

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA
MINERA Y METALURGICA**



**“IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE DESPACHO DE
VOLQUETES (DISPATCH) EN LA MINA CUAJONE PARA
LOGRAR UNA ALTA PRODUCTIVIDAD Y UN EFICIENTE
CONTROL DE LAS OPERACIONES”**

TESIS

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO DE MINAS**

PRESENTADO POR :

Fuertes Tello Pedro Manuel

**LIMA – PERU
2003**

**IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE DESPACHO DE VOLQUETES (DISPATCH)
EN LA MINA CUAJONE PARA LOGRAR UNA ALTA PRODUCTIVIDAD Y UN
EFICIENTE CONTROL DE LAS OPERACIONES**

INDICE

PREFACIO

AGRADECIMIENTO

PROLOGO

INTRODUCCIÓN

**PUNTOS IMPORTANTES EN LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE
DESPACHO – RESULTADOS Y LOGROS OBTENIDOS**

GENERALIDADES

CAPITULO I DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA DEL YACIMIENTO

- I.1..... Ubicación geográfica.
- I.2..... Geología del yacimiento.
- I.3..... Aspectos generales y mineralización.

CAPITULO II DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA MINA CUAJONE

- II.1..... Generalidades.
- II.2..... Dimensiones y diseño del pit.
 - II.2.1..... Forma del yacimiento.
 - II.2.2..... Diseño de vías de acarreo y zonas de disposición de materiales.
- II.3..... Parámetros de planeamiento de minado.
 - II.3.1..... Generalidades.
 - II.3.2..... Determinación de la pared final.
 - ⊗ Tipo de yacimiento
 - ⊗ Ángulos de talud final
 - ⊗ Variables económicas
 - ⊗ Ley de corte
 - II.3.3..... Clasificación de material a minar.
 - II.3.4..... Factores que gobiernan los planes de minado anuales.
 - II.3.5..... Incidencia del factor de dureza.
 - II.3.6..... Distribución porcentual de costos unitarios de producción.

CAPITULO III DESCRIPCIÓN DEL POSICIONAMIENTO SATELITAL EN LA MINA CUAJONE

- III.1.....Conceptos acerca del Posicionamiento satelital.
 - III.1.1..... Niveles de precisión GPS.
- III.2..... Posicionamiento satelital en Minería.
 - III.2.1.....Control de volquetes y despacho.
 - III.2.2.....Control de la altura de banco.
 - III.2.3.....Navegación de perforadoras.
 - III.2.4.....Navegación de palas.
 - III.2.5.....Estacado topográfico.
 - III.2.6.....Movimiento de tierras.

CAPITULO IV DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE DESPACHO

- IV.1.....Centro de Control Dispatch desde adentro.
 - IV.1.1.....Computador principal.
 - IV.1.2.....Sistema de paquetes de información (PSW).
 - IV.1.3.....En la estación Base.
 - ⊗ Estación Terrena (Ground Station)
 - ⊗ Estación Central de Radio (Repetidora)
- IV.2.....Preparación y envío de los poligonos al Sistema Dispatch.
 - IV.2.1.....Preparación de los poligonos en Medsystem.
 - IV.2.2.....Transferencia del Polígono al computador de Dispatch.
- IV.3.....Avance de Palas mediante el Sistema de Alta Precisión.
 - IV.3.1.....Precisión del SPS para palas.
 - IV.3.2.....Ventajas del SPS en palas.
- IV.4.....Aplicación del SPS en volquetes y equipo auxiliar.
- IV.5.....Aplicación del SPS en equipos de perforación.
 - IV.5.1.....Implementación del sistema de navegación para perforadoras.
 - IV.5.2.....Componentes del Sistema.
 - ⊗ Hub
 - ⊗ Goic
 - ⊗ Receptor GPS Interno
 - ⊗ Receptor GPS Externo
 - ⊗ Antena GPS
 - ⊗ Antena Dipolo de Radio
 - IV.5.3.....Ventajas de SPS para perforadoras.

IV.6.....Implementación de SPS para Trenes.

CAPITULO V OPTIMIZACIÓN DE DEMORAS OPERATIVAS

V.1.....Aplicación de teorías de investigación de operaciones.

V.1.1.....Aplicación directa de la teoría de colas.

CAPITULO VI OPTIMIZACIÓN DEL ACARREO POR VOLQUETES

VI.1.....Análisis de requerimiento de volquetes según planes de minado.

VI.2.....Monitoreo preliminar de volquetes.

VI.3.....Simulación del acarreo por volquetes con un sistema de despacho computarizado.

VI.3.1.....Simulación de los movimientos reales de los volquetes.

VI.3.2.....Tomar en cuenta influencias estocásticas.

VI.3.3.....Performance estocástica de equipo.

VI.3.4.....Simulación de demoras del equipo.

VI.3.5.....Resultados y posibles campos de aplicación.

VI.4.....Descripción del sistema de despacho computarizado de volquetes.

VI.4.1.....Asignaciones automáticas.

VI.4.2.....Carguo de combustible automático.

VI.4.3.....La voladura en el sistema.

VI.4.4.....Configuraciones del equipo.

VI.4.5.....Alineación de disponibilidad de equipo.

VI.4.6.....Pantallas de administración.

VI.4.7.....Diagnósticos completos.

VI.4.8.....Cierre de rutas lógicas.

VI.4.9.....Descansos por ranchos.

VI.4.10.....Inspecciones de mantenimiento.

VI.4.11.....Asignaciones manuales.

VI.4.12.....Combinación de material.

VI.4.13.....Versiones disponibles en distintos lenguajes.

VI.4.14.....Rutas de acarreo de un sólo sentido.

- VI.4.15.....Monitoreo de operaciones.
- VI.4.16.....Restricciones en determinados pits.
- VI.4.17.....Obligaciones de descargas primarias.
- VI.4.18.....Limites de Colas
- VI.4.20.....Reasignación de puntos de llamada.
- VI.4.21.....Cierre de tramos de rampas.
- VI.4.22.....Demoras de rutinas.
- VI.4.23.....Cambio de guardia.
- VI.4.24.....Prioridad de palas.
- VI.4.25.....Carguío por los dos lados.
- VI.4.26.....Base de datos de usuarios.
- VI.4.27.....Almacenamiento de materiales.
- VI.4.28.....Asignaciones fijas de volquetes y palas y restricciones de destino.

VI.5.....Proyección de resultados con el uso del sistema de despacho computarizado Dispatch.

CAPITULO VII RESULTADOS OBTENIDOS POR APLICACIÓN DEL SISTEMA DE DESPACHO

- VII.1.....Incremento de la productividad con la Implementación del Sistema SPS en las operaciones.
- VII.2.....Disminución de los costos en las actividades Unitarias de Perforación, Extracción (paleo), Acarreo (volquetes) Y Mantenimiento
- VII.3.....Mejora en la supervisión de las operaciones y mejor control en tiempo real (ventajas y desventajas).

CAPITULO VIII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

PREFACIO

Luego de muchos comienzos, aplazamientos sin fin y repeticiones de nunca acabar, debido a lo involucrado que uno se encuentra en las operaciones en la mina, me convencí que tener paciencia es el aspecto más difícil en la elaboración de una tesis; en especial para mí que es mi primer paso para involucrarme en publicar más investigaciones de esta clase. Aunque hubo momentos en que parecía no tener la voluntad necesaria para culminar este proceso, el éxito puede ser un poderoso catalizador.

Creo con firmeza que el Sistema de Despacho de Volquetes (DISPATCH) y ahora llamado **Sistema de Control Inteligente de Mina** es definitivamente una gran herramienta en las operaciones a cielo abierto en particular y como concepto para un eficiente control de las operaciones en general. Contribuirá a la **Eficiencia Operativa** constantemente buscada en este apasionante negocio en que estamos involucrados.

PRÓLOGO

Richard N Haass, actual director de Política en la Secretaría de Estado de EEUU, ha dado lo que es, probablemente, la definición más integral del proceso de globalización que el mundo enfrenta.

Para él, la globalización es “la totalidad y velocidad de las conexiones sean éstas económicas, políticas, sociales y culturales que escapan al control, e incluso al conocimiento, de los gobiernos y otras autoridades.

El siglo XXI se está caracterizando por un entorno globalizado y altamente competitivo. En este escenario el Sistema Inteligente de Mina se presenta como una herramienta que facilita la gestión en las operaciones de las más importantes Organizaciones Mineras.

Es común adjudicar el éxito empresarial tanto a la adopción de una estrategia adecuada como a la práctica de la eficiencia operativa, la segunda consiste en la aplicación de herramientas de gestión. En la búsqueda de esa eficiencia operativa, diversas empresas e instituciones se han dedicado, durante las últimas tres décadas, a desarrollar y comprobar la eficiencia de nuevos conceptos y herramientas de gestión. Así, junto con la calidad total, el mejoramiento continuo, el Just-in-time, la Reingeniería y el Benchmarking el **Sistema Inteligente de Mina como Concepto General** puede ser una de las principales herramientas de gestión orientadas al logro de la eficiencia operativa necesaria para que la estrategia rinda sus frutos.

Pedro Fuertes Tello

INTRODUCCIÓN

Cuajone; unidad perteneciente a Southern Perú, es una mina de cobre a Cielo Abierto que diariamente extrae más de 271,000 TM/día de las cuales 86,000 son mineral. En Cuajone operan 17 camiones de 218 TM Komatsu 830E y 8 camiones CAT-793C de 231TM equipados con receptores SK8 Trimble GPS para su exacta y correcta ubicación. Además este sistema permite la asignación de materiales a los Hoppers (tolvas de mineral) y los diferentes botaderos. En la mina se emplean palas de 56 y 42yd³ así como un cargador Frontal de 33yd³ y una pala pequeña de 15yd³.

El Sistema Dispatch se comenzó a usar en la mina Cuajone en Julio de 1998, como se refiere en los archivos de la empresa, con la instalación de baja precisión para volquetes y palas estos equipos utilizaban y utilizan, en el caso de los volquetes, receptores SK8 de Trimble™ y protocolos salidos TSIP (datos binarios). En enero de 1999 se comenzó a instalar equipos de alta precisión (comienza la aplicación del SPS), primero en perforadoras, Equipos con Receptores GG24 de ASTEC™ y protocolo NMEA 0183 y en agosto del mismo año se reemplazaron los equipos de Baja Precisión en las Palas por Alta Precisión de las mismas características de las perforadoras. Estos equipos permitieron que algunas labores de ingeniería se simplificaran en la mina; como el control de mineral con el uso de GPS de Alta Precisión, combinando con la aplicación de sistema de base de datos SQL para gestión de Datos y como se usa estas herramientas para la evaluación de resultados dentro de la mina Cuajone.

Este sistema de alta precisión basado en posicionamiento mediante satélites, ayuda a determinar la ubicación de los equipos que se utilizan en la mina obteniendo una precisión asombrosa de un margen de error de 1.5m en volquetes y ±10cm en palas y perforadoras. Es muy útil para la ubicación de los trabajos y para el control eficaz de los equipos, contribuyendo a mejorar la producción, bajar costos y aumentar la productividad.

Cuajone fue la segunda mina en el mundo que ha implantando este sistema de alta precisión; eso dice mucho de la modernidad y tecnología que se aplica en nuestras operaciones.

PUNTOS MÁS IMPORTANTES EN LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE DESPACHO

Para la implementación del SPS en Cuajone, se desarrolló una programación por Etapas y Objetivos.

ETAPA	OBJETIVOS	METODO
PREPARACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Recopilación de información ➤ Sondear los tiempos disponibles ➤ Despejar incógnitas, despejar temores 	<ul style="list-style-type: none"> - Desarrollo de cuestionario - Entrevistas individuales - Nivel de habilidades - Charla de 05 minutos
PUESTA EN MARCHA	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Análisis de los datos recogidos ➤ Reunión de análisis de proceso ➤ Análisis del sistema productivo ➤ Desarrollo de planes de mejora 	<ul style="list-style-type: none"> - Curso a Supervisores de mina. - Curso de psicología
SEGUIMIENTO	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Mantener el desarrollo del equipo 	<ul style="list-style-type: none"> - Continuar las reuniones - Comunicaciones personales

Paralelamente a la implementación del SPS se desarrollaron objetivos para la continua implementación del sistema de alta precisión en las tres principales actividades unitarias. Estos objetivos fueron:

Objetivo del SPS en Volquetes

- ✓ Ubicación virtual equipo
- ✓ Estado del equipo
- ✓ Control mecánico / eléctrico
- ✓ Distribución flota volquetes
- ✓ Información del equipo en tiempo real
- ✓ Emisión de reportes
- ✓ Eficiencia en las operaciones

Objetivo del SPS en Perforadoras

- ✓ Estado del equipo
- ✓ Control mecánico / eléctrico
- ✓ Eficiente control de la perforación
- ✓ Reportes en tiempo real

Objetivo del SPS en Palas

- ✓ Estado del equipo
- ✓ Control mecánico / eléctrico
- ✓ Eficiente control del Mineral
- ✓ Eficiente control de pisos
- ✓ Reportes en tiempo real

RESULTADOS Y LOGROS OBTENIDOS

Utilizando programas de software de administración de datos y comunicaciones y el sistema GPS de localización satelital, el Sistema Inteligente de Mina permite hacer minería de precisión.

