispe Aquino**

**AREQUIPA - PERÚ  
2019**

## RESUMEN EJECUTIVO

En el ámbito de la minería actual, la mayoría de los proyectos a tajo abierto a nivel nacional trabajan bajo la modalidad de un sistema de carguío y acarreo con palas y camiones esto debido a la gran flexibilidad que este sistema tiene en función de las fases de minado; pero con la profundización del PIT, los costos de este sistema de carguío y acarreo aumentan significativamente, este sistema también origina altos gastos en combustible, grandes emisiones de carbono y potenciales accidentes debido al tamaño de la maquinaria.

Es por estos motivos, que las compañías mineras están en la búsqueda de nuevas tecnologías para el acarreo del mineral, buscando minimizar el impacto que genera este sistema en el ambiente, así como el reducir los costos de producción, dando como fruto, el presente trabajo de investigación, donde se estudia una nueva tecnología aplicable a la minería a tajo abierto que permitirá la reducción de los impactos ambientales y la reducción de los costos.

En este sentido hablamos del transporte denominado “In – Pit Crushing and Coveying” (IPCC), el cual consta de una planta chancadora operativa dentro del tajo y un sistema de fajas que permitirá la movilización del material suelto desde el Pit hasta la planta concentradora.

Para demostrar su potencial, primeramente, se estudiará todo el marco teórico, donde se abarcará, términos de planeamiento, flujo de caja, geomecánica, entre otros; se simulará la implementación de este sistema en una alternativa de proyecto a tajo abierto, donde se evaluará el flujo de caja originado por ingresos, costos e inversiones, logrando de esta forma una comparación económica entre dos alternativas.

**PALABRAS CLAVES:** IPCC, análisis económico-financiero, transporte por fajas, planta semi-movil.

## ABSTRACT

In the current mining environment, most of the open-pit projects at a national level work under the modality of a loading and hauling system with shovels and trucks due to the great flexibility that this system has depending on the mining phases; but with the deepening of the PIT, the costs of this loading and hauling system increase significantly, this system also causes high fuel expenses, large carbon emissions and potential accidents due to the size of the machinery.

It is for these reasons that mining companies are looking for new technologies to carry the ore, seeking to minimize the impact that this system generates on the environment, as well as to reduce production costs, giving as a result, the present research work, which studies a new technology applicable to open pit mining that will allow the reduction of environmental impacts and cost reduction.

In this sense, we are talking about the transport called "In - Pit Crushing and Coveying" (IPCC), which consists of a crushing plant operating within the pit and a system of belts that will allow the mobilization of loose material from the pit to the concentrator plant.

In order to demonstrate its potential, firstly, the entire theoretical framework will be studied, covering planning, cash flow, geomechanics, among others; the implementation of this system will be simulated in an open-pit project alternative, where the cash flow originated by revenues, costs and investments will be evaluated, thus achieving an economic comparison between two alternatives.

**KEY WORDS:** IPCC, economic-financial analysis, transport by belts, semi-mobile plant

## TABLA DE CONTENIDO

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN.....	10
CAPITULO II: METODOLOGÍA DE ESTUDIO .....	11
2.1. Definición del problema.....	11
2.2. Justificación.....	11
2.3. Formulación del problema.....	12
2.4. Hipótesis General.....	12
2.5. Alcances y Limitaciones.....	13
2.6. Variables e Indicadores.....	13
2.7. Objetivos .....	14
2.7.1. Objetivo General .....	14
2.7.2. Objetivos Específicos.....	14
2.8. Muestra de Estudio .....	14
2.9. Ubicación.....	14
2.10. Accesibilidad.....	15
CAPITULO III: FUNDAMENTOS TEÓRICOS .....	16
3.1. Antecedentes .....	16
3.2. Bases Teóricas.....	17
3.2.1. Recursos.....	17
3.2.2. Planeamiento en Minería .....	18
3.2.3. Parámetros de planeamiento y valor del bloque.....	22
3.2.4. Transporte.....	25
3.2.5. Sistema IPCC.....	27
3.2.6. Sistema IPCC con Chancador Fijo .....	29
3.2.7. Sistema IPCC con Chancador Semi-móvil. ....	31
3.2.8. Sistema IPCC con Chancador Móvil.....	32
3.2.9. Sistema de Fajas Transportadoras .....	33
3.2.10. Faja Fija:.....	34
3.2.11. Faja Reubicable:.....	34
3.2.12. Faja Móvil: .....	35
3.2.13. Sistema de fajas con plataforma sobre orugas (Crawler mounted piggy-back):	36
3.2.14. Sistema de fajas con plataforma sobre llantas (Tyre mounted piggy-back):	36
3.2.15. Sistema de fajas con plataforma sobre patines (Skid mounted piggy-back):	37
3.2.16. Sistema de fajas en puente móvil sobre orugas:.....	38
3.2.17. Sistema de fajas en vagón sobre orugas: .....	38
CAPITULO IV: MATERIALES, MÉTODOS Y PROCEDIMIENTO.....	39
4.1. Metodología.....	39
4.2. Análisis de Alternativa del Proyecto .....	40
4.3. Alternativas de transporte para el proyecto.....	40
4.4. Recursos utilizados para el análisis .....	42
4.5. Parámetros de ingreso .....	43

4.6.	Parámetros de Optimización .....	43
4.7.	Parámetros de minado .....	44
4.8.	Parámetros del diseño de tajo.....	45
4.9.	Equipos de Minado.....	46
CAPITULO V: METODOLOGÍA DE ANÁLISIS .....		48
5.1.	Ingresos.....	48
5.2.	Capex .....	48
5.3.	Opex.....	49
5.4.	Flujo de Caja .....	51
5.5.	Valor Presente Neto (VPN) .....	51
5.6.	Tasa Interna De Retorno (TIR).....	52
5.7.	Análisis Económico-Financiero .....	52
CAPITULO VI: RESULTADOS .....		56
CAPITULO VII: CONCLUSIONES.....		62
ANEXO 1 .....		65
ANEXO 2 .....		66
ANEXO 3 .....		67

## CONTENIDO DE FIGURAS

<b>FIGURA 1:</b> Plano De Ubicación .....	15
<b>FIGURA 2:</b> Relación general entre Resultados de Exploración, Recursos, Reservas Minerales.....	18
<b>FIGURA 3</b> Sección Vertical de un Modelo de Bloques. ....	21
<b>FIGURA 4:</b> Ciclo de Explotación con el Sistema IPCC. ....	29
<b>FIGURA 5:</b> Chancadora Fija. ....	30
<b>FIGURA 6:</b> Chancadora Semi-Móvil .....	32
<b>FIGURA 7:</b> Chancadora Móvil.....	33
<b>FIGURA 8:</b> Sistema de Transporte por Faja Fija. ....	34
<b>FIGURA 9:</b> Sistema de Transporte por Faja Reubicable. ....	35
<b>FIGURA 10:</b> Sistema de Transporte por Faja Movil.....	35
<b>FIGURA 11:</b> Sistema de Faja con Plataforma sobre Oruga.....	36
<b>FIGURA 12:</b> Sistema de Faja con Plataforma Sobre Llanta .....	37
<b>FIGURA 13:</b> Sistema de Faja con Plataforma Sobre Patines .....	37
<b>FIGURA 14:</b> Proceso de Transporte Convencional. ....	41
<b>FIGURA 15:</b> Proceso de Transporte Sistema IPCC.....	42
<b>FIGURA 16:</b> Cono Optimo para cada Opción .....	45
<b>FIGURA 17:</b> Funcionamiento de un Sistema IPCC.....	57

## CONTENIDO DE GRÁFICOS

<b>GRÁFICO 1:</b> Costos de Transporte (Método Conencional) .....	26
<b>GRÁFICO 2:</b> Sensibilidad Del VPN vs Recuperación .....	59
<b>GRÁFICO 3:</b> Sensibilidad Del VPN vs Variación Del CAPEX.....	59
<b>GRÁFICO 4:</b> Variación Del VPN Para El Caso Del IPCC .....	60

## CONTENIDO DE TABLAS

<b>TABLA 1:</b> Diferencias entre la Planificación a Largo Plazo y Estratégica .....	19
<b>TABLA 2:</b> Flujo de Caja Operativo Anual .....	24
<b>TABLA 3:</b> IPCC Opciones de Chancado (Se detalla el tipo a comparar) .....	39
<b>TABLA 4:</b> IPCC Opciones de Fajas Transportadoras .....	40
<b>TABLA 5:</b> Parámetros de Diseño de Bloque. ....	43
<b>TABLA 6:</b> Reporte de Cono Óptimo para cada opción.....	44
<b>TABLA 7:</b> Parámetros del Diseño Tajo por Alternativa.....	45
<b>TABLA 8:</b> Reporte del Diseño del Tajo de casa Alternativa. ....	46
<b>TABLA 9:</b> Comparación en Porcentaje de cada Alternativa. ....	46
<b>TABLA 10:</b> Requerimiento de Equipos Mina. ....	47
<b>TABLA 11:</b> CAPEX Del Proyecto Sistema Convencional.....	48
<b>TABLA 12:</b> CAPEX Del Proyecto Sistema IPCC .....	49
<b>TABLA 13:</b> OPEX Comparativo.....	49
<b>TABLA 14:</b> OPEX Del Proyecto Detallado.....	50
<b>TABLA 15:</b> Resultados de la Sensibilidad. ....	58

## CONTENIDO DE CUADROS

<b>CUADRO 1:</b> Flujo de Caja Descontado Convencional.....	53
<b>CUADRO 2:</b> Flujo de Caja Descontado Caso 1.....	54
<b>CUADRO 3:</b> Resultado Comparativo Economico-Financiero.....	55

## **CAPITULO I: INTRODUCCIÓN**

El acarreo y transporte del mineral, es una parte fundamental en el cálculo de los costos de cualquier proyecto minero, y en el caso de los proyectos a tajo abierto, este va tomando una mayor importancia conforme avanza la profundidad del pit, ya que, con la profundización del Pit, aumentan los costos y tiempo en el transporte, por lo que el optimizar y reducir estos costos es una tarea y un problema que se presenta diariamente en todos los proyectos mineros.

Pero si bien nos enfrentamos a un gran problema, también tenemos que comprender que la tecnología avanza a grandes pasos, y hoy en día, existen nuevas propuestas que ayudan a reducir estos costos y sobre todo a mejorar el valor presente neto (VPN) de todo proyecto minero, y como lo mencionamos previamente, el transporte es parte fundamental de estos costos.

Desde hace ya más de 60 años, se está en la búsqueda de nuevas opciones que puedan reemplazar al sistema de transporte por camiones, y una de las opciones que cobro más fuerza en los últimos años, es la opción de las fajas transportadoras, esto con el aumento de legislaciones que intentan controlar el impacto ambiental que se genera en el entorno, esto sumado, a los grandes costos de combustible, poca oferta y excesiva demanda de llantas, lo cual hace que año a año el sistema de transporte por camiones sea menos beneficioso.

Es por esto que diversas empresas comenzaron a darle mas importancia a otras nuevas opciones de transporte, resaltando dentro de todo el sistema IPCC, por este motivo, el presente trabajo, buscara dar a conocer las ventajas de implementar un nuevo sistema de transporte alternativo. Se analizaron todos los costos que puedan influir en un proyecto minero real y se comparó mediante un análisis económico-financiero el sistema IPCC y el sistema de palas y camiones, buscando los menores costos, optimizando el VPN y sobre todo reducción la emanación carbono al ambiente y aumento en la seguridad.

## CAPITULO II: METODOLOGÍA DE ESTUDIO

### 2.1. Definición del problema

La producción de la unidad minera está fuertemente relacionada con la continuidad de la alimentación a planta de procesamiento de mineral, debiendo ser esta constante pero debido a varios factores controlables y no controlables, mantener la continuidad de esta puede llegar a ser un reto para los ingenieros a cargo de esta área, siendo uno de los factores principales la distancia y tiempo de acarreo, estos tienden a ser factores no controlables en todo el ciclo operativo de minado, ya que los mismos son definidos al momento de iniciar operaciones.

Otras consideraciones son los costos operativos que están presentes por unidad de acarreo, recordando que esta se incrementa respecto al año de vida que se encuentre el proyecto en los momentos de estudio, además se debe considerar el número de incidentes y accidentes correspondientes únicamente a el acarreo de mineral pudiendo llegar a ser el más del 30% y como punto final, el impacto ambiental que produce un sistema de acarreo mecanizado.

- ¿Cómo se puede reducir los costos operativos en minas de tajo abierto, a medida que se profundiza el pit en las fases de minado?
- ¿Cuánto será el costo de implementación de un sistema mixto de acarreo?
- ¿Cómo influenciará en la seguridad del proyecto la implementación de un sistema mixto de acarreo?

### 2.2. Justificación

La evaluación de los costos operativos de los procesos de mina en las operaciones mineras a tajo abierto son el instrumento más valioso para definir oportunidades de mejora y observando en estos que el costo operativo de acarreo abarca más del 30% de estos, se decide buscar soluciones a estos y se llega de manera conjunta a la conclusión que la implementación de un

sistema de acarreo mixto podría reducir significativamente estos, ya que diferentes operaciones mineras a tajo abierto deciden aplicar este mismo sistema debido a que las distancias de acarreo desde el fondo operativo de pit van incrementando.

En este trabajo de investigación vamos a considerar el diseño operativo de este sistema, tanto como los parámetros geomecánicos presentes en la realidad, así como, los beneficios económicos proporcionados por este sistema y enfrentarlos a parámetros típicos de un sistema mecanizado de acarreo.

### 2.3. Formulación del problema

PROBLEMA	CAUSAS	EFECTOS
Aumento de los costos operativos de minado respecto al año posterior de trabajo	Aumento de las distancias de acarreo debido a la profundización del pit, así como factores no controlables en mina.	Requerimiento de la optimización de los costos de acarreo, diseño y análisis económico de varias alternativas de sistemas de acarreo logrando así la reducción de costos operativos y asegurando la continuidad de la producción

### 2.4. Hipótesis General

La aplicación de un sistema mixto de acarreo Camiones- Chancadora - Fajas Transportadoras, permitirá asegurar la continuidad de la alimentación de la planta de procesamiento, haciendo el sistema de acarreo más sostenible y económicamente viable reduciendo de manera considerable estos costos.

## 2.5. Alcances y Limitaciones

### Alcances

El presente estudio abordará de manera específica cada una de las fases de minado correspondiente a toda la vida operativa de una unidad minera a tajo abierto

### Limitaciones

El trabajo desarrollado no se aplicará a otras unidades mineras a tajo abierto ni a unidades mineras subterráneas ya que estas presentan otras consideraciones para el diseño operativo de minado.

