

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLOGICA, MINERA Y METALURGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS



**“INNOVACIÓN EN OPERACIONES DE CARGUÍO Y
ACARREO SUBTERRÁNEO”**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO DE MINAS**

**PRESENTADO POR:
TULIO ANTONIO ANTEZANO INGA**

**LIMA - PERÚ
2012**

DEDICATORIA

A mis padres Antonio y Edelmira por su invaluable guía y visión para darme la educación adecuada para lograr ser un buen profesional.

A mi esposa Alicia por su tesonero apoyo y motivación constante para alcanzar metas insospechadas cuando nos unimos.

Finalmente a mis tres hijos, Milagros, Antonio y Eduardo, gestores del orgullo que siento como padre realizado.

AGRADECIMIENTO

A mis maestros tanto en la etapa escolar como en la universidad y a las empresas que me dieron la oportunidad de trabajar para crecer profesionalmente.

También a aquellas personas tanto del país como del extranjero que compartieron conmigo sus conocimientos y experiencias

Finalmente a la escuela profesional de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional de Ingeniería, nuestra alma mater por brindarme la posibilidad de ejercer la docencia

RESUMEN

Entendiendo que en el negocio minero la cantidad de reservas y calidad del recurso mineral como los precios de venta del producto final son componentes importantes para la obtención de la rentabilidad esperada, existen otros factores que pueden variar hacia arriba o a hacia abajo los resultados. Excluyendo aquellos de carácter no previsible existe un factor en cual el empresario minero puede actuar y es en la innovación constante de sus operaciones y procesos, de cuya efectividad y eficiencia dependerá su competitividad y supervivencia como productor.

La presente tesis pretende motivar a operadores y a los analistas mineros a aceptar la existencia de soluciones mediante la innovación para enfrentar los desafíos del negocio, en un escenario cada vez más complejo por la necesidad de explotar recursos minerales de menor contenido, con costos en crecimiento, requerimientos de control ambiental y de responsabilidad social cada vez más exigentes.

Partiendo entonces de la base de que el estado actual de la tecnología es solamente un instante en la evolución de los procesos productivos, el innovador es aquel que se propone ser un agente activador de dicha evolución, interviniendo los procesos mediante la incorporación del conocimiento disponible adoptando nuevas formas de trabajo saliendo de tradicionales esquemas que nos resistimos a cambiar.

Un caso práctico constituye lo sucedido en la mina Cerro Lindo cuya mayor innovación consistió en incrementar el tamaño de la sección de las vías subterráneas inicialmente esbozada, para permitir el ingreso de maquinaria especializada para mantener una buena condición de rodadura de sus vías. Este hecho también permitió el uso de equipos de acarreo de mayor tamaño, produciéndose un incremento notable en la productividad de los mismos, y de la producción de mina en general.

Por otro lado manteniendo una actitud continua de innovación, será mucho más sencilla la tarea de introducir nuevas tecnologías en existencia y en desarrollo que el presente trabajo pretende describir, explicando la potencialidad de su incorporación a nuestra realidad operacional en operaciones de carguío y acarreo con una visión a la futura automatización de estas tareas.

INDICE GENERAL

		Página No
INTRODUCCION		06
CAPITULO I	MARCO TEORICO	13
1.1	CONCEPTO DE INNOVACION	14
1.2	TIPOS DE INNOVACION	14
1.2.1	SEGÚN SU APLICACIÓN	15
1.2.2	SEGÚN SU GRADO DE ORIGINALIDAD	
CAPITULO II	EVOLUCION DE LA INNOVACION EN MINERIA SUBTERRANEA	18
2.1	EXPLORACION	18
2.2	PREPARACION Y DESARROLLO	21
2.3	EXPLOTACION SUBTERRANEA	23
CAPITULO III	ALGUNOS EJEMPLOS DE INNOVACION EN MINERIA SUBTERRANEA	27
3.1	EN SISTEMAS DE TRABAJO	27
3.2	EN PLANEAMIENTO Y CONTROL	28
3.2.1	OBJETIVOS GENERALES	29
3.2.1	OBJETIVOS ESPECIFICOS	30
3.3	EN MAQUINARIA Y EQUIPOS	30
3.3.1	EQUIPOS ACCIONADOS POR AIRE COMPRIMIDO	30
3.3.2	EQUIPOS ACCIONADOS POR MOTORES DE COMBUSTION INTERNA	33

3.3.3	EN GESTION DE MANTENIMIENTO Y REPARACIONES	40
CAPITULO IV	INNOVACIONES EN CARGUIO Y ACARREO SUBTERRANEO	42
4.1	CARACTERISTICAS DE LOS APORTES DE LA INNOVACION	42
4.2	BENEFICIOS TANGIBLES DE LOS NUEVOS APORTES	44
4.2.1	INCREMENTO DE PRODUCTIVIDAD	44
4.2.2	INCREMENTO DE LA SEGURIDAD	47
4.2.3	MEJORA EN LA GESTION DE MANTENIMIENTO DE EQUIPOS	48
CAPITULO V	PROBLEMAS Y SOLUCIONES PARA MEJORA DE LOS SISTEMAS DE CARGA Y ACARREO EN NUESTRA REALIDAD OPERACIONAL	50
5.1	PRODUCTIVIDAD	50
5.2	INCREMENTO DE LA SECCION DE LAS GALERIAS	51
5.3	CONDICION Y MANTENIMIENTO DE VIAS SUBTERRANEAS	54
5.4	JUSTIFICACION TECNICA Y ECONOMICA PARA INVERSION EN SECCIONES GRANDES	57
5.4.1	JUSTIFICACION ECONOMICA	58

5.5	CONCLUSIONES CAPITULO V	65
CAPITULO VI:	INNOVACIÓN EN EL DISEÑO DEL PROCESO DE CARGUIO Y ACARREO COSTO Y BENEFICIO DE LA INNOVACIÓN CASO PRÁCTICO MINA CERRO LINDO	67
6.1	BREVE DESCRIPCION DE LA OPERACIÓN DE MINADO EN CERRO LINDO	67
6.2	RESULTADOS EN CERRO LINDO	72
	CONCLUSIONES	76
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	78

INTRODUCCION

El tema de la innovación se ha convertido en un tema de actualidad en el mundo de los negocios hoy. Se considera a la innovación como la estrategia para obtener la rentabilidad esperada en un panorama de incremento de los costos y la disminución de los flujos de ingresos. Muchas estrategias de negocios tienen en la innovación su principal herramienta de cambios con buenos resultados. Las fuentes históricas de rentabilidad de las empresas se encuentran ahora muy ligadas a procesos de innovación. Ya no pueden mantener una ventaja competitiva mediante el uso de sus recursos naturales comunes y la tecnología creada por sí mismos. Esto se debe al impacto de la globalización que ha aprovechado la expansión de las capacidades y el desarrollo continuo de la tecnología de la información.

Entonces, la competitividad se ha orientado a la aplicación innovadora de nuevos procesos, al uso de nuevas tecnologías en equipos, maquinarias y novedosos sistemas de planeamiento y control en las actividades productivas.

Esto explica por qué las empresas mineras han encontrado en la innovación la herramienta clave para mantener sostenibles sus negocios en el futuro.

- El recurso mineral es natural y no renovable.
- Los mercados de materias primas minerales son globales, inestables y cíclicos
- Los atributos de valor y propiedades de los productos minerales están predeterminados
- Las materias primas minerales están sujetas al agotamiento

Estas y otras características limitan la competitividad de la industria minera a la innovación de los procesos de producción. El recurso mineral es un don natural y por lo tanto, un yacimiento no se puede ampliar en términos de tamaño, calidad y valor.

Para el caso práctico si observamos la evolución de los métodos de minado a través de las últimas cinco décadas, vemos que un factor importante a considerar es la medición o la aplicación de métricas a las diferentes etapas del proceso productivo. La data obtenida con el análisis respectivo nos permite hacer correcciones, plantear los cambios necesarios con el fin de obtener la rentabilidad esperada. Todo acorde con el avance tecnológico que integra la metodología de trabajo con las herramientas como los equipos y maquinarias, también con el personal a cargo de dirigir, controlar y ejecutar los trabajos. Lo anterior, ósea la actitud de medir y establecer los diferentes ratios que permiten evaluar, calificar y comparar una operación, motiva a innovar un proceso con un evidente objetivo de mejora. Por tanto la innovación hoy se puede

considerar como una disciplina conducente a lograr reducir costos y hacer más rentable una operación.

La innovación ha sido y será una actitud preferente en los ingenieros de minas en su diaria labor de extraer los recursos minerales. Sin embargo existen dificultades y limitaciones propias de nuestro medio para de modo sostenido mantener esta actitud. Este hecho se muestra en ciertas minas por la lentitud de los cambios de las metodologías y procesos, pese a que en otros países se implementaron con notoria anterioridad. Las causas son diversas y provienen muchas veces de solamente entender y reconocer cuales son las condiciones limitantes que impactan directamente en los costos de operación.

El presente trabajo pretende demostrar que existen oportunidades de mejora en los sistemas de carga y acarreo en operaciones subterráneas en un contexto de alta competitividad en el mercado, producto de la variabilidad de los precios de los metales, el incremento de los costos operativos y la carencia más pronunciada de yacimientos de alta ley.

El objetivo de la tesis es revisar la historia pasada y proponer soluciones para alcanzar rendimientos de clase mundial en los sistemas de carga y acarreo en nuestras minas subterráneas

En primer término se establecerá el marco teórico bajo el cual presenta la concepción de la propuesta.

Luego se pasa revista a las innovaciones producidas en la materia de la tesis, para finalmente analizar un caso práctico propuesto que puede ser aplicado en otras operaciones.

Finalmente se enuncian las ventajas de los cambios propuestos sobre la base de cuantificar los ahorros producto de implementar la innovación que deviene en reducir los costos de producción por tonelada.

Este trabajo pretende motivar a ingenieros diseñadores y operadores de mina a cambiar conceptos tradicionales para obtener mejores resultados.

CAPÍTULO I: MARCO TEORICO

1.1. CONCEPTO DE INNOVACIÓN

Diversos autores, expertos en la materia, han definido el **concepto de innovación**, existen múltiples definiciones acerca de un concepto que en apariencia es simple pero a la vez es ambiguo, una gran mayoría de definiciones provienen de la definición promulgada por el economista austriaco Schumpeter (1) en la cual la innovación abarca los 5 casos siguientes:

- a) Introducción en el mercado de un nuevo bien o servicio, el cual los consumidores no están aún familiarizados.
- b) Introducción de un nuevo método de producción o metodología organizativa.
- c) Creación de una nueva fuente de suministro de materia prima o productos semi-elaborados
- d) Apertura de un nuevo mercado en un país.
- e) Implantación de una nueva estructura en un mercado.

Existen 2 puntos en el cual todos los autores convergen: "Si los nuevos productos, procesos o servicios no son aceptados por el mercado, no existe innovación".

La innovación es el elemento clave de la competitividad.

Innovar es entonces crear o modificar un producto e introducirlo en el mercado

Sobre el segundo punto Michael Porter (2) afirma que:

"La competitividad de una nación depende de la capacidad de su industria para innovar y mejorar. Las empresas consiguen ventajas competitivas si consiguen innovar"

Existen distintos tipos de innovación, todos ellos se clasifican según su aplicación o su grado de originalidad:

1.2. TIPOS DE INNOVACION

1.2.1. Según su aplicación

a) **Innovación de PRODUCTO:** Comercialización de un producto tecnológicamente distinto o mejorado, la innovación se da cuando las características de un producto cambian

b) **Innovación de PROCESO:** Ocurre cuando hay un cambio significativo en la tecnología de producción de un producto o servicio también ocurre cuando se producen cambios significativos en el sistema de

dirección y/o métodos de organización; reingeniería de procesos, planificación estratégica, control de calidad, etc...

1.2.2. Según su grado de originalidad:

- a) **Innovación RADICAL:** aplicaciones nuevas de una tecnología o combinación original de nuevas tecnologías
- b) **Innovación INCREMENTAL:** mejoras que se realizan sobre un producto, servicio o método existente.

De tal forma que cualquier tipo de innovación lo podemos definir según sea su aplicación así como el grado de originalidad, lo veremos mejor con el siguiente ejemplo:

Imaginemos que se ha descubierto la Máquina del tiempo la cual nos permite viajar en el tiempo, podríamos definir la innovación como:

- c) **Según su aplicación:** Innovación de Producto, puesto que la innovación viene definido por un bien.
- d) **Según su grado de originalidad:** Innovación Radical, pues antes no existía ningún medio que nos permitiese viajar en el tiempo, es un producto totalmente novedoso el cual nos presta unos servicios que no existían antes.

Volviendo al mundo real, analicemos el caso de la salida al mercado de los CD's re-grabables. ¿Qué tipo de innovación supuso?:

- e) **Según su aplicación:** Innovación de Producto, puesto que la innovación viene definido por un bien.
- f) **Según su grado de originalidad:** Innovación Incremental, ya que antes existían los CD's que se podían grabar una vez, pero la innovación nos ha ofrecido un nuevo servicio que es el poder grabar un CD, después borrarlo y volver a grabar.

De esta forma podemos definir cualquier innovación atendiendo a los criterios anteriores:

APLICACIÓN	ORIGINALIDAD
PRODUCTO	INCREMENTAL
PROCESO	RADICAL

Estratégicamente las innovaciones radicales tienen como finalidad la obtención de un medio totalmente novedoso el cual acapare todo el mercado al cual está destinado, mientras que las innovaciones incrementales están orientadas hacia la reducción de costos.

Los japoneses defienden a ultranza la continua introducción de innovaciones incrementales, las cuales denominan kaizen (3), no obstante algunos piensan que en los tiempos actuales las innovaciones incrementales no van a ser suficientes.

Muchas de las empresas actuales utilizan una estrategia en la cual comienzan por desarrollar innovaciones radicales con las que cuentan con una mano de obra altamente calificada, maquinaria de tipo general y preocupación por los resultados del producto o proceso, de tal forma que consiguen un nuevo mercado o sustituyen a otro antiguo, una vez que la empresa ha conseguido el mercado y su posicionamiento, pasa a la realización de innovaciones incrementales donde los rasgos predominantes son la producción en masa, la intensidad en capital, una mano de obra menos calificada, donde la reducción de costes es el principal objetivo a alcanzar.

CAPITULO II: EVOLUCIÓN DE LA INNOVACIÓN EN MINERÍA SUBTERRANEA.

2.1. EXPLORACIÓN

La exploración en minería subterránea no ha estado ajena a la innovación tanto en los procedimientos como en la aplicación, ambos con un objetivo único de obtener información confiable para procesarla, luego evaluarla para la toma de decisiones

A diferencia de la investigación en superficie donde la evolución de las técnicas y conceptos han sido notables en el caso subterráneo, se ha avanzado mucho, pero quedan aún objetivos por lograr.

Desde el método de exploración artesanal denominado "Cateo" al actual usando información satelital, en el caso subterráneo la información de exploración superficial ha dado pautas para orientar luego optimizar la exploración subterránea. La primera etapa sin duda es la perforación saca testigo desde superficie para ubicar las estructuras mineralizadas y obtener data de la geología estructural y evidencias de la génesis del yacimiento para orientar la exploración en profundidad.

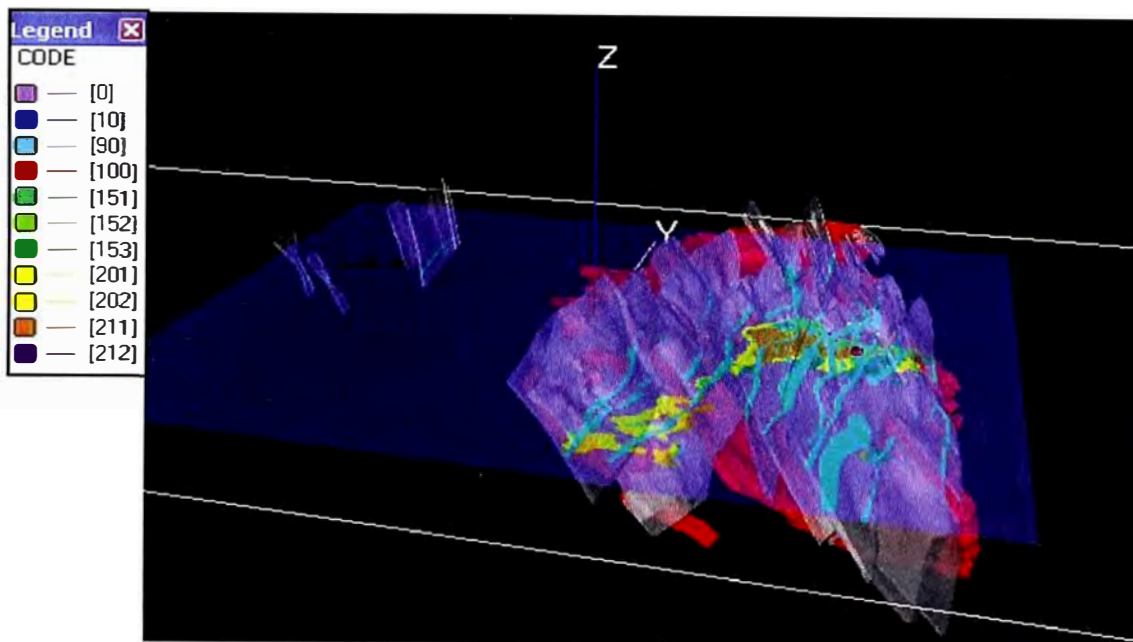
Las mayores innovaciones introducidas en este específico campo son de tipo Radical e incremental, que se manifiestan en obtener mejores velocidades y reducir desviaciones de las perforaciones, como la calidad de las muestras obtenidas. Estos beneficios se han logrado mediante el uso de equipos de perforación saca-testigo electro-hidráulicos equipada con sistemas de control de desviación y detección de fallas monitoreados desde una estación de operación.

Los beneficios son reducción de los tiempos de ejecución de los programas hasta en un 50% y la precisión de la posición topográfica de cada perforación. Esto último ha permitido incorporar los programas de modelamiento 3D que diversos software nos ofrecen a fin de proporcionar información gráfica de las estructuras mineralizados en su forma, posición según coordenadas y la variación de su contenido metálico mediante un código de colores con el objetivo de demarcar las zonas con valores rentables y aquellos que no lo son en un determinado nivel de precios.