Después de la implementación del sistema se obtuvieron los siguientes resultados:

- ✓ Ya no se necesitan escribir reportes
- ✓ Ya no se necesita reportar a despacho las demoras mecánicas-eléctricas
- ✓ Se mejoró la distribución de equipo
- ✓ Se mejoró el estado de equipo
- ✓ Reducción de la mano de obra e incremento de la productividad
- ✓ Los operadores se sienten apoyados en todo momento
- ✓ La facilidad de trabajo ha sido una constante

LOGROS OBTENIDOS

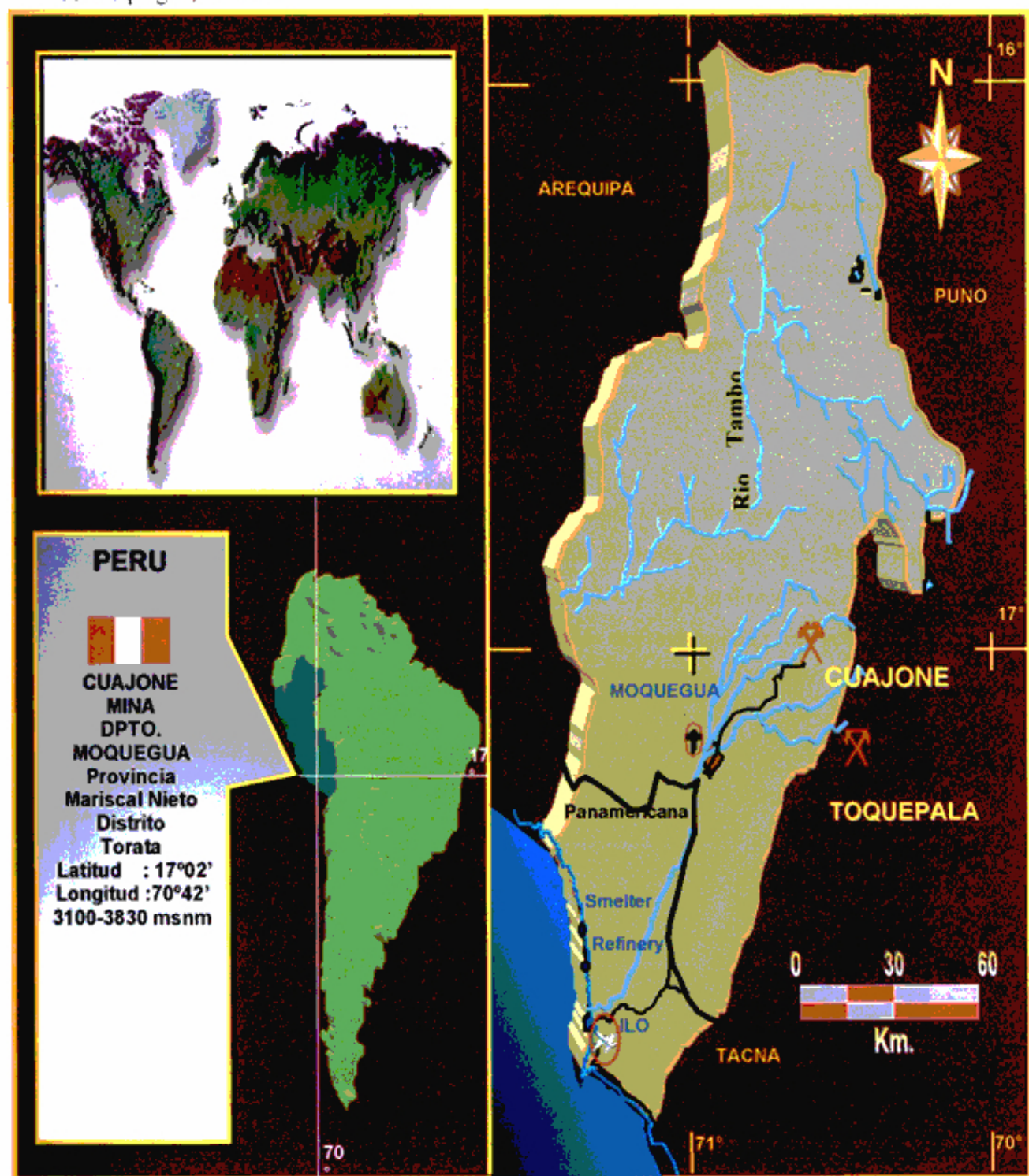
TOPOGRAFIA	VOLQUETES	PERFORADORAS	PALAS
Reducción de la mano de obra	Asignación correcta de volquetes	Eliminación de estacado de mallas	Control de mineral y gradiente de piso en tiempo real.
Simplificación del trabajo	Mayor productividad	Reducción de mano de obra	Reducción de mano de obra.
Posiciones de 1er orden fáciles de obtener	Reportes Automáticos Eliminación de reportes manuales	Alimentación de parámetros de operación.	No se necesita visibilidad en condiciones adversas
No se necesita mucha teoría	Posición equipo e información en tiempo real		

CAPITULO I

DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA DEL YACIMIENTO

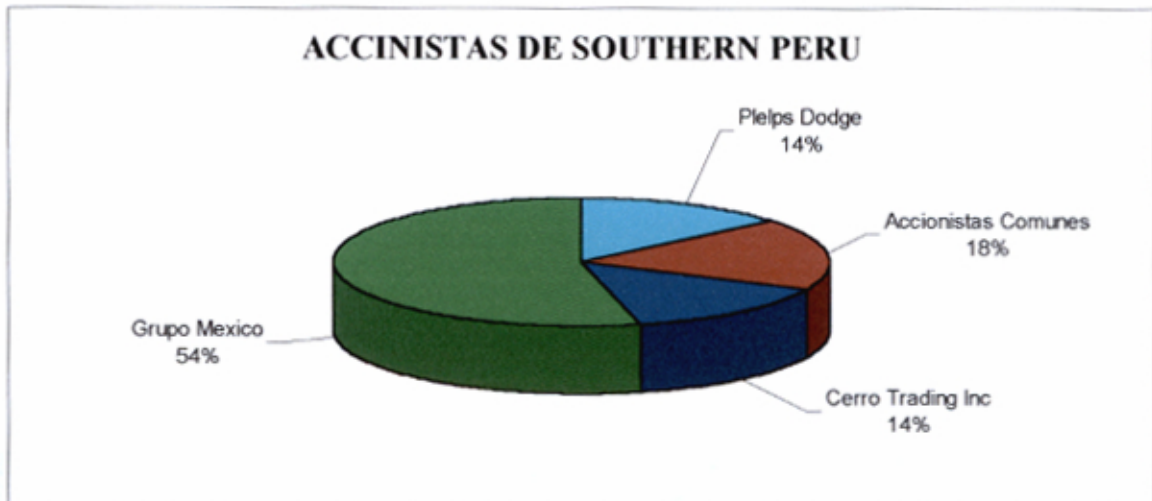
I.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

El depósito cuprífero de Cujone se ubica en el Distrito de Torata, Provincia Mariscal Nieto, departamento de Moquegua. Las operaciones se desarrollan al este de la Ciudad de Moquegua, a 60 Km.



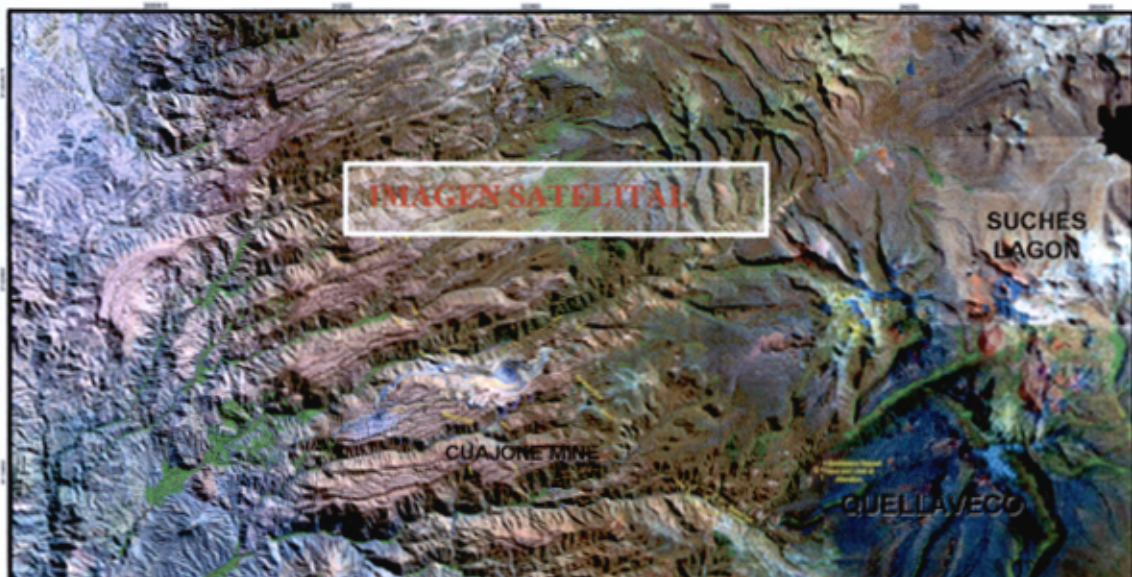
La Mina es operada por Southern Perú, la cual es una de las mayores compañías mineras del Perú y es, por ahora, la octava productora de cobre más grande del mundo.

Southern Perú fue fundada el 12 de diciembre de 1952 por cuatro compañías de los Estados Unidos de Norteamérica y opera en el país desde 1956. En 1999 el grupo México se convierte en el principal accionista de la Empresa al adquirir el 54.2% de las acciones.



HACIENDO UN POCO DE HISTORIA

Cuando a fines de la década de 1940 los geólogos de la Cerro de Pasco Corporation estaban haciendo los primeros estudios del Chuntacala Orebody (Cuajone), la Newmont Exploration Ltd. se establecía en Jerome (Arizona, EE.UU.), bajo la dirección de Arthur A. Brant, para investigar el potencial exploratorio del *overvoltage phenomenon*,



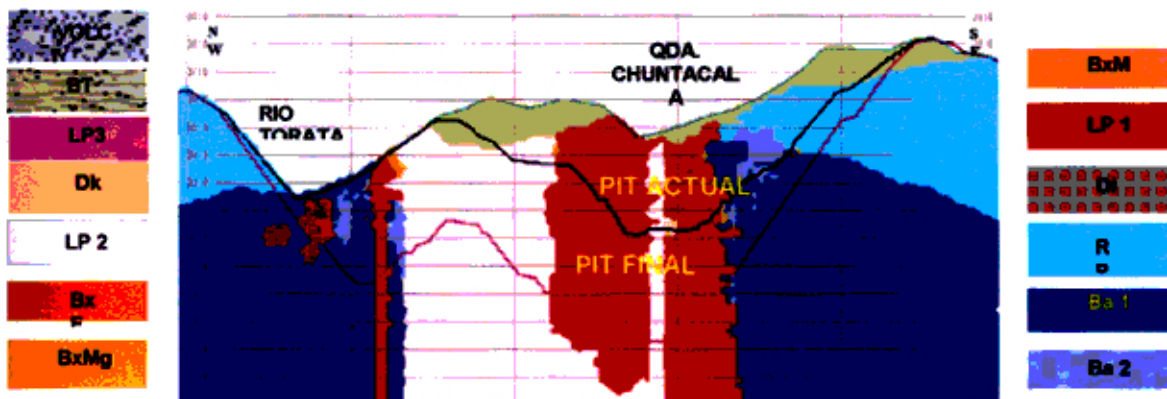
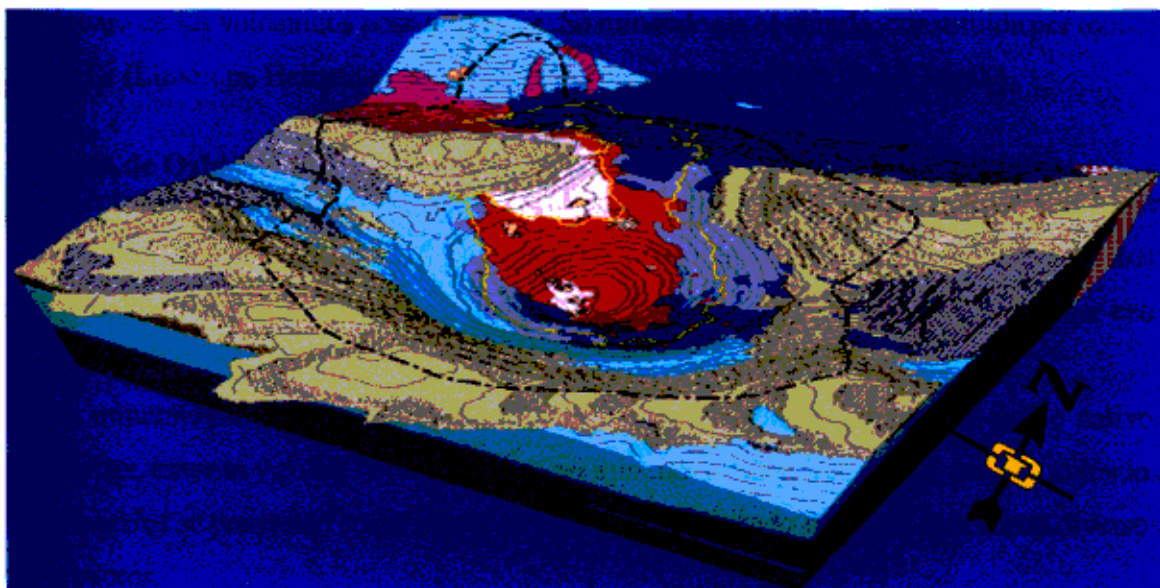
1.2. GEOLOGÍA DEL YACIMIENTO

Estructuralmente la mina Cuajone es un cuerpo en “stock work”, que incluye: fallas, fracturas y brechas con una orientación predominante nor-oeste, sur-este.

En la gran mayoría de fallas, el cuerpo central de BX-BLP, el stock de latita porfírica y andesita intrusiva, al que se denomina “Alineamiento Cuajone”, que es consecuencia de una tendencia regional. En los mapeos actuales no se ha detectado una falla que cruce diametralmente el tajo, sino, mas bien una serie o secuencia de estas con potencias menores de 0.80m rellenas con panizo.

Finalmente la presencia del cuerpo central; de la brecha y diques de latita porfírica estéril evidencia una actividad estructural post-mineral.

PIT ACTUAL - TIPOS DE ROCA



I.3. ASPECTOS GENERALES Y MINERALIZACIÓN

Depósito de gran tamaño (más de 2 km de diámetro y 730 metros de profundidad)

Mineralización y Zonas Minerales

La zona mineralizada económicamente de Cuajone, tiene una extensión máxima de 1200m por 950m alargada en el eje nor-este en forma de embudo en la profundidad, con paredes de buzamiento casi verticales.

Para el depósito en conjunto (previo minado), el mineral se distribuye volumétricamente, dentro de las rocas encajonantes, de la siguiente manera: Latita porfirítica 50%, Andesita basáltica 25%, Andesita intrusiva 23% y Riolita porfirítica 2%.