## 2.6. Variables e Indicadores

Variables Independientes	Variables Dependientes	Indicadores
-Parámetros geotécnicos -Cantidad de reservas -Ley de mineral -Relación estéril-mineral -Precio de mineral.	-Topografía del proyecto -Macizo Rocosos -Ubicaciones estratégicas de estructuras Accesos a mina Diseño y planeamiento de minado Vida de la mina Ritmo de producción Aplicación de herramientas de software.	-Costos operativos Menores tiempos de acarreo -Reducción de incidentes laborales -NPV del proyecto

## **2.7. Objetivos**

### **2.7.1. Objetivo General**

Estudiar la viabilidad económica en la implementación de un sistema de acarreo mecanizado por faja transportadora, comparándola con un sistema de acarreo por camiones en minería a cielo abierto y evaluar sus ventajas en la productividad y VPN.

### **2.7.2. Objetivos Específicos**

- Evaluar la rentabilidad de la aplicación de un sistema mixto de acarreo mediante una evaluación económica-financiera con sus respectivos indicadores.
- Evaluar las características geomecánicas del macizo rocoso para realizar el análisis correspondiente de los parámetros de diseño de una operación minera.
- Estudiar el Planeamiento a mediano y largo plazo, para el correcto diseño y dimensionamiento de la planta semi-movil y ubicación de la faja transportadora.
- Mostrar las grandes ventajas de la implementación de un sistema mixto de acarreo.

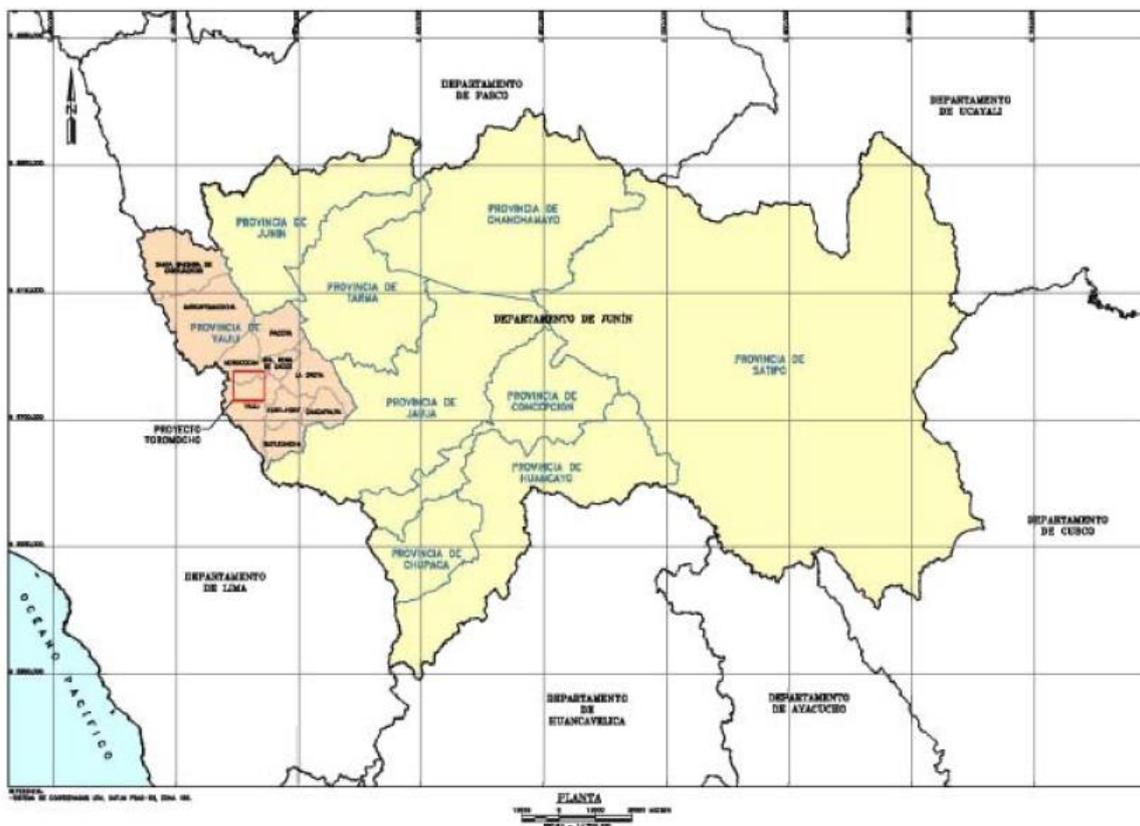
## **2.8. Muestra de Estudio**

La muestra de estudio para el presente trabajo está basada en una recopilación de información de diferentes tesis y trabajos de investigación, los cuales servirán de base para el presente análisis,

## **2.9. Ubicación**

La zona de la simulación del proyecto está ubicado a 4,500 m.s.n.m. y a 142 km al este de Lima, capital de la República del Perú, en el distrito minero de Morococha, Provincia de Yauli, departamento de Junín. La distancia entre Lima y Morococha es de aproximadamente 142

kilómetros por autopista y aproximadamente de 173 kilómetros por vía férrea.



**FIGURA 1:** Plano De Ubicación  
Fuente: INGEMMET

## 2.10. Accesibilidad

Una autopista pavimentada atraviesa Morococha. La región tiene una topografía inclinada con elevaciones sobre el depósito que van desde los 4,700 metros hasta los 4,900 metros sobre el nivel del mar. Los valles en el área circundante tienen origen glaciar.

El acceso al proyecto es por medio de una autopista central pavimentada o por línea férrea, las cuales conectan el distrito minero de Morococha a Lima y La Oroya. La distancia a la ciudad de La Oroya, ubicada hacia el este, es de aproximadamente 32 kilómetros por línea férrea. Otra compañía minera está actualmente operando una fundición y refinería en La Oroya

## **CAPITULO III: FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

### **3.1. Antecedentes**

**TITULO DEL TRABAJO:**

“TRANSPORTE EN MINAS A CIELO ABIERTO: CAMIONES VERSUS SISTEMA DE CHANCADO SEMI-MOVIL DENTRO DE TAJO TRANSPORTADO POR FAJAS”

**AUTOR:** TOLEDO SALAS, WILLIAM ALEX

**INSTITUCION:** UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

**TITULO DEL TRABAJO:**

“SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE CARGUÍO Y TRANSPORTE MINA CHUQUICAMATA”

**AUTOR:** JUAN LUIS YARMUCH GUZMÁN

**INSTITUCION:** UNIVERSIDAD DE CHILE

**FACULTAD:** FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE MINAS

**TITULO DEL TRABAJO:**

“METODOLOGÍA DE PLANIFICACIÓN A CIELO ABIERTO CONSIDERANDO INCORPORACIÓN DE IN PIT CRUSHER AND CONVEYORS”

**AUTOR:** WALTER CESAR LOLI MORALES

**INSTITUCION:** UNIVERSIDAD DE CHILE

**FACULTAD:** FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE MINAS

## **3.2. Bases Teóricas**

### **3.2.1. Recursos**

Los recursos minerales se definen como todos los metales, minerales, rocas e hidrocarburos que pueden ser utilizados por el hombre y que existen en el suelo y subsuelo.

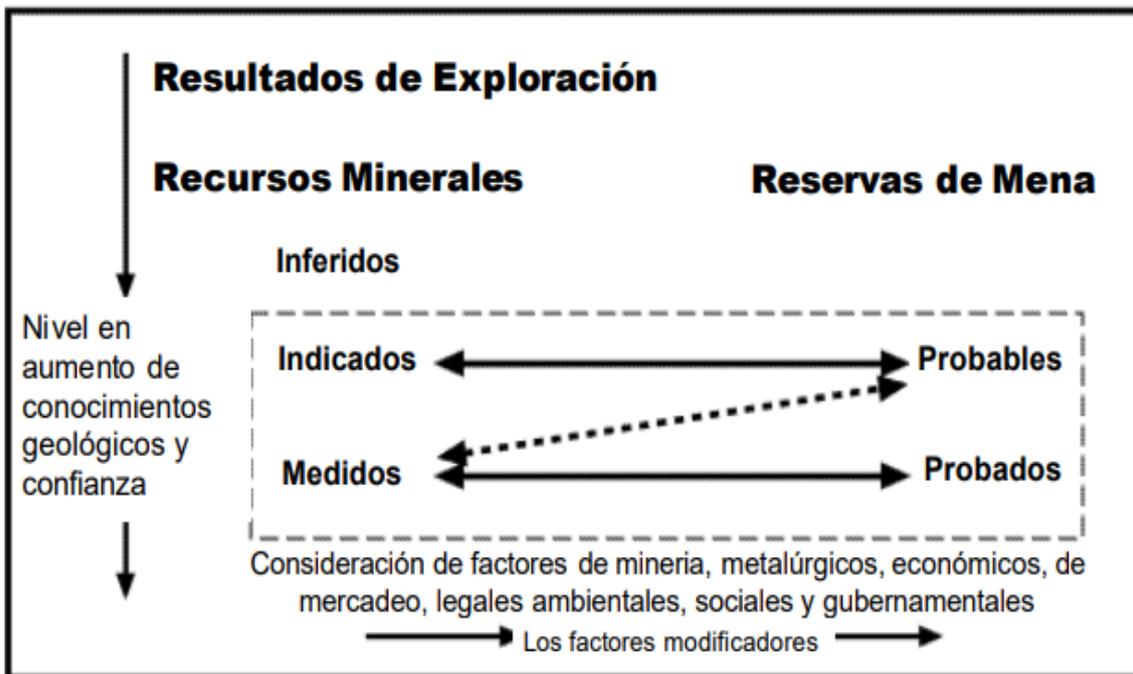
Los yacimientos minerales son cuerpos geológicos que contienen recursos minerales en una concentración muy superior a la de la corteza terrestre en general y, por lo tanto, son de interés económico.

De acuerdo con el Código de Australasia para Informar sobre Recursos Minerales y Reservas de Mena (El Código JORC), los recursos se pueden clasificar en:

**Recurso medido.** - es aquella parte de un Recurso Mineral para el cual puede estimarse con un alto nivel de confianza el tonelaje, su densidad, forma, características físicas, ley y contenido de mineral. Se basa en exploración detallada y confiable, información sobre muestreo y pruebas obtenidas mediante técnicas apropiadas de lugares como ser afloramientos, zanjas, rajos, túneles, laboreos y sondajes. Las ubicaciones están espaciadas con suficiente cercanía para confirmar continuidad geológica y/o de ley.

**Recurso Indicado.** - es aquella parte de un Recurso Mineral para el cual puede estimarse con un nivel razonable de confianza el tonelaje, densidad, forma, características físicas, ley y contenido mineral. Se basa en información sobre exploración, muestreo y pruebas reunidas mediante técnicas apropiadas en ubicaciones como ser: afloramientos, zanjas, rajos, túneles, laboreos y sondajes. Las ubicaciones están demasiado espaciadas o su espaciamiento es inapropiado para confirmar continuidad geológica y/o de ley, pero está espaciada con suficiente cercanía para que se pueda suponer continuidad.

**Recurso Inferido.** - es aquella parte de un Recurso Mineral por la cual se puede estimar el tonelaje, ley y contenido de mineral con un bajo nivel de confianza. Se infiere a partir de evidencia geológica y se asume, pero no se certifica la continuidad geológica ni de la ley. Se basa en información inferida mediante técnicas apropiadas de localizaciones como ser afloramientos, zanjas, rajos, laboreos y sondajes que pueden ser limitados o de calidad y confiabilidad incierta.



**FIGURA 2:** Relación general entre Resultados de Exploración, Recursos, Reservas Minerales.  
Fuente: Código de Australasia para Informar sobre Recursos Minerales y Reservas de Mena

### 3.2.2. Planeamiento en Minería

#### Planeamiento estratégico

Corresponde a la Alta Dirección, y actúa fundamentalmente sobre las salidas (outputs) de la empresa, esto es sobre aquellas decisiones previas que determinan la naturaleza misma y la dirección del negocio. Es decir, debe considerar no solo los grandes objetivos que definen la propia empresa, sino también los planes, la captación de los recursos y los medios para lograrlos. No es solamente donde ir, sino también cómo ir y qué debe ser la empresa, de acuerdo con los medios realmente disponibles o factibles.

Existe una muy común confusión entre la planificación estratégica y la planificación a largo plazo. Mientras que esta última es normalmente operativa, pues, proyecta las actuales operaciones hacia el futuro, como un resultado de la dimensión tiempo, en algunas ocasiones pueden existir decisiones a corto plazo que son estratégicas a causa del impacto tan fuerte que tienen sobre la naturaleza y la dirección del negocio.

La planificación estratégica tiene que ver más con el entorno -cambio de las condiciones ambientales- en que se desarrolla la vida de la empresa, uno de los cuales es, naturalmente, el tiempo. Una decisión estratégica a corto plazo puede ser parar una mina por falta de rentabilidad en un mercado dado y en un momento determinado y otra es volver a arrancarla cuando han variado las condiciones del mercado.

La determinación de la naturaleza y dirección de la empresa es la más alta de las responsabilidades de la Alta Dirección e incluso la más vital.