La utilidad de esta información para el diseñador de minas que incorpora además los estudios de mecánica de rocas y geomecánica, es plantear diversos escenarios de capacidad de producción usando métodos de explotación modernos y así tomar decisiones acertadas con alto nivel de confiabilidad. Este último concepto resume en gran medida el avance logrado sobre la base de las innovaciones mencionadas

FIGURA 1: PERFORADORA RC y SACA TESTIGO COMPACTA

Fuente: Boart Longyear

FIGURA 2: MODELAMIENTO 3D CON SECCIONES TRANSVERSALES

Fuente: Maptek

2.2. PREPARACIÓN Y DESARROLLO

En el caso de una mina subterránea se realizan trabajos de desarrollo para llegar hasta el mineral mediante galerías (túneles horizontales), chimeneas (túneles verticales o inclinados que no se comunican a superficie), piques (túneles verticales que salen a la superficie), y rampas (túneles en forma de espiral, zig zag), etc.

Posteriormente se realizan trabajos de preparación es decir se diseña y se construye en el terreno la forma como extraer el mineral estableciendo un método de minado

Las innovaciones en este campo han sido numerosas y han estado ligados a los cambios producidos en los métodos de explotación. Un objetivo común desde la introducción de métodos ordenados de explotación que devienen de un plan de minado ha sido y es minimizar los costos y la rapidez de ejecución de estos trabajos.

La tercerización de los trabajos de preparación y desarrollo marco un hito en la forma de enfrentar esta etapa. Su incorporación en el proceso produjo beneficios de costo y velocidad de ejecución de los trabajos. También la especialización de las empresas dedicadas a esta actividad. Hoy es un rubro de negocios importante en minería la dedicación exclusiva a trabajos de desarrollo y preparación. Países con historia reconocida en minería subterránea como Canadá y Australia han creado el ambiente favorable para el concurso de empresas especializadas en

desarrollo horizontal y vertical donde la característica principal es la rapidez y el acabado de los trabajos encomendados. Sin duda el hecho de enfrentar diversas formas de acceder a los cuerpos, mantos o vetas mineralizadas les otorga una visión amplia para obtener rendimientos con niveles de rentabilidad apreciables.

Las innovaciones producidas en los últimos 50 años son del tipo Radical e incremental, donde la incorporación de maquinaria moderna fue la clave de reducir tiempos y costos. Entre las más importantes podemos mencionar, a los tuneladores continuos (TBM) y perforadoras de chimeneas tipo Raise Borer. Este último alivió con creces el desarrollo vertical al dotar de seguridad y rapidez al proceso de construcción de chimeneas y piques. También es de destacar los avances en sostenimiento rápido de túneles mediante los empernadores autopropulsados y los evidentes mayores rendimientos con los nuevos diseños de jumbos hidráulicos, cargadores LHD y equipos de apoyo, sin excluir los nuevos sistemas de ventilación y comunicación subterránea.

Se estima que bajo la nueva modalidad de trabajo en desarrollo y preparación de estos días, se han reducido en un 40% los tiempos de ejecución de estos trabajos comparado a los de los años 60.

De hecho se promueve un ahorro tangible desde el punto de vista de poner en operación un proyecto en un menor espacio de tiempo.

En conclusión, las innovaciones producidas en preparación y desarrollo se evaluaron para ser admitidas y constituir un estándar de trabajo

incorporando términos de medición de los ahorros en tiempos de ejecución y costos unitarios respecto al plan de construcción de los trabajos encomendados.

FIGURA 4: INNOVACION EN EQUIPOS PARA REDUCIR TIEMPOS



Fuente: A Copco, Lovat, CAT UG, Normet

2.3. EXPLOTACIÓN SUBTERRÁNEA

Desde la aparición de los sistemas mecanizados para la explotación subterránea de los recursos minerales, grandes avances se han producido a la fecha. Solo en materia de innovación se concretaron muchos proyectos en un número apreciable para obtener mayor productividad y reducir costos sin descuidar la seguridad. A este respecto

la innovación de los trabajos estuvo muy ligada al desarrollo de nuevos equipos y mejora de los que se crearon inicialmente en la década de los 70. Debemos afirmar que cada problema resuelto con soluciones creativas ha estado ligado a una innovación de tipo radical e incremental, donde el objetivo es obtener el costo de minado (Cash cost) más bajo posible para hacer la operación competitiva y rentable.

Los parámetros de medición se concentraron entonces en medir productividad en términos de,

- Producción diaria gruesa
- Producción horaria de equipos
- Avances mensuales en explotación, cubicando volúmenes extraídos y con ayuda de geología establecer cualitativamente en valor del material extraído.
- Cumplimiento del plan semanal, mensual
- Indicadores de gestión KPIs
- Control de costos unitarios por rubro

En explotación horizontal las innovaciones principales han estado ligadas al cambio y a la optimización de los métodos de trabajo más adecuados para la disposición de las estructuras mineralizadas. En nuestro medio es de destacar por ejemplo la evolución producida con el método breasting donde la velocidad de perforación y la extracción del mineral en avance

horizontal es vital para reducir el tiempo de exposición del nuevo espacio abierto antes de su estabilización y así no interrumpir el siguiente ciclo del proceso. La velocidad de extracción que es una suma de los tramos, perforación-voladura-carga y transporte, sin duda es el factor que diluye costos y que hoy permite explotar depósitos con menores leyes con rentabilidad.

A continuación un resumen de innovaciones producidas;

- a) En perforación de frentes con jumbos hidráulicos de 3ª y 4ª generación, se alcanzan velocidades instantáneas que duplican las obtenidas con la 1ª generación. Este incremento permite reducir el tiempo total de la ronda de taladros según la malla diseñada. Además para el caso del sistema Breasting hoy se están perforando con aceros de hasta 16 pies de longitud. El avance en cada voladura es importante. Generalmente los jumbos de 3ª generación trabajan perforando hasta en 3 frentes por turno dependiendo de la distancia entre ellos. El término de productividad medida en esta fase es el avance diario o mensual por tamaño de sección de galería y por m³ desplazados por voladura diaria o mensual en caso de explotación con perforación mecanizada y también en porcentaje de cumplimiento del plan mensual
- b) En sostenimiento también el avance es notable. Empieza por el desatado de roca suelta o colgante después de una voladura mediante desatadores autopropulsados. Estos equipos hoy están dotados de herramientas modernas como los martillos rascadores y de impacto

montados en un brazo con capacidad amplia de giro sobre su eje. Se le denomina rota boom y alcanza un mayor rendimiento y mejor acabado en su trabajo con la inclusión de un sistema de rociado de agua a presión para deprimir el polvo producido en el desatado. Para zonas amplias inestables la operación se puede realizar a control remoto, para no exponer al operador a una condición insegura.

- c) La segunda fase en el trabajo de sostenimiento está cubierto por los equipos emperadores de roca que hoy han incorporado en su diseño diversas bondades para dar rapidez en la instalación de los dispositivos de sostenimiento. Estos equipos hoy pueden ser operados por una sola persona para todo el proceso. Además pueden adaptarse rápidamente al tipo de elemento a usar sea perno mecánico, split set, swellex, cartuchos de resina morteros de cemento etc.

Se estima que un emperador de roca actual puede hacer el trabajo de una versión de la década de los 90 en el 60% del tiempo antes demandado. Este factor es muy importante para reducir el tiempo de exposición del nuevo espacio abierto en una zona de roca suave y deleznable que deteriora las condiciones de auto-sostenerse con el paso del tiempo después de la voladura.

El término de productividad medida en sostenimiento está determinado por el área sostenida en m² medida diaria o mensualmente y en porcentaje de cumplimiento respecto al plan

CAPÍTULO III: ALGUNOS EJEMPLOS DE INNOVACION EN MINERÍA SUBTERRANEA

3.1. EN SISTEMAS DE TRABAJO

Tradicionalmente los trabajos mineros subterráneos fueron y continúan en muchos casos siendo operados por personal de la compañía minera. Sin embargo en los últimos años la tercerización de los servicios ha promovido la obtención de ahorros sustanciales en el costo de minado. Los servicios especializados conllevan de por medio una mayor eficiencia y productividad, debido justamente a la especialización que convierte a estas empresas en expertas en determinados trabajos.

Una clasificación de especialización de tareas está dada por la actividad o rubro. Así tenemos

- a) Contratistas de perforación y voladura (m^3 , tonelada o metro lineal de avance)
- b) Contratistas de sostenimiento. Pernos de anclaje y shotcrete con enmallado etc. (Costo por área sostenida en m^2 , y según dificultad)

- c) Contratistas de carga y acarreo (TM puestos en destino)
- d) Contratistas de mantenimiento de vías (Metro lineal de vía)
- e) Contratistas de ventilación (Caudal y presión vs calidad del aire)
- f) Contratistas de servicios varios (Drenaje, bombeo, instalación y remoción de tuberías y cables)
- g) Contratistas de comunicación subterránea y sistemas (Disponibilidad de los sistemas en %)

Últimamente la tendencia es contar con contratistas a cargo de la explotación de mina y facturar sus servicios por tonelada puesta en planta. Esta parece ser el tipo de demanda futura de las empresas mineras para obtener mayor eficiencia y control de sus costos.

Los departamentos de ingeniería (planeamiento y control) y de Geología permanecerán en el manejo de la empresa por ser los entes de control de gestión y cumplimiento de los contratistas

3.2. EN PLANEAMIENTO Y CONTROL

El Planeamiento y Control de Producción en Operaciones Mineras, es una herramienta fundamental que se aplica en las Unidades de producción de empresas Mineras, para lograr los siguientes objetivos:

3.2.1 Objetivos Generales:

- Cumplimiento de los estimados de producción o producir para cubrir la capacidad de la planta concentradora.

3.2.2. Objetivos Específicos:

- Detectar oportunamente las áreas críticas, para dar solución inmediata.
- Reducción de costos. Incrementar la producción, de acuerdo a las necesidades de la unidad.
- Incrementar las labores de desarrollo, con el consiguiente aumento de reservas de la unidad.
- Una coordinación efectiva entre el personal del área productiva, al intercambiar diariamente su experiencia en la solución de problemas y cumplimiento de metas, los que incentivan a realizar un verdadero trabajo de equipo.

La minería se compone de múltiples procesos. Cada proceso presenta su propio conjunto de retos. Hoy en día, es necesario hacer frente a estos retos en un contexto de creciente regulación gubernamental, precios de insumos crecientes y controles más exigentes relacionados con el medio ambiente, la sanidad y la seguridad. Cada vez más, las operaciones de minería están recurriendo a la tecnología de la información para mejorar su efectividad de administración y aumentar su rentabilidad.

En ese contexto existe diversos software que permiten planificar mejor y de manera rápida un proyecto minero o variar uno existente. En ese mismo sentido se establecen sistemas de control sectorizado y/o integrando todos los procesos del negocio. El fin es evitar sorpresas por falta de actuar a tiempo.

Uno de los más conocidos hoy es el SAP AG (Systeme, Anwendungen und Produkte) (Sistemas, Aplicaciones y Productos). El sistema SAP es una empresa de informática alemana con sede en Walldorf. Comercializa un conjunto de aplicaciones de software empresarial, entre ellas mySAP Business Suite, que provee soluciones escalables, es decir, con capacidad de adaptarse a nuevos requisitos conforme cambian o aumentan las necesidades del negocio del cliente.

SAP for Mining proporciona un soporte de gestión esencial con un sistema de negocio integrado para toda la empresa. Integra toda su cadena de procesos de información, aprovisionamiento, producción y entrega, garantizando la oferta eficaz de servicios de alta calidad.

3.3. EN MAQUINARIA Y EQUIPOS – EVOLUCION e INNOVACION

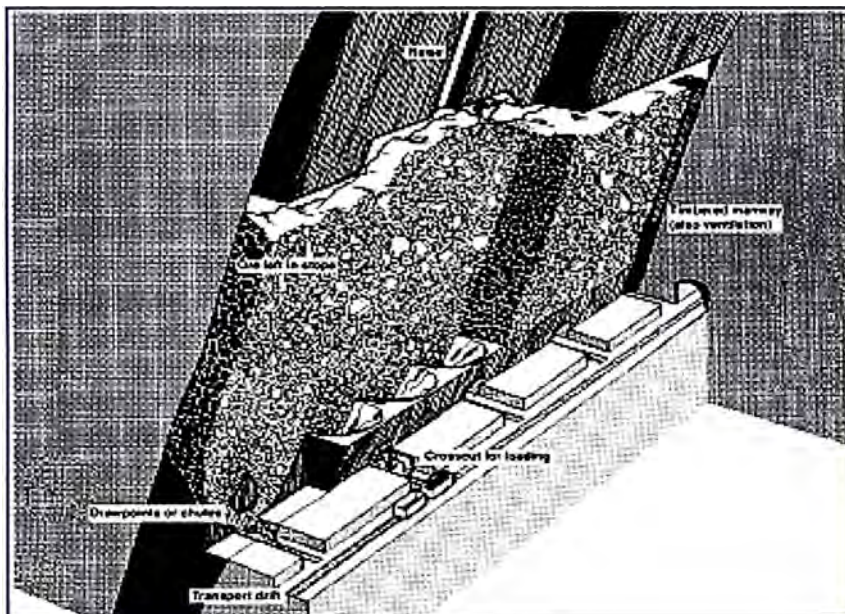
3.3.1. Equipos accionados por aire comprimido

Muy en boga entre los años 1950 a 1980, se caracterizaron por estar sujetos al rendimiento del sistema de generación del aire comprimido y su distribución en el interior de la mina. La provisión adecuada en caudal y presión del aire es vital para el buen funcionamiento de este tipo de

equipos. La operación con el suministro inadecuado de aire afecta directamente al rendimiento del equipo neumático en cuanto a su productividad.

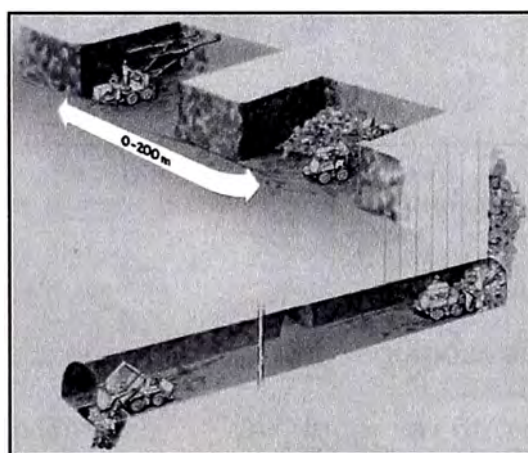
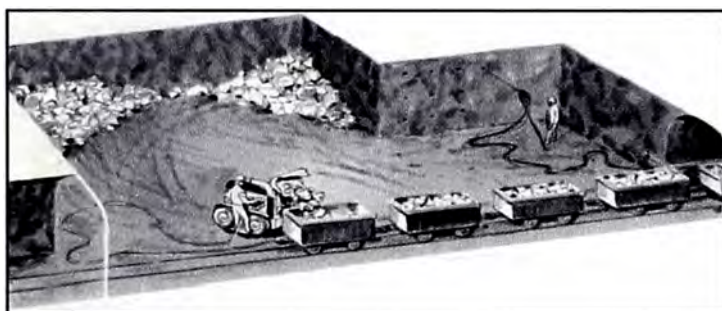
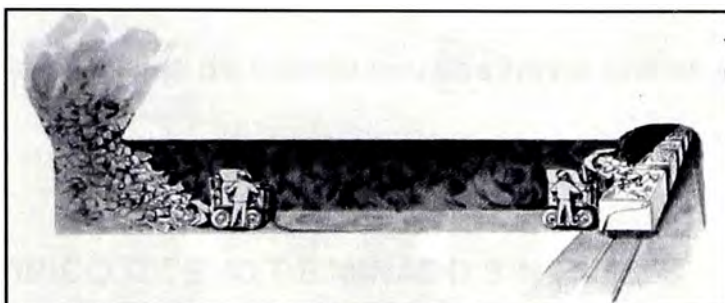
En nuestro país, un factor adicional afectó aún más su efectividad en el proceso productivo. Es la altitud sobre el nivel del mar que demanda incrementar la capacidad nominal de los compresores para tener la misma capacidad al nivel del mar. Por esta característica y el complicado e ineficiente sistema de distribución de aire en nuestras minas, los equipos neumáticos fueron desplazados paulatinamente desde la década de los años 70. Mayormente fueron equipos de carga y para el acarreo se utilizaron locomotoras.

FIGURA 7: SHINKRAGE CON ACARREO CON RIELES



Fuente: Manual A Copco

FIGURA 8: ACARREO CON EQUIPOS ACCIONADOS CON AIRE COMPRIMIDO

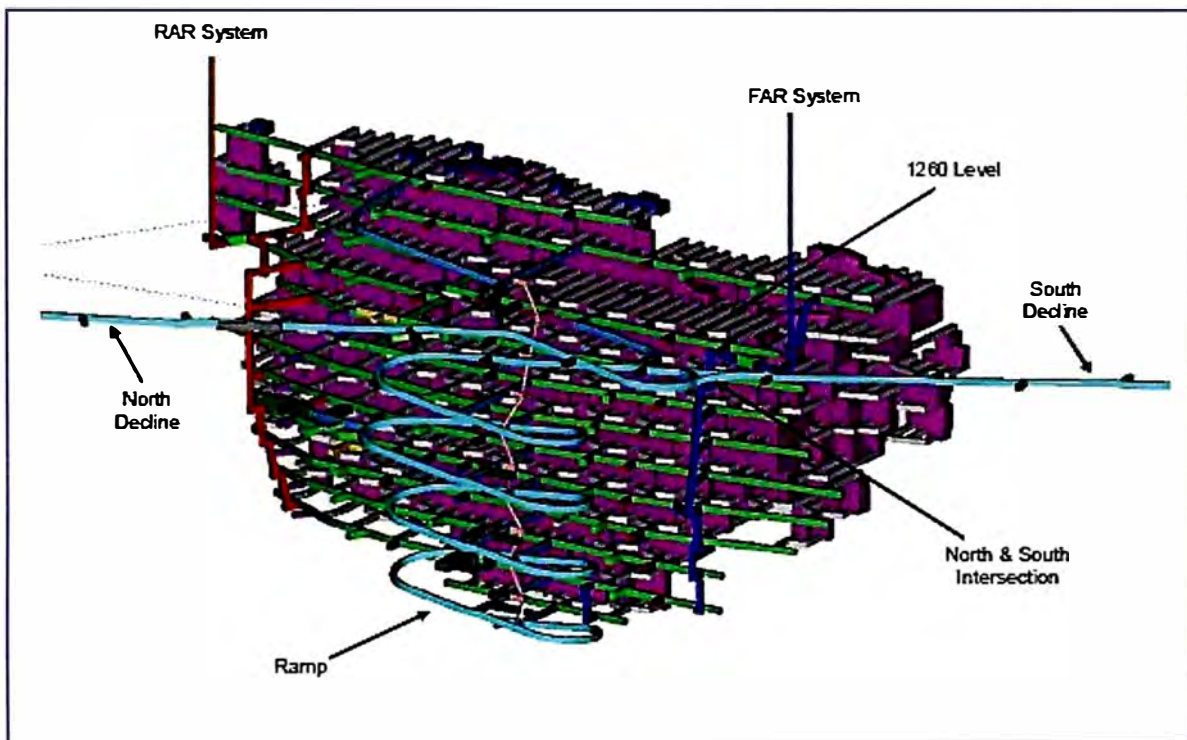


Fuente: Manual Atlas Copco

3.3.2 Equipos accionados por motores de combustión interna

El ingreso de los equipos sobre llantas para sustituir a los equipos sobre rieles dio pase a lo que se denominó “Minado sin rieles” que revolucionó los sistemas de trabajo usuales hasta finales de la década de los 70.