Zona Lixiviada

Actualmente esta zona se restringe hacia el lado sur alto de la mina en riolita porfirítica y hacia el lado norte-este en la andesita intrusiva, pudiéndose encontrar en contacto directo debajo de los volcánicos post-minerales. Su mineralogía es simple, constituida por óxidos de Fe (Limonita, Hematita, Fe_2O_3) y óxidos de manganeso (pirolusita MnO_2).

Zona de Oxidos

El cobre en solución extraído de la capa lixiviada precipita a niveles inferiores al haber cambios de PH, formando óxidos de cobre, hidróxidos, carbonatos y silicatos. Actualmente quedan pequeños sectores de óxido hacia el lado nor-oeste y sur-este aislados.

La mineralogía dada por la crisocola, malaquita, chalcantita, además de cobre nativo, cuprita, tenorita y cobre "Pitch", que es un mineral negro y amorfo. En general todos los minerales se presentan como manchas o venillas rellenas de fracturas de los más diversos grosores.

Zona Enriquecida

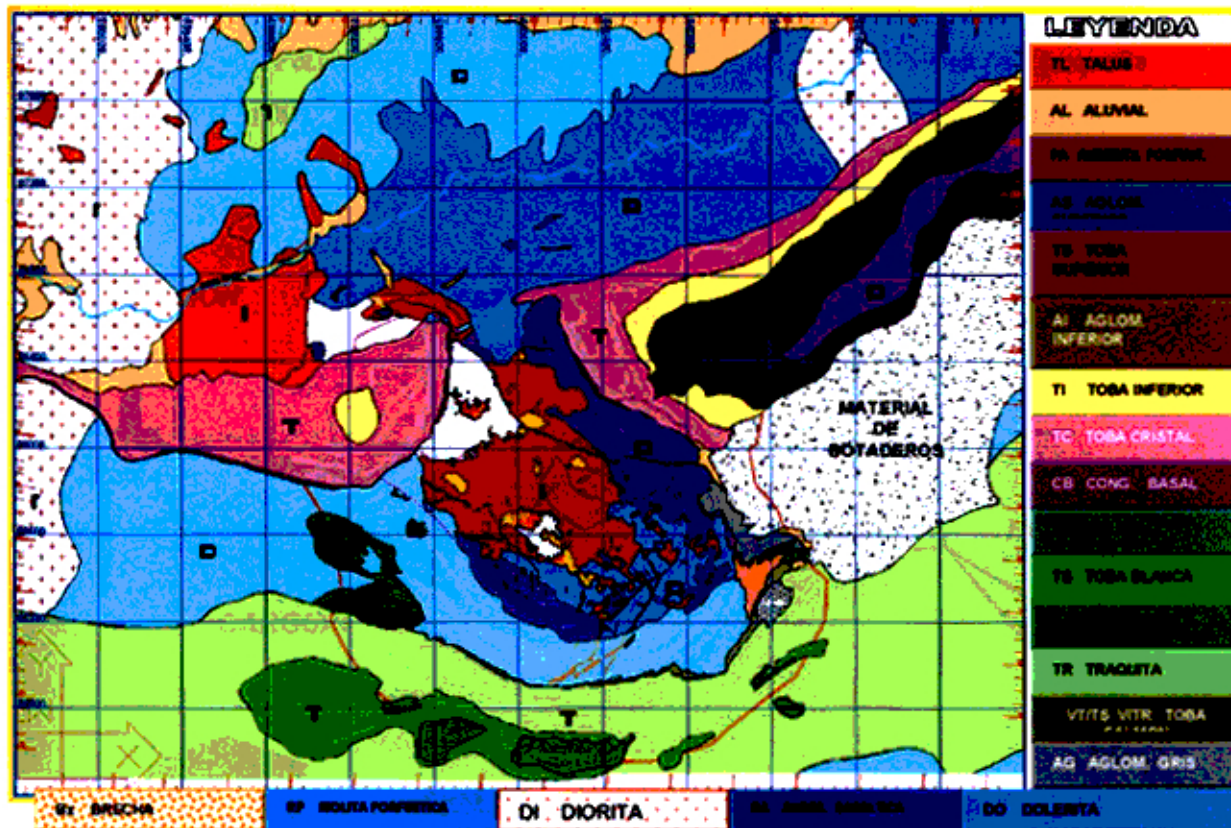
Esta zona está definida mineralógicamente por la predominación de calcocita, promediando en espesor de 20m con una ley superior al 1.3% de cobre. La mineralogía la constituye la chalcocita, digenita y cobelita, en menor cantidad acompañado a esta zona la presencia de molibdenita y pirita.

Zona Transicional

Está caracterizada por la coexistencia de calcopirita y calcocita, la calcopirita está diseminada y en venas de cuarzo, la calcocita mayormente en fracturas.

Zona Primaria

Zona que está escasamente expuesta en Cuajone y limita al stock de latita porfirítica, su mineralogía está dada por la pirita, calcopirita, que en la parte más central de la mina presentan una razón de 1:1 a 2:1, incrementándose hacia la periferia hasta hacerse de 15:1. Dentro de la zona de brecha más profunda se puede encontrar trazos de enargita, tetrahedrita, esfalerita, galena. Cabe anotar que esta zona del depósito de Cuajone tiene un contenido muy bajo de metal precioso.



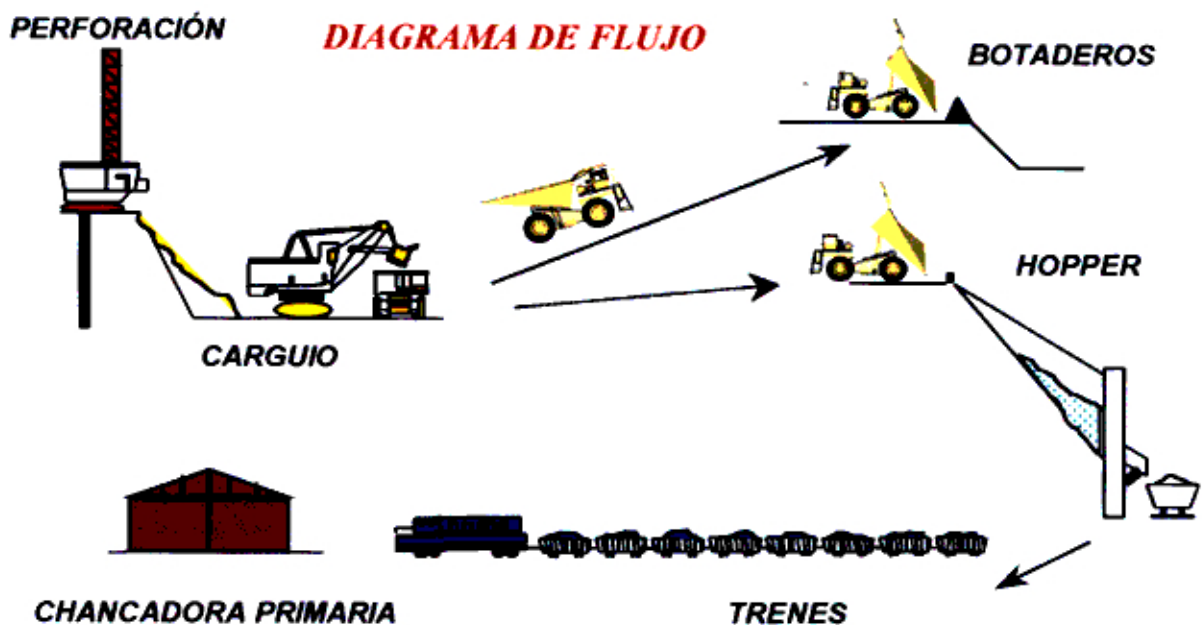
CAPITULO II

DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA MINA CUAJONE

II.1 GENERALIDADES

Los trabajos de preparación de la Mina se iniciaron en 1970. Entró en producción en 1976. Actualmente la Mina Cuajone produce 87,000 toneladas métricas de mineral por día, con una ley aproximada de 0.66% de Cu, lo que hace aproximadamente 31.5 millones de toneladas métricas al año. La mina esta dividida en 8 pushbacks o fases de minado hasta alcanzar el limite final del pit. Actualmente se encuentran en explotación las fases 2, 3 y 4.

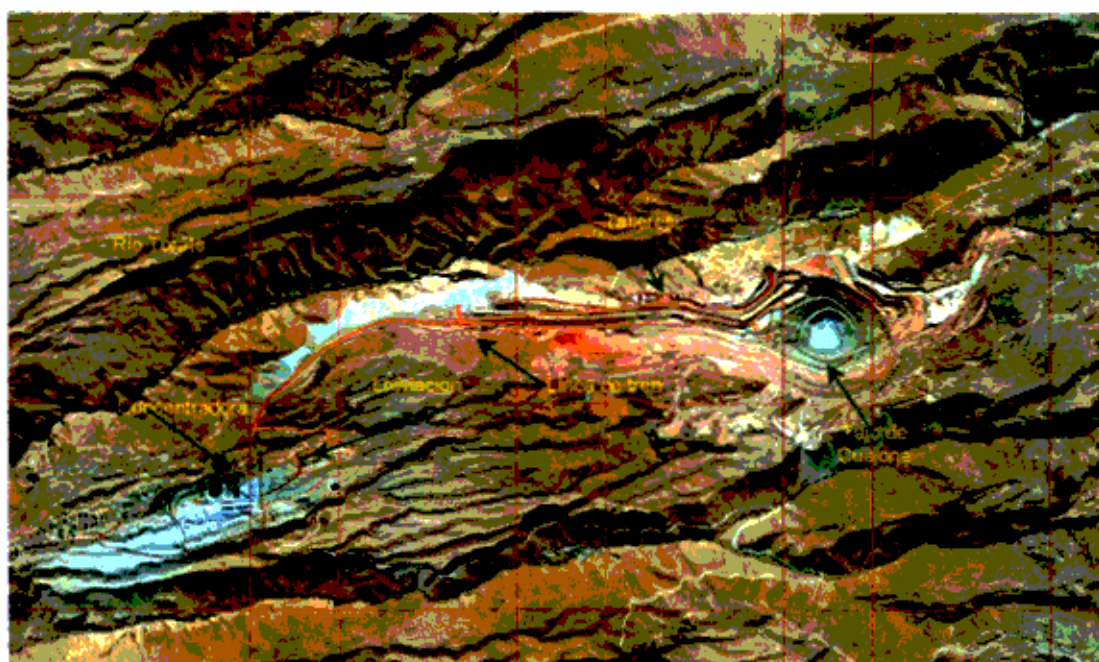
Cuajone es una mina que diariamente extrae mas de 271,000 TM/dia de las cuales 87,000 son mineral. En Cuajone operan 18 Camiones de 218TM Komatsu 830E y 8 Camiones CAT-793C de 231TM. Estos equipos están equipados con receptores SK8 Trimble GPS para su exacta y correcta ubicación. Además este sistema permite la asignación de los materiales a los distintos destinos. Además en Cuajone se emplean Palas de 56 yd³ (P&H 4100A) y 42 yd³ (P&H 2800) así como un cargador frontal de 33yd³ y una pala pequeña de 15yd³(P&H2100). Actualmente, la unidad Cuajone cuenta con dos perforadoras P&H120A (42 mt/hra), una perforadora P&H100XP (35mt/hra).



Actualmente la fase 4 del Plan de Desarrollo de la Mina Cuajone, se realiza en el nivel 3835, el más alto operativamente de la Mina donde una de las palas más modernas y de mayor capacidad la P&H4100, apoyada con 4 volquetes CAT de 231 TM, una perforadora P&H100XP y unidades de apoyo, realizan la perforación, desbroce y movimiento de material.

Los trabajos se han iniciado en el lado sur al cual se ha regresado después de 20 años de operación. Estos trabajos permitirán mantener el volumen de producción de acuerdo a los requerimientos de Concentradora y el movimiento total de material se irá incrementando con el apoyo de una nueva pala que será adquirida próximamente.

Para el inicio de la Fase 4 se hicieron trabajos preliminares que comprendieron el retiro del anillo de energía eléctrica de 69 mil voltios que va alrededor de la Mina, protección para la tubería de 36 pulgadas que abastece de agua a la Concentradora y accesos y áreas de perforación para las perforadoras. Todo este trabajo se basó en el mapeo geológico a cargo del Departamento de Geología y el trabajo de planificación que estuvo a cargo de Ingeniería Mina.



La Fase 4 es la siguiente etapa de la expansión de la Mina Cuajone y su desarrollo garantiza mineral para 15 años. Esto no quiere decir que la vida de la Mina sólo sea de 15 años.

Según las reservas confirmadas la Mina tiene para 38 años con 1,183 millones de TM de mineral, encontrándose en estudio la evaluación de mayores reservas minables.

La fase 4 está programada hasta el año 2016. En ese momento ya habrán terminado las fases 2 y 3. Sin embargo, la fase 5 ya estará iniciándose en el nivel 3865 en el 2008. Se tiene una planificación tanto a corto, mediano y largo plazo desde el momento actual hasta el fin de la Mina dentro de 38 años.