**TABLA 1:** *Diferencias entre la Planificación a Largo Plazo y Estratégica*

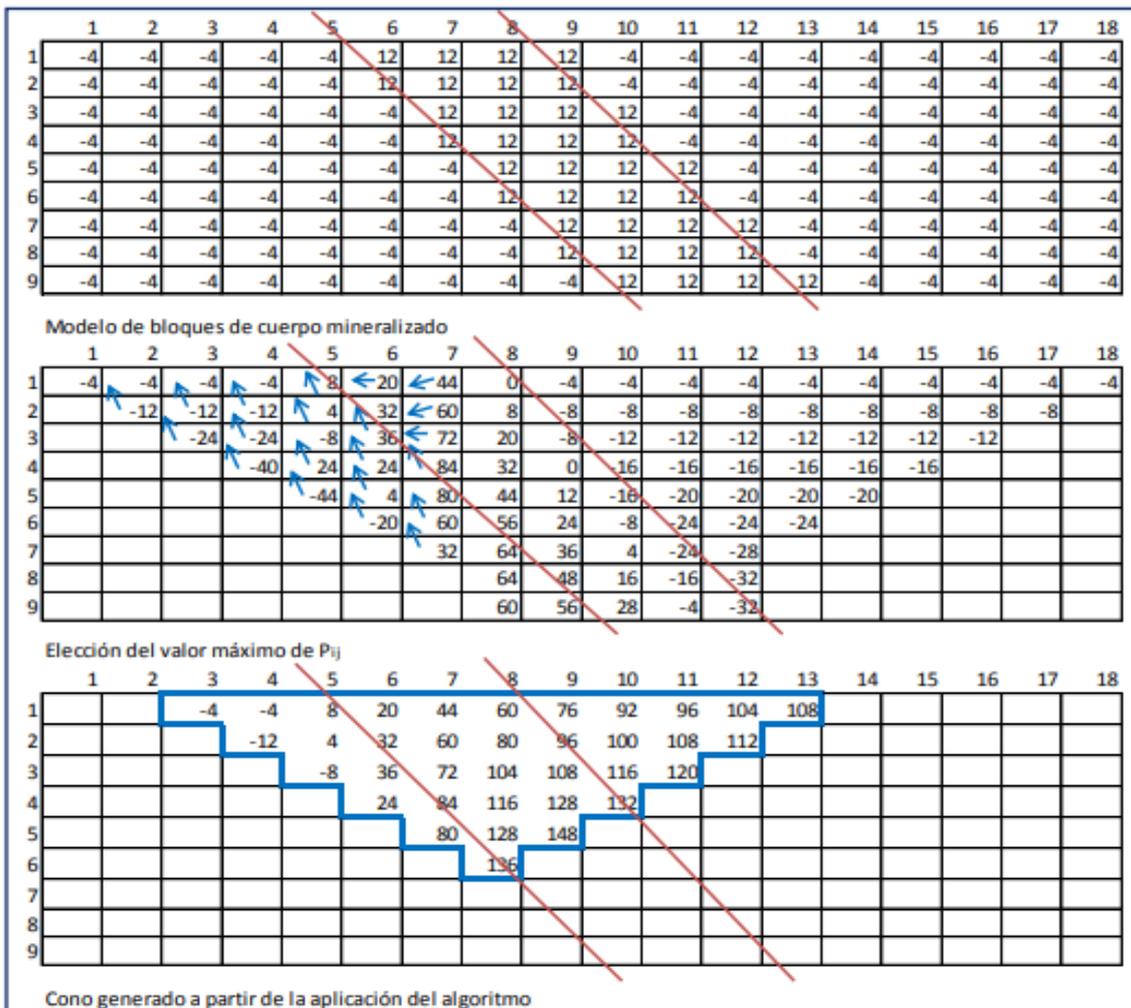
CARACTERISTICAS	ESTRATEGICA	LARGO PLAZO
Del problema u objetivo	Problemas nuevos, no estructurales	Problemas con alguna estructura
Importancia de la experiencia previa	Poca	Algo a mucho
Naturaleza de la información base	Cualitativa	Más cuantitativa y datos conocidos
Énfasis	En la efectividad (en el qué del negocio)	En la eficiencia (en el cómo del negocio)
Perspectiva en el tiempo	Del futuro hacia hoy	De hoy hacia el futuro
Horizonte	15 a 20 años	3 a 5 años
Enfoque	Proyectar	Organizar
Ejecutores	Alta Dirección (Pocas Personas)	Direcciones operativas (Muchas personas)
Sistema	Falta la sistemática pero dominará el contenido	Forma y con dominio del procedimiento
Técnicas o herramientas.	Pocos números, aunque útiles.	Muchos números y muy útiles.
Usos principales	Identifica los cambios y adapta y expande la Compañía en función de ellos.	Coloca y coordina los recursos. Integra las comunicaciones y crea equipo.

Fuente: Curso de Evaluación y Planificación Minera

## **Algoritmos en planificación:**

**Cono flotante**, se basa en el estudio económico de los bloques mineralizados y estériles que caen dentro del cono invertido, el cual se mueve sistemáticamente mediante una matriz de bloques, con el vértice del cono ocupando sucesivamente los centros de los bloques. La premisa básica consiste en que los beneficios netos obtenidos por explotar la mineralización que se encuentra dentro del cono deben superar los gastos de extraer el estéril existente de dicho cono. Los conos, individualmente, pueden no ser económicos, pero cuando dos o más conos se superponen, existe una parte importante de estéril que es compartida por los diversos conos, lo que implica un cambio dentro de su estatus económico.

**Lerchs- Grossman**, en el año 1965 propusieron un algoritmo matemático que permitía diseñar el contorno de una explotación a tajo abierto de tal forma que se maximizara la diferencia entre el valor total de la mineralización explotada y el costo total de la extracción del mineral y estéril. El método de Lerchs-Grossman permite diseñar en una sección vertical la geometría del Pit que arroja la máxima utilidad neta. Este método resulta atractivo pues elimina los procesos de pruebas y el error de diseñar manualmente el tajo en cada una de las secciones.



**FIGURA 3** Sección Vertical de un Modelo de Bloques.  
Fuente: Leach and Grossmann (1965)

La planificación de largo plazo involucra el desarrollo de una secuencia de minado, la cual planifique la extracción de mineral y de los materiales estériles (desmote) dentro de los límites finales del tajo. Se definirá entonces una secuencia que logre los objetivos de producción, de una manera ordenada y maximizando el valor de los recursos de la compañía. El plan a largo plazo es la base para proyectar los ingresos y la base para presupuestar los gastos para la operación de Mina, Mantenimiento, Procesos, Proyectos y todas las otras áreas de soporte de producción. Basado en las indicaciones de los gerentes de MYSRL y Newmont, el plan de minado frecuentemente es ajustado y revisado para seguir la meta de aumentar al máximo el valor del recurso.

El proceso de Planificación de largo Plazo cuenta con tres fases principales y bien definidas:

1. La definición de los límites finales de explotación.
2. La definición de las fases dentro de los límites finales.
3. El plan de minado, el cual especificara un nivel de producción por fase y la respectiva secuencia de minado.

En los últimos años se ha dado mucha importancia al medio ambiente y la planificación no ha estado exenta de esta tendencia. Es por ello por lo que la planificación estratégica considera los impactos medioambientales asociados a los depósitos, como el desmonte y los relaves, todo esto como resultado del desarrollo de la mina y tratamiento del mineral.

La planificación estratégica requiere como mínimo, la definición de los objetivos del estudio, un modelo de bloques conteniendo información sobre la ley, densidad, la recuperación, litología, etc. la comprensión de las limitaciones geotécnicas como los ángulos de talud ya sea de cara de banco, inter-rampa y global; las estimaciones de precios de los productos de venta, estas son muy delicadas ya que la volatilidad de cada commodity es distinta y su estimación no siempre es la mejor; los costos de minado, de procesamiento y de capital; todos ellos de muy difícil estimación debido a la variabilidad en el precio de los consumibles e insumos, por lo tanto muy susceptibles a variaciones y ajustes en el tiempo.

### **3.2.3. Parámetros de planeamiento y valor del bloque**

Los valores utilizados en el modelo de bloques 3D durante el proceso de optimización son la ley de mineral, el precio del metal, la recuperación, la densidad, tipo de roca e información geotécnica. Este modelo debe tener un máximo y un mínimo para las coordenadas X, Y y Z, así como el dimensionamiento de cada bloque, en el caso de la altura del bloque debe ser igual a la altura del banco a minar. Dichos parámetros son introducidos en un determinado software para la optimización.

## Parámetros Geotécnicos

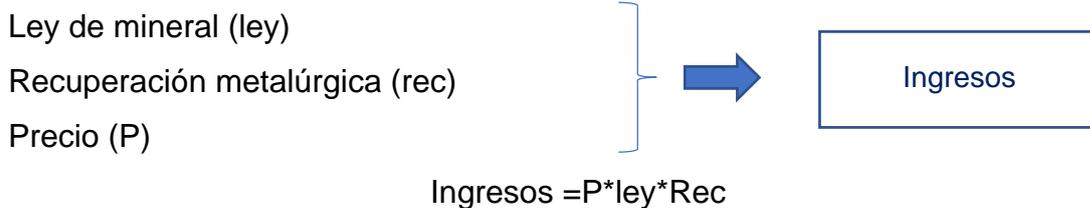
Los parámetros geotécnicos son extraídos de los estudios de estabilidad de taludes, donde se determinan los ángulos de talud que debe tener el cono sin rampas. Estos ángulos deben cumplir con los factores de seguridad requeridos en dicho informe.

## Valor del Bloque

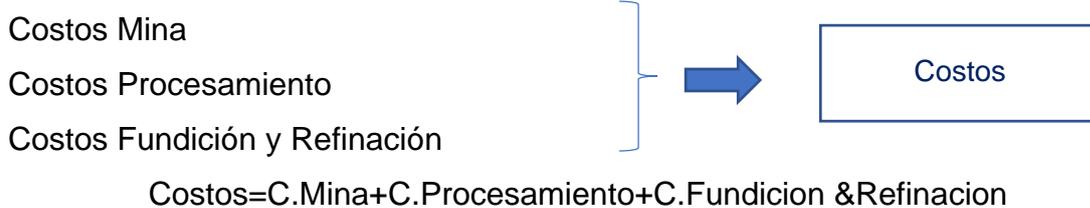
El valor del bloque económico se genera a partir de los modelos de leyes, recuperación y los parámetros económicos. Cada bloque se encuentra definido por la siguiente formula:

$$\text{Beneficio} = \text{Ingresos} - \text{Costos}$$

### Donde los ingresos están dados por:



### Y los costos estan dados por



Finalmente, la formula quedara:

$$\text{Beneficio} = \text{Ingresos} - \text{Costo}$$
$$\text{BENEFICIO} = (P - CF\&R) * LEY * REC - CM - CP$$

**TABLA 2:** Flujo de Caja Operativo Anual

INGRESOS BRUTOS	Ley x recuperación x precio neto x toneladas producidas.
- CANON	Canon sobre el valor bocamina o renta bruta.
- COSTES DE OPERACIÓN	Extracción + Tratamiento + Transporte
= BENEFICIO BRUTO	Ingresos de ventas - costes de operación y canon.
- Depreciación	
- Factor de agotamiento	
- Deducciones diferidas	
= RENTA IMPONIBLE	
- Impuesto sobre la renta	nacional x tasa impositiva + local o federal x tasa impositiva
= BENEFICIO NETO	
+ Depreciación	
+ Factor de agotamiento	
+ Deducciones diferidas	
= FLUJO DE CAJA ANUAL	<b>Entradas de fondos - Salidas de fondos</b>

Fuente: Evaluación y Planificación Minera

### Diseño de Tajo

La explotación se realiza de manera tridimensional por bancos descendentes, con secciones transversales en forma de tronco cónico, ajustándose al límite del cono óptimo. Tomando en cuenta la ubicación de las paredes con menor relación de desbroce, la accesibilidad a facilidades relacionadas como chancadoras, botaderos, pilas de almacenamiento temporal y ángulos de talud inter-rampa, se procede a establecer las rampas de acceso para el tajo final, las cuales deben tener un ancho mínimo igual a tres veces el tamaño más grande del camión. La berma de contención debe ser igual a las  $\frac{3}{4}$  partes del tamaño de la llanta más grande. La gradiente de los accesos no debe de exceder el 12 %, según las normativas peruanas.

Los anchos de la carretera dependen del tamaño del equipo de acarreo que se usará. Generalmente, en minas de tajo abierto de gran escala, las alturas de banco van desde los 10 a 15 metros y tienen las vías con una gradiente de 10 %.

### Diseño de Fases

El objetivo consiste en que cada contorno delimitará un pit con beneficio unitario mayor al que se generará posteriormente, el cual lo englobará, de tal manera que se extraerá material de mayor a menor valor unitario. Los esfuerzos de planeamiento de mina computarizados, que emplean los algoritmos del cono flotante y el método de Lerchs-Grossman, han ayudado a mejorar la precisión y la rapidez de los diseños de fases relacionados con la optimización de los flujos de caja. Una de las decisiones para que

se lleve a cabo la optimización es escoger la estrategia de la ley de corte para ser empleada durante el cálculo del cono flotante o Lerchs-Grossman. Dado un conjunto de conos incrementales, de acuerdo con el precio para la determinación de la secuencia de los conos, una ley de corte interna es empleada desde que ésta maximiza las ganancias totales de los conos no descontados. La ley de corte interna es la menor ley de corte económicamente justificable y es empleada para determinar si un material de baja ley debe ser enviado al botadero de desmonte o al procesamiento. El punto de equilibrio o ley de corte externa es la mínima ley necesaria para pagar todos los costos, incluyendo los costos de minado de la tonelada mineral (excluyendo los costos de minado de desmonte). Las mejores fases de minado se determinan a partir de un análisis de pits anidados, el cual se complementa con un análisis de los siguientes parámetros: menor relación desmonte sobre mineral (D/M), mayor relación de bloques probados sobre probables, mayor ingreso por tonelada minada (\$/ tm), mayor ganancia por tonelada minada (\$/tm).

#### **3.2.4. Transporte**

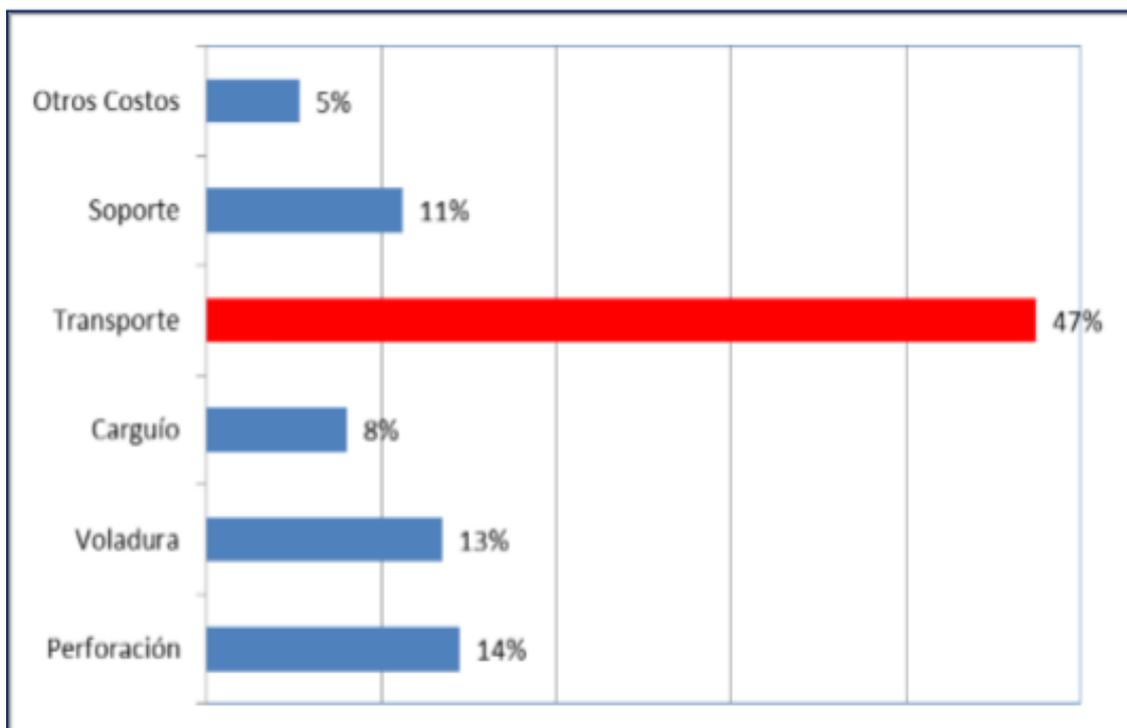
Esta operación representa la mayor incidencia en el costo mina debido a tal motivo se decide estudiar métodos alternativos que bajen dicha incidencia. Esta operación es muy susceptible a los cambios en las distancias de transporte, ya que, por tratarse de camiones con capacidades fijas, estas se incrementan en número a medida que las distancias de acarreo aumentan. A nivel mundial el método de transporte más común es el de camiones, que con el transcurrir de los años han ido incrementando sus capacidades de transporte. El procedimiento referencial para seguir sería el siguiente:

- Posicionamiento del equipo para la descarga de la pala.
- El destino del material será fijado por un sistema comúnmente usado Dispatch, el cual define el destino final de la carga según el polígono de producción asociado.
- Los camiones transitan a velocidades según las pendientes, manteniendo siempre ciertos límites de velocidad dependiendo de las zonas de tránsito.
- Los principales destinos son, planta para mineral, botadero para desmonte y stock pile para mineral.