FIGURA 9: TÍPICO DISEÑO DE MINADO SIN RIELES



Fuente: Reporte técnico Proyecto Fruta del Norte – Kinross 2010

La gran flexibilidad que aportan los equipos autopropulsados permite variar métodos existentes y dar lugar a otros novedosos donde la característica saltante es la velocidad de ejecución de los diversos trabajos donde emplean los equipos de carga y acarreo. Así por ejemplo

los trabajos en desarrollo y preparación alcanzaron rendimientos espectaculares reduciendo los costos.

El binomio cargador de bajo perfil (LHD) y camión (Dumper) alcanzo una gran demanda en todo el mundo y en nuestro país. Actualmente se estima en casi 1,000 unidades la cifra de este tipo de unidades que operan en nuestro medio.

FIGURA 10: CARGADOR DE BAJO PERFIL TIPO LHD



Fuente: Performance Handbook CAT

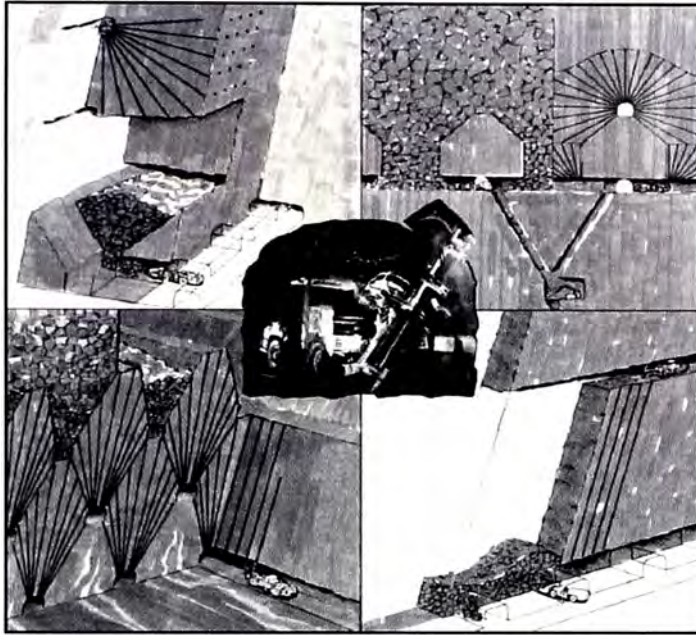
Característica saltante fue la velocidad de ejecución de los diversos trabajos donde emplean los equipos de carga y acarreo. Así por ejemplo los de desarrollo y preparación alcanzaron rendimientos espectaculares reduciendo los costos. El binomio cargador de bajo perfil (LHD) y camión (Dumper) alcanzo una gran demanda en todo el mundo y en

Últimamente el LHD también se ha convertido en equipo de acarreo al transportar carga de los frentes a los echaderos en distancias promedio de hasta 200 metros de longitud. Esta virtud ha originado la inclinación de los diseñadores de mina por el minado por subniveles y el hundimiento por bloques (Block Caving) para incluso automatizar la operación de estos equipos.

Una característica importante en la evolución de los métodos de minado en el Perú es haber ido gradualmente cambiando de métodos donde la producción de mineral es secuencial por la necesidad de relleno para ir a los de producción masiva entendiéndose estos como aquellos que obtienen un mayor tonelaje en cada voladura.

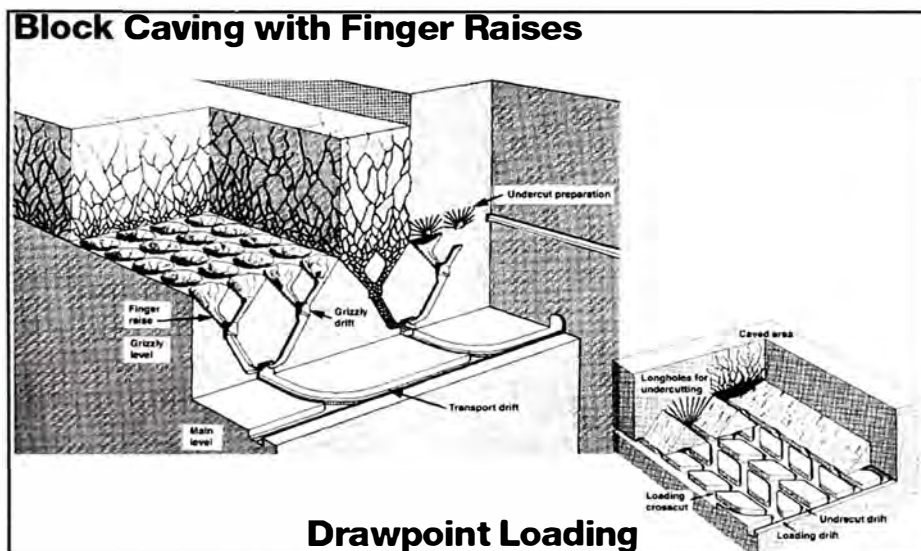
A este respecto existe un proceso de cambio en marcha y así tradicionales métodos como el Shinkrage y Corte y Relleno están siendo transformados en explotación por sub-niveles que en actuales momentos es el método más productivo en nuestro medio. Sin embargo con la actual tendencia a minar por métodos subterráneos las zonas profundas de los tajos abiertos en su límite final, el método "Block Caving" o hundimiento por bloques ha tomado un auge sin precedentes en los países líderes en minería

FIGURA 11: SUB LEVEL STOPPING



Fuente; A Copco Manual

Figura 12: BLOCK CAVING



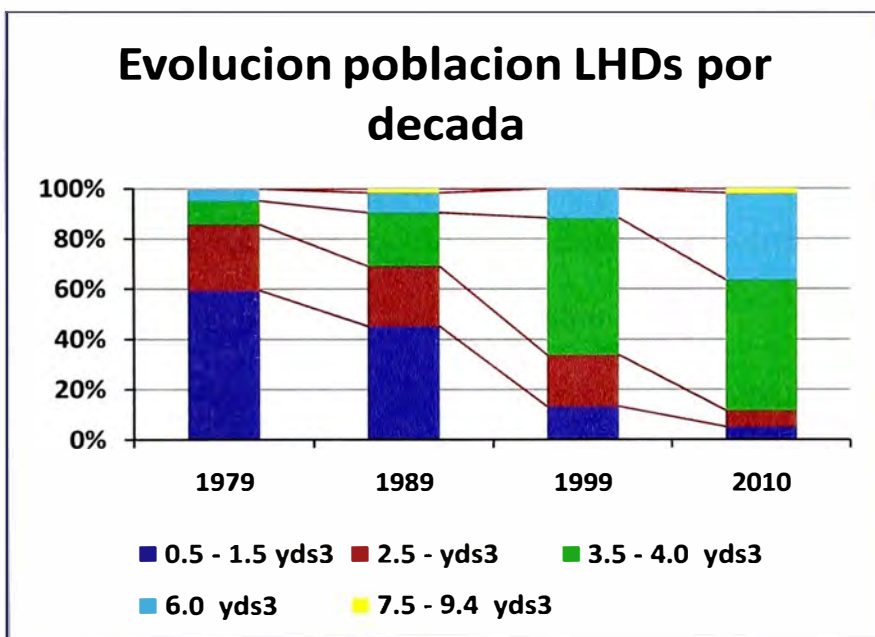
Fuente: A Copco Manual

Lo anterior ha traído como consecuencia la demanda de uso de tamaños más grandes de LHDs y también camiones articulados dumper de hasta 40 TM de capacidad en nuestras operaciones.

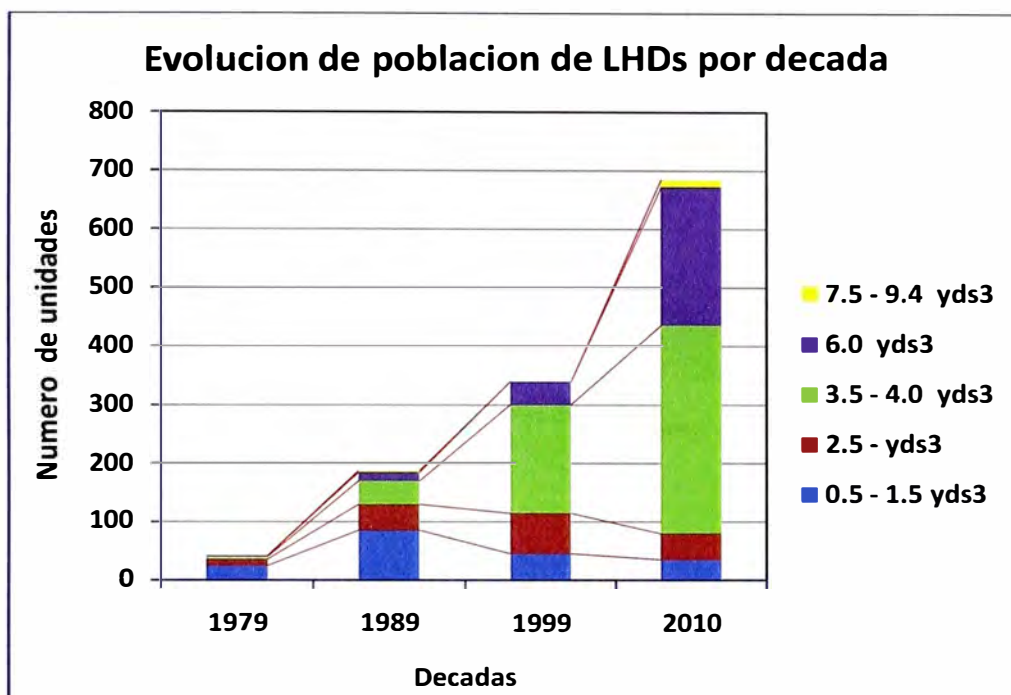
FIGURA 13: CAMION DE BAJO PERFIL TIPO DUMPER

Fuente: Performance Handbook CAT

En el siguiente grafico se puede apreciar la evolución a partir de los años 70 de tamaños preferidos de LHDs por década en nuestro país. Se nota en las dos últimas una tendencia a utilizar cargadores más grandes.

FIGURA 13: DEMANDA DE LHDs MERCADO PERUANO

Fuente: Investigacion de mercado Ferreyros SAA – Data Comex

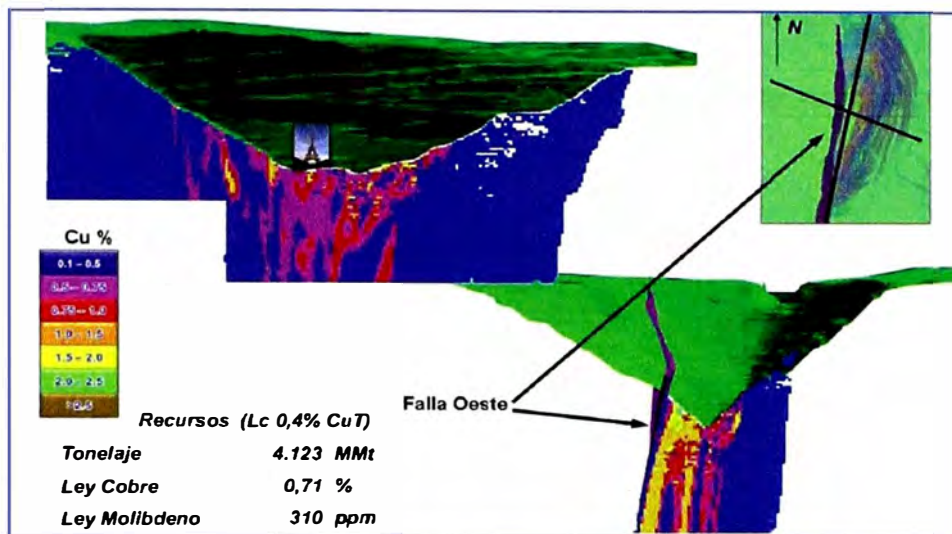
FIGURA 14: EVOLUCION DE POBLACION DE LHDs

Fuente: Investigacion de mercado Ferreyros SAA – Data Comex

Con la evidente caída de la calidad de las reservas minerales en el mundo y en nuestra realidad, la posibilidad que existe de minar por métodos subterráneos el mineral que profundiza en los tajos abiertos que están en la fase final o limite económico por la relación Desmonte-Mineral, están ya introduciendo nuevas formas de trabajo con métodos de producción masiva para reducir costos.

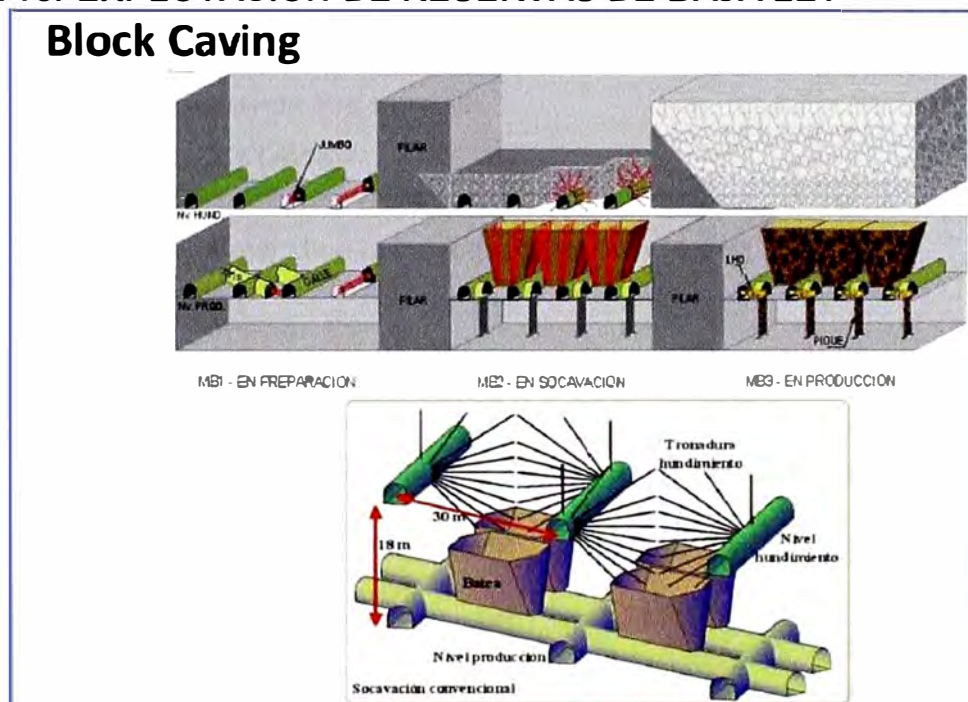
Los proyectos de profundización de la explotación en los tajos de Cobre por parte de CODELCO en Chile y otros en Canadá como en Australia nos indican que es ya una tendencia por los resultados alentadores en productividad como costos.