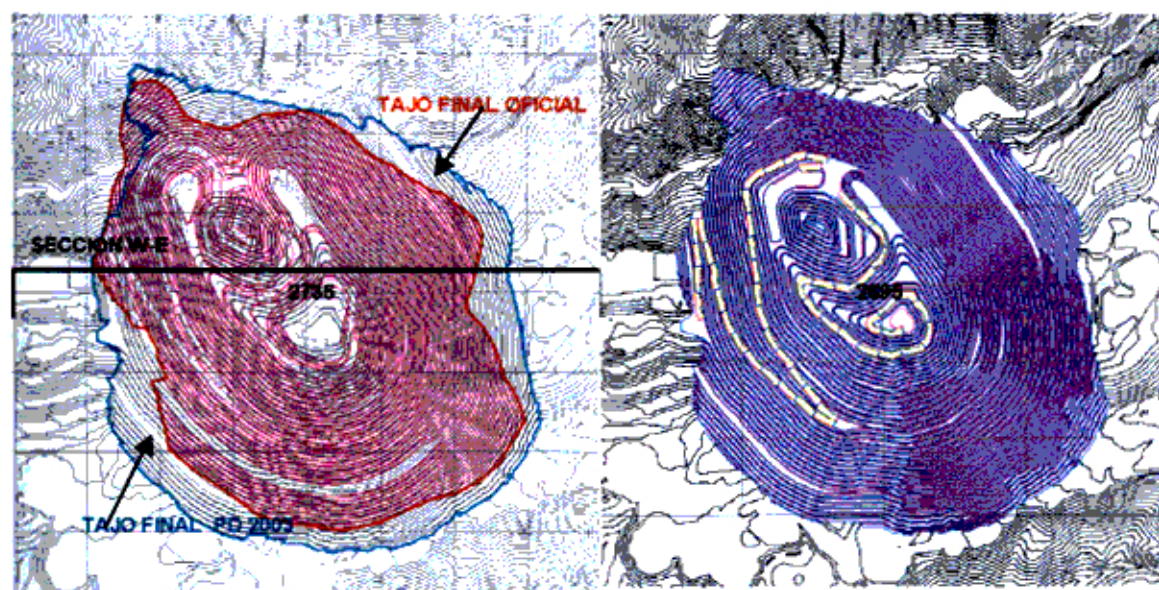
II.2 DIMENSIONES Y DISEÑO DEL PIT

II.2.1 FORMA DEL YACIMIENTO

Las dimensiones del pit son de casi 2.3 Km (N-S) de largo por 2.0 Km de ancho (E-W) en el perímetro.

El tajo, cuya profundidad actual es de 735m (en donde el Nivel mas alto es 3865m y el mas bajo es de 3130m) y con un diámetro aproximado de 2 Km es uno de los más grandes del mundo. Este tendrá un crecimiento concéntrico. Es decir las bases irán extendiéndose de adentro hacia fuera y se irán haciendo más grande.

En el futuro el Tajo tendrá un diámetro de 3.4 kilómetros con una profundidad de más de mil metros que lo llevará a ser uno de los más grandes y profundos del mundo.



II.2.2 DISEÑO DE VIAS DE ACARREO ZONAS DE DISPOSICIÓN DE MATERIALES.

El diseño se refiere al tipo de trenes y volquetes que se tiene. Para el acarreo por trenes el ancho mínimo de rampas es de 15m con una gradiente máxima de 1% para trenes cargados y de 4.5% para vacíos. En Cuajone se tienen dos sistemas de rampas principales (Rampa Sur y Rampa Norte) enlazados para el acarreo por volquetes que permiten la continuidad de la operación en zonas bajas de la mina, aún cuando la pala se encuentre minando alguna de las rampas del sistema. El ancho mínimo de es de 25m y máximo de 30mts. Con una gradiente máxima de 10%.

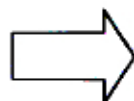
De acuerdo al estimado de reservas anteriormente mencionado, la disposición de dichos materiales se hará de acuerdo a su tipo: Previamente depositados a dos Hoppers (A y B) y luego acarreados a la chancadora primaria por trenes o a botaderos si son Sulfuros de Baja Ley, Óxidos o Desmorte. Para la descarga y acumulación de dichos materiales se tienen los botaderos:

Botadero 5% (Sulfuros de Baja Ley)

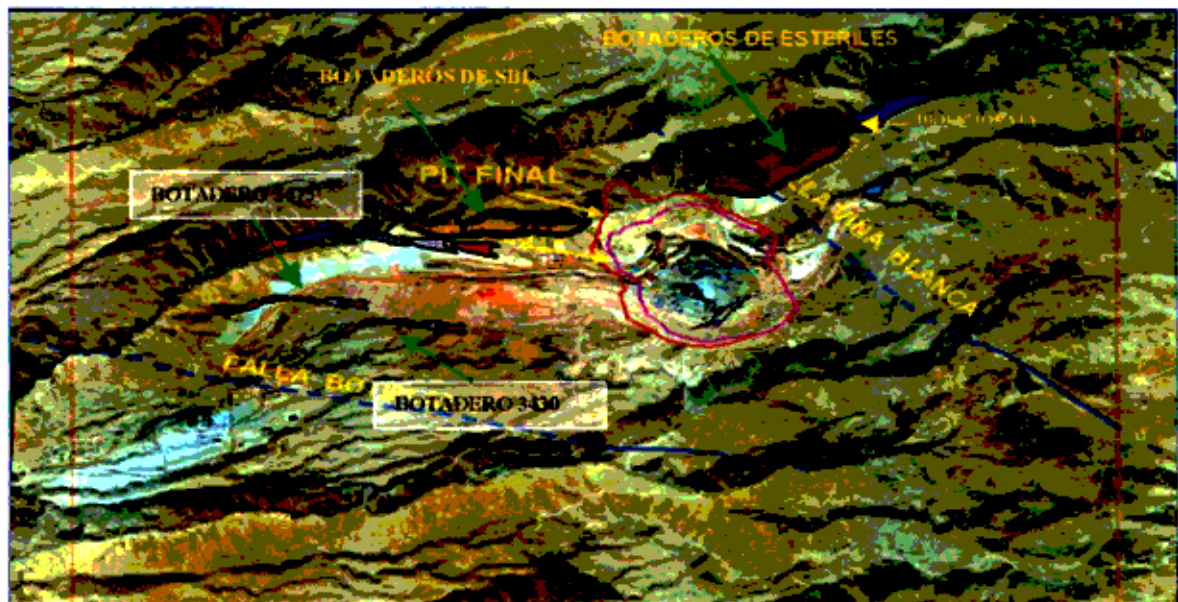
Botadero Torata Este (Desmorte)

Botadero 3475 (Óxidos de Alta Ley)

Botadero 3430 (Óxidos de Alta Ley)



Lixiviación



II.3 PARAMETROS DE PLANEAMIENTO DE MINADO

II.3.1 GENERALIDADES

En todo planeamiento de minado se deben considerar dos tipos de parámetros los Generales y los Específicos.

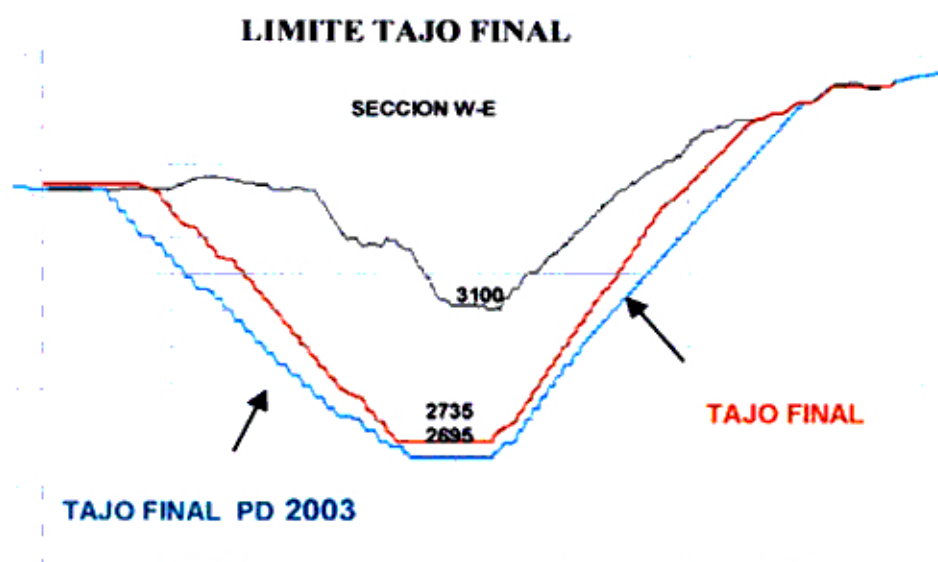
Los parámetros Generales son los que serían aplicables a todos los depósitos de tipo disseminado de gran tamaño y ley relativamente baja.

Los Parámetros Específicos dependen de las características no comunes que cada yacimiento presenta. Tales como morfología superficial, topografía, etc. Sin establecer estos parámetros sería imposible llevar a cabo la delineación y planeamientos necesarios para la evaluación de reservas contenidas, más aún si la explotación de éstas demandan inversiones considerables que deben ser compensadas por un adecuado retorno, lo cual depende de un económico y eficiente abastecimiento de mineral.

II.3.2 DETERMINACIÓN DE LA PARED FINAL

La pared final esta determinada por los siguientes factores: tipo de yacimiento, ángulos de talud final escogidos, variables económicas y la ley de corte.

- *Tipo de yacimiento*, existe depósitos que determinan la pared final por razones estructurales, tales como: vetas y mantos. De otro tipo son los yacimientos porfiríticos de cobre, como el de Cuajone por ejemplo, en donde la pared final está gobernada por parámetros económicos y varía según cambien dichos parámetros.
- *Ángulos de talud final*, quedan establecidos por estudios de estabilidad basados en las condiciones geológicas de la roca, de tal manera que se obtenga la mayor cantidad de reservas, el menor de desmonte y el máximo rendimiento económico.
- *Variables económicas*, la posición final de la pared se rige por variables económicas, tales como: Precios de los metales, Costos, Recuperaciones de la Concentradora, Fundición y Refinería.
- *Ley de corte*, esta definida por los mismos parámetros de la pared final, por lo tanto ambos factores son dinámicos. En rigor, una pared final para unas variables económicas fijas tienen una sola ley de corte óptima.



II.3.3 CLASIFICACIÓN DE MATERIAL A MINAR

Determinada la pared final y la ley de corte óptima se pueden clasificar los materiales de mineral, sulfuros de baja ley, óxidos y desmonte tal como se muestra.

II.3.4 FACTORES QUE GOBIERNAN LOS PLANES DE MINADO ANUALES

Se han identificado los siguientes factores que gobiernan los planes de minado anuales:

- La capacidad de tratamiento de la concentradora. Los planes de minado deben garantizar ese nivel de producción.
- El tonelaje de otros materiales que se deben mover para garantizar el mineral disponible para el año siguiente.
- La flota disponible de equipo: perforadoras, palas, volquetes, trenes y equipo auxiliar. Un plan anual no debe exceder el tonelaje que el equipo pueda mover.
- Disponibilidad mecánica y eléctrica. Así como el porcentaje de utilización.
- Ubicación de plataformas anchas, aptas para los cortes de las palas. La altura de banco y el mínimo de ancho de plataforma operativa.
- Ley de corte
- Estimado de variables económicas tales como:
 - ✓ Precios de metales
 - ✓ Costos
 - ✓ Recuperaciones

II.3.5 INCIDENCIA DEL FACTOR DE DUREZA

El mineral estimado debe ser clasificado en categorías de dureza y presencia de arcillas.

Para esto se cuenta con los siguientes parámetros:

- Tipo de mineral
- Factor de dureza de concentradora
- Tipo de mineral
- Recuperación de flotación

De esta forma el mineral puede agruparse en muy duro, duro, suave y arcilloso. Por lo tanto el balance se hace con la ley de cabeza y los parámetros que rigen la producción de concentradora.

II.3.6 DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE COSTOS UNITARIOS Y DE PRODUCCIÓN.

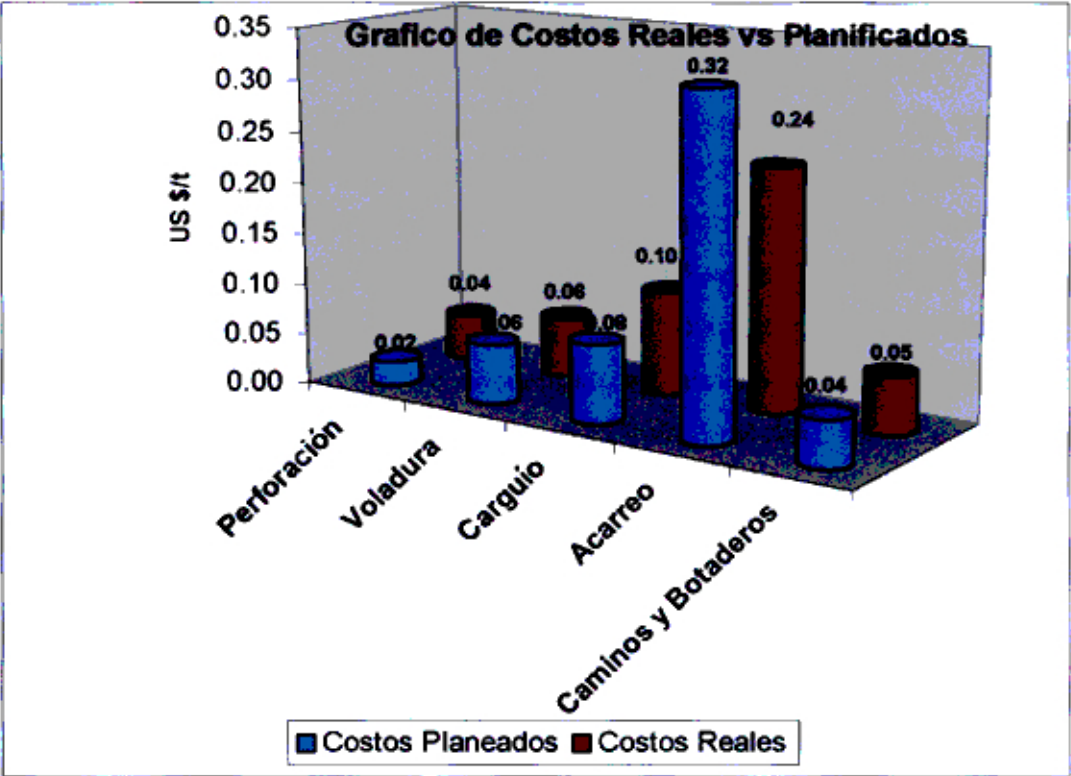
En el cuadro se presenta la producción Real y planeada así como la distribución porcentual de los costos unitarios de producción de todas las actividades unitarias.