- Descarga del material considerando parámetros de seguridad, independientemente del destino.
- Retorno al origen según la designación del sistema.
- Cola en las palas a espera del carguío.

Desde los principios de la mecanización de la actividad minera, el sistema de manejo de materiales usando camiones es el más utilizado alrededor del mundo, las cuales fueron adaptándose a distintas realidades con el transcurrir de los años, variando no solo sus capacidades de transporte, sino también su eficiencia en el uso de combustibles, también migrando hacia lo que son los camiones operados bajo sistema trolley y posteriormente a automatizar los camiones. Sin embargo, debido a la profundización de las minas este sistema está rozando su límite superior en lo que a productividad se refiere, ya que por la exigencia de los yacimientos estos se han visto limitados por las distancias de transporte y tonelaje requerido.

La siguiente figura, grafica los costos de operación para un proyecto de tajo abierto utilizando el método convencional de palas y camiones.



**GRÁFICO 1:** Costos de Transporte (Método Conencional)

**Fuente:** Transporte En Minas A Cielo Abierto: Camiones Versus Sistema De Chancado Semi-Movil Dentro Del Tajo Transportado Por Fajas.

### **3.2.5. Sistema IPCC**

#### **In Pit Crushing and Conveyors (IPCC)**

Esta metodología fue desarrollada hace algunas décadas, como una alternativa en el manejo de materiales, de esta manera disminuir los costos asociados al transporte de material en las minas a cielo abierto, todo esto a causa del súbito incremento del precio del petróleo, que afectaba a toda la industria de entonces, así también minimizar la dependencia de dicho insumo y sus fluctuaciones.

Esta es una alternativa para el transporte de materiales (mineral y/o desmonte) de la mina. Se puede usar una chancadora móvil, semimóvil o fija, como chancador primario dentro del pit. El transporte de material en sí, se lleva a cabo mediante correas transportadoras hacia el botadero o planta de procesamiento, dependiendo del material movido. Cuando se trata de desmonte estas van acopladas a un spreader que se encarga de verter el material en los respectivos botaderos de residuos.

Además, la caída en el precio de los commodities exige a las empresas desarrollar e implementar tecnologías con menores costos asociados, de allí que nace la necesidad del uso del IPCC, ya que tiene múltiples ventajas y bajo conocimientos bien desarrollados puede representar un gran ahorro en lo que a manejo de materiales se trata. Otro tema importantísimo y poco resaltado de este método, es su baja agresividad con el medio ambiente, ya que en la actualidad por la coyuntura mundial de industrias social y medioambientalmente responsables, ésta representa de por sí un gran compromiso, ya que se minimiza las emisiones y las partículas en suspensión a cantidades realmente despreciables.

El IPCC ha estado sujeto a diversas evaluaciones, debido a las fluctuaciones en el precio de los equipos, los combustibles, la escasa mano de obra y la necesidad creciente de mover siempre la mayor cantidad de material; diversas compañías y vendedores individuales ofrecen una gama a veces confusa de sistemas de excavación, transporte y vertido del material.

Una de las alternativas para disminuir el costo de transporte, consiste en reducir las distancias de transporte, por lo que se hace necesario el uso de chancadoras que pueden ser fijas o móviles, lo cual disminuya el ciclo de acarreo; los efectos potenciales de la instalación de un chancador y correa transportadora en una mina a cielo abierto, trae consigo requisitos de planificación significativos; es por ello que Independent Mining Consultants, Inc. realizó una revisión de los efectos geométricos sufridos por el tajo a causa de la implementación de este sistema. La gran ventaja del estudio presentado por la empresa en mención es que recoge diversas experiencias de grandes minas de metales base, los cuales también son usados en minas de carbón y canteras, no considera detalles sobre las instalaciones mecánicas como los anchos de correa, tensiones, tamaños de chancadoras, etc. ya que estos dependerán de las tasas de producción y de características inherentes a cada yacimiento en particular.

Es sabido que los motores a diésel son menos eficientes y más aún cuando se trabaja a alturas considerables respecto al nivel del mar. En comparación a estos los motores eléctricos usados en las correas transportadoras son una alternativa de uso eficiente de la energía y a menor costo por tonelada movida.

Un primer paso razonable en la evaluación de alternativas sería el análisis de las diferencias en los costos operativos y de capital entre un sistema con camiones versus el IPCC, además de determinar el tipo o sea la configuración de IPCC más adecuado para la aplicación en el proyecto en particular, de esta manera evaluar si es necesario un estudio de mayor detalle. El IPCC es un proceso probado que, con una mentalidad fresca, puede hacer una mejora significativa a las operaciones mineras.

En la siguiente figura se puede apreciar el ciclo de explotación para un sistema IPCC semi - móvil



**FIGURA 4:** Ciclo de Explotación con el Sistema IPCC.

**Fuente:** Transporte En Minas A Cielo Abierto: Camiones Versus Sistema De Chancado Semi-Movil Dentro Del Tajo Transportado Por Fajas.

### Configuraciones del IPCC.

Los IPCC tienen distintas configuraciones, que, según la particularidad, características propias de los yacimientos y sus requerimientos de producción, pueden ser usadas. A continuación, detallaremos cada una de ellas resaltando sus ventajas y desventajas.

#### 3.2.6. Sistema IPCC con Chancador Fijo

Se trata de la configuración más usada y conocida a nivel mundial. En un principio fueron usados solo como chancador primario exclusivamente para mineral. Sin embargo, con el transcurrir de los años estos son usados también para desmonte, alimentando de manera directa a las correas transportadoras hacia superficie. Muchas compañías optaron por este método hace muchos años atrás por las ventajas que ofrece. Sin embargo, con el transcurrir del tiempo y la profundización de los tajos, estos se han vuelto a reevaluar, ya que las distancias de acarreo se han incrementado considerablemente.

Algunas de las características propias de este método son:

- Alta capacidad de chancado y por ende también de transporte.
- El chancador usualmente usado es el giratorio o en su defecto el de mandíbulas.
- Comúnmente estas están asociadas a un túnel de transporte, donde se emplaza la correa transportadora, la cual alimenta directamente a la planta, según sea el caso.



**FIGURA 5:** *Chancadora Fija.*

**Fuente:** Chancadora Sandvick, Mina San Francisco, México

#### **Sistema IPCC con Chancador Semi-fijo:**

Como su nombre lo indica este sistema tiene cierta periodicidad en su emplazamiento, es decir permanecen por tiempos prolongados en un mismo lugar, para luego ser movilizados hacia otro emplazamiento más conveniente al anterior. Estas chancadoras son construidas y ensambladas de tal manera que faciliten su transporte en un momento determinado. Para dicho instante se realiza toda una planificación a detalle del movimiento del chancador, con la finalidad de minimizar los tiempos improductivos a causa de esta actividad.

Algunas de las características propias de este método son:

- Alta capacidad de chancado, ya que, por su emplazamiento fijo por varios años, ésta es más robusta, por consiguiente, productiva.
- Su recolocación se realiza en periodos de 3-5 años, lo que sugiere un periodo considerable antes de paradas por su cambio de ubicación.
- Típicamente se usan chancadores giratorios o de mandíbulas, éstos dos por su gran productividad cuando se trabaja con roca competente.
- Éstos pueden estar asociadas a un túnel como en el caso anterior, o también a líneas de correas transportadoras instaladas directamente en un ancho adicional de la rampa de transporte.

### **3.2.7. Sistema IPCC con Chancador Semi-móvil.**

Estos chancadores son más versátiles respecto a las anteriores. Debido a su movilidad esporádica estos pueden ir adaptándose a los cambios en las operaciones. Sin embargo, dichos movimientos generan tiempos improductivos, es por ello que se recomienda trabajar con varios de estos chancadores, de manera de suplir la producción de uno mientras se está movilizándolo otra.

Algunas de las características propias de este sistema son:

- Debido al constante movimiento, éstas tienen una capacidad de producción media.
- Típicamente está asociado a chancadores de doble rodillo y sizers. Estos se ven afectas a la competitividad de la roca, además de ser más compactas lo cual influye en su capacidad de chancado.
- Su reubicación se puede realizar cada 6-18 meses, de ahí la necesidad de ser chancadores compactos para facilitar su movimiento a través del pit.
- Una de las grandes fortalezas de este sistema es la capacidad de instalar varias estaciones de chancado, además de múltiples líneas de correas transportadoras y puntos de distribución. Esto entrega cierta flexibilidad en las operaciones.
- Este sistema no es de común uso en minas profundas de roca competente, ya que los chancadores asociados a este sistema tienen muy baja productividad en rocas de buena calidad. Por ello están más

ligados a la producción de no metálicos como por ejemplo las minas de carbón.



**FIGURA 6:** *Chancadora Semi-Móvil*

Fuente: Chancadora Semi – móvil ThyssenKrupp

### **3.2.8. Sistema IPCC con Chancador Móvil.**

Este sistema cuenta con un chancador móvil, el cual está montado sobre orugas y puede ser alimentado directamente por la pala, eliminando la flota de camiones en dicho frente de carguío. Su aplicabilidad mayormente se ha limitado a minas no metálicas, sin embargo, a medida que se avanza con los desarrollos tecnológicos, empresas como Metso Minerals están apostando con chancadores móviles para minas de metales base. Se cuenta con poca experiencia en su aplicabilidad en dichas minas, sin embargo ya se pueden encontrar algunas minas alrededor del mundo usando este método.

Algunas de las características propias de este sistema son:

- La productividad de este sistema está limitada por el tipo de chancador que en este caso es el de mandíbulas, el cual a su vez se encuentra limitada por el Hopper. Por ello se hace necesario el uso de una pala que sea la correcta respecto a la capacidad de almacenaje del Hopper del chancador móvil. En general dicho equipo trata de ser lo más

compacto posible, para su constante movilidad, es por ello que cuenta con una capacidad de producción de media a baja. Sin embargo esto se puede mejorar debido a que con este sistema se puede contar por cada frente de carguío con una chancadora móvil, entregando flexibilidad y mayor dinamismo al sistema.

- Típicamente usan chancadores de doble rollo y sizers, que por sus características son limitadas en capacidad para trabajos en roca competente.
- El chancador móvil se verá obligado a seguir siempre a una pala, para que se realice la alimentación directa, por ello que también se requieren anchos operativos grandes.
- El chancador alimenta a una correa de sacrificio móvil, que a su vez traspasa el material chancado a la correa de banco, que se encarga de transportar el material hacia superficie.
- Debido al uso de chancadores de mandíbulas y sizers, en la actualidad su uso no es aplicable en minas de roca competente.



**FIGURA 7:** Chancadora Móvil.

Fuente: Liming Heavy Industry

### **3.2.9. Sistema de Fajas Transportadoras**

El sistema de transporte por fajas tiene mayor impacto en el ambiente de un tajo abierto por el espacio requerido para la instalación, su permanencia, su baja movilidad y su impacto en otras operaciones. Los sistemas fijos de faja transportadora son a menudo adecuados al chancado fijo. Los sistemas más

móviles poseen una aplicación limitada en las minas de tajo abierto de rocas duras. A continuación, se presenta una descripción de los sistemas alternativos de fajas transportadoras que se pueden considerarse.

### 3.2.10. Faja Fija:

- Capacidad promedio de 5 – 12 kt/h.
- Velocidad promedio de 4 – 6 m/s.
- Ancho promedio 1800 – 2400 mm.
- Comúnmente, en túneles, cubiertos o abiertos.
- Sin flexibilidad.



**FIGURA 8:** Sistema de Transporte por Faja Fija.

Fuente: Mina Los Pelambes, Chile

### 3.2.11. Faja Reubicable:

- Capacidad promedio de 5 – 12 kt/h.
- Velocidad promedio de 4 – 6 m/s.
- Ancho promedio 1800 – 2400 mm.
- Comúnmente, en túneles, cubiertos o abiertos.
- Sin flexibilidad.



**FIGURA 9:** *Sistema de Transporte por Faja Reubicable.*  
**Fuente:** Mina de Carbón en Alemania

### 3.2.12. Faja Móvil:

- Capacidad promedio de 5 – 12 kt/h.
- Velocidad promedio de 4 – 6 m/s.
- Ancho promedio 1800 – 2400 mm.
- Estaciones montadas en orugas.
- Flexibilidad media, pero impacta en otras operaciones de la unidad.
- Tiempos muertos frecuentes por cambio de fajas.



**FIGURA 10:** *Sistema de Transporte por Faja Móvil.*  
**Fuente:** Mina Ulan Coal, Australia.

**3.2.13. Sistema de fajas con plataforma sobre orugas (Crawler mounted piggy-back):**

- Capacidad promedio de 0,5 – 2 kt/h.
- Velocidad promedio de 3 – 4 m/s.
- Ancho promedio 1200 – 1800 mm.
- Aplicación en canteras.
- Se requiere buenas condiciones de suelo



**FIGURA 11:** *Sistema de Faja con Plataforma sobre Oruga.*  
Fuente: Forderanlagen Magdeburg (FAM)

**3.2.14. Sistema de fajas con plataforma sobre llantas (Tyre mounted piggy-back):**

- Capacidad promedio de 0,5 – 2 kt/h.
- Velocidad promedio de 3 – 4 m/s.
- Ancho promedio 1200 – 1800 mm.
- Aplicación en canteras.
- Se requiere buenas condiciones de suelo.



**FIGURA 12:** *Sistema de Faja con Plataforma Sobre Llanta*  
Fuente: GreyStone - Conveyor

**3.2.15. Sistema de fajas con plataforma sobre patines (Skid mounted piggy-back):**

- Capacidad promedio de 2 – 4 kt/h.
- Velocidad promedio de 3 – 4 m/s.
- Ancho promedio 1200 – 1800 mm.
- Aplicación en canteras y en operaciones de lixiviación.
- Tiempos lentos de reubicación.
- Requerimiento de equipo auxiliar para reubicación.}



**FIGURA 13:** *Sistema de Faja con Plataforma Sobre Patines*  
Fuente: ASTEC Industries, Inc.

**3.2.16. Sistema de fajas en puente móvil sobre orugas:**

- Capacidad promedio de 5 – 7 kt/h.
- Velocidad promedio de 3 – 4 m/s.
- Ancho promedio 1800 – 2400 mm.
- Altos costos de inversión.
- Flexibilidad media.