FIGURA 15: PROFUNDIZACION DE RESERVAS MINERALES



Fuente: Chuquicamata Subterránea, SIMIN 2009 Usach

FIGURA 16: EXPLOTACION DE RESERVAS DE BAJA LEY

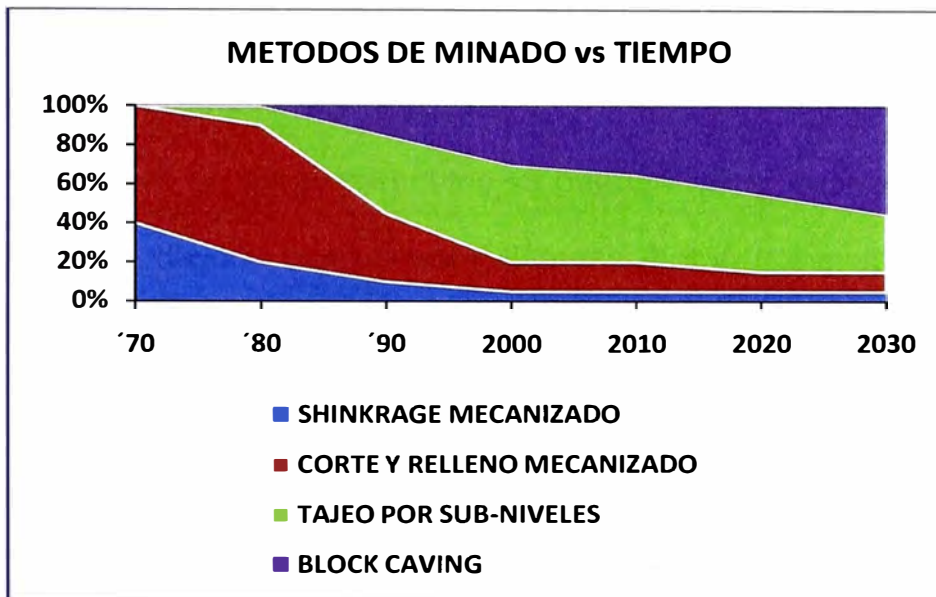


Fuente: Chuquicamata Subterránea, SIMIN 2009 Usach

Los equipos grandes, hoy dotados de sistemas modernos de control están obteniendo ratios importantes de costo-beneficio por su aporte en trabajos de carga y acarreo. Solo en el tema de cargadores LHDs se han estimado variaciones significativas en la demanda de equipos de gran

capacidad (7.5 a 10 yds³) por la tendencia a utilizar métodos de minado masivo, con el fin de posibilitar la explotación económica de depósitos de baja ley (ver gráfico proyección de uso de métodos de minado a nivel global)

FIGURA 17: VISION DE EVOLUCION DE METODOS DE MINADO



Fuente; Mine of the future, Rio Tinto Report

3.3.3. En Gestión de Mantenimiento y Reparaciones

El extraordinario avance en la modernización de los equipos y maquinarias de mina se manifiesta hoy por la incorporación de sistemas de vigilancia del funcionamiento de los mismos. Se utilizan hoy sistemas de monitoreo no solo de las funciones vitales de sus componentes sino también del nivel de "stress" o severidad de trabajo del equipo que permite a los encargados de la gestión de mantenimiento anticiparse en la prevención de la ocurrencia de fallas o por lo menos reducirlas al mínimo. También existen otras herramientas de gestión,

como la tribología que básicamente se basa en la medición de desgastes de piezas claves de un equipo. Una de ellas usada ampliamente es el análisis de los fluidos usados y que cumplieron su periodo de uso. Este examen brinda mucha información sobre los cambios producidos en las propiedades de los mismos y también permite identificar y cuantificar la presencia de micro-partículas metálicas que se encuentran en el fluido y que son producto del desgaste de las piezas metálicas. Con el análisis cuantitativo de estas partículas se pueden hacer análisis de tendencia de desgaste de una componente, llámese motor, transmisión, ejes, bombas etc. Lo anterior permite el reemplazo a tiempo del componente con un margen de seguridad. Los beneficios tangibles de estos nuevos sistemas de gestión son los récord actuales de disponibilidad mecánica y utilización de equipos muy superiores que en pesadas décadas, épocas en las cuales la gestión de mantenimiento no contaba con las herramientas modernas de hoy en día

CAPITULO IV: INNOVACIONES EN CARGUIO Y ACARREO SUBTERRANEO

4.1. CARACTERISTICAS DE LOS APORTES DE LA INNOVACION

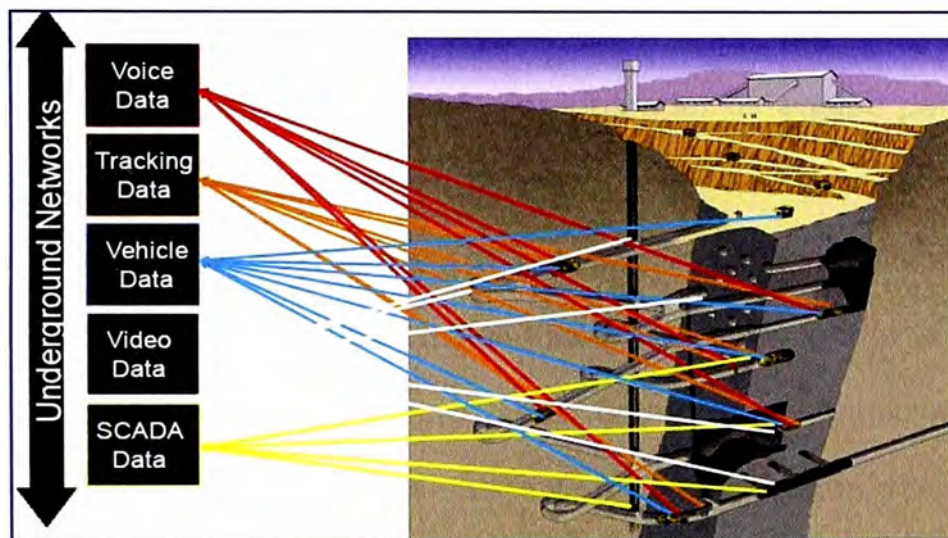
Como se ha revisado en los puntos precedentes los trabajos de carguío y acarreo han ido evolucionando en función de la aparición de nuevos equipos cada vez con mejores bondades para obtener mayor productividad. Así pasamos de la etapa de equipos accionados por aire comprimido ósea los denominados equipos neumáticos a los autopropulsados por motores de combustión interna y paralelamente en algunos casos la incursión de los equipos accionados eléctricamente.

El objetivo común de todas las innovaciones en estos equipos fue obtener mayor productividad a fin de reducir los ciclos de acarreo y transporte. Surgieron entonces equipos más veloces con mejor desempeño en pendientes equipados con motores y accesorios para mitigar el efecto de las emisiones y no afectar el ambiente de trabajo. Sin embargo las limitaciones para conseguir mejores ratios de productividad impulsaron a modificar los diseños operacionales mediante la incorporación de la tecnología de información para establecer un mejor control y obtener mayor eficiencia en los resultados.

Uno de los adelantos tecnológicos de mayor impacto actual es la de introducir la comunicación digital mediante redes de fibra óptica en todo el

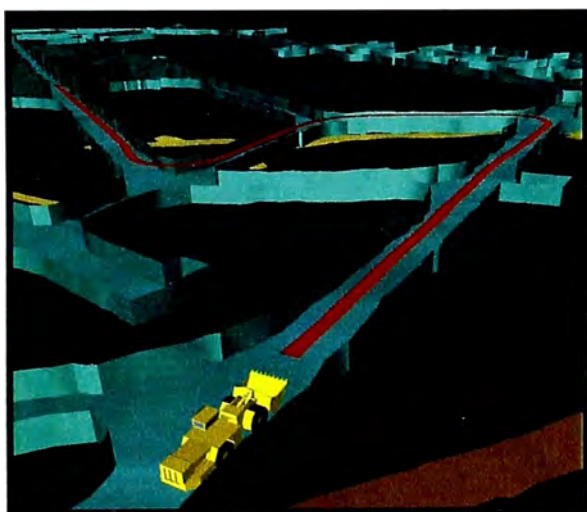
interior de la mina. Este tipo de comunicación posibilito entre diversos beneficios la trasmisión de voz, data y video en tiempo real, lo que ha reducido sustancialmente las ineficiencias.

FIGURA No 18: COMUNICACIÓN DIGITAL SUBTERRANEA



Fuente: Mine Site Technologies, Australia

FIGURA No 18: NAVEGACION AUTONOMA LHD



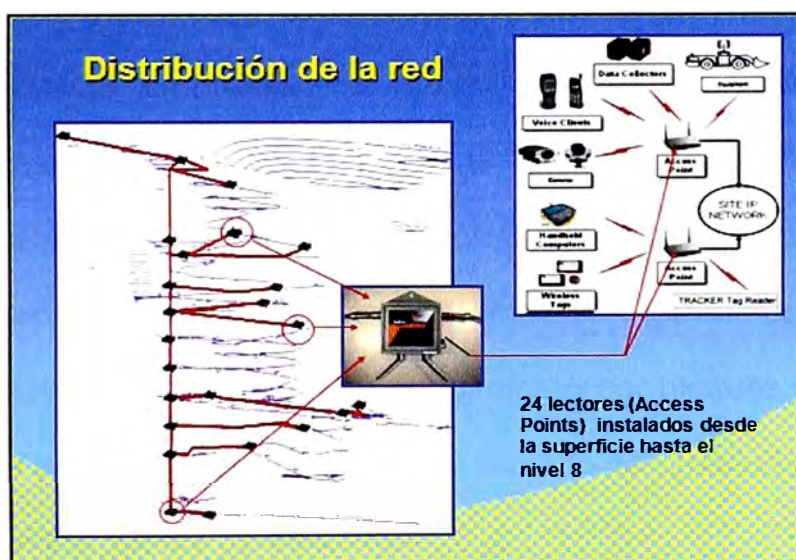
Fuente: CAT - MINEGEM - Navegación sin operador

4.2 BENEFICIOS TANGIBLES DE LOS NUEVOS APORTES

4.2.1 Incremento de Productividad.-

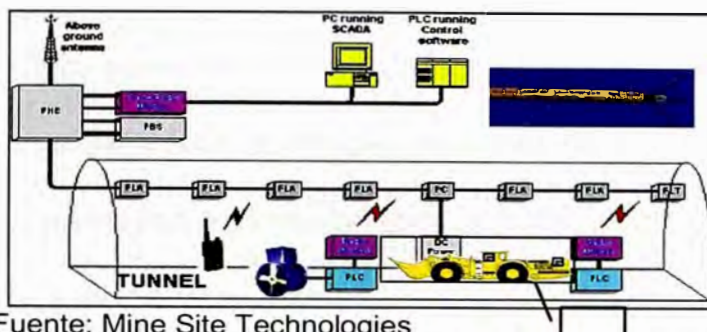
Constituye el mayor beneficio de las recientes innovaciones. Posibilitar el rastreo de los equipos suplanta la supervisión personal y se elimina descoordinaciones, que originan los tiempos muertos u ociosos. También la comunicación con cada operador de equipo permite cambios en las asignaciones de las tareas. Y en general cada evento queda registrado para hacer análisis de gestión. Un beneficio último desarrollado por la empresa Micromine (p) es incorporar al control de la operación un sistema “dispatch subterráneo” que entre otros beneficios posibilita el “blending” de las diferentes calidades de mineral extraídos de los tajeos, asignando cuotas para cada uno y de este modo homogenizar el producto grueso entregado en planta.

FIGURA No 18: RED DE COMUNICACIÓN DIGITAL



Fuente: Mine Site Technologies

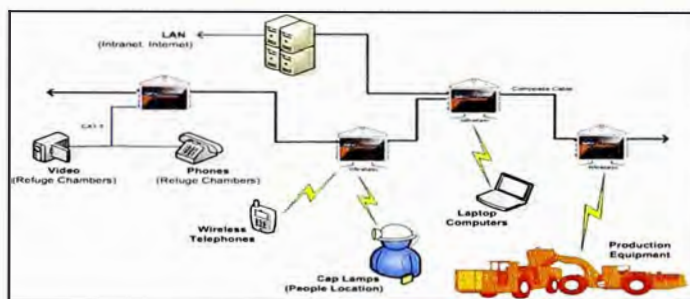
FIGURA No 18: RED DE COMUNICACIÓN WI-FI /FIBRA OPTICA



Fuente: Mine Site Technologies

FIGURA No 19: RED DE COMUNICACIÓN WI-FI /FIBRA OPTICA

Localización monitoreo de funciones vitales de equipos subterráneos



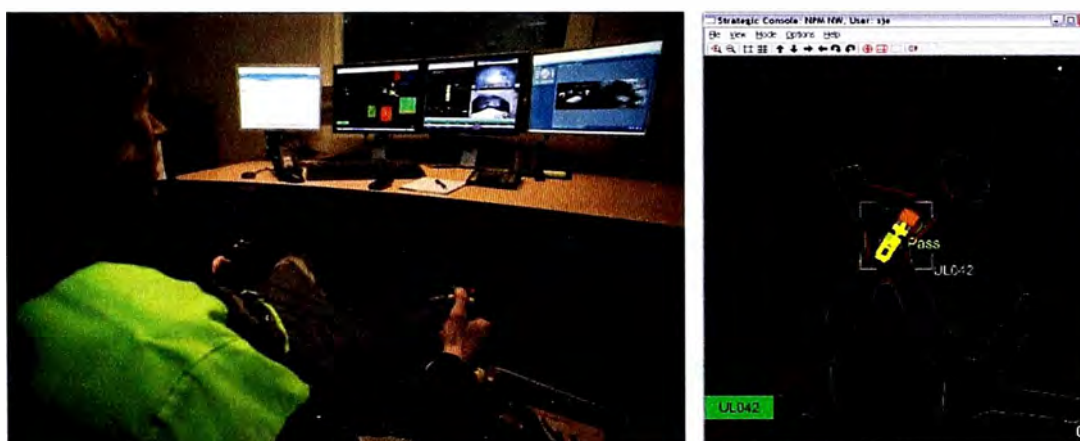
Fuente: Mine Site Technologies

Otro hito importante es la introducción al mercado de los sistemas semi-automatizados y automatizados de carga y acarreo durante la última década. Empresas como Sandvik y Caterpillar han incursionado en este campo y han creado sistemas como el "AutoMine" y el MINEGEM que están siendo ya ofrecidos comercialmente. El escenario ad-hoc para la implementación de estos sistemas son los métodos de minado masivos como el Block Caving o hundimiento por bloques que se caracterizan por la disponibilidad para carga y acarreo de un alto volumen de material roto en los puntos de descarga.

Los sistemas "AUTOMINE" y "MiNEGEM" no son altamente productivos como pudieran parecer, es la confiabilidad en cumplir con sus cuotas

asignadas de producción lo que alienta a las empresas mineras a considerarlas. El hecho de que los equipos no requieren operadores según sea el caso, en la modalidad automática u operación tele remota a gran distancia, para operar la flota de equipos que conforman el sistema, ha permitido vislumbrar que la extracción minera totalmente automatizada está muy cerca.

FIGURA No 19: SISTEMA SEMI-AUTONOMO - MINEGEM



Fuente: CAT MINEGEM

FIGURA No 20: SISTEMA AUTONOMO - AUTONOMO



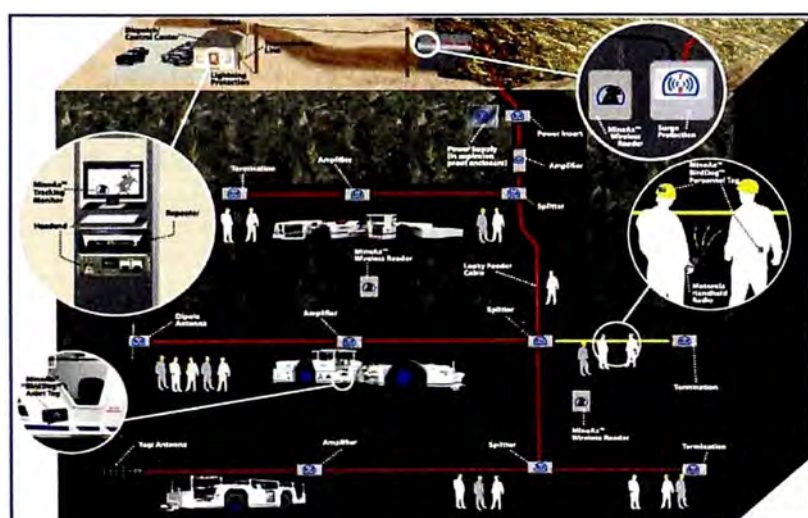
Fuente: Sandvik Mining & Construction

4.2.2 Incremento de la seguridad.-

La factibilidad de rastrear vehículos y personas utilizando software a través de la comunicación wi fi en tiempo real ha evitado, colisiones entre vehículos y accidentes personales, por el sistema de alerta en tiempo real que puede recibir los agentes en peligro.

En lo referido a carga y acarreo la confiabilidad de no colisionar por estar equipados con sistemas audio visuales de alertas ha incrementado la velocidad desplazamiento de cargadores y camiones, elevando la productividad de los mismos. Estos sistemas también evitan el ingreso del personal y vehículos a zonas peligrosas o con restricciones. Adicionalmente los sistemas de comunicación sin cables permiten accionar a distancia (Control Remoto) ventiladores, sensores de desplazamiento de roca y otros que permiten dotar de un nivel de seguridad superior a los estándares de la última década.

FIGURA 21: INTEGRACION DE OPERACIONES - DISPATCH



Fuente: MICROMINE - Pitram

4.2.3 Mejora en la gestión de mantenimiento de equipos

El avance logrado en los nuevos diseños de los equipos de carga y acarreo de última generación con la inclusión de cerebros electrónicos y un computador que enlaza y gobierna el funcionamiento de los componentes principales de los equipos también permite acceder al computador desde una posición remota y obtener data en tiempo real respecto a los parámetros de funcionamiento. Variaciones importantes en estos parámetros que pueden dañar al componente son alertados al supervisor para tomar la acción correctiva correspondiente.

Además el computador registra la data históricamente desde de la condición de maquina nueva, información que sirve para optimizar el mantenimiento preventivo y planificar reparaciones para reducir al mínimo las horas de pérdidas de producción por paralizaciones intempestivas.

Lo anterior ha aportado beneficios adicionales extendiendo el ciclo de vida económica de los equipos y también reduciendo los costos de mantenimiento y reparación, obteniendo mayor disponibilidad mecánica de los equipos.