MES		AÑO A LA FECHA		
Real	Plan	CONCEPTO	Real	Plan
52,646	54,006	Perforación (m)	549,243	569,446
2,536,815	2,613,000	Mineral (t)	27,293,186	28,830,000
0.75	0.71	LeyCu (%)	0.69	0.66
0.028	0.026	LeyMo (%)	0.025	0.026
0.028	0.022	Ley CuOx (%)	0.029	0.023
19,026	18,532	Contenido Cu (t)	189,342	189,701
4,969,457	5,136,706	Desmante + Lixiviable (t)	64,616,000	54,462,000
1.96	1.27	Relación Desbroce D/(M+L) (t)	2.17	1.59
1.96	1.27	Relación Desbroce (D+L)/M (t)	2.37	1.86
7,506,279	7,749,706	TOTALGENERAL (T)	91,909,186	83,292,000

84,561	87,100	MINERAL /DIA (t)	81,716	86,317
0	0	LIXIVIABLE /DIA (t)	5,174	10,144
165,649	258,324	DESMONTE /DIA (t)	188,287	152,916
250,209	258,324	TOTAL TONELADAS /DIA (t)	275,177	249,377

144	149	TONELADAS MINADAS POR HORA/HOMBRE	155	141
-----	-----	--	-----	-----

En el gráfico muestra los costos Reales y Planificados del Mes por actividades unitarias.

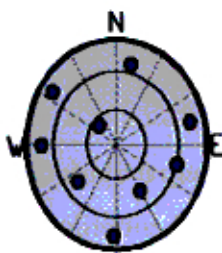


CAPITULO III

DESCRIPCIÓN DEL POSICIONAMIENTO SATELITAL EN LA MINA CUAJONE

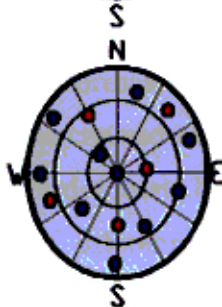
III.1. CONCEPTOS ACERCA DEL POSICIONAMIENTO SATELITAL

Es importante aclarar que la expresión común GPS (sistema de posicionamiento global) se aplica solamente a sistemas dependientes del departamento de Defensa de Estados Unidos y a sus satélites NAVSTAR (Navigational Satellite Timing and Ranging). En forma correcta, uno debería hablar de sistemas de posicionamiento satelital (SPS) como dos sistemas de satélites que se encuentran actualmente disponibles, NAVSTAR y GLONASS (el Global Navigation Satellite System de Rusia). En general, los satélites NAVSTAR y GLONASS ofrecen cobertura independiente del tiempo o condiciones climáticas.



VISIBILIDAD CON SATELITES GPS

Esta es la disponibilidad típica de satélites en un punto donde hay 09 satélites GPS a la vista en un lugar específico. Normalmente esto es suficiente para trabajos topográficos si no hay obstrucción para las señales.



VISIBILIDAD CON SATELITES GPS + GLONASS

Esta es la misma disponibilidad, para el mismo punto y para la misma hora empleando constelaciones GPS y GLONASS. Como aquí se disponen de 15 satélites, el sistema proporciona un rendimiento mucho más alto alrededor de edificios, en presencia de maquinaria pesada, topografía hostil, etc. Lo que incrementa la utilización y la productividad

(Figura 1)

El sistema GPS consiste de una constelación de 24 satélites orbitando la tierra a una altitud cercana a los 20,000 km. Los satélites viajan en uno de seis órbitas diferentes, y cada satélite orbita la tierra aproximadamente dos veces por día. El sistema GLONASS provee una constelación de 16 satélites y eventualmente, 24.

En términos muy generales, un punto SPS cualquiera computa su posición en la tierra basado en señales de radio recibidas de diferentes satélites. Los satélites tienen relojes altamente confiables, de forma que el tiempo de las señales de los satélites es conocida con mucha precisión. El receptor calcula la distancia a cada uno de los satélites, basado en el tiempo de la señal y su velocidad (velocidad de la luz), luego usa estas distancias para calcular la ubicación del receptor en la tierra. Ver la figura 2 adjunta.

¿Que es Posicionamiento por Satélite?



- Un punto en la tierra puede calcular su posición a base de señales de radio recibida de satélites.
- Se conoce el tiempo de viaje de las señales y la velocidad de la luz
- Por lo tanto, se determina la distancia al punto GPS y su ubicación en la tierra.

Debido a que el posicionamiento mediante satélites GPS fue creado con fines militares, el Gobierno de Estados Unidos introdujo una desviación en la medición de los relojes para que pueda ser usado con fines civiles; este error es de alrededor de 100 mts. A su vez, las empresas dedicadas a la elaboración de equipos de posicionamiento satelital han encontrado la forma de reducir este error hasta centímetros, y para puntos de primer orden hasta los 5 mm.

A diferencia de su contraparte del gobierno americano, GLONASS tiene algunas diferencias significativas del NAVSTAR. Primero, los rusos no degradan la señal de los satélites como lo hace Estados Unidos. En segundo lugar, GLONASS no encripta la señal que emite. Esto significa, que combinando NAVSTAR y GLONASS, es posible mitigar las limitaciones asociadas con NAVSTAR.

GPS es un sistema de medición y de navegación altamente preciso, pero existen limitaciones topográficas en minería que obstruyen el número visible de satélites. La adición de GLONASS al GPS incrementa significativamente la disponibilidad de satélites, provee un buen control y finalmente, resulta en soluciones más exactas.

Una forma común de incrementar el nivel de precisión de la posición es usar una estación GPS estacionaria (ground station). La estación base relaciona cada posición del satélite y tiempo a una referencia común. Al conocerse la posición exacta de la estación base en latitud y longitud, ésta hace correcciones y transmite las coordenadas corregidas a los receptores de campo, los cuales pueden llegar hasta errores de un centímetro, en tiempo real.

III.1.1 NIVELES DE PRECISIÓN GPS

El Departamento de Defensa de EEUU opera y mantiene el sistema GPS para aplicaciones militares y civiles. Usando seis diferentes lugares de monitoreo alrededor del mundo, este departamento asegura la integridad del sistema total, controlando la salud y el estado de posición de los satélites.

Existen cuatro niveles básicos de precisión de una medición GPS:

- Autónomo: 15-100 mts.
- Diferencial GPS (DGPS): 0.5-5 mts.
- Cinemática en tiempo real (RTK) flotante: 20 cm-1 mt.
- Cinemática en tiempo real (RTK) fijo: 1 cm-5cm.
- Estático: 5 mm + 1 ppm (Estático fast: 1 cm + 1ppm).

La diferencia en estos niveles de precisión se debe básicamente a que éstos usan la señal de GPS de diferentes formas. Los satélites GPS emiten dos frecuencias diferentes y cada frecuencia tiene información o códigos.

El código P es reservado sólo para uso directo con propósitos militares, pero la otra información está disponible al público. El código C/A es usado para un posicionamiento menos preciso; pero, para respuestas del nivel de centímetros, se necesita la fase transportadora. La fase transportadora de frecuencia simple (L1) es adecuada para muchas aplicaciones, pero los receptores de doble frecuencia (L1/L2) ofrecen una ventaja significativa para aplicaciones en tiempo real.

El mensaje de navegación informa sobre la ubicación de los satélites, en el sistema de coordenadas WGS-84. Si se conoce la distancia a los satélites y dónde se encuentran en un tiempo dado, entonces, se puede determinar la ubicación de cualquier punto en la tierra.

El proceso estático está destinado para aplicaciones de mediciones de primer orden, como puntos de red o control de la mina. La medición puede demorar varias horas, dependiendo de la distancia entre el receptor de la estación base y el receptor ubicado en el punto que se desea calcular.

Para obtener posiciones locales precisas se necesita una calibración de coordenadas del lugar. Las posiciones de los satélites se encuentran en un sistema de referencia llamado WGS-84, por lo que se necesita transformar estas coordenadas al sistema de coordenadas local de la mina. La calibración GPS es una definición matemática de la relación entre el sistema de coordenadas satelital y el sistema de coordenadas de la mina. Una medición topográfica GPS que incluya los puntos de control topográficos de la mina debe ser realizada antes de empezar a operar el GPS con los receptores.

III.2 POSICIONAMIENTO SATELITAL EN MINERÍA

Existe un interés creciente por parte de la minería superficial de todo el mundo para realizar el sistema de posicionamiento satelital en aplicaciones tales como topográfica, despacho de volquetes y navegación para equipos como palas y perforadoras.

En minería superficial, el equipo de minado no necesariamente tiene línea de vista con la torre de control, por lo que es preferible contar con una o más repetidoras para que la información pueda llegar vía radio sin obstáculos al centro de control.

En algunos casos, se cuentan con varios PITS aledaños, por lo que tienen que ubicarse la cantidad necesaria de repetidoras que permitan cubrir a todos los equipos de los diferentes PITS y que la señal llegue a un solo punto de control donde normalmente se cuentan con las computadoras desde donde se administra el sistema.

III.2.1 CONTROL DE VOLQUETES Y DESPACHO

El SPS puede proveer posiciones en todos los volquetes, y mediante un enlace de radio, estas posiciones pueden ser enviadas a una oficina de despacho. Computadoras con software especialmente diseñado pueden determinar la ruta más eficiente para cada volquete, con el objetivo de minimizar la cantidad de tiempos en espera, optimizando la asignación del equipo de acarreo y el consecuente incremento de la productividad

III.2.2 CONTROL DE LA ALTURA DE BANCO

El SPS no solo provee la posición horizontal de cualquier punto, sino también su posición vertical, de tal forma que se pueda monitorear la elevación de cualquier banco en la mina, sin la necesidad de topógrafos.

III.2.3 NAVEGACIÓN DE PERFORADORAS

El SPS puede ser usado para guiar a una perforadora en cuanto a ubicación de los taladros se refiere, de tal forma que se evita el trabajo de replanteo con estacas de los huecos de perforación, indicando la profundidad a perforar, ahorrando tiempo y reduciendo la necesidad de topógrafos.

III.2.4 NAVEGACION DE PALAS

El SPS puede ser combinado con información de los polígonos de minado para medir y controlar la ley de mineral. Asimismo, puede informar exactamente lo que está excavando y donde lo está haciendo, en tiempo real, y esto puede ser visto en la pantalla del operador de pala, así como en la torre de control u oficina de planeamiento. Todo ello conlleva al ahorro de tiempo, reduce la dilución en los contactos de mineral y desmonte, y la necesidad de trabajos topográficos de levantamiento.

III.2.5 ESTACADO TOPOGRÁFICO

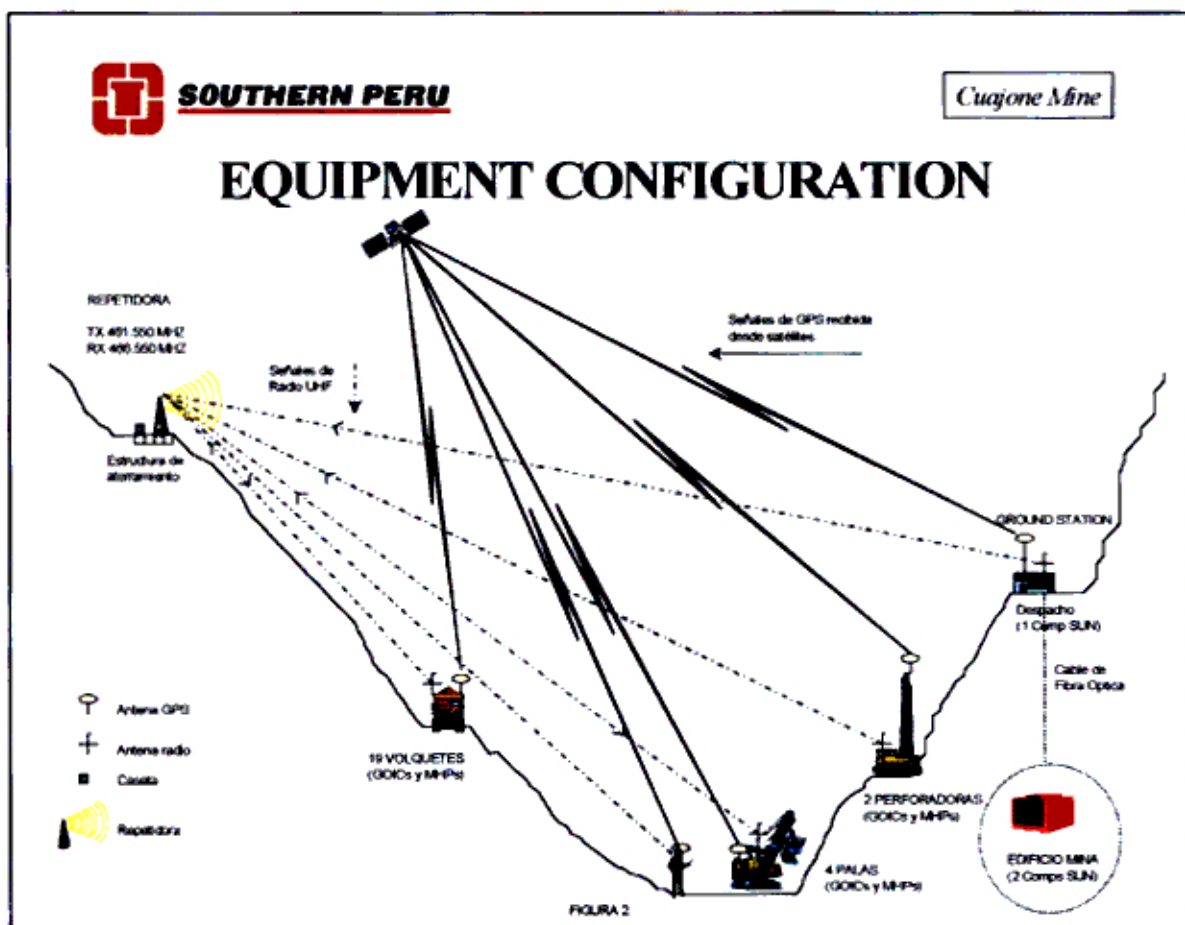
El concepto de cuadrilla de topógrafos cambia, ya que con el SPS se necesita de una sola persona para mediciones topográficas, eliminándose, por lo tanto, la cantidad de mano de obra para estos fines.

III.2.6 MOVIMIENTO DE TIERRAS

El SPS puede ser usado como una guía para los operadores de tractores, moto niveladoras, etc., para llevar la gradiente y peralte de cualquier piso, optimizando cada movimiento del equipo.