**3.2.17. Sistema de fajas en vagón sobre orugas:**

- Capacidad promedio de 5 – 12 kt/h.
- Velocidad promedio de 4 – 6 m/s.
- Ancho promedio 1800 – 2400 mm.
- Se usa con fajas móviles.
- Altos costo.
- Aplicado a pocas longitudes (60 – 80).

## CAPITULO IV: MATERIALES, MÉTODOS Y PROCEDIMIENTO

### 4.1. Metodología

La metodología empleada consiste en realizar una comparación que permita visualizar el impacto y variación en cada una de las alternativas.

Esta comparación corresponde a los parámetros de valor presente neto (VPN), tasa interna de retorno (TIR) y periodo de recuperación de la inversión (PRI), los cuales son calculados para cada alternativa.

Para el presente trabajo, se eligió en base a las características geomecánicas de la zona, tamaño de PIT'S, producción promedio, entre otros factores, un sistema IPCC CON CHANCADORA SEMI-MOVIL, el cual se contrastará con el carguío y transporte convencional de palas y camiones, para efectos de la comparación, se tomarán datos históricos y actualizados para el supuesto proyecto.

**TABLA 3: IPCC Opciones de Chancado (Se detalla el tipo a comparar)**

Opciones de Chancado	Fijo	Semi-fijo	Móviles	Semi-móvil
Rendimiento	< 12,000 t/h	< 12,000 t/h	< 10,000 t/h	< 12,000 t/h
Cantidad de Camiones	Elevados	Intermedio	Ninguno	Bajos
Tipo de Chancadora	Cualquiera	Cualquiera	Mandíbula/ Doble rodillo	Cualquiera
Costo Unitario de Chancado	Bajos	Intermedio	Elevado	Intermedio

Fuente: Manual Sandvik

**TABLA 4:** IPCC Opciones de Fajas Transportadoras

Opciones de Fajas	Diseñado para faja	Faja para Tunel	Faja sobre Rampa
Angulo de Faja	< 18°	< 10°	< 6°
Costo de Capital	Intermedio	Mayor	Menor
Flexibilidad	Intermedio	Menor	Mayor

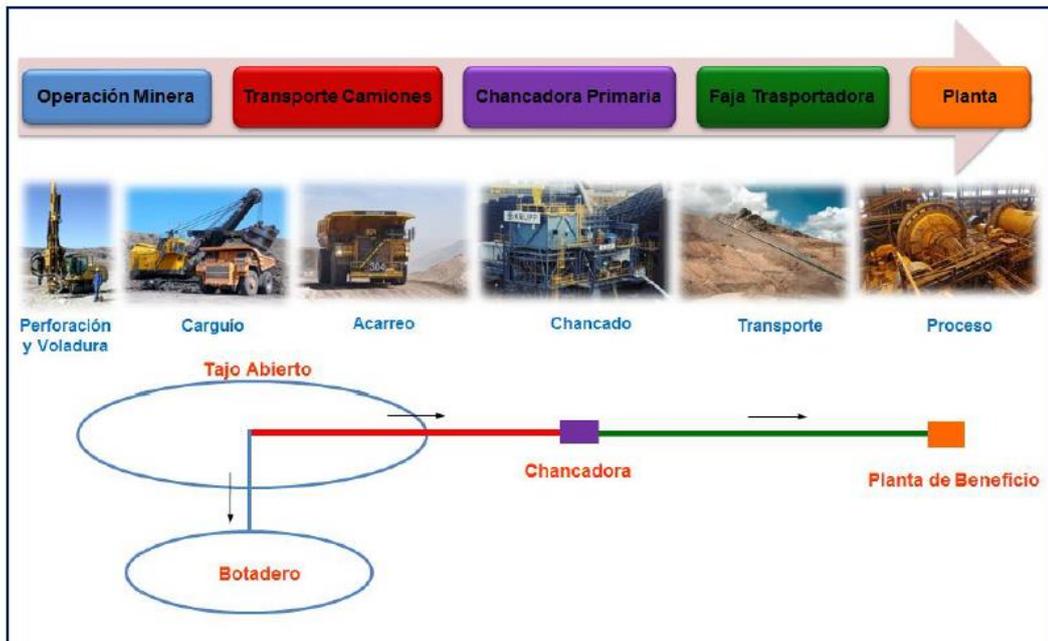
**Fuente:** Manual Sandvik

#### **4.2. Análisis de Alternativa del Proyecto**

El proyecto Antaquiri cuenta con cuerpos mineralizados de hierro (mineral oxido y primario). El minado se hará a través del método de tajo abierto, con unidades de operación de perforación, voladura, carguío y transporte. El mineral será enviado hacia la planta ubicada a 17 kilómetros del tajo, junto al Puerto. El desmote será llevado hacia un botadero ubicado a 5 kilómetros del tajo.

#### **4.3. Alternativas de transporte para el proyecto**

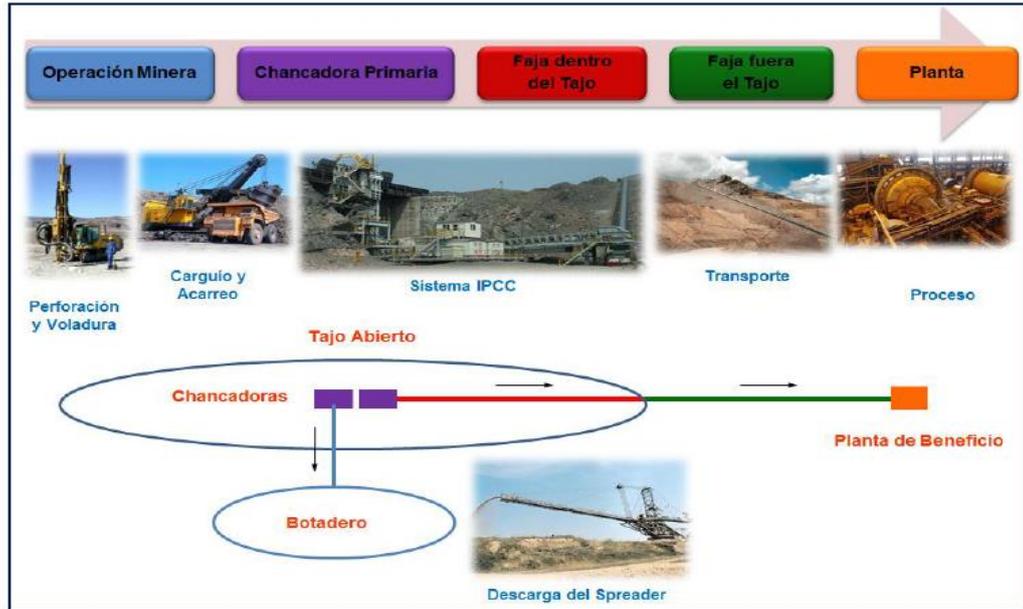
**El transporte mediante el sistema convencional de camiones**, el cual se inicia con la perforación y voladura, luego el material volado es cargado y transportado por camiones hacia el botadero en el caso del desmote y hacia una chancadora ubicada fuera del tajo para el caso del mineral, posteriormente el mineral chancado es enviado por una faja transportadora hacia la planta para el proceso respectivo de cada tipo de mineral.



**FIGURA 14:** *Proceso de Transporte Convencional.*

**Fuente:** Transporte En Minas A Cielo Abierto: Camiones Versus Sistema De Chancado Semi-Móvil Dentro Del Tajo Transportado Por Fajas

**El transporte mediante el sistema IPCC**, se inicia similarmente que el anterior proceso con la perforación y voladura, luego el material volador es cargado por palas y transportado con camiones hacia las dos chancadoras semi-móvil instaladas dentro del tajo una para el mineral y la otra para el desmonte (cuya ubicación variará en profundidad según el plan de minado). El material, según su tipo, será transportado mediante fajas hacia la planta (mineral) para su respectivo proceso o hacia el botadero (desmonte). En este último caso se empleará un esparcidor.



**FIGURA 15:** Proceso de Transporte Sistema IPCC.

**Fuente:** Transporte En Minas A Cielo Abierto: Camiones Versus Sistema De Chancado Semi-Movil Dentro Del Tajo Transportado Por Fajas

Como se muestra en la figura anterior, el proyecto tendrá una chancadora primaria semi-móvil para mineral de hierro y otra chancadora primaria para el desmonte dentro del tajo. Luego, estos materiales serán transportados por fajas a sus respectivos destinos.

La faja que se encuentra dentro del tajo se unirá a otra faja fija (belt coveyor) hacia la planta de procesos para luego procesar el mineral. En el caso del desmonte, la faja se unirá a otra desplazable, y el desmonte será descargado hacia el Botadero por medio de un esparcidor (spreader) montado sobre orugas.

#### 4.4. Recursos utilizados para el análisis

Para el presente Proyecto se cuenta solo con recursos inferidos, cuyo empleo está permitido en un estudio económico preliminar bajo el código Canadiense Nacional Instrumento (NI) 43-101. El uso de recursos Inferidos, de relativamente baja confianza, está permitido para la evaluación de viabilidad de un proyecto en una etapa temprana y facilita la planificación del trabajo necesario como perforación de exploración, pruebas metalúrgicas, escala y ubicación de instalaciones durante las siguientes etapas del proyecto.

El modelo de bloques de recursos tiene una configuración de tamaño de bloques de 20 x 20 x 12, (ancho, largo y alto, respectivamente).

#### 4.5. Parámetros de ingreso

#### 4.6. Parámetros de Optimización

*TABLA 5: Parámetros de Diseño de Bloque.*

Parámetros del Valor de Bloque	Unidad	Proceso	
		LIMS	HIMS
Pago del Metal	\$/mtu	0.85	0.7
Ley de Concentrado	%	69%	63%
Recuperación de Leyes	%	80%	56%

Parámetros de Costo de Bloque	Unidad	Alternativa de Transporte	
		Convencional	IPCC
Costo de Mina de Desmote	\$/t	1.4	1.0
Costo de Mina Mineral Oxido	\$/t	1.5	1.2
Costo de Mina Mineral Primario	\$/t	1.6	1.2
Transporte de Mineral y Desmote por banco	\$/t	0.013	0.013
Manejo de Material del desmote Mina	\$/t	-	0.29
Manejo de Material del Mineral Mina	\$/t	-	0.12
Costo de Procesamiento mineral	\$/t	1.7	1.8
Manejo de Material del Mineral Proceso	\$/t	6.2	6.2
General y Administración	\$/t	0.5	0.5
Costo de venta	\$/t	1	1

Parámetros de Diseño de Bloque	Unidad	Alternativa de Transporte	
		Convencional	IPCC
Angulo Talud Zona Norte	(°)	52	52
Angulo Talud Zona Este	(°)	50	50
Angulo Talud Zona Sur	(°)	40	40
Angulo Talud Zona Oeste	(°)	38	38

**Fuente:** Transporte En Minas A Cielo Abierto: Camiones Versus Sistema De Chancado Semi-Movil Dentro Del Tajo Transportado Por Fajas.

#### 4.7. Parámetros de minado

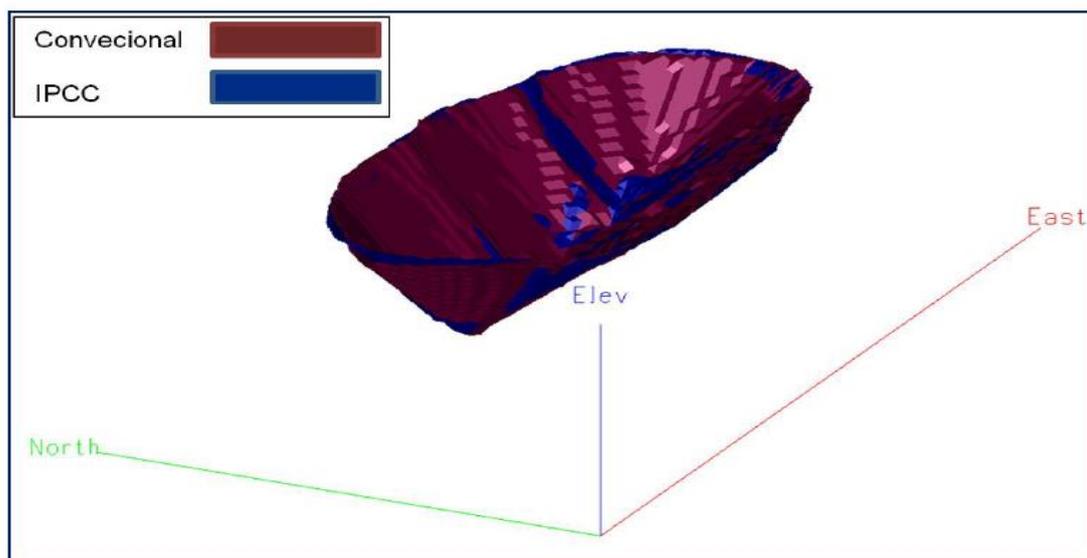
Los resultados de la tabla, obtenidos de la optimización, muestran un pequeño aumento de 1.7 millones de toneladas de mineral Oxido para el sistema IPCC; y para el caso del mineral Primario, el aumento es de 4.3 millones de toneladas más, también para el sistema IPCC.

Estos resultados se deben a los parámetros ingresados en la optimización, puesto que los costos del sistema convencional son mayores a los del sistema IPCC. Con respecto a los tonelajes finales, la diferencia es de 15.6 millones, que serían 1.25% mayor para el sistema IPCC. La figura siguiente muestra el cono de las dos alternativas, muy similares entre sí.

**TABLA 6:** Reporte de Cono Óptimo para cada opción.

Recursos dentro del Cono	Unidad	Alternativa de Transporte	
		Convencional	IPCC
Mineral Oxido	Mt	77.2	78.9
Mineral Primario	Mt	397.1	401.4
Desmonte	Mt	780.2	789.8
<b>Total Material</b>	<b>Mt</b>	<b>1,254.6</b>	<b>1,270.2</b>

**Fuente:** Transporte En Minas A Cielo Abierto: Camiones Versus Sistema De Chancado Semi-Movil Dentro Del Tajo Transportado Por Fajas.