FIGURA 22: MONITOREO DE LOCALIZACION O RASTREO

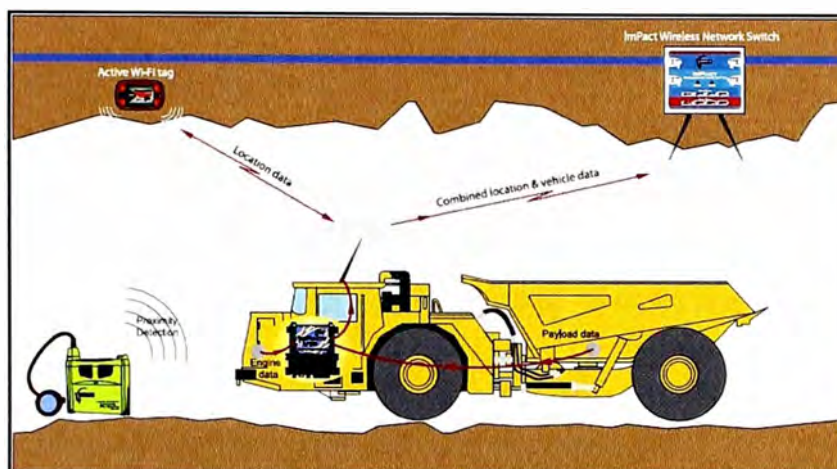
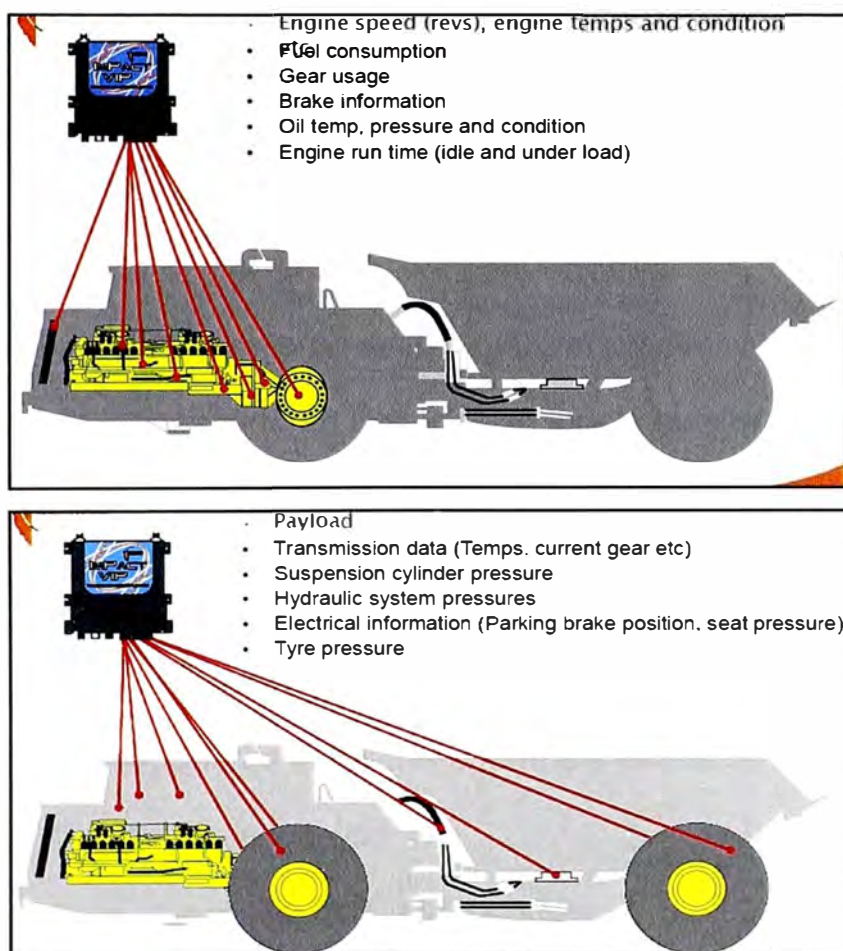


FIGURA 23: MONITOREO DE FUNCIONES VITALES DE EQUIPOS



Fuente: Mine Site Technologies

CAPITULO V PROBLEMAS Y SOLUCIONES PARA MEJORA DE LOS SISTEMAS DE CARGA Y ACARREO EN NUESTRA REALIDAD OPERACIONAL

5.1 PRODUCTIVIDAD

La comparación de rendimientos entre diferentes operaciones nos permite analizar las causas del buen o deficiente rendimiento en productividad de los equipos.

Como es de común conocimiento se establece la productividad de los equipos de carga y transporte en términos de toneladas por hora para determinadas distancias. Los resultados difieren unos de otros por los agentes que perturban el normal desempeño de los equipos. Entre estos tenemos;

- a) La sección de la galería o rampa y radios de curvatura
- b) Condición de las vías
 - La resistencia a la rodadura
 - Pendientes
- c) Polución /ventilación

En general todos los agentes enunciados afectan por igual a todos los equipos, sin embargo debemos enfocarnos en los factores que afectan los ciclos de trabajo.

En nuestra realidad los factores más importantes que limitan obtener mayores rendimientos son dos

- a) La sección de la galerías
- b) Condición de las vías.

Innovaciones recientes para mejorar los rendimientos han dado como resultado lo siguiente,

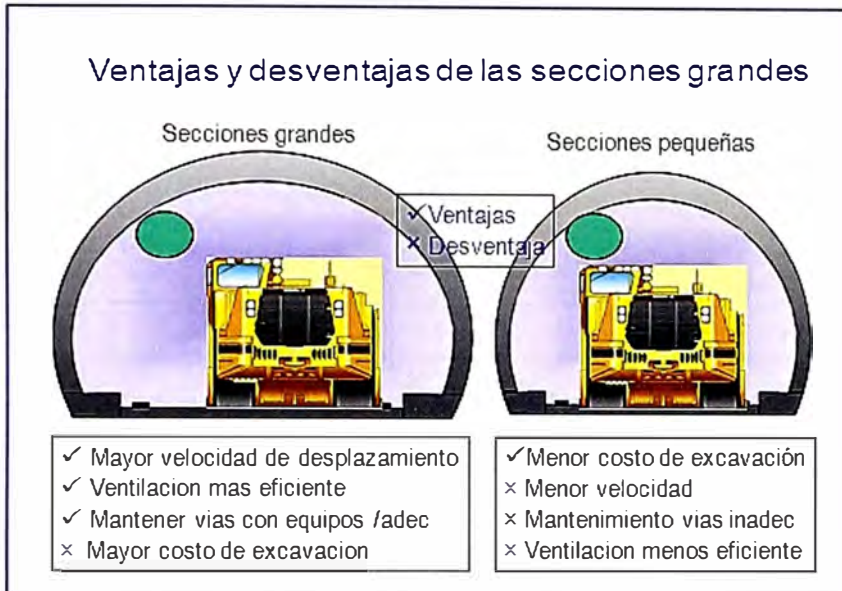
5.2 INCREMENTO DE SECCION DE LAS GALERIAS

La estrechez para el tránsito de equipos en las vías subterráneas está definida por el espacio entre el ancho del equipo y de la galería. Por lo mismo equipos más anchos requerirán vías más anchas y a la inversa los de menor ancho vías más angostas. Diversas regulaciones de seguridad y otras de carácter práctico han recomendado para diseñar anchos de galerías, considerar los siguientes aspectos.

- a) Pendientes
- b) Radios de curvatura interior y exterior de los equipos
- c) Necesidad de contar con canales o cunetas de desagüe
- d) Instalación de mangas de ventilación

e) Instalación de tubería de agua, aire y cables eléctricos

FIGURA No 24. GALERIAS DE GRAN SECCION



Fuente. Presentación PERUMIN 2009

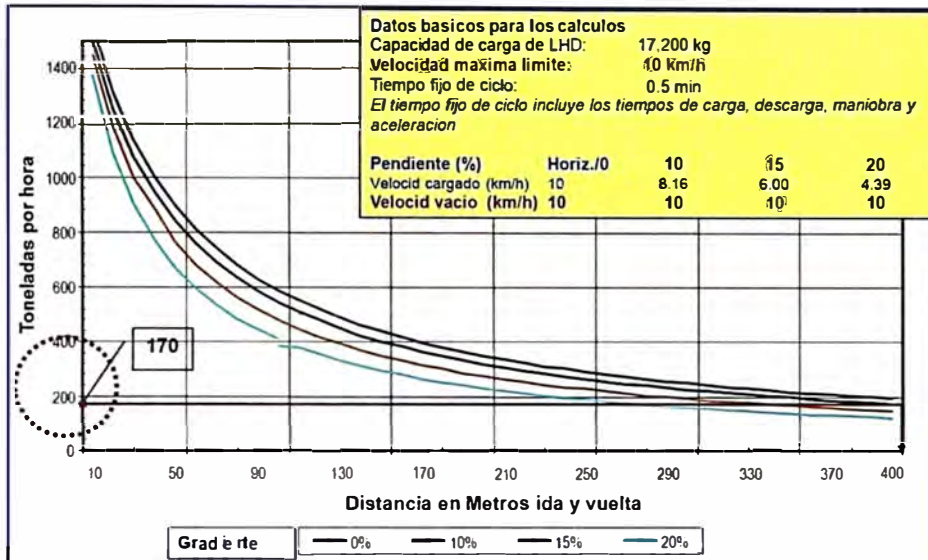
El principal efecto en el operador cuando conduce el equipo es el temor de rozar o impactar con las paredes de la galería o invadir la cuneta de desagüe. La reacción normal es reducir la velocidad y maniobrar con cuidado la dirección. También causa el mismo efecto las curvas cerradas, pisos en mal estado o inundados y la deficiente iluminación o alta presencia de polución.

Los efectos negativos en el rendimiento del equipo de acarreo como el LHD, se ilustran en los gráficos de productividad de un LHD de 9.4 yds³,

En un primer grafico se puede observar como varia la productividad del equipo en una sección de 4.0 mts x 4.0 mts con una resistencia a la rodadura de 4.5% (mediana presencia de agua) y vía no mantenida con

equipos si no manualmente. La productividad obtenida es de 170 Ton x hora en una distancia promedio ida y vuelta de 400 mts.

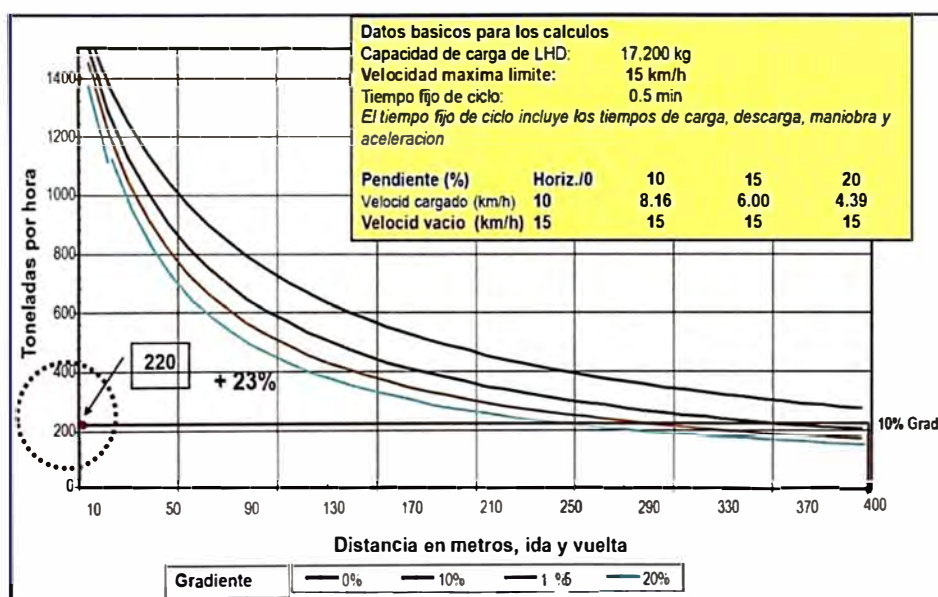
FIGURA No 25 CURVA DE PRODUCCION R2900G SECCION 4 X4



Fuente: CAT ph

En el segundo grafico se muestran la productividad en secciones grandes de 5.0 mts x 4.50 mts y con mantenimiento regular de la vías para obtener una resistencia a la rodadura de 2.0 % en promedio.

FIGURA No 26 CURVA DE PRODUCCION R2900G SECCION 5 X4.5



Fuente CAT ph

La productividad obtenida es de 220 Ton x hora, ósea 23% más. Si se trabajan 450 horas promedio por mes, son 22,500 toneladas más obtenidas con solo variar la sección y mantener vías con equipos como motoniveladoras y compactadoras de suelos.

En nuestro medio existe el criterio de diseñar secciones al mínimo posible para reducir la inversión en la excavación con voladura de las galerías. Este malentendido ahorro limita conseguir productividades razonables. La mayor inversión en excavación se puede recuperar rápidamente al obtener mayor producción y ahorros adicionales en llantas, mantenimiento de equipos, consumo de combustible etc.

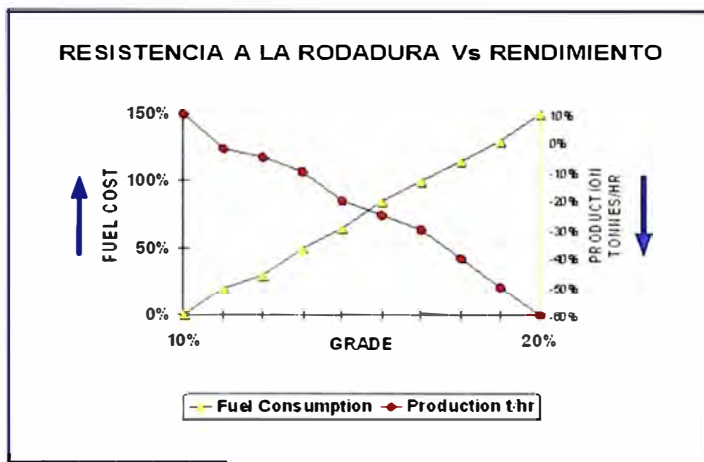
5.3 CONDICION Y MANTENIMIENTO DE VIAS SUBTERRANEAS

Otro factor fundamental para mejorar la productividad de los equipos sobre llantas de carga y acarreo es la condición o estado de las vías. Si proponemos una sección acorde a los tamaños de los equipos con el soporte de mantenimiento de vías adecuado, ganaremos en velocidad de traslación sean los equipos cargados o vacíos, reduciendo el ciclo de trabajo.

Para ilustrar el efecto negativo de las pendientes y la resistencia a la rodadura de la superficie de rodado, en el siguiente grafico se pueden apreciar el impacto en el consumo de combustible y la productividad del equipo. Como es de conocimiento una regla práctica para calcular productividad es adicionar al porcentaje de pendiente de la vía el porcentaje de resistencia de rodadura calculado. Por ejemplo una vía con

pendiente de 10% y una resistencia de 2% equivalen a una pendiente de 12%. Esta misma pendiente con una superficie con alta presencia de lodo o superficie irregular (baches) equivaldría a una pendiente total de 18% por estimar una cifra. El impacto en la caída de productividad es muy alto.

FIGURA 27: EFECTO DE LA RESISENCIA DE RODADURA



Fuente: CAT ph

Si tuviéramos solo el caso de vías con pendiente cero la mala condición de la superficie de rodado por falta de mantenimiento está reflejado en la pérdida de productividad como se aprecia en el grafico No...Algunos equipos de mantenimiento de vías se ilustran en los gráficos siguientes,

GRAFICO 28 MOTONIVELADORA DE BAJO PERFIL



Fuente. CAT UG Manual

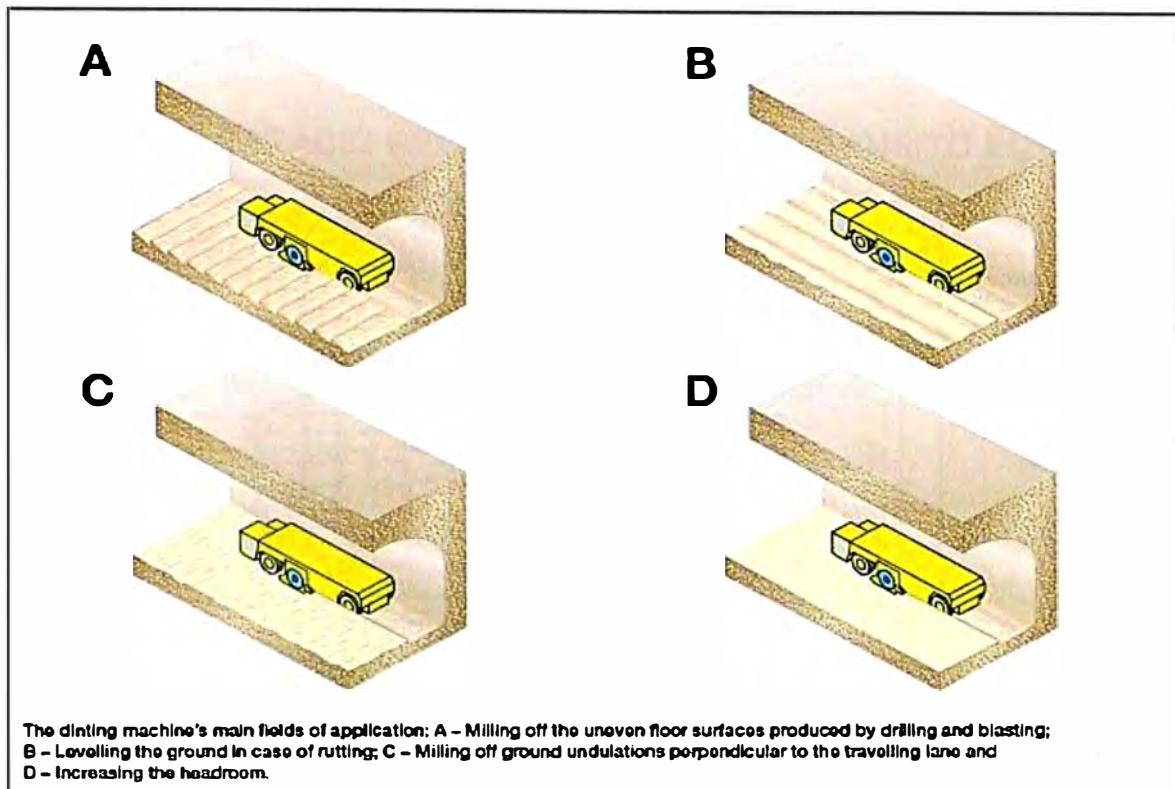
GRAFICO No 29 PERFILADOR DE PISOS – VIAS SUBTERRANEAS



Merece especial atención la introducción de los equipos perfiladores de pisos rocosos en vías subterráneas con el fin de devolverles la homogeneidad de la superficie de rodado. Estos equipos denominados en inglés como Dinting Machines son equipos autopropulsados que poseen un tambor con puntas de acero especial para cortar roca por capas pre-establecidas en su sistema de corte. Esta capacidad de corte para rocas varía desde 80 a 120 Mpa de resistencia a la compresión.