A pesar de que se utilice un sistema de posicionamiento satelital combinado GPS con GLONASS, siempre es recomendable que la estación base se encuentre en una zona alta y de la mayor cobertura de satélites. Normalmente, se instala la estación base y la torre con su repetidora en un mismo sitio, contando con todo un sistema de aterramiento bajo la eventualidad de producción de rayos que puedan afectar el sistema. Asimismo, se cuenta con un sistema de respaldo total (backup) para la energía, el receptor de la estación base y la antena repetidora.

En la figura 3, a continuación, se presenta una configuración del equipo que se encuentra con GPS en la mina Cuajone:



(Figura 3)

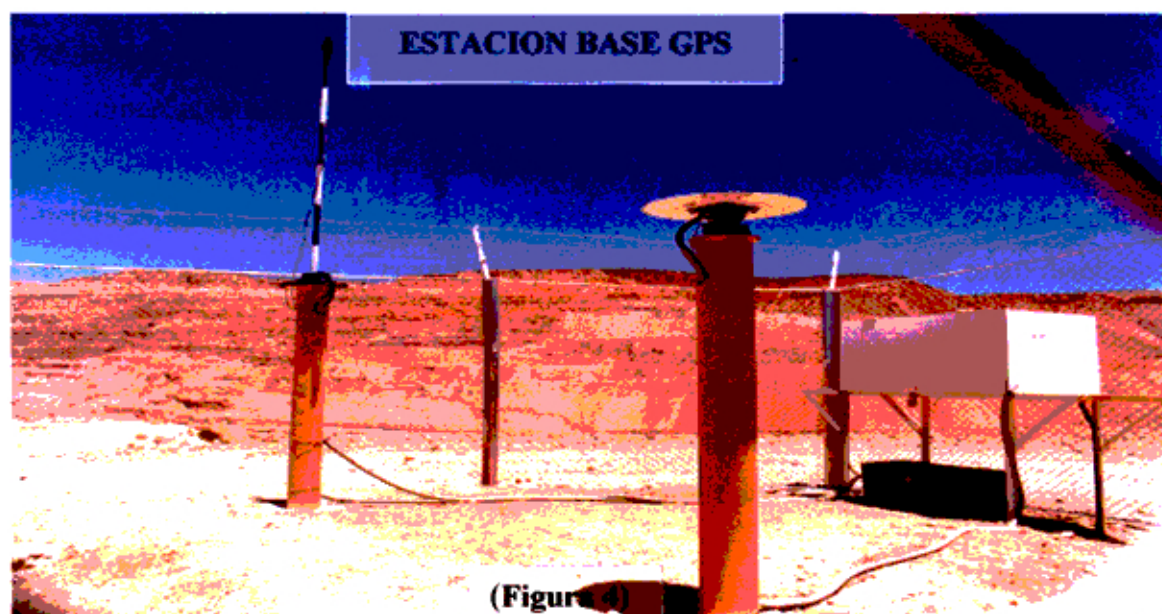
GPS Topográfico

Con respecto al posicionamiento satelital con fines topográficos, la unidad de Cuajone cuenta con una estación total GPS de alta precisión que comprende lo siguiente, una estación base o *ground station* (antena GPS, receptor base, radio de 35 W y su antena), dos receptores móviles o *rovers* (con una configuración similar a la estación base, pero portátiles), dos antenas repetidoras, y el *hardware* y *software* de cómputo necesario para la descarga de información topográfica.

La implementación del sistema GPS para topografía significó para Cuajone un cambio radical en los procedimientos topográficos con equipo convencional. Anteriormente, se utilizaban teodolitos electrónicos con rayos infrarrojos para toma de mediciones con prismas, ello implicaba la utilización de dos operadores, uno para el manejo del instrumento y otro para la ubicación del bastón con el prisma. La única excepción a la necesidad de dos operadores se presentaba cuando se moni toreaba zonas inestables de taludes, lugares donde se dejaban fijos los prismas en terreno.

También, se encontró que el sistema GPS era poco flexible de operar, ya que cada receptor móvil tenía que ser armado cada mañana con conexiones a la radio, a la antena GPS, a la antena de radio y al colector de datos, conteniendo una maraña de cables en el interior de la mochila del receptor. Por otro lado, la tarea habitual al salir al campo, era armar el receptor base (incluyendo radio y antenas) e inicializarlo, el cual se encontraba en un punto alto de la mina.

Todas estas complicaciones se fueron resolviendo con un poco de organización, la estación base fue cercada y el equipo se fijó en forma estacionaria, para lo cual se tuvo que “jalar” corriente, transformarla a 110 V y luego a 24 DC, de esta forma, se contaba con energía permanente. Asimismo, se instaló un sistema de respaldo de energía a batería para los casos de corte de corriente. Con respecto a los dos *rovers*, se armaron dos juegos completos codificados por colores, de tal forma, que el único trabajo que tenía que hacer el operador era cargar sus baterías, todo el resto de componentes tenía su ubicación fija.



Actualmente, se está operando un sistema GPS compacto que básicamente tiene como principal virtud que todo el sistema del receptor móvil, radio, antenas, baterías y receptor (figura 5), se encuentra integrado en una sola pieza, disminuyendo además ostensiblemente su peso.



Rover implementado recientemente (Figura 5)



Estación total GPS (Figura 6)

A continuación se mencionan algunos factores que afectan la señal GPS:

- **Número de satélites.**- Se deben tener por lo menos cuatro satélites comunes en el receptor base y el receptor móvil para obtener soluciones diferenciales y RTK. Además, para tener una precisión al centímetro, se debe tener un quinto satélite para la inicialización al vuelo RTK. Este satélite extra añade un chequeo en el cálculo interno: si existen más satélites extras, éstos son útiles para más chequeos.
- **Multipath.**- Es un reflejo simple de las señales. Las señales GPS pueden ser reflejadas por superficies cercanas a la antena, causando error en el tiempo de viaje y por consiguiente, un error en las posiciones GPS. Las superficies planas, particularmente metálicas, son fuentes potenciales del *multipath*. Los taludes de la mina pueden también reflejar las señales. Los “*groundplanes*” ubicados en las antenas GPS están diseñadas para minimizar los efectos del *multipath*.
- **Ionósfera.**- Antes que las señales GPS alcancen la antena en la tierra, ellos pasan a través de una zona de partículas cargadas llamada ionósfera, lo cual cambia la velocidad de la señal. Con la doble frecuencia y el código P se tiene inmunidad a la ionosfera.

- *Geometría de los satélites.*- El PDOP (Position dilution of precision) es la posición o geometría relativa de los satélites en comparación con los receptores. Si los satélites forman una geometría pobre, entonces, las mediciones pueden contener errores. El PDOP es expresado como un número y éste debe encontrarse entre 2 y 6. Se cuenta con software especializado para determinar cuando se tendrán la mayoría de satélites y su PDOP respectivo en una determinada área.
- *Tropósfera.*- La tropósfera es esencialmente la zona del clima de la atmósfera, y las gotitas de vapor de agua en éste pueden afectar la velocidad de las señales GPS. El componente vertical del GPS es particularmente sensible a la tropósfera. Modelos matemáticos en el receptor del firmware están diseñados para minimizar este efecto, los cuales se pueden encontrar dentro de unos pocos centímetros.
- *Interferencia de frecuencia de radios.*- Esta interferencia puede algunas veces ser un problema para la recepción de la señal GPS y para el sistema de radio. Algunas fuentes de interferencia de radio son: torres de radio, transmisores y generadores. Se debe ser especialmente cuidadoso con fuentes que transmiten cerca de las frecuencias de GPS (1227 MHz y 1575 MHz).

A continuación se presentan algunas condiciones necesarias para la toma de mediciones topográficas con GPS:

- Se requieren al menos dos receptores.
- Seguimiento de cuatro satélites comunes con una buena geometría.
- Los datos deben ser observados y colectados en tiempos comunes.
- Los receptores deben ser capaces de obtener fase de portadora observables (no sólo código A).
- Al menos un punto debe tener coordenadas conocidas y en el sistema de coordenadas deseado.
- Se debe tener en cuenta todas las observaciones mencionadas en el acápite anterior referente a los factores que afectan la señal GPS.

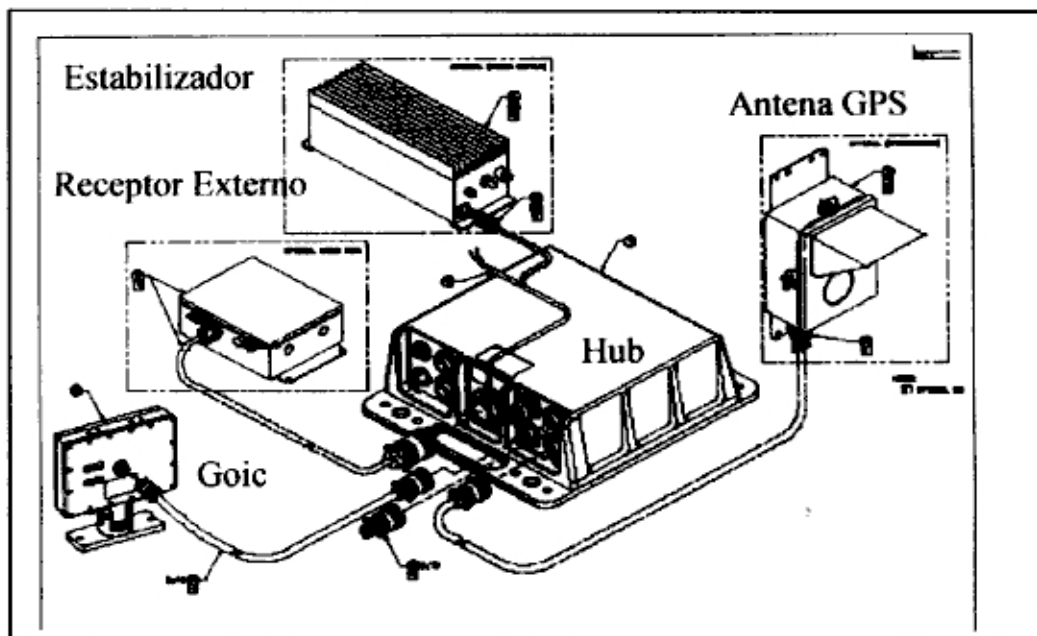
CAPITULO IV

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE DESPACHO

IV.1 CENTRO DE CONTROL DISPATCH DESDE ADENTRO

IV.1.1 COMPUTADOR PRINCIPAL

Es un computador con una gran capacidad de memoria, que contiene todo el software relacionado con el sistema de navegación de todo el equipo minero. Este computador trabaja en plataforma Unix bajo el cual corre Dispatch. En el computador se puede observar en tiempo real el trabajo del equipo de perforación, su posición dentro de la mina, sus reportes de producción y productividad, de estados del equipo, utilización disponibilidad, etc.



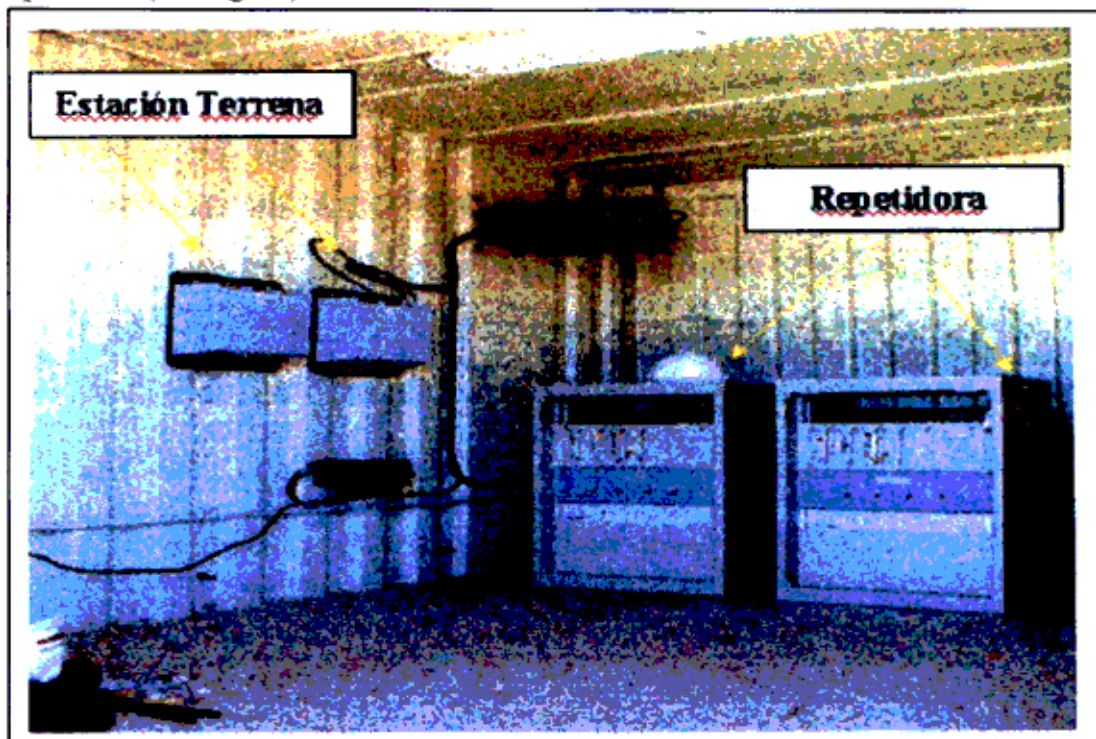
Hardware de un equipo de alta precisión

IV.1.2 SISTEMA DE PAQUETES DE INFORMACIÓN (PSW)

- **Sistema de paquetes de información (PSW).**- Es el sistema operativo propio de Modular Systems que corre con los Hubs, en las antenas dipolo, en la repetidora, etc. Viene a ser un "Procesador de comunicación", una vía netamente de comunicación. Físicamente PSW tiene la estructura de un Hub que está configurado para tener comunicación con antenas de radio, repetidoras y los Hubs de los equipos de la mina. A este Hub se le conoce con el nombre de MMP Router.

IV.1.3 EN LA ESTACIÓN DE BASE

La Estación Base es una estructura donde se localiza la Estación Terrena GPS y la Repetidora (ver figura).



- **Estación Terrena (Ground Station)** Es la estación base que tiene un receptor GPS con una posición geográfica conocida y estable el cual recibe la información de los satélites y transmite la corrección diferencial a través de radio hacia el equipo minero(palas, volquetes, perforadora, etc) para lograr la posición en tiempo real del mismo en el terreno.