**FIGURA 16:** Cono Optimo para cada Opción

**Fuente:** Transporte En Minas A Cielo Abierto: Camiones Versus Sistema De Chancado Semi-Movil Dentro Del Tajo Transportado Por Fajas

#### 4.8. Parámetros del diseño de tajo

**TABLA 7:** Parámetros del Diseño Tajo por Alternativa.

Parámetros de Diseño de Tajo Abierto	Unidad	Alternativa de Transporte	
		Convencional	IPCC
Altura de Banco	m	12	12
Bancos antes de bermas	n	3	3
Gradiente Máxima de Rampa	%	10	10
Gradiente Máxima de la Faja	%	-	27
Ancho de Rampa	m	36	36
Ancho de Faja	m	-	8
<b>Pendiente Total Final</b>	<b>Unidad</b>	<b>Convencional</b>	<b>IPCC</b>
Zona Norte	(*)	52	52
Zona Este	(*)	50	50
Zona Sur	(*)	40	40
Zona Oeste	(*)	38	38
<b>Pendiente de Banco</b>	<b>Unidad</b>	<b>Convencional</b>	<b>IPCC</b>
Zona Norte	(*)	70	70
Zona Este	(*)	70	70
Zona Sur	(*)	63	63
Zona Oeste	(*)	63	63

**Fuente:** Transporte En Minas A Cielo Abierto: Camiones Versus Sistema De Chancado Semi-Móvil Dentro Del Tajo Transportado Por Fajas

**TABLA 8:** Reporte del Diseño del Tajo de casa Alternativa.

Reservas Minables	Unidad	Alternativa de Transporte	
		Convencional	IPCC
<b>Mineral Óxido</b>	kt	77,100	78,900
<b>Mineral Primario</b>	kt	392,900	380,500
<b>Desmonte</b>	kt	803,200	840,400
<b>Total Material</b>	<b>kt</b>	<b>1,273,200</b>	<b>1,309,800</b>

**Fuente:** Transporte En Minas A Cielo Abierto: Camiones Versus Sistema De Chancado Semi-Movil Dentro Del Tajo Transportado Por Fajas

Y en esta, se puede apreciar la variación porcentual entre los valores obtenidos con el diseño del tajo operativo y los conos para cada alternativa y para cada tipo de material.

**TABLA 9:** Comparación en Porcentaje de cada Alternativa.

Diferencia de Reservas	Unidad	Alternativa de Transporte	
		Convencional	IPCC
<b>Mineral Óxido</b>	%	-0.2	-0.1
<b>Mineral Primario</b>	%	-1.1	-5.2
<b>Desmonte</b>	%	+2.9	+6.4
<b>Total Material</b>	<b>%</b>	<b>+1.5</b>	<b>+3.1</b>

**Fuente:** Transporte En Minas A Cielo Abierto: Camiones Versus Sistema De Chancado Semi-Movil Dentro Del Tajo Transportado Por Fajas

#### 4.9. Equipos de Minado

Los requerimientos de los equipos de mina se basaron en la producción anual de mina, tiempo efectivo estimado de operación y la productividad del equipo propuesto.

El tamaño y tipo de los equipos es consistente con el tamaño del proyecto. Por ejemplo, se ha seleccionado palas eléctricas con 60 toneladas de capacidad y camiones de 220 toneladas. Ambos equipos trabajan juntos óptimamente y sobrellevarán la producción proyectada de mineral y desmonte de roca, la cual es aproximadamente de 65.0 Mt anuales durante los años de producción.

El programa de producción de la mina, muestra la cantidad de material que será minado para cada alternativa, el cual es un parámetro necesario para el cálculo de la flota de equipos mineros. Se consideraron 360 días por año, 2

turnos por día, que hacen un total de 720 turnos programados al año. Este estimado de los turnos considera los días potencialmente perdidos debido al mal tiempo o a los feriados.

El tiempo neto de operación por turno representa las horas en cada turno en las cuales el equipo es productivo. Esto es equivalente al total de turnos programados menos las demoras pronosticadas y las imprevistas que ocurren durante el periodo de trabajo.

**TABLA 10: Requerimiento de Equipos Mina.**

Equipos Requeridos		Alternativa de Transporte			
		Convencional		IPCC	
		Inicial	LOM	Inicial	LOM
Perforadoras	#	5	7	5	7
Palas Electricas	#	4	5	4	5
Cargadores Frontales	#	1	2	1	2
Camiones	#	18	42	9	17
Tractores sobre orugas	#	4	5	4	5
Tractores sobre ruedas	#	1	2	1	2
Motoniveladora	#	2	2	2	2
Camiones Auxiliares	#	1	2	1	2
Camiones Cisternas	#	1	3	1	3
Equipos de Perforación Auxiliar	#	1	1	1	1
Camión de Explosivos	#	1	1	1	1
Retroexcavadora	#	5	6	5	6
Camión de lubricante/combustible	#	1	1	1	1
Camión-grúa	#	1	1	1	1
Montacargas	#	1	1	1	1
Vehículo a todo terreno	#	1	2	1	2

**Fuente:** Transporte En Minas A Cielo Abierto: Camiones Versus Sistema De Chancado Semi-Movil Dentro Del Tajo Transportado Por Fajas

## CAPITULO V: METODOLOGÍA DE ANÁLISIS

### 5.1. Ingresos

Es el ingreso de una empresa, expresado en dólares, que se obtiene por la venta de algún mineral.

$$INGRESOS = (Ley * Rec * P) / FACTOR$$

Donde:

Ley =Ley del mineral

Rec =Recuperacion expresada en porcentaje

Factor=Factor de conversión del mineral

P=Precio del mineral en \$

### 5.2. Capex

Es el gasto de capital (CAPEX) que se requiere realizar para la ejecución de un proyecto determinado e involucra también al gasto de cierre de la mina. Los CAPEX son utilizados para adquirir o mejorar los activos fijos, tales como equipamientos, propiedades o edificios industriales; es decir, son inversiones de capital que crean beneficios. Un CAPEX se ejecuta cuando un negocio invierte en la compra de un activo fijo o cuando añade valor a un activo existente con una vida útil que se extiende más allá del año imponible. En contabilidad, los CAPEX se incluyen en una cuenta de activos (capitalización) e incrementan el valor base del activo (el costo o valor de un activo ajustado por motivos impositivos).

**TABLA 11:** CAPEX Del Proyecto Sistema Convencional.

CAPEX Total (Convencional)		Inicial	LOM	Total
<b>Minería</b>	MUS\$	523	870	1,393
<b>Procesos</b>	MUS\$	288	0	288
<b>Manejo de Material (Mineral)</b>	MUS\$	254	0	254
<b>Infraestructura</b>	MUS\$	198	32	231
<b>Otros</b>	MUS\$	104	23	127
<b>Total</b>	<b>MUS\$</b>	<b>1,367</b>	<b>926</b>	<b>2,292</b>

**Fuente:** Transporte En Minas A Cielo Abierto: Camiones Versus Sistema De Chancado Semi-Movil Dentro Del Tajo Transportado Por Fajas.

**TABLA 12: CAPEX Del Proyecto Sistema IPCC**

CAPEX Total (IPCC)		Inicial	LOM	Total
<b>Minería</b>	MUS\$	408	544	952
<b>Manejo de Material (Desmonte)</b>	MUS\$	59	8	67
<b>Procesos</b>	MUS\$	288	0	288
<b>Manejo de Material (Mineral)</b>	MUS\$	279	0	279
<b>Infraestructura</b>	MUS\$	198	32	231
<b>Otros</b>	MUS\$	104	23	127
<b>Total</b>	<b>MUS\$</b>	<b>1,336</b>	<b>607</b>	<b>1,943</b>

**Fuente:** Transporte En Minas A Cielo Abierto: Camiones Versus Sistema De Chancado Semi-Movil Dentro Del Tajo Transportado Por Fajas.

### 5.3. Opex

Es el gasto operativo (OPEX) necesario para la ejecución del proyecto; incluye los "overheads" o costos administrativos. Una vez que se tiene clasificado el total del presupuesto por centro de costo y responsabilidad, se procede a reagruparlo sin considerar los montos del año en que se van a reportar las reservas y en función al proceso operativo que realiza o al que contribuye: minado (perforación y voladura, carguío y acarreo) y procesos. En un estado de resultados, "los gastos de operación" son la suma de los gastos de funcionamiento de una empresa por un período de tiempo, como un mes o un año.

**TABLA 13: OPEX Comparativo.**

		Alternativa de transporte	Alternativa de transporte
OPEX Minería	UNIDAD	Convencional	IPCC
<b>Perforacion</b>	\$/t	<b>0.211</b>	<b>0.208</b>
<b>Voladura</b>	\$/t	<b>0.196</b>	<b>0.193</b>
<b>Carguio</b>	\$/t	<b>0.117</b>	<b>0.117</b>
<b>Transporte</b>	\$/t	<b>0.714</b>	<b>0.254</b>
<b>Soporte</b>	\$/t	<b>0.163</b>	<b>0.158</b>
<b>Otros costo</b>	\$/t	<b>0.103</b>	<b>0.164</b>
<b>total</b>	\$/t	<b>1.503</b>	<b>1.094</b>

**Fuente:** Transporte En Minas A Cielo Abierto: Camiones Versus Sistema De Chancado Semi-Movil Dentro Del Tajo Transportado Por Fajas.

**TABLA 14: OPEX Del Proyecto Detallado.**

<b>Alternativa de Transporte</b>			
<b>OPEX total del Proyecto</b>	<b>Unidad</b>	<b>Convencional</b>	<b>IPCC</b>
<b>Costo de Mina</b>	<b>\$/t material</b>	<b>1.50</b>	<b>1.09</b>
Minado de Oxido	\$/t material	1.54	1.15
Minado de Primario	\$/t material	1.63	1.25
Minado de Desmonte	\$/t material	1.43	1.01
<b>Costo de Proceso Oxido</b>	<b>\$/t mineral</b>	<b>6.20</b>	<b>6.20</b>
Personal	\$/t mineral	0.34	0.34
Medio de Molienda	\$/t mineral	1.44	1.44
Reactivos	\$/t mineral	0.90	0.90
Electricidad, Combustible y Lubricante	\$/t mineral	2.69	2.69
Material de Desgaste	\$/t mineral	0.38	0.38
Mantenimiento	\$/t mineral	0.34	0.34
Otros	\$/t mineral	0.11	0.11
<b>Costo de Proceso Primario</b>	<b>\$/t mineral</b>	<b>9.60</b>	<b>9.60</b>
Personal	\$/t mineral	0.44	0.44
Medio de Molienda	\$/t mineral	2.39	2.39
Reactivos	\$/t mineral	1.70	1.70
Electricidad, Combustible y Lubricante	\$/t mineral	3.43	3.43
Material de Desgaste	\$/t mineral	0.89	0.89
Mantenimiento	\$/t mineral	0.57	0.57
Otros	\$/t mineral	0.18	0.18
<b>Manejo de Materiales</b>	<b>\$/t mineral</b>	<b>1.70</b>	<b>1.80</b>
Personal	\$/t mineral	0.24	0.25
Combustible y Lubricante	\$/t mineral	0.21	0.22
Electricidad	\$/t mineral	0.30	0.32
Material de Desgaste	\$/t mineral	0.31	0.33
Mantenimiento de Equipo	\$/t mineral	0.53	0.56
Otros	\$/t mineral	0.11	0.12
<b>Generales y Administración</b>	<b>\$/t mineral</b>	<b>0.50</b>	<b>5.00</b>
Personal	\$/t mineral	0.06	0.06
Combustible	\$/t mineral	0.01	0.01
Seguros	\$/t mineral	0.05	0.05
Instalaciones Sociales	\$/t mineral	0.06	0.06
Administración In-situ	\$/t mineral	0.14	0.14
Oficinas Principales y Otros	\$/t mineral	0.18	0.18
<b>Costos de Venta</b>	<b>\$/t mineral</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>

**Fuente:** Elaboración Propia

## 5.4. Flujo de Caja

Es el estado de flujos de ingresos y egresos de liquidez proyectada para lograr las metas de dinero en efectivo determinadas para la gerencia, que permiten definir la política de inversiones, predecir la consecución de financiamiento y realizar la evaluación de la empresa u organización. También se puede afirmar que es un estado dinámico, ya que sitúa los momentos en que se supone ocurrirán las entradas y salidas de fondos, allí su innegable utilidad y su uso continuo y sostenido en la gerencia moderna. Cabe señalar que dentro del flujo de caja (FC) se debe excluir la "Depreciación" y todos los otros costos y gastos que no requieren desembolsos de efectivo.

$$FC = \sum_{t=0}^n (Bt - Ct - IMPt + VR)$$

Donde :

Bt=Ingresos actualizados

Ct=Costos actualizados(OPEX+CAPEX)

IMPt=Impuesto

VR=Valor de rescate

## 5.5. Valor Presente Neto (VPN)

El VPN es conocido como el valor presente neto. Consiste en evaluar si la rentabilidad del proyecto, determinada por flujos netos de caja anual, se ubica dentro de las expectativas de beneficio esperado del inversionista y/o del futuro negocio en sí. Esto significa que para concluir si los resultados de un proyecto son ventajosos o no, éste debe ser sometido a una tasa de rentabilidad promedio mínima. Esta tasa es llamada.

$$VPN = \frac{FE_t}{(1+i)^t}$$

donde:

VPN = Valor Presente Neto del proyecto

FE = Flujo de Efectivo en el periodo  $t$

$i$  = Tasa de interés o costo de oportunidad

$t$  = Periodo

## **5.6. Tasa Interna De Retorno (TIR)**

Es la tasa calculada que cuando es aplicada a la fórmula del VPN hace que ésta arroje cero. Esto se aplica así: si un proyecto que se evalúa al año tiene intrínseca una rentabilidad acumulada expresada en valor, es evidente que dicha rentabilidad puede ser también expresada en tasa. Por lo tanto, la rentabilidad de un proyecto expresada en tasa constituye la TIR. Cuando la TIR es aplicada al flujo económico se denomina TIRE. La TIR mide la rentabilidad como porcentaje. La máxima tasa exigible será aquella que haga que el VPN sea cero. La tasa interna de retorno tiene cada vez menos aceptación como criterio de evaluación por tres razones principales:

- La entrega de un resultado que conduce a la misma regla de decisión que la obtenida con el VPN.
- No sirve para comparar proyectos, la TIR mayor no es mejor que la menor.
- Cuando hay cambios de signos en el flujo de caja

## **5.7. Análisis Económico-Financiero**

### **Flujo de caja descontado del proyecto**

El valor de una empresa o proyecto se deriva de la habilidad de ésta misma para generar flujo de caja. Los métodos de flujo de caja descontado (DCF, por sus siglas en inglés) determinan el valor actual de los flujos de fondos futuros descontándolos a una tasa que refleja el costo de capital aportado. Esto es necesario porque los flujos de fondos en diversos períodos no pueden ser comparados directamente por el valor del dinero en el tiempo. Para este proyecto se presenta cuatro escenarios que se detallan de la sección siguiente:

### Caso convencional:

El proyecto Antaquiri cuenta con cuerpos mineralizados de hierro (mineral oxido y primario). El minado se hará a través del método de tajo abierto, con unidades de operación de perforación, voladura, carguío y transporte. El mineral será enviado hacia la planta ubicada a 17 kilómetros del tajo, junto al Puerto. El desmante será llevado hacia un botadero ubicado a 5 kilómetros del tajo.