La dificultad reside en el alto costo del equipo y la actual limitación para trabajos en rocas mayor dureza a 120 Mpa. Sin embargo los fabricantes ya fabrican equipos para rocas duras para operaciones en superficie y se denominan “Surface Miners”

GRAFICO No 30 SECUENCIA DE TRABAJO DE LOS PERFILADORES



Secuencia de trabajo del equipo perfilador de bajo perfil de superficies rocosas

Fuente: Wirtgen Gmbh Germany

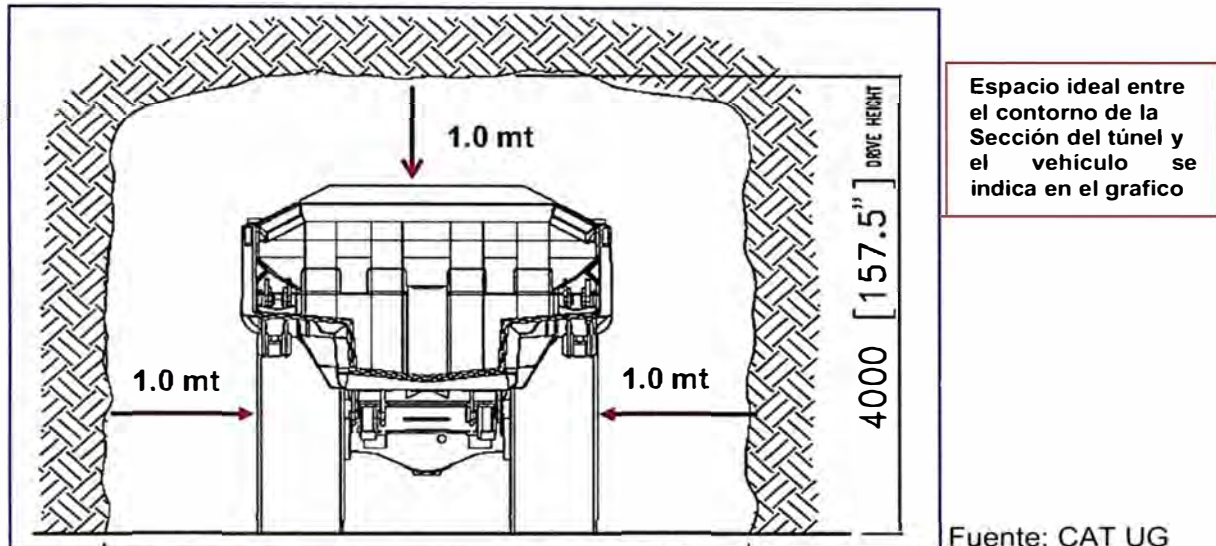
5.4 JUSTIFICACION TECNICA ECONOMICA PARA INVERSION EN SECCIONES GRANDES

Uno de las bondades principales que alientan la construcción de secciones grandes es dotar del espacio suficiente entre las paredes de la galería y las dimensiones, ancho y altura de los vehículos de transporte.

Está probado que en secciones más amplias el operador puede hacer que el vehículo desarrolle mayor velocidad aun en curvas, reduciendo el ciclo. Espacios entre 0.50 y 0.70 mts. muy comunes en nuestras operaciones no ayudan a despejar el típico temor de impactar los vehículos con las paredes, si a esto se suma el hecho de la superficie irregular de las

galerías que en ciertos puntos reduce el espacio a solo 0.30 mts o se produce el impacto con las consecuencias que originan

FIGURA 31. ESPACIO RECOMENDADO PARA TRANSITO EQUIPOS



Adicionalmente, como se explicó en capítulo anterior una sección grande permite el uso de equipos auxiliares para mantener vías. Las secciones pequeñas y aun las de 4.0 mts x 4.0 mts, no permiten el acceso de estos equipos y se procede manualmente o con equipos de mina a reparar las vías, haciendo este trabajo de manera ineficiente.

5.4.1 JUSTIFICACION ECONOMICA

Un cálculo simple nos mostrara las ventajas de preferir construir vías subterráneas de extracción o de transporte de secciones grandes.

Comparemos el costo de excavación terminado entre vías de sección de 4.0 mts x 4.0 mts quizás la más popular en nuestro medio para el uso de camiones dumper convencionales, y por otro lado la sección propuesta de

5.0 mts x 4.50 mts que viene usándose cada vez más en operaciones de transporte sin rieles en países líderes en minería subterránea

De acuerdo a información proporcionada por contratistas mineros, los costos de excavación por metro de avance incluyendo sostenimiento y eventualmente pernos de anclaje y shotcrete son como sigue,

<u>Sección</u>	<u>Costo x metro</u>
4.0 x 4.0	US\$ 900.00
5.0 x 4.5	US\$ 1,350.00

Si la longitud de la obra es de solo 4,200 metros, los costos totales serán:


4.0 x 4.0	US\$ 3'780,000
5.0 x 4.5	US\$ 5'670,000
Diferencia	US\$ 1'890,000

La recuperación de la mayor inversión se logra con la mayor productividad de los equipos transporte que incrementaran la cuota diaria, semanal, mensual y anula de producción puesta en destino. Sin embargo la infraestructura creada quedara en servicio por mucho tiempo, con los consiguientes ahorros en costos.

A continuación un ejemplo numérico de recuperación de la inversión,

Monto a recuperar: US\$ 1'890,000

FIGURA 32. CUADRO DE CALCULO DE AMORTIZACION

 CUADRO DE AMORTIZACIÓN DE PRÉSTAMOS					
importe	1.890,000	PAGOS TOTALES PRINCIPAL ***** INTERESES 321.008.04 COMISIÓN 14.175.00 TOTAL *****			
años	3				
comisión de apertura	0.75%				
interés nominal	10.00%				
periodo de pago	4				
tipo amortización francés	1				
coste efectivo 10.92%		www.economia-excel.com			
trimestre	cuota	intereses	amortización	amortizado	pendiente
0					1,890,000.00
1	184,250.67	47,290.00	137,000.67	137,000.67	1,752,999.33
2	184,250.67	43,824.98	140,425.69	277,426.36	1,612,573.64
3	184,250.67	40,314.34	143,936.33	421,362.69	1,468,637.31
4	184,250.67	36,715.93	147,534.74	568,897.42	1,321,102.58
5	184,250.67	33,027.56	151,223.11	720,120.58	1,169,879.47
6	184,250.67	29,246.99	155,003.68	875,124.21	1,014,875.79
7	184,250.67	25,371.89	158,878.78	1,034,002.99	855,997.01
8	184,250.67	21,399.93	162,850.74	1,196,853.73	693,146.27
9	184,250.67	17,328.66	166,922.01	1,363,775.74	526,224.26
10	184,250.67	13,155.61	171,095.06	1,534,870.81	355,129.19
11	184,250.67	8,878.23	175,972.44	1,710,243.25	179,796.75
12	184,250.67	4,493.92	179,756.75	1,890,000.00	0.00

Fuente. Excell Financiero

Como podemos observar en el grafico el monto de US\$ 1'890,000 podemos amortizarlo en 11 trimestres pagando cuotas de US\$ 179,756 cada trimestre que coincide con el ahorro trimestral de transportar con un camión de mayor capacidad (45 TM). Entonces los ahorros por obtener mayor productividad con los equipos de transporte, en secciones grandes deberían cubren los pagos trimestrales hasta la cancelación de la deuda producto del sobrecosto de excavar una mayor sección.

Comparemos entonces el rendimiento en transporte entre un camión volquete convencional de 30 toneladas de capacidad y un camión de bajo perfil de 45 toneladas de capacidad.

La simulación se hizo en base a datos de campo tomados en una mina mediana en la región centro del país.

a) Datos base.- Calculo del costo de propiedad y operación

MAQUINA	AD45B	VOIQUETE CONVENCIONAL
Escenario de vida	21,600 horas	21,600 horas
Horas x mes	450	450
No Unidades req. para 21,600 hrs	1	2
VALOR VENTA UNITARIO	985,000.00	275,000.00
VALOR VENTA INVERSION	985,000.00	550,000.00
IGV	187,150.00	104,500.00
PRECIO VENTA	1,172,150.00	654,500.00
		REEMPLAZO
VALOR RESIDUAL 20% + IGV	234,430.00	130,900.00
VALOR A DEPRECIAR	937,720.00	523,600.00
	Dolares/hora	Dolares/hora
Depreciacion horaria	43.41	24.24
Seguro	2.19	1.22
Cost Finan	5.50	4.20
Total Costo posesión y seguro	51.10	29.66
Operación y Soporte		
Combustibles	12	9.76
Lubricantes	2.8	2.27
Operadores	5.38	5.38
Llantas	6.1	8.0
Mant Preventivo y Correctivo	5.00	5.8
Mano de Obra Mant. Prev. Y C.	1.83	1.83
Reparaciones	6	4.45
Gastos Control y Adm	6.12	6.12
	40.707	43.61
Costo de propiedad y operacion	91.81	73.27

b) Simulación de rendimiento camión de 45 toneladas

Underground Articulated Truck		AD45B					
Cost Own + O _i	91.81 US\$/hr.	Density	3.3 Tn/M ³	Speed Load	9.5 Km/hr.	Total Hours	0 Hr./Day
		Capacity M ³	19.5 M ³	Speed emp	12.5 Km/hr.	Nbr of Tnps	0 trips
		Capacity Ton	45.0 Tn	Loading Tir	3.5 Min.	% Non Productiv	18%
				Discharge	4.0 Min.		

Distance (km)	Time Loaded	Time empty	Load Time	Disch Time	Non Product	Total Time	Perf.			
							M3/Hr	US\$/M3	Perf. Tn/Hr	US\$/Tn
1.00	6.3	4.8	3.5	4.0	3.35	22.0	53.4	1.72	122.9	0.75
1.20	7.6	5.8	3.5	4.0	3.75	24.6	47.7	1.92	109.8	0.84
1.40	8.8	6.7	3.5	4.0	4.15	27.2	43.1	2.13	99.2	0.93
1.60	10.1	7.7	3.5	4.0	4.55	29.8	39.3	2.33	90.5	1.01
1.80	11.4	8.6	3.5	4.0	4.95	32.5	36.2	2.54	83.2	1.10
2.00	12.6	9.6	3.5	4.0	5.35	35.1	33.5	2.74	77.0	1.19
2.20	13.9	10.6	3.5	4.0	5.75	37.7	31.1	2.95	71.6	1.28
2.40	15.2	11.5	3.5	4.0	6.15	40.3	29.1	3.15	66.9	1.37
2.60	16.4	12.5	3.5	4.0	6.55	43.0	27.3	3.36	62.9	1.46
2.80	17.7	13.4	3.5	4.0	6.95	45.6	25.8	3.56	59.2	1.55
3.00	18.9	14.4	3.5	4.0	7.35	48.2	24.4	3.77	56.0	1.64
3.20	20.2	15.4	3.5	4.0	7.75	50.8	23.1	3.97	53.1	1.73
3.40	21.5	16.3	3.5	4.0	8.15	53.4	22.0	4.18	50.5	1.82
3.60	22.7	17.3	3.5	4.0	8.55	56.1	20.9	4.39	48.2	1.91
3.80	24.0	18.2	3.5	4.0	8.95	58.7	20.0	4.59	46.0	2.00
4.00	25.3	19.2	3.5	4.0	9.35	61.3	19.1	4.80	44.0	2.08
4.20	26.5	20.2	3.5	4.0	9.75	63.9	18.4	5.00	42.2	2.17
4.40	27.8	21.1	3.5	4.0	10.15	66.6	17.6	5.21	40.6	2.26

Performance

Performance

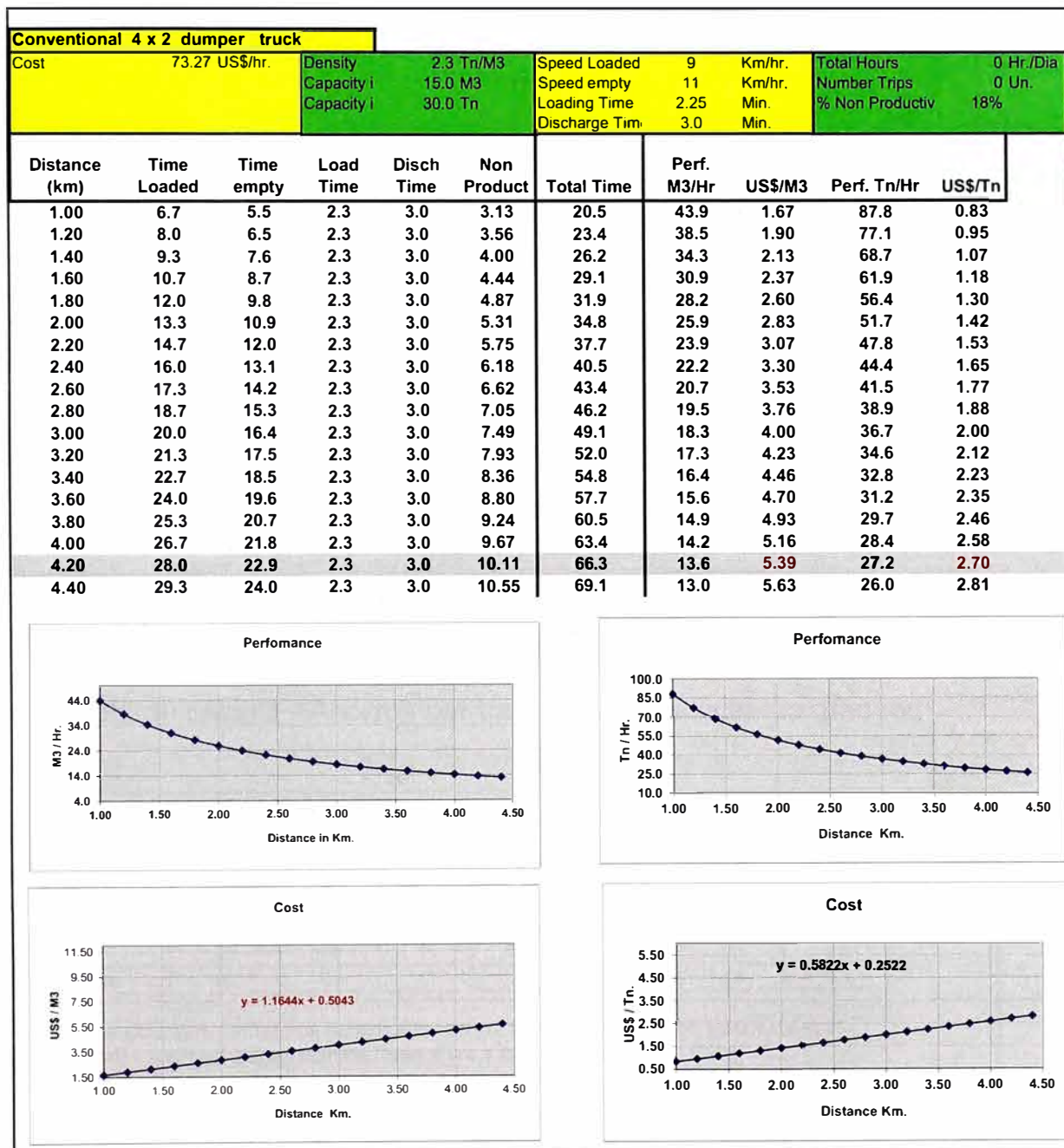
Cost

$y = 1.0258x + 0.6921$

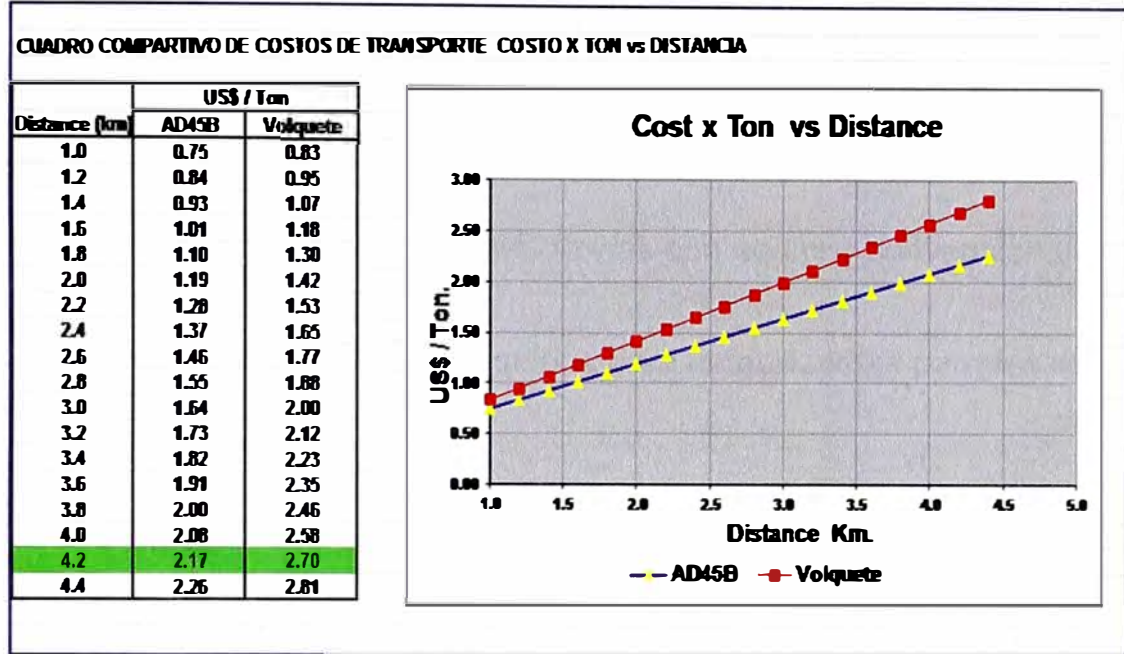
Cost

$y = 0.446x + 0.3009$

c) Simulación de rendimiento volquete convencional de 30 Toneladas



d) Tabla de resultados del análisis



e) Tabla de cálculo - Ahorros por transporte en secciones grandes

EVALUACION DEL PROCESO DE TRANSPORTE
 TONELAJE DIARIO A TRANSPORTAR 4500 TPD
 LONGITUD DE TRANSPORTE . 4,200 MTS

	CAP CAMION EN TON	HRS X MES	HRS X DIA	CICLO TOTAL MIN	NO DE VIAJES	TONS X DIA	FLOTA REQ p/4500TPD
AD45B	45	450	15	1.06	14.2	639	7.0
Volquete	30	450	15	1.10	13.63	409	11.0

OBSERVACION. SI EL CIRCUITO DE TRANSPORTE PERMITE TRAFICO PARA UN SOLO TAMAÑO DE FLOTA, EL COSTO Y TONELAJE DIARIO, MENSUAL TRIMESTRAL Y ANUAL VARIARIA COMO SIGUE

	UNID X FLOTA	TONS X DIA	TONS X MES	TONS X AÑO	TONS X TRIMESTRE	COSTO POR S/TON TRANSP	COSTO ANUAL	COSTO TRIMESTRAL
AD45B	7	4473	134190	1610280	402570	2.17	3,494,308	873,577
Volquete	7	2862	85860	1030320	257580	2.70	2,781,864	695,466
MAYOR PRODUCCION DEL AD45B		1611	48330	579960	144990			
AHORROS POR USO DEL CAMION AD45B DE 45 TM						0.53	712,444	178,111

COSTO ADICIONAL POR SOBRE-EXCAVACION 1,575,000

No TRIMESTRES PARA RECUPERAR COSTO ADICIONAL 9

5.5 CONCLUSIONES CAPITULO V

- Las secciones grandes permiten desarrollar velocidades mayores
- Se incrementa la seguridad por mayor visibilidad
- Permite el mantenimiento de vías con equipos convencionales
- Existen tecnologías y equipos para estabilizar las paredes de túneles
- Ventilación para remover contaminación es más eficiente en secciones grandes.
- La innovación desarrollada es del tipo INCREMENTAL porque tuvo como fin reducir costo por tonelada transportada.