Consta de una antena GPS similar a la del equipo minero la que entrega la posición de la Estación Terrena y de su propia antena dipolo conectada a la repetidora.

- **Estación Central de Radio (Repetidora)** Esta central de radios, se emplea cuando se requiere de un mayor cobertura de comunicación, se denomina del tipo de semi duplex. Recibe la información del equipo y la codifica para ser presentada en el computador de manera comprensible; también recibe la información del computador principal para ser enviada al equipo minero.

IV.2 PREPARACIÓN Y ENVIO DE LOS POLÍGONOS AL SISTEMA DISPATCH

IV.2.1 PREPARACIÓN DE LOS POLÍGONOS EN MEDSYSTEM

Los polígonos por nivel se preparan en Medsystem en un formato ASCIL.

- Nombre del archivo único para cada polígono. Ejm:**P3370.ASC**
- Formato

3370.0	3370-03/O
540019.8125	86211.1016
540002.6875	86211.6016
540006.3125	86218.8984
540013.6250	86217.6016
540049.8125	86211.1016
0	0

Donde :

- La primera fila, corresponde al nivel y al polígono que es mostrado en la pantalla grafica tanto en el goic como en el computador de Dispatch.
- Las otras filas corresponden a las coordenadas de cada polígono cerrado.

IV.2.2 TRANSFERENCIA DEL POLÍGONO AL COMPUTADOR DE DISPATCH

- El archivo que contiene los polígonos, es copiado de la PC de Ore Control, de la misma forma como se copian los panales o mallas de perforación mediante el FTP.

Una vez copiados los archivos que contienen los polígonos estos pasan a través de un proceso interno del sistema, a formar parte de un archivo de nombre Boundary.txt. Este archivo es presentado en la pantalla de graficas con los colores siguientes:

- Amarillo indicando que el polígono corresponde a mineral.
- Blanco indicando que el polígono corresponde a desmonte.
- Azul indicando que el polígono corresponde a sulfuro de baja ley, etc.

Los polígonos son desplegados en gráficas, con las características de línea que le corresponde. Estos polígonos son enviados a las palas a través de un proceso interno del sistemas de alta precisión de palas (script) para mostrarlas en el goic en la opción GPS.

Cuando la posición del cucharón se encuadre dentro de un determinado polígono en el momento de cargar (llenando el cucharón) éste cambiara a un color negro, con lo cual el sistema está indicando que la pala está trabajando con este polígono. El operador de la pala debe colocar en su pantalla con la finalidad de lograr reportar el material adecuado.

IV.3 AVANCE DE PALAS MEDIANTE EL SISTEMA DE ALTA PRECISION

Las palas realizan el levantamiento topográfico de su avance de minado basados en su sistema de alta precisión. El sistema de alta precisión reconoce la ubicación del cucharón basado en las posiciones de las antenas GPS, de tal modo que segundo a segundo va haciendo una comparación con sus polígonos cargados y registrando las cargas de los equipos de acarreo de acuerdo al polígono que reconoció. La pala cuenta con dos antenas GPS de alta precisión colocadas una en la cabina del operador y la otra en la parte posterior, adecuando la geometría de las antenas al reconocimiento del cucharón en tiempo real. Para actualizar su avance topográfico, las palas van generando circunferencias que tienen un radio igual a la del eje de giro de la pata al punto máximo de desplazamiento longitudinal del cucharón, estas circunferencias se van interceptando continuamente de tal modo que van definiendo la línea de avance o progreso de minado, ver la figura.

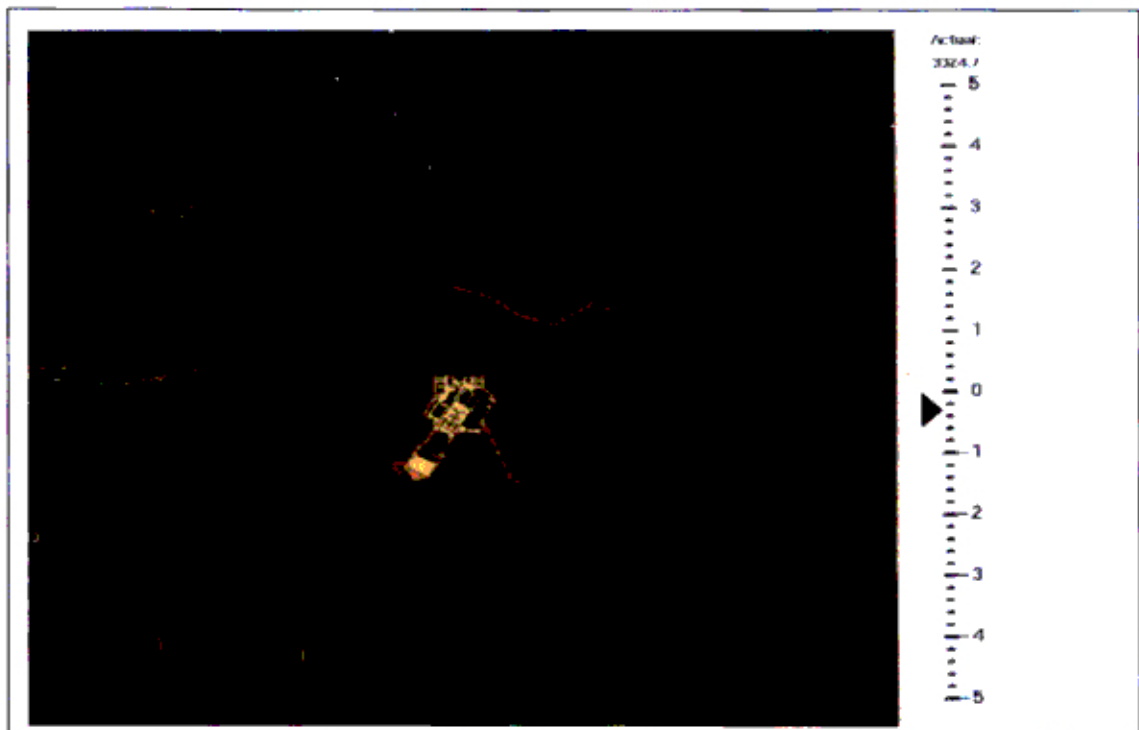


Figura - Navegación en tiempo real de la pala

Los puntos de cucharón se van generando en función, de los puntos en donde el camión es cargado, ya que cuando la pala empieza a cargar un volquete, parte de un punto de reposo que luego es registrado por el sistema justo cuando la pala de salida al volquete, desde el punto de reposo al punto de carguío se genera un ángulo de movimiento, de acuerdo a la cantidad de pasadas dadas, se obtiene un punto carga promedio. Estos puntos del cucharón y las líneas de avance son importantes para el Medsystem, para actualizar el progreso topográfico.

En la caseta de control, se puede observar las palas y el polígono que el sistema ha reconocido, su precisión, la elevación a la que se encuentra la pala, ya la forma en que se puede reenviar y actualizar la información, Ver figura.

Para el Planeamiento de Minado Semanal, se preparan cortes diarios para cada pala, esta información en transferencia en formato dxf al computador central, con la finalidad de que el ingeniero encargado que realiza el Despacho del Sistema realice el seguimiento del plan proyectado para cada equipo de carguío, y dar la orientación al operador de la pala cada vez que sea necesario.

		ESCANDOROS DE ALTA PRECISION											
		Referencia		Elevacion	Elevacion	Estado	Receptor Cabina		Receptor Posterior		Cargar	Actualizar	Reenviar
?	Escandora	Poligono	Actual	Almado	Actual	Sistema	Calidad	Satellites	Calidad	Satellites	Informacion	Informacion	Sistema
	L70	N/A	0,00	0,00	3325,00	Dr.	0,000	0	0,000	0	NO	NO	NO
	P02	3325-650	0,00	3325,00	3325,00	Dr.	0,003	6	0,004	6	NO	NO	NO
	P03	3400-2600	-0,90	3400,00	3400,00	Dr.	0,000	7	0,009	7	NO	NO	NO
	P15	3000-650	-2140856,	0,00	-409,50	Dr.	0,005	6	0,002	5	NO	NO	NO

Figura.- Ventana de administración de SPS para palas

IV.3.1 VENTAJAS DEL SPS EN PALAS

El posicionamiento de palas mediante SPS provee una correcta ubicación del cucharón de la pala y control de gradiente del piso del banco. Como una base para el posicionamiento de la pala, la información del polígono de minado (incluyendo la identificación del banco, el tipo y ley de material, los límites del polígono y gradiente objetivo del piso) es enviado a la cabina de la flota de palas, de la misma forma que se describió para perforadoras.

El posicionar correctamente el cucharón permite que el operador pueda ver en la consola ubicada en su cabina, los polígonos de minado específicos en el banco en el cual se encuentra trabajando. Luego, durante la guardia, el sistema está continuamente tomando lecturas (en alta precisión) de la posición de la cuchara y comparando estas posiciones con las posiciones de los polígonos y resalta en la pantalla con otro color, el polígono que se está excavando.

El sistema también muestra los puntos de excavación exactos en cada polígono, analizando los datos SPS, los cuales son diferentes en giro, excavación y modos de descarga. Esto permite al operador verificar que ellos estén excavando los polígonos correctos todas las veces, aún cuando sea de noche o bajo condiciones climáticas adversas (como cuando se tiene una neblina espesa), y moverse de polígono a polígono sin el requerimiento de estacas de mineral. Esto se traduce, finalmente, en una menor dilución del mineral en los contactos (límites entre polígonos de minado) y un conteo y mezcla más preciso de las cargas.

Para asistir en el control de la gradiente del piso del banco, el sistema muestra una barra de elevaciones en la consola del operador, que indica si las orugas de la pala se encuentran por encima o por debajo de la elevación objetivo del piso del banco, el cual debe ser representado por cero (ver dibujo adjunto). Esto permite a los operadores controlar su propio piso sin la necesidad de que personal de topografía lleve este control. Esta opción es sumamente útil cuando la pala tiene que minar en gradientes mayores al 0%, ya sea por drenaje o por diseño de rampas. Ver figura

Sistema de Navegación en Palas

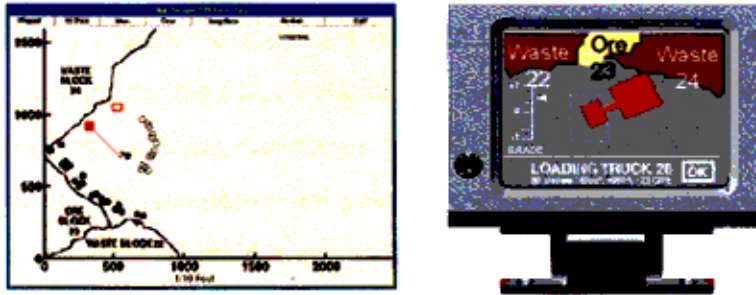


FIGURA 7

IV.4 APLICACIÓN DEL SPS EN VOLQUETES

El sistema de posicionamiento por satélites está usándose cada vez más frecuentemente, en combinación con un sistema de despacho computarizado para controlar la distribución adecuada de los volquetes hacia las palas y botaderos. Debido a que el sistema cuenta con la ubicación GPS de los equipos de minado como palas y volquetes en tiempo real, éste puede tener información de las distancias y velocidades entre éstos y asignar en forma correcta la distribución del equipo de acarreo.

La operación en Cuajone se realiza de la siguiente forma: los receptores móviles ubicados en las palas y volquetes, continuamente toman posiciones, usando las señales de los satélites y las correcciones DGPS, que envía el receptor base (*ground station*). Estas posiciones son enviadas a la computadora central mediante radio, cada vez que pasan por unos beacons (balizas virtuales, creados en el sistema con un determinado radio de influencia) y de esta forma, el *software* de despacho utiliza esta información para determinar la mejor ruta de los volquetes y la correcta asignación de este equipo a palas o puntos de descarga (botaderos y tolvas de transferencia).

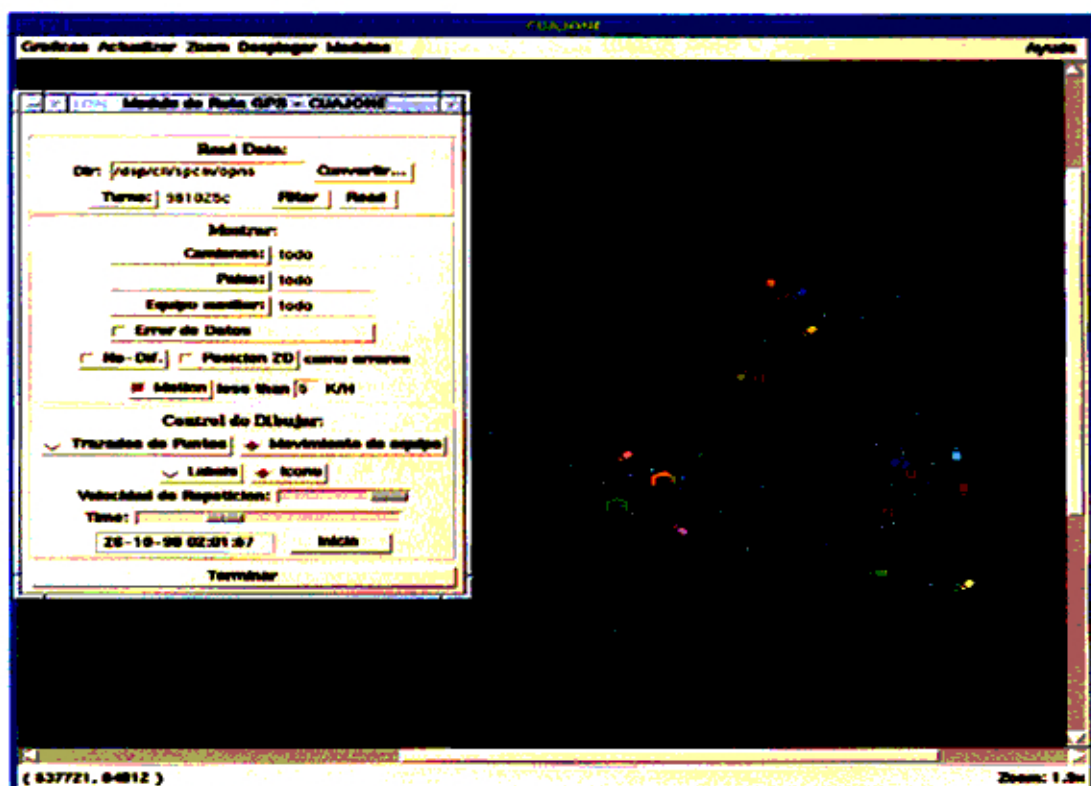
Algunos de los *beacons* pueden configurarse como puntos de reasignación de los volquetes, de tal forma, que al pasar dichos volquetes por estos puntos, el sistema re-examina la situación de los equipos y puede reasignar el equipo a otra pala o botadero.