Para el plan de minado con el sistema convencional, el desmante será transportado por medio de camiones hacia el botadero; en tanto que el mineral será transportado por el mismo medio hacia la chancadora primaria ubicada fuera del tajo abierto. Luego, el mineral molido es enviado hacia la planta de beneficio mediante fajas

**CUADRO 1:** Flujo de Caja Descontado Convencional.

Convencional								
t	0	1	2	3	4	5	6	Total
Precio Cu (\$/t)	-	\$2,500	\$2,550	\$2,600	\$2,650	\$2,700	\$2,750	
Producción (t)	-	6,667	6,667	6,667	6,667	6,667	6,667	40,000
Ventas (\$)	\$0	\$16,666,667	\$17,000,000	\$17,333,333	\$17,666,667	\$18,000,000	\$18,333,333	
Costos (\$)	\$2,292,000	\$146,687	\$146,687	\$146,687	\$146,687	\$146,687	\$146,687	
Impuestos (\$)		\$2,000,000	\$2,000,000	\$2,000,000	\$2,000,000	\$2,000,000	\$2,000,000	
<b>Flujo de Caja (\$)</b>	<b>-\$2,292,000</b>	<b>\$14,519,980</b>	<b>\$14,853,313</b>	<b>\$15,186,647</b>	<b>\$15,519,980</b>	<b>\$15,853,313</b>	<b>\$16,186,647</b>	
Factor de Descuento (\$)	1.00	0.93	0.86	0.79	0.74	0.68	0.63	
<b>Flujo de Caja Descontado (\$)</b>	<b>-\$2,292,000</b>	<b>\$13,444,426</b>	<b>\$12,734,322</b>	<b>\$12,055,650</b>	<b>\$11,407,649</b>	<b>\$10,789,499</b>	<b>\$10,200,333</b>	<b>\$ 68,339,878.19</b>
<b>VPN (\$)</b>	<b>\$46,984,473</b>							

Fuente: Elaboración propia

## Caso de transporte IPCC

Para el plan de minado con el sistema IPCC, consiste en transportar el material por camiones hacia las chancadoras primarias que se encuentran dentro del tajo abierto, el cual irá profundizándose en función al plan. Luego, el mineral molido es enviado a la planta y el desmunte hacia el botadero mediante fajas.

IPCC	a							
t	0	1	2	3	4	5	6	Total
Precio Cu (\$/t)	-	\$2,500	\$2,550	\$2,600	\$2,650	\$2,700	\$2,750	
Producción (t)	-	6,667	6,667	6,667	6,667	6,667	6,667	40,000
Ventas (\$)	\$0	\$16,666,667	\$17,000,000	\$17,333,333	\$17,666,667	\$18,000,000	\$18,333,333	
Costos (\$)	\$1,943,000	\$171,893	\$171,893	\$171,893	\$171,893	\$171,893	\$171,893	
Impuestos (\$)		\$2,000,000	\$2,000,000	\$2,000,000	\$2,000,000	\$2,000,000	\$2,000,000	
<b>Flujo de Caja (\$)</b>	<b>-\$1,943,000</b>	<b>\$14,494,773</b>	<b>\$14,828,107</b>	<b>\$15,161,440</b>	<b>\$15,494,773</b>	<b>\$15,828,107</b>	<b>\$16,161,440</b>	
Factor de Descuento (\$)	1.00	0.93	0.86	0.79	0.74	0.68	0.63	
<b>Flujo de Caja Descontado (\$)</b>	<b>-\$1,943,000</b>	<b>\$13,421,086</b>	<b>\$12,712,711</b>	<b>\$12,035,640</b>	<b>\$11,389,121</b>	<b>\$10,772,343</b>	<b>\$10,184,449</b>	<b>\$68,572,350.80</b>
<b>VPN (\$)</b>	<b>\$47,251,607</b>	Producción homogénea todos los años (Reservas / número de años de vida de la mina)						

**CUADRO 2:** Flujo de Caja Descontado Caso 1.

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro comparativo de las opciones de casos:**

*CUADRO 3: Resultado Comparativo Economico-Financiero*

	<b>Convencional</b>	<b>IPCC</b>
TIR	<b>636%</b>	<b>748%</b>
VAN	<b>46984473</b>	<b>47251607</b>
B/C	<b>20.50</b>	<b>24.32</b>
Pay bac	<b>0.170</b>	<b>0.145</b>

años

Fuente: Elaboración propia

## **CAPITULO VI: RESULTADOS**

### **Ventajas y Desventajas**

#### **Ventajas**

- Distancias de acarreo más cortas – interfaces fáciles con menos camiones. Lo que significa reducir los tiempos de ciclo de los camiones.
- Los costos de operación por tonelada-kilómetro son bajos.
- Se utiliza energía eléctrica en lugar del combustible diesel, cuyo precio aumenta constantemente.
- No se emiten gases al medio ambiente.
- Los requisitos de mano de obra se reducen.
- La seguridad operacional es mejor.

#### **Desventajas**

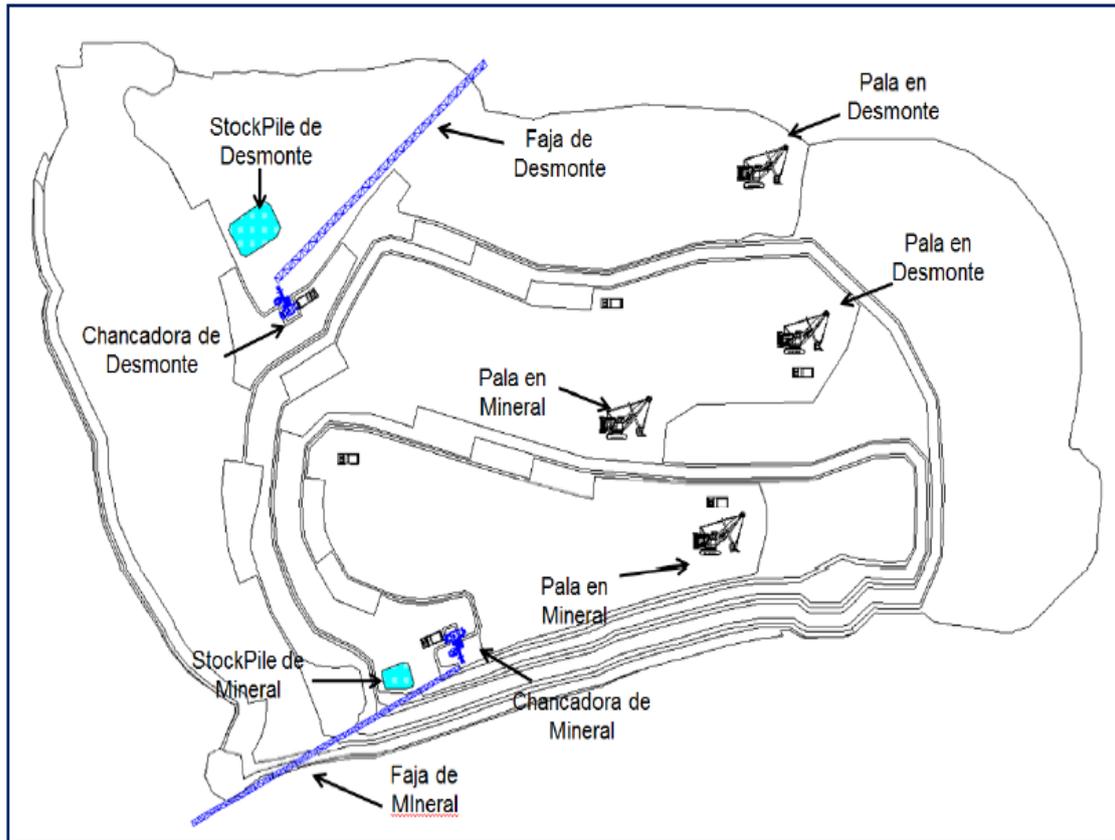
- Los altos costos de inversión requieren una razón de amortización.
- La ubicación del sistema de transporte debe seguir el progreso del minado.
- Poca flexibilidad

### **6.4 Requerimientos de Instalación**

#### Requerimiento de Planificación

Las instalaciones de las chancadoras y fajas transportadoras deben ser diseñadas y planificadas de la misma manera como los caminos de acarreo de minas. Se debe tener siempre presente en la planificación las rutas de acarreo de los camiones a la chancadora y del transporte de las fajas como parte común de la explotación minera. Este punto es muy importante, ya que las chancadoras deben estar en constante trabajo y los camiones siempre deben descargar.

Un requerimiento importante es que el sistema IPCC debe estar instalado juntamente con los equipos mineros para no generar retrasos en ninguno de los equipos.



**FIGURA 17:** Funcionamiento de un Sistema IPCC

**Fuente:** Elaboración propia

### Requerimiento de Ubicación y Acceso

Es un requerimiento necesario conocer la geometría exacta del proyecto para realizar un plan de minado detallado, por el hecho de que las instalaciones de las chancadoras semi-móviles y fajas transportadoras pueden ser poco flexibles y difíciles de manejar. Los accesos para camiones no pueden utilizar las áreas donde las fajas pasan, ya que el cruce de estos puede ser muy costoso y requiere mucho tiempo. Los accesos de camiones, por consiguiente, deben ser encaminados hacia la chancadora. En realidad, debe mantenerse un sistema dual: faja transportadora y un sistema de camión.

### Stripping

Una desventaja para el diseño de mina con el IPCC es en definitiva el desmonte. La instalación de las chancadoras genera una plataforma que por lo general origina mayor desbroce en las paredes por el ensanchamiento.

Por lo tanto, al momento de diseñar el tajo se debe analizar detalladamente dónde puede ubicarse la chancadora para localizarla en un lugar adecuado y generar la menor cantidad de desbroce.

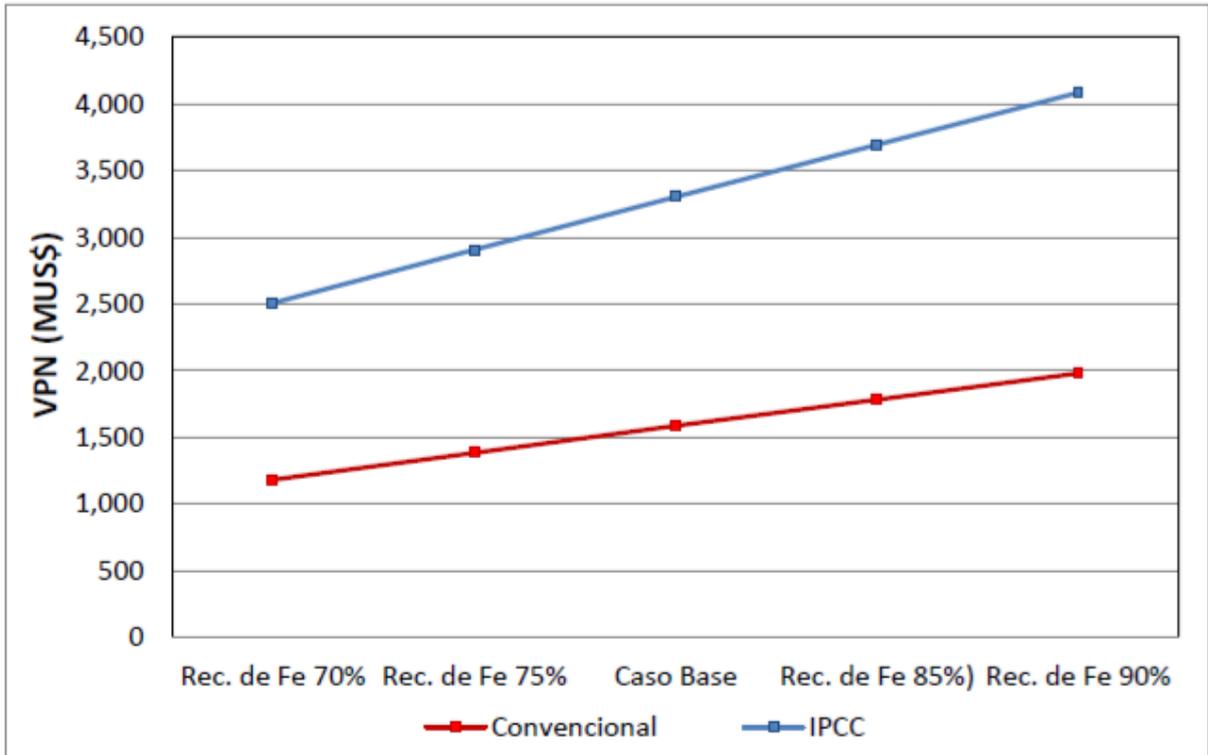
### **Análisis de Sensibilidad:**

Los resultados de los indicadores financieros se inclinan por la opción del sistema IPCC, en donde los valores de Inversión inicial son menores en 31 millones de dólares, el VPN tiene un incremento de 152 millones de dólares adicionales y el TIR aumenta en 2.0% con respecto a la alternativa del minado convencional.