FIGURA 33: DIMENSIONES CAMION AD45B de 45 TM de capacidad

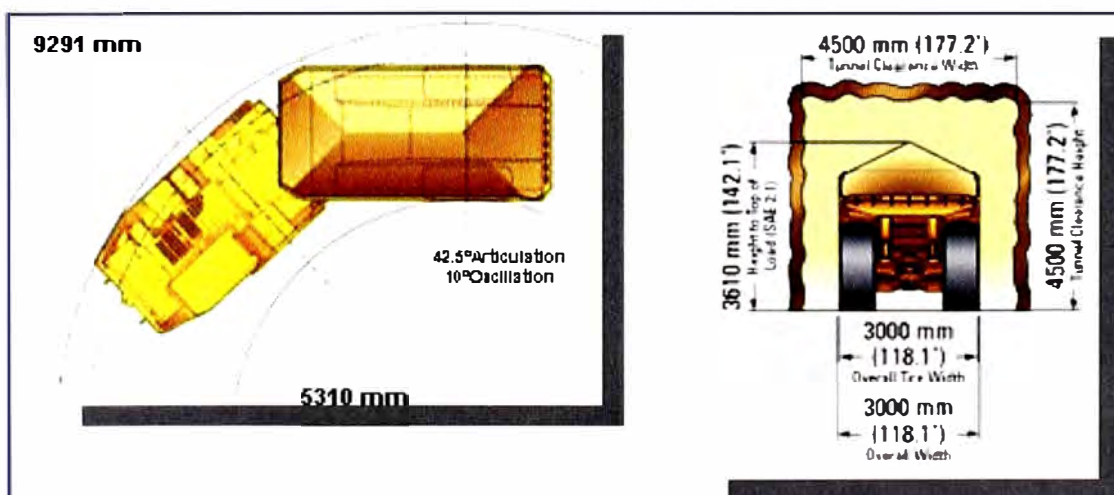
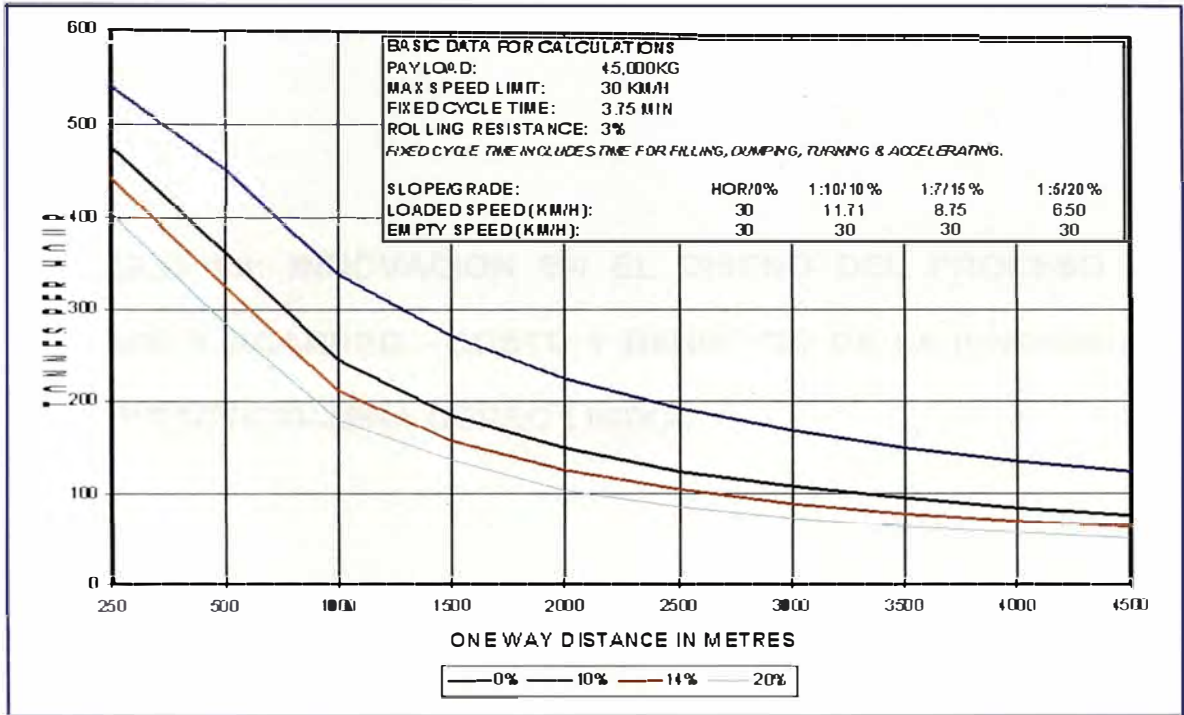


FIGURA 34 CAPACIDAD DE PRODUCCION CAMION AD45B- 45 TM



CAPITULO VII: INNOVACIÓN EN EL DISEÑO DEL PROCESO DE CARGUIO Y ACARREO - COSTO Y BENEFICIO DE LA INNOVACIÓN CASO PRÁCTICO–MINA CERRO LINDO

6.1. BREVE DESCRIPCION DE LA OPERACIÓN DE MINADO EN CERRO LINDO

Cerro Lindo fue descubierto en 1967 por Milpo debido a una anomalía de coloración rojiza en la zona, producto de un alto contenido de Hematita, limonita y pirita.

Cerro lindo está situado a 175 km al SE de Lima, a 60 km del mar en la provincia Chincha del departamento Ica a una altitud de 1,850 nsnm. Tiene un clima semi-árido y la concesión 100% de propiedad de Cia. Minera Milpo tiene un aproximado de 1200 ha.

La producción actual de mina es de 10,000 TMD. El método de minado empleado es una variante del sublevel stoping consistente en la apertura de tajos de dimensiones: L= 30 m. A= 20 m. H= 30 m. La perforación de taladros largos se realiza con equipos de perforación de última

generación. Los equipos de acarreo interno consisten en un número adecuado de cargadores LHD de 6.2 yds³ para desarrollo y preparación y de 9.4 yds³ para producción. Estos últimos constituyen los cargadores de mayor tamaño en Sudamérica, trabajando en labores de acarreo de mineral de los tajos a los echaderos en un promedio de distancia de 200 metros.

Para concluir el ciclo de minado, los tajos son rellenados con Relleno en pasta (Back Paste Fill). El tratamiento de relave consta de 2 procesos:

- a) relave directo a mina para uso como relleno de tajos previo proceso en la planta de relleno en pasta.
- b) Cuando el relleno no es requerido en mina, se envía planta de filtrado, donde se disminuye la humedad y es depositado en la cancha de relaves en forma de pilas.

La infraestructura para la extracción de mineral a planta consta de una cámara de chancado en interior mina y una faja de transporte de 1,600 m. hacia la planta.

El yacimiento de Cerro Lindo se caracteriza por ser un depósito de minerales mixtos de baja ley.

La calidad de las reservas encontradas llevo a los responsables de Cía. Minera Milpo con la ayuda de sus asesores a diseñar una operación altamente productiva donde la velocidad de extracción seria uno de los objetivos a cumplir con el fin de reducir costos.

A continuación la tabla de reservas antes del inicio de la preparación y desarrollo de mina.

FIGURA 35 CUADRO DE RESERVAS DE CERRO LINDO

Estimación Total de Recursos (OB-1, OB-2, OB-5)							
Clasificación	Tonelaje	NSR3	Zn (%)	Cu (%)	Ag (g/t)	Au (g/t)	Pb (%)
Clases	44,538.0	35.9	4.8	0.9	34.8	0.08	0.5
Medido	1,266.00	31.9	4.0	0.9	30.6	0.09	0.4
Indicado	32,762.0	37.8	5.2	0.8	36.3	0.08	0.6
Inferido	10,509.0	30.7	3.8	0.9	30.6	0.08	0.3
OB-1							
Total	8,261.00	28.2	3.2	1.0	32.3	0.10	0.3
Medido	214.000	28.0	3.0	1.1	33.5	0.15	0.4
Indicado	1,497.00	27.8	3.1	1.0	34.0	0.13	0.4
Inferido	6,550.00	28.3	3.2	1.0	31.9	0.09	0.3
OB-2							
Total	20,178.0	34.6	4.4	1.0	30.8	0.07	0.5
Medido	840.000	30.8	3.6	1.1	26.4	0.07	0.3
Indicado	17,459.0	34.9	4.5	1.0	31.1	0.07	0.5
Inferido	1,879.00	33.5	4.0	1.1	30.0	0.08	0.4
OB-5							
Total	16,098.0	41.6	6.3	0.6	41.0	0.08	0.7
Medido	212.000	40.4	6.4	0.4	44.0	0.08	0.8
Indicado	13,806.0	42.5	6.4	0.6	43.1	0.08	0.7
Inferido	2,080.00	35.7	5.3	0.7	27.0	0.08	0.4

Fuente: Milpo

Entonces con el modelamiento de los tres cuerpos reconocidos se planteó utilizar el método el método de sub-level stoping que varió para tener dos niveles de perforación. Uno superior y otro inferior. De esta manera la producción por cada voladura es mayor que en el método sin variantes. De este modo el tonelaje de mineral a desplazar de los tajos de acuerdo a la secuencia planificada dio oportunidad inicialmente para entregar a

planta una producción de 5,000 TPD, luego a 7,500 TPD y actualmente están procesando un promedio de 10,000 TPD.

FIGURA 36 DISEÑO DE MINADO DE CERRO LINDO

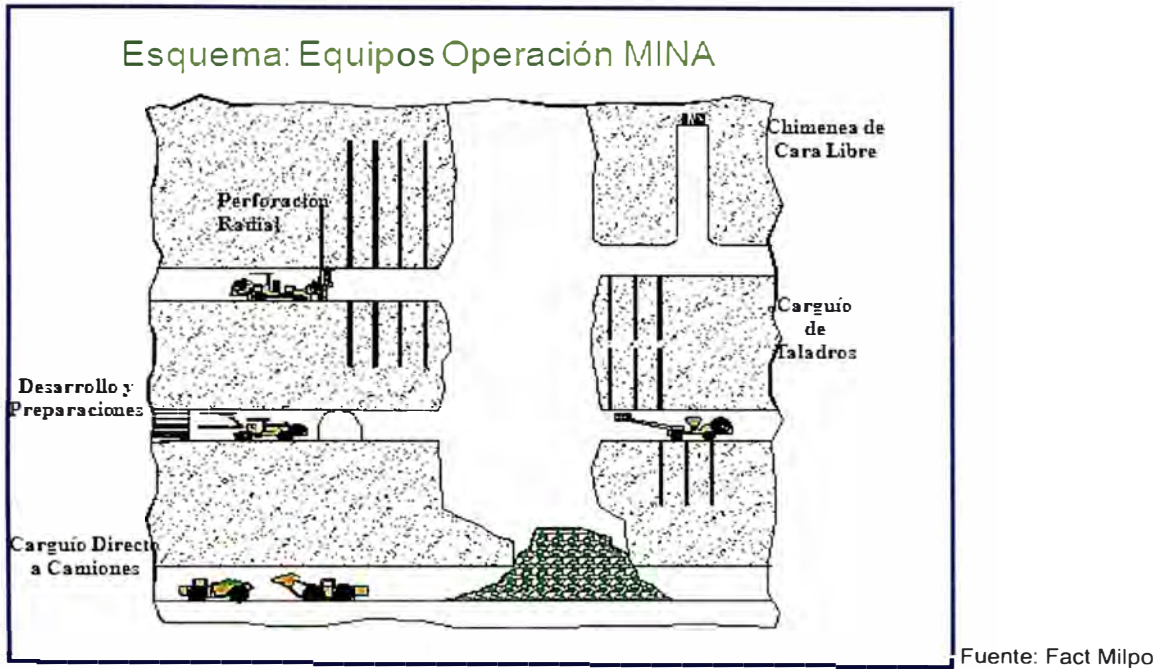
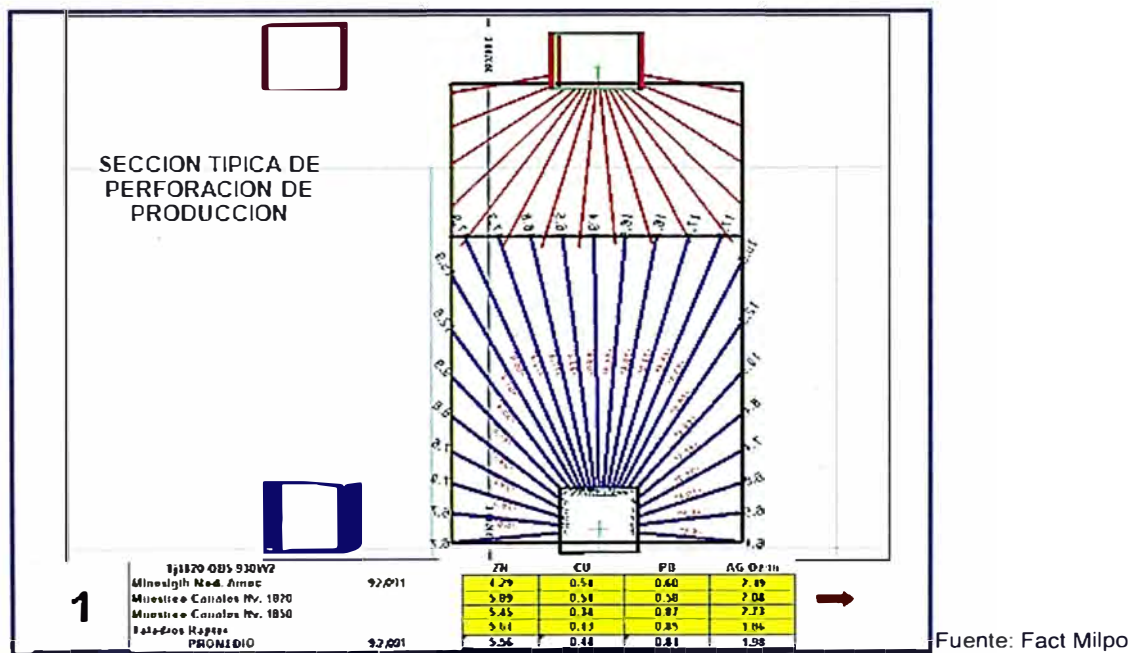


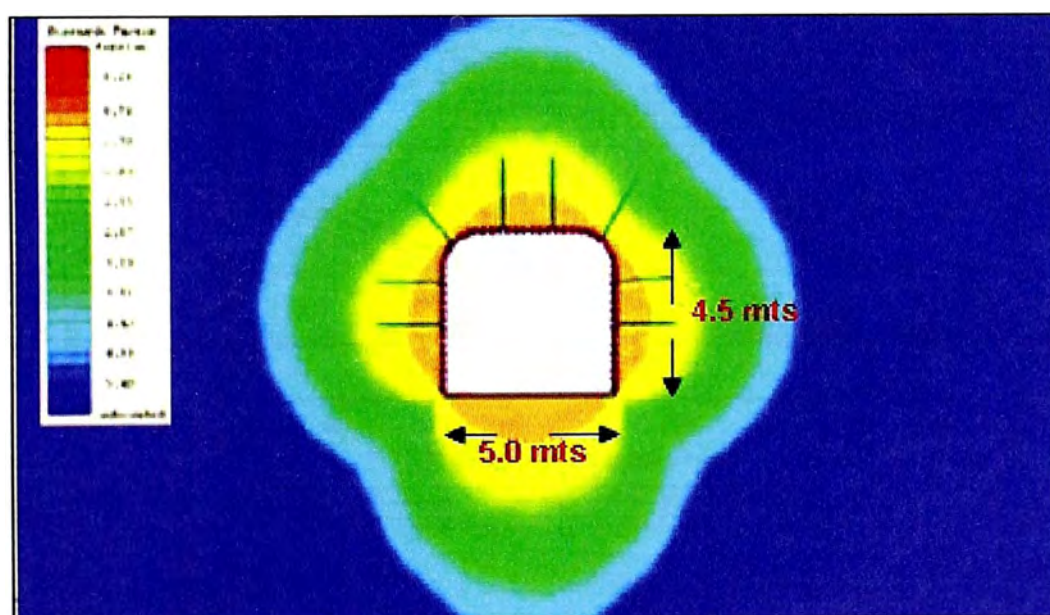
FIGURA 37 DISEÑO DE PERFORACION SUB LEVEL CERRO LINDO



Nada de esto hubiera sido posible sin diseñar un plan de producción donde la velocidad de acarreo de los cargadores R2900G pudiera garantizar cumplir con las cuotas planeadas.

Las dimensiones de estos cargadores indujo en considerar secciones más grandes que las usuales en nuestro medio y así se construyeron secciones principales de 5.0 m x 4.5 m con dos objetivos. Que los cargadores desarrollen más velocidad y segundo permitir el ingreso de equipos auxiliares para el mantenimiento de vías. Entonces se minimizaron los índices de resistencia a la rodadura y se dio un acabado a la superficie de rodado eliminando baches.

FIGURA 38. DISEÑO GEOMECANICO - SECCIONES – CERRO LINDO



6.2 RESULTADOS EN CERRO LINDO

Los resultados fueron positivos y la productividad de los cargadores R2900G fueron subiendo desde el inicio de operaciones a fines del año 2006 a la fecha. En los gráficos siguientes se puede apreciar la evolución del incremento de productividad producido desde el año 2007 al 2008, cuando se consolido el sistema de acarreo de mineral de los tajos a los puntos de descarga. Como se puede apreciar inicialmente en el periodo de adaptación la productividad llego a un promedio de 170 tons / hora para luego en el año 2008 consolidarse en 250 tons /hora. Un incremento del 32 % aproximadamente.

FIGURA 39. CURVA DE PRODUCCION ACARREO SECCION 4 X 4

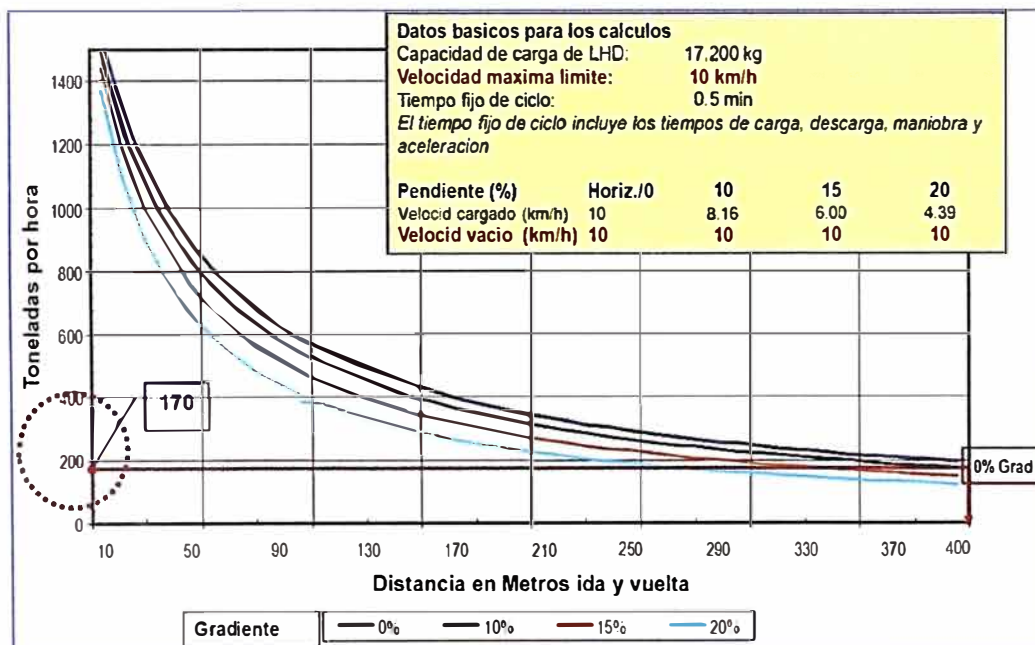
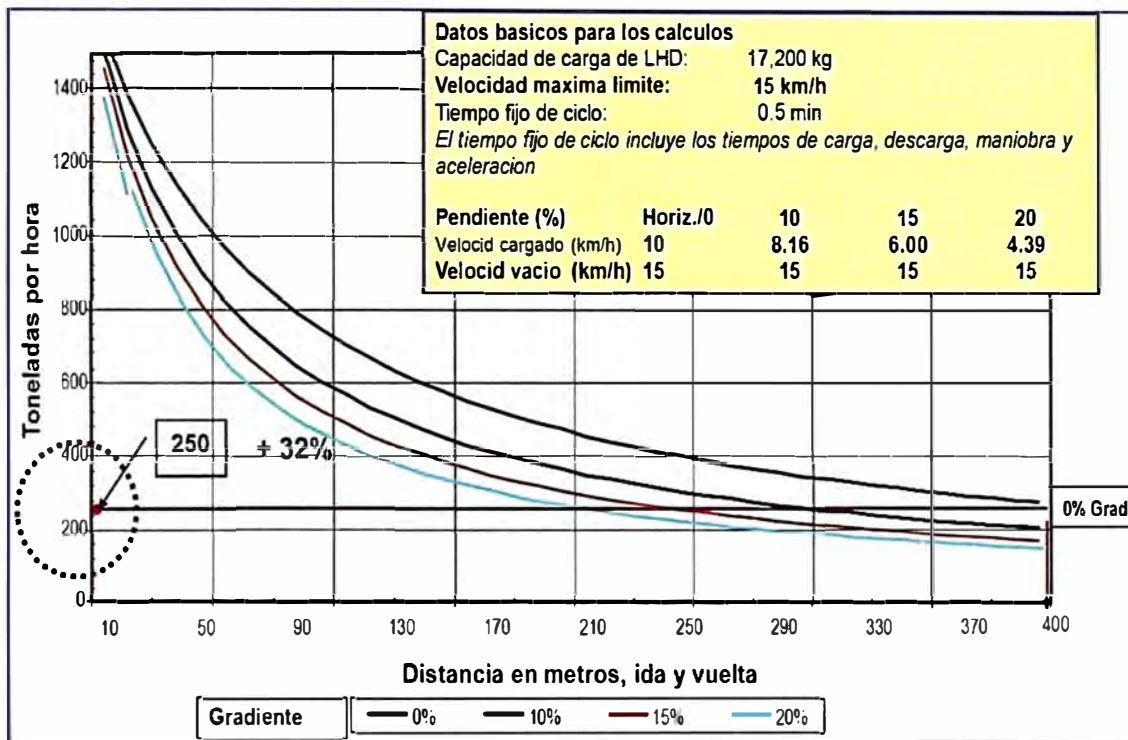
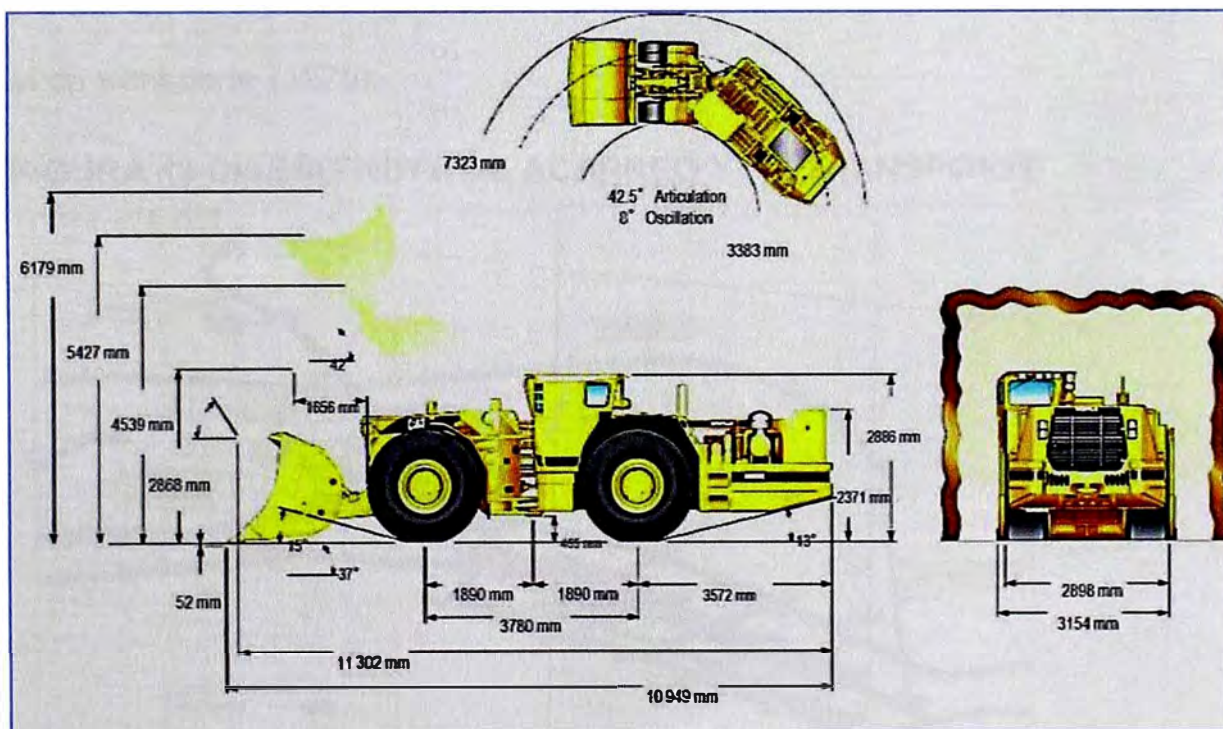


FIGURA 40 CURVA DE PRODUCCION ACARREO SECCION 5 X 4.5 mts



Fuente: CAT UG

FIGURA 41 DIMENSIONES CARGADOR LHD MODELO R2900G



Fuente. CAT R2900G Brochure

Para efectos de comparar los rendimientos alcanzados en Cerro Lindo en secciones más estrechas como por ejemplo 4.0 m x 4.0 m ó 4.50 m x 4.0 m, la productividad sería equivalente a operar el equipo permanentemente en una vía con una resistencia a la rodadura equivalente a un 20%. La caída de rendimiento es del orden del 40% en promedio. Esta reducción es originada por la estrechez de la sección y la imposibilidad de reacondicionar la superficie de rodado de manera periódica con equipos de mantenimiento de vías.

En el caso de camiones Cerro Lindo no tiene problemas porque el mineral pasa del nivel de extracción al de transporte en nivel inferior de donde se transporta el mineral grueso con camiones convencionales a la chancadora primaria para permitir su posterior transporte por faja hasta la planta. En el siguiente grafico se aprecian el nivel de extracción (1850) y el de transporte (1820).

FIGURA 43 DISEÑO RUTA DE ACARREO Y DE TRANSPORTE

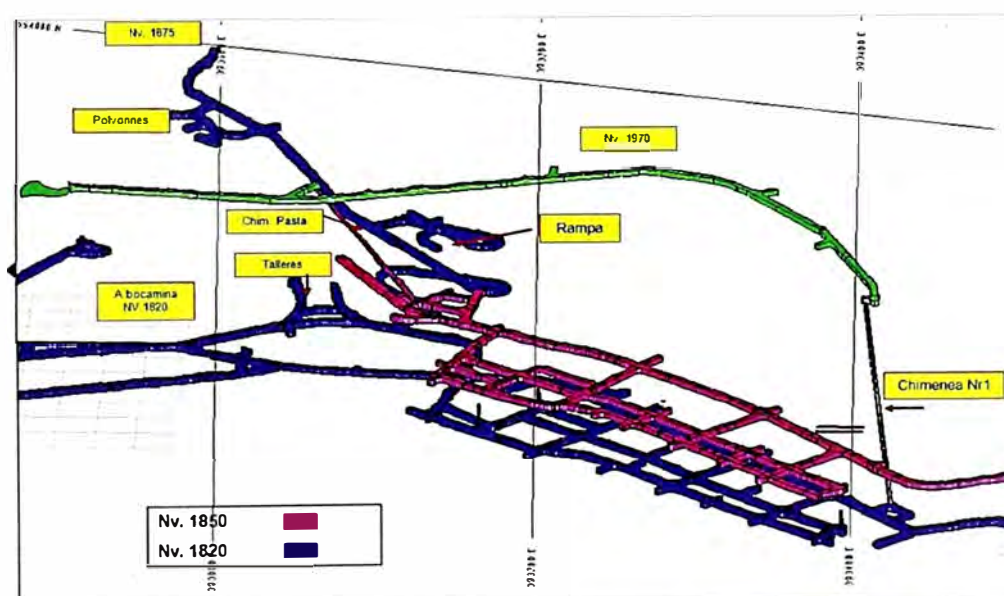
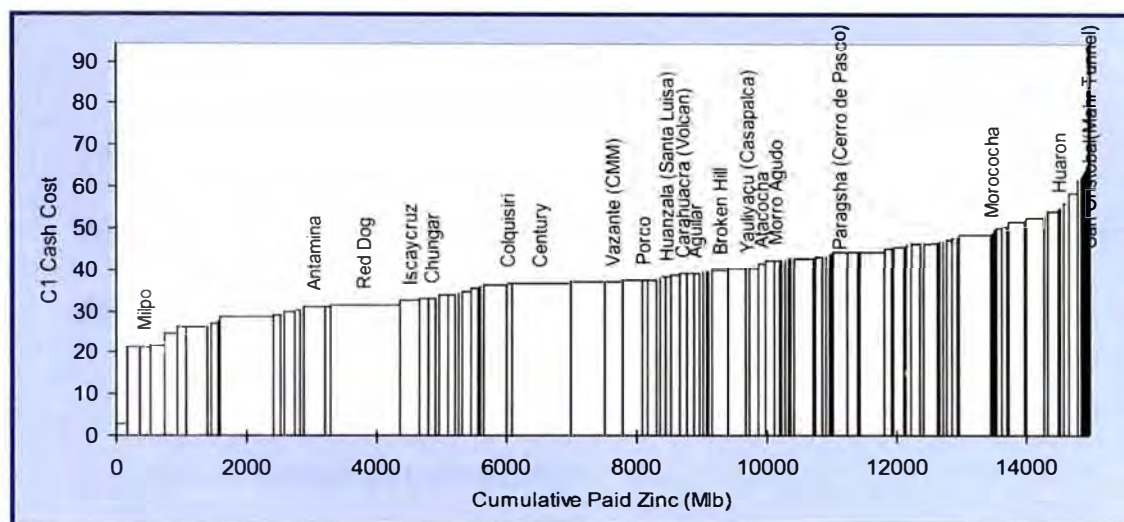
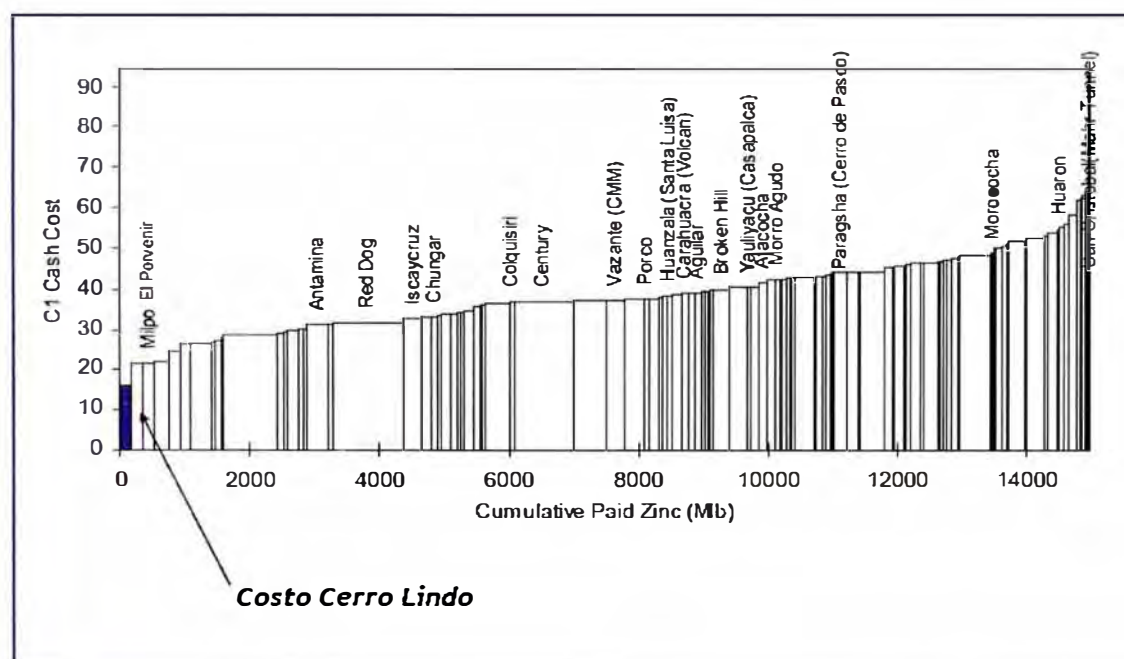


GRAFICO No 44 Costo de producción mina Cia. Minera Milpo



Fuente. Brook Hunt Report – Milpo 2008

GRAFICO No 45 Costo de producción de mina de mina Cerro Lindo



Fuente. Brook Hunt Report – Milpo 2008

CONCLUSIONES

1. La productividad de los trabajos de carguío y acarreo se ven notoriamente afectadas por diversos factores que citamos en orden de importancia,
 - a) Tamaño de la sección de las vías de extracción (Acarreo/transporte)
 - b) Condición de la superficie de rodado
 - c) Pendiente y radios de curvatura
 - d) Presencia de agua
 - e) Ventilación y visibilidad
 - f) Eficiencia del operador
2. La innovación en esta aplicación es del tipo INCREMENTAL porque está dirigida a reducir costos.
3. En general las innovaciones en los procesos de minado donde se introduce nuevas tecnologías por el aporte de nuevos equipos o sistemas tienen por objetivo reducir costos y mejorar la seguridad de los trabajadores y equipos, reduciendo la contaminación del medio ambiente.

4. La futura automatización de los trabajos de extracción en minado subterráneo va a permitir un mejor control de la operación haciendo un tanto predecibles los eventos y posibilitando el trabajo en ambientes hostiles.
5. Como se puede apreciar en los gráficos a continuación la operación en Cerro Lindo incorporando sistemas innovadores para la extracción ha permitido que la Cía. Minera Milpo alcance rendimientos de clase mundial al obtener costos más bajos que renombradas empresas mineras.(Ver graficos)
6. El dominio de estas nuevas técnicas nos permitirá afrontar con éxito la futura profundización de operaciones a tajo abierto con métodos subterráneos de gran escala. Estos yacimientos se caracterizan por contar con reservas de baja ley pero abundantes en volumen y/o tonelaje. La velocidad de extracción permitirá reducir costos y obtener valores muy similares a los de tajo abierto.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Citas

- Schumpeter (1) (Trest, Moravia, 8 de febrero de 1883 - Taconic, EE. UU., 8 de enero de 1950 (1), economista austro-estadounidense, ministro de Finanzas en Austria entre 1919 y 1920
- Michael Porter (2) (1947), es un economista estadounidense, profesor en la Escuela de Negocios de Harvard.
- Kaizen (3) Filosofía en la cultura japonesa que implementa el concepto de que ningún día debe pasar sin una cierta mejora

BIBLIOGRAFIA

- SME (1998) Techniques in underground mining: "selections from Underground mining methods" (Page 67)
- William A. Hustrulid Underground Mining Methods: (2001) Engineering Fundamentals and International Case Studies (Page 367)
- AusIMM '98 The mining Cycle (1998) – Conference
- Performance Handbook Caterpillar 41 Edition
- Caterpillar Elphinstone LHDs & Trucks application (1995)