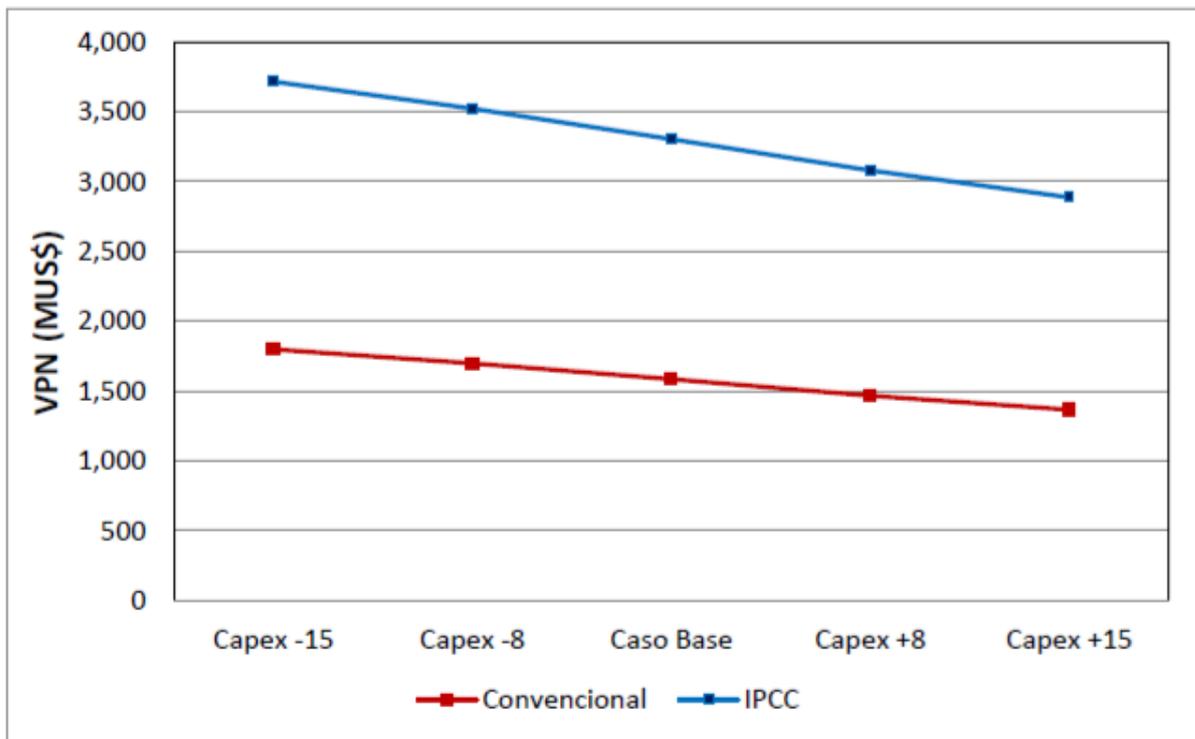
***TABLA 15: Resultados de la Sensibilidad.***

<b>Alternativa de Transporte</b>	<b>Unidad</b>	<b>Convencional</b>	<b>IPCC</b>
<b>Sensibilidad</b>			
<b>Caso Base</b>	<b>MUS\$</b>	<b>1,576</b>	<b>1,728</b>
Rec. de Fe -10% (70% Fe)	MUS\$	1,182	1,327
Rec. de Fe -5% (75% Fe)	MUS\$	1,383	1,523
Rec. de Fe +5% (85% Fe)	MUS\$	1,782	1,913
Rec. de Fe +10% (95% Fe)	MUS\$	1,980	2,107
CAPEX -15	MUS\$	1,799	1,915
CAPEX -8	MUS\$	1,698	1,823
CAPEX +8	MUS\$	1,468	1,613
CAPEX +15	MUS\$	1,367	1,521

**Fuente:** Elaboración Propia.

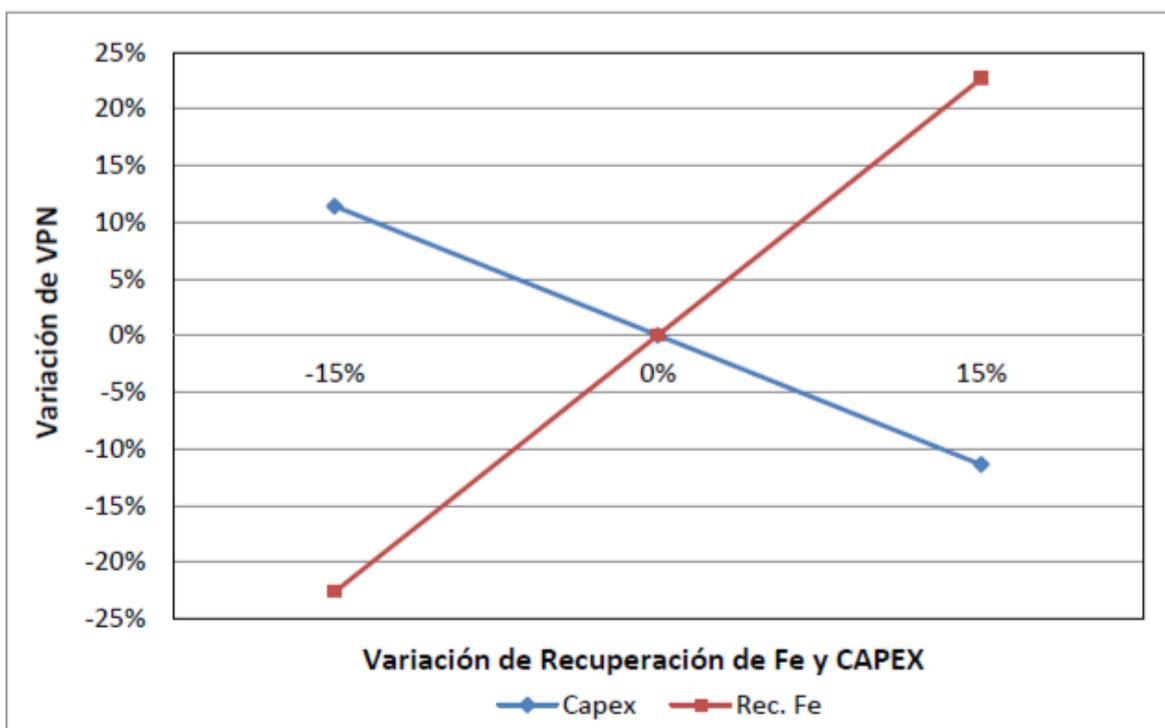


**GRÁFICO 2:** Sensibilidad Del VPN vs Recuperación  
Fuente: Elaboración Propia.



**GRÁFICO 3:** Sensibilidad Del VPN vs Variación Del CAPEX  
Fuente: Elaboración Propia.

Como se dijo anteriormente, la alternativa del sistema IPCC tiene los mejores resultados desde el punto de vista del análisis financiero, por lo cual, se muestra la viabilidad del VPN, en términos porcentuales, con respecto a la sensibilidad de la recuperación de hierro y del costo de capital analizado en esta sección. Este gráfico nos indica que a variaciones de  $\pm 5\%$ ,  $\pm 10\%$  de recuperación de cobre y  $\pm 10\%$ ,  $\pm 15\%$  en costo capital, las variaciones de VPN son mayores que 10%, un valor considerado alto.



**GRÁFICO 4:** Variación Del VPN Para El Caso Del IPCC

**Fuente:** Elaboración Propia.

### Variación del CAPEX

Los resultados obtenidos en el Capex de minería, para las dos alternativas, tienen una disminución en la inversión del acarreo a causa de la diferencia en los números de camiones que fueron calculados en función de las rutas.

En el caso de la alternativa del método convencional, se apreció que el acarreo tiene el 36% para el Capex inicial o inversión (165 MUS\$) antes de dar inicio al proyecto y 54% para el Capex total (652 MUS\$). Estos porcentajes elevados se originan por la compra de camiones en la etapa de producción, ya que, cuando el tajo se profundiza, las distancias se incrementan hasta más de 4 kilómetros.

En el caso de la alternativa del sistema IPCC, el Capex de acarreo se ha reducido a 19% para la inversión inicial (75 MUS\$) y a 31% para el total del Capex (280 MUS\$), para toda la vida de la mina. Este cálculo se justifica por la reducción de camiones para este sistema, ya que las distancias al punto de descarga, en este caso hacia las chancadoras semi-móviles, son menores que 800 metros.

Para este último caso, se requiere una inversión que remplace a los camiones. Dicha inversión considerará la chancadora, faja, esparcidor y equipos móviles, los cuales son necesarios para este tipo de sistema. Los costos asignados a estos equipos serán parte del manejo de desmonte, que para el Capex de minería es solo 13% para el inicial (51 MUS\$) y 8% para el total (28 MUS\$). Estos costos al ser sumados al de acarreo arrojan un 32% para el Capex inicial y 39% para el Capex total de minería, siendo menor en 4% y 15%, respectivamente.

Para el Capex de las demás áreas, solo se incrementa en el manejo de mineral, añadiendo el costo de la faja que profundiza en el caso del mineral. Luego, los demás departamentos permanecerán invariables

#### Variación del OPEX

Los cálculos obtenidos para el Opex de Minería dieron un 48% en el transporte para el acarreo de la alternativa convencional; mientras que para la otra alternativa del sistema IPCC se redujeron hasta el 23% para el Opex de acarreo. Estos resultados son la consecuencia de que, a mayor cantidad de camiones, mayores serán los costos de combustibles y llantas; por ende, los costos de operación son más altos. El sistema IPCC tiene, en cambio, un nuevo costo operativo, el cual está representado por los costos del manejo de material para el desmonte, en los cuales se incluyen la chancadora y las fajas hacia el botadero. Este costo es menor que 15%, incluidos con los otros costos.

El Opex de minería constituye una parte significativa del total de los costos de operación, donde la distribución cambia a lo largo de la vida de la mina, ya que las condiciones de producción cambian.

## CAPITULO VII: CONCLUSIONES

- El sistema IPCC es menos flexible que el sistema de camiones, sin embargo, se puede concluir que, en la evaluación del proyecto en este proyecto de fin de carrera, redujo los costos de acarreo, debido a que se necesita menos camiones (combustibles y llantas), equipos auxiliares, etc. Por tanto, se reduce el OPEX (costo de operación) y el CAPEX (costo de capital), aumentando, por ende, el VPN; es decir, generando mayor rentabilidad.
- Mientras más grandes y profundas sean las minas de tajo abierto, más rentable será la aplicación de la tecnología de los sistemas IPCC.
- Los costos de capital serán bajos cuando las capacidades de producción son muy altas; mientras que los costos de operación siempre serán más bajos para el sistema IPCC que para el sistema convencional.
- La implementación del sistema de transporte mediante chancado y fajas dentro del tajo puede tener un impacto significativo en la geometría del tajo, generando una variación del striping ratio y en los accesos de la mina. Para ello se requiere un planeamiento detallado de las rutas de la faja, de las ubicaciones y del número de movimientos de la chancadora, así como de la disponibilidad de mineral.
- EL sistema IPCC reduce las emisiones de carbono generadas por los camiones gigantes de acarreo; por ende, reduce los impactos ambientales en los próximos años. Además, ayudará a la industria a disminuir las emisiones, puesto que emplea electricidad en lugar de combustible. Asimismo, reduce las emisiones de polvo, ya que las fajas pueden ser cubiertas y, en el caso de la chancadora, existen los sistemas de supresión de polvo, activados durante la descarga y el chancado. También, aumenta la seguridad por medio de la reducción de posibles accidentes debido al menor número de camiones, equipos auxiliares y personales.

## **BIBLIOGRAFIA**

- HUSTRULID, William and KUTCHTA, Mark. Open Pit Mine Plannig and Design. 2 nd. ed. 2006. 991p.
- INFOMINE USA, Inc. CostMine: Mine and Mill Equipment Cost Estimator. Washington, USA. 2012.
- RUNGE, Ian C. Mining Economis and Strategy. Littleton, Colorado. 1998. 296p.
- MINING MAGAZINE CONGRESS. The Application of In-Pit Crushing and Conveying in Large, Hard Rock Open Pit Mines. Canada. 2009.
- SKILLINGS MINING REVIEW. In-Pit Crushing and Conveying Mine Planning and Operations. Alemania. 1985.
- SOCIETY FOR MINING, METALLURGY, AND EXPLORATION, INC. Surface Mining. 2 nd. ed. Littleton, Colorado. 1990. 1194p.
- SOCIETY FOR MINING, METALLURGY, AND EXPLORATION, INC. SME Mining Engineering Handbook. 2nd. ed. Littleton, Colorado. 1996. 2161p.
- Transporte en minas a cielo abierto: camiones versus sistema de chancado semi-movil dentro del tajo transportado por fajas-William Alex Toledo Salas. 2013
- Curso de evaluación y planificación minera- Universidad Politécnica de Madrid 2001

# ANEXOS

## ANEXO 1

### Estándares de ingeniería, normas, reglamentos y pautas de ingeniería

- **Manual de Ingeniería: Código de JORC**  
El código de Australia para indicar los recursos minerales, publicado en 1988, actualizado en 1990, fue parte fundamental para el estudio del presente trabajo.
- **Niveles máximos de emisión permitidos para gases y partículas para actividades mineras y metalúrgicas: Resolución Ministerial N 315-96 EM**  
La presente resolución ministerial, contiene los límites máximos permisibles, en cuanto a partículas en el medio ambiente, esto relacionado a la planta chancadora semimóvil que estará en el tajo.
- **Manual de Ingeniería de Minería**  
El cual contiene diversos términos en cuanto a términos en minería.
- **Curso de evaluación y planificación minera**  
Donde se detalla los términos de planificación estratégica, valor de bloque, parámetros para el diseño de Pit y fases, entre otros, los que son usados para el presente proyecto de investigación.
- **Estándares Internacionales de Información Financiera – Hennie Van Greuning**  
En el presente, se detalla, como realizar los cálculos de VPN, PAYBACK, TIR, según guías internacionales, las mismas que fueron realizadas para el presente trabajo.
- **Normas Internacionales de Información Financiera**  
De donde obtuvimos las definiciones de OPEX y CAPEX, así como la forma correcta de hallarlos, lo cual, fue una parte importante en el presente trabajo.

## ANEXO 2

### Restricciones Múltiples Realistas

- Difícil accesibilidad a datos reales de mina  
Esta dificultad, pudo ser superada, obteniendo información de diversas fuentes, como artículos de investigación y diferentes tesis.
- Grupos de interés con diferentes intereses y expectativas con respecto al proyecto  
Durante, el desarrollo del presente trabajo, hubo diferentes intereses por parte de los integrantes del grupo, en cuanto a la expectativa del alcance del presente proyecto, los cuales, mediante diálogo abierto entre los integrantes, se lograron solucionar.
- Poca accesibilidad a la información de los parámetros y características de la roca  
Los cuales fueron solucionados, mediante aproximación tomando en cuenta las familias de la zona del posible proyecto.
- Disponibilidad de tiempo  
El tiempo, fue un factor imitante en el desarrollo del presente trabajo, durante el desarrollo del semestre, diferentes actividades de este acortaron el tiempo que teníamos programado, dificultando el desarrollo del presente trabajo.

## ANEXO 3

### PRESUPUESTO Y CRONOGRAMA

#### MATERIAL HUMANOS

##### Responsables:

PAUCAR ALFARO, JOHN POOL  
TORRES HUILLCA, LUIS FERNANDO  
LLAVE PALLANI, FRANKLIN JEANPIER  
VENERO LABRA, RICHARD

Colaborador y Asesor: MSc. Rolando Quispe Aquino

#### EQUIPOS

03 Escritorio y 7 sillas  
07 PC portátil  
01 Impresora a color  
01 Proyector

#### MATERIALES

3,0 Millares de papel bond A4.  
12 Bolígrafos.  
04 Cuadernos A4.  
01 Pizarra  
04 Plumones  
01 Agenda para reuniones diarias.

#### INFORMACION

Disponibilidad limitada de información

#### PRESUPUESTO – FINANCIAMIENTO

Responsable: 100 %  
Compañía: 0 %

**TOTAL: 100%**

## CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

TIEMPO ACTIVIDADES	2019															
	OCTUBRE					NOVIEMBRE							DICIEMBRE			
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4
Revisión de bibliografía	X	X	X													
Elaboración del proyecto				X	X											
Presentación, evaluación y aprobación						X										
Recolección y procesamiento de datos							X	X								
Elaboración de resultados y conclusiones									X	X	X					
Revisión y corrección por asesoría												X	X			
Redacción del informe final														X	X	X