Los datos posicionales son colectados a intervalos regulares durante la guardia de operación y almacenados en una base de datos, normalmente cada 30 segundos. Las minas pueden usar los datos posicionales históricos de los equipos para generar rutas del equipo en movimiento durante un período determinado. Estas rutas tienen numerosos usos, tales como monitoreo del avance de excavación de palas, modelos de descarga, y uso de carreteras. Debido a que cada lectura SPS es también grabada, las rutas pueden servir también para asistir en investigaciones de accidentes.

Realmente, con el SPS los usuarios pueden mostrar gráficamente los datos de posicionamiento en tres diferentes formas, en tiempo real, mostrando las ubicaciones del equipo en el momento; históricamente, como un ploteo *scatter* (nube de puntos) o como una reproducción del movimiento de equipo de una guardia completa de trabajo. En la figura 4 se presenta un gráfico del movimiento de equipo en tiempo real, en un sector de la mina Cuajone.



Una precisión de hasta cinco mts. es suficiente para la mayoría de aplicaciones del equipo móvil (precisión utilizada en Cuajone). Este nivel de precisión permite, por ejemplo, determinar en cual lado de la pala, un volquete está siendo cargado o en qué lado del botadero un volquete está descargando.



En la figura podemos ver el modulo de reproducción de movimiento de equipo

Bajo este sistema no sólo se puede distribuir mejor el equipo con el consiguiente incremento de la productividad y reducción de costos, sino que se pueden hacer simulaciones, de tal forma que se puede planificar con mayor exactitud el requerimiento de volquetes a futuro.

El *software* de despacho de volquetes que utiliza Cuajone, usa el siguiente procedimiento para optimizar la asignación del equipo de acarreo:

- Determinación de la mejor ruta, busca la ruta más corta entre un origen y un destino.
- Usa la programación lineal, para determinar la cantidad necesaria de volquetes para el equipo de carguío, evalúa esta situación cada media hora o cada vez que se presenta alguna anomalía (parada o entrada de algún equipo).
- Usa la programación dinámica, para determinar la mejor asignación de cada volquete de la mina.



En la figura podemos ver la ruta esquemática del sistema Dispatch

Así mismo, el sistema permite que desde las computadoras de los talleres de mecánica y electricidad puedan apreciar el funcionamiento del motor principal y de la parte eléctrica de los volquetes, en forma respectiva. Para ello, se ha conectado al sistema, el DDEC, el cual entrega información del motor principal, y el STATEX, que entrega información de los motores de tracción y de la parte eléctrica, en general. Con ello, el personal de mantenimiento tiene una buena herramienta para controlar y prevenir las reparaciones del equipo de volquetes. También, se tiene conectado al sistema la balanza (*payloadmeter*) de estos equipos, de tal forma, que se pueda contar con la producción real de la mina.

IV.5 APLICACIÓN DEL SPS EN EQUIPOS DE PERFORACIÓN

El posicionamiento de perforadoras a través de SPS de alta precisión usa el método cinemático en tiempo real y cuenta con una consola en la cabina para guiar o “navegar” al operador. La consola muestra la malla de perforación virtual diseñado para la perforadora, usando coordenadas de taladros pre-determinados en el sistema de base de datos. Esto permite a los operadores ampliar la zona de perforación (“zoom in”) y empezar a perforar sin el uso de estacas de señalización.



En la figura adjunta se muestra un ejemplo:

Cuando la perforadora se encuentra en la posición correcta de perforación, el operador cambia el *display* de la pantalla para que muestre otros atributos, como profundidad del taladro, tasa de penetración, profundidad del fondo del taladro, etc. Los perforistas usan esta información para reducir la sobre o sub-perforación, así como para llevar estadísticas de estos parámetros de perforación por tipo de roca, de tal forma que puede evaluarse y determinar el mejor diseño de malla de perforación por tipo de roca. Ver figura.



IV.5.1 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE NAVEGACIÓN PARA PERFORADORAS

El sistema de posicionamiento satelital para perforadoras, usa el método cinemático en tiempo real (RTK) que emplea la combinación del sistema americano GPS (Navstar) y el sistema ruso (Glonass), contando para ello con receptores GG24 proporcionado por **Ashtech**. Esta tecnología de Posicionamiento Satelital a su vez es empleada por la empresa Modular Mining Systems de los Estados Unidos quienes proveen el sistema de administración minera **Dispatch** que contiene el hardware el software para realizar: el despacho de volquetes y el sistema **Intellimine** para navegación de alta precisión para palas, cargadores frontales y perforados.

Al igual que cualquier receptor GPS, el GG24, al encenderse entra en una fase de afinamiento de la precisión que pasa por tres estados bien diferenciados; en el primer estado (POS), el sistema se inicia con una mala precisión ya que está entrando en contacto con los satélites y su precisión puede ir desde 20 m. hasta los 5 m., en el segundo estado (ELEV), el sistema alcanza una precisión que va desde los 0.10 m. hasta 0.19 m. En donde el equipo puede emplear la referencia en el plano, este-norte, mas aun existe un error en la elevación que puede llegar hasta los 35-80 cm., en la tercera etapa (OK), la precisión va desde 0.009 m. hasta 0.012m. es en esta etapa que existe una óptima precisión en al cual el equipo inicia su trabajo, el paso desde la etapa 1 hasta la 3, toma un tiempo que va desde 1 minuto hasta 2.5 minutos. En esta última etapa, se encuentra listo el sistema para iniciar la navegación dentro del panel planeado.

IV.5.2 COMPONENTES DEL SISTEMA

El sistema de posicionamiento consta de la parte física del sistema que se manifiesta en el equipo de perforación, en la torre de control desde donde se monitorea todo el equipo minero que posee GPS de baja y alta precisión y en la estación terrena.

- **Hub** Parte física del sistema que contiene una parte del sistema de comunicación GPS que realiza el enlace de toda la comunicación del Goic con el computador y además cuenta con un sistema de interfase con el equipo minero que monitorea sus signos vitales.
- **Goic** Es la consola gráfica a color del tipo sensible al tacto (touch screen), es decir que su interacción es mediante la presión de los dedos directamente sobre la pantalla en la cual se van colocando todos los eventos de la operación; se ubica en la cabina del operador (ver figura 04). Uno de sus módulos, recibe los paquetes de información que contienen la posición de los taladros planeados y los muestra gráficamente en la pantalla para ir progresivamente replanteándolos uno a uno según la secuencia de perforación establecida. El Goic está conectado al Hub mediante un cable Loop, el Hub está conectado a una fuente de poder, la cual da energía para ambos a 12 v.
- **Receptor GPS Interno** Consta de un módulo GPS de alta precisión que está comunicado a la antena GPS delantera del equipo (cabina de la perforadora) que permite la localización del equipo de perforación sobre el terreno junto con receptor externo.
- **Receptor GPS Externo** Es un módulo GPS de alta precisión que está comunicado a la antena GPS posterior del equipo que junto al receptor interno, permiten la localización del equipo de perforación sobre el terreno. El contar con dos antenas en el equipo permite definir una línea que pasa por el eje de la perforadora y se muestra en el Goic, de tal modo que pueda facilitar al operador seguir una dirección correcta respecto a la fila de taladros.

- s **Antena GPS** Recibe desde el satélite la información de posicionamiento en tres dimensiones de la perforadora. El equipo consta de dos antenas cada una conectadas a un receptor GPS.
- s **Antena Dipolo de Radio** Se emplea para la transmisión de la información desde el equipo de perforación hacia la repetidora y viceversa: de ida y retorno.

IV.5.3 VENTAJAS DEL SPS PARA LAS PERFORADORAS

Las ventajas del sistema de navegación para perforadoras son:

- Capacidad de transferir la información de los taladros directamente al camión de carga de explosivos.
- Reducción de sobreperforación debido a la variación en el nivel de terreno versus la variación asumida en el collar: reducción de costos de perforación.
- Mejor comunicación entre el personal de Perforación, voladura, ingeniería y Supervisión de operadores. Todos tienen acceso a observar la secuencia de trabajo del equipo a través de sus computadoras personales mediante el Reflection X (emulador del sistema Unix)
- Menor tiempo empleado para cada taladro perforado, ya que el operador desde su propia cabina puede replantear - navegar el taladro, sin necesidad de bajar de su perforadora y moverla a control remoto.
- Almacenamiento de toda la información de los parámetros mecánicos de la perforación en bases de datos relacionales para ser empleados como herramienta para el departamento de Perforación y Disparos de Ingeniería Mina para planes de perforación.
- Permite hacer cambios rápidos para el diseño de la malla de perforación según el requerimiento de un plan definido por todos los departamentos involucrados.

- La actualización de los problemas en el Goic del equipo es muy rápida , dependiendo cuanto tiempo se tarde en realizar los cambios de Medsystem (sistema de planeamiento de minado) y preparar el archivo que será cargado a Dispatch .

IV.6 IMPLEMENTACIÓN DEL SPS PARA TRENES

El sistema de posicionamiento satelital instalado en trenes en combinación con un sistema de Despacho computarizado para controlar los registros de la producción, de los ciclos a acarreo, un control de todos los estados de estos equipos (demoras operativas, mecánicas, stanby u operativo), está empleándose en la mina Cuajone desde Septiembre de este año. Debido a que el sistema cuenta con al ubicación GPS de baja precisión (errores hasta 5m.) para cada equipo, en tiempo real este puede tener información de distancias y velocidades entre los diferentes puntos de la vía y asignar en forma correcta los trenes a los lugares de carga, que para nuestro caso se estará empleando tolvas de transferencia (donde se tiene material descargado por volquetes) o identificar cuando un tren está llegando, descargando o esperando en la chancadora. De la misma manera unido al sistema de trenes se va a configurar el sistema de comunicación en chancadora en donde su operador podrá conocer con exactitud en que tiempo va a llegar un tren, con la finalidad de realizar en el tiempo de espera algún trabajo, como limpieza, desatoro, conocer si hay problemas con los equipos de la mina que limitan el envío de mineral, etc.

Con el SPS los usuarios pueden mostrar gráficamente los datos de posicionamiento (que son almacenados cada 20 segundos) en tres diferentes formas; en tiempo real, mostrando las ubicaciones del equipo en el momento; históricamente, como un ploteo scatter (nube de puntos) o como una reproducción del movimiento del equipo, lo que puede servir para asistir a la investigación de accidentes.

Las tolvas de transferencia también cuentan con el sistema Dispatch en cuanto a comunicación de radio/data se refiere, ya que son puntos estáticos, no requieren de señal GPS, cuenta con una pantalla sensible al tacto permitiendo informar al sistema acerca de los estos dos, la capacidad a la que se encuentra en un momento dado para que pueda recepcionar mineral desde la mina o restringir la llegada de volquetes si se encuentra dicha tolva llena, como el tren trabaja con un determinado número de vagones, que por lo general son 17, el operador de la tolva antes de iniciar a cargar, debe colocar la locomotora y su número de vagones que va a cargar, para que el tonelaje acarreado coincida con la cantidad de vagones a llenar.



En las figuras podemos ver el Tren con su maquinista y tolva de transferencia Hopper B

Los reportes de producción y status del equipo, no sólo puede emplearlo el Area de Operaciones Mina sino también el Area de Mantenimiento pudiendo hacer un seguimiento de los problemas mecánico - eléctricos más frecuentes, con la finalidad de subsanarlos en el momento adecuado, con lo que se logra mantener un alto performance a los trenes de acarreo de mineral, buscando la mejor disponibilidad y utilización.

CAPITULO V

OPTIMIZACIÓN DE DEMORAS OPERATIVAS

V.1. APLICACIÓN DE TEORÍAS DE INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES

La investigación de operaciones es un procedimiento o un enfoque para resolver problemas relacionados con la toma de decisiones en diferentes campos de aplicación, en general como la Economía, Industria, Política, etc y en particular como la Minería.

La aplicación de la investigación operativa en ciertos problemas específicos, tiene como objetivo la determinación de la decisión óptima según cierto criterio pre- especificado.

El concepto de decisión en la solución de un problema está relacionado con la existencia de diferentes alternativas o cursos de acción. En particular, el proceso de tomar una decisión consiste en escoger una alternativa.

En nuestro caso en particular que es la aplicación del dispatch para la optimización del tráfico del volquetes, se explicara la simulación que involucra a esta herramienta.

V.1.1 APLICACIÓN DIRECTA DE LA TEORÍA DE COLAS

La formación de colas es la manifestación de un sistema congestionado. Muchos sistemas de interés en un estudio de simulación contienen procesos en que hay demanda por servicio que provoque congestión. El sistema puede dar servicio a las entidades a un ritmo que en general es mayor que la tasa a que llegan las entidades, aunque hay fluctuaciones aleatorias en la tasa de llegadas, la tasa de servicios o ambas. Como resultado de ello, hay ocasiones que llegan mas entidades.

DEFINICIÓN DE LA TEORIA DE COLAS: La teoría de colas es un estudio matemático de las líneas de espera. A través de este estudio es posible aislar algunos factores tales como:

La longitud promedio de la línea de espera (cuantas unidades están en la cola).

El tiempo promedio que una persona, elemento, máquina, evento, molécula, etc., debe esperar en la cola antes de ser atendido.

El número estimado de elementos es el sistema total.

El tiempo estimado que un elemento estará en el sistema total.

Las probabilidades asociadas con eventos específicos creados por la línea de espera, y muchas otras características.

Con este conocimiento es posible cambiar el proceso de tomar decisiones con respecto a las líneas de espera de una forma cualitativa a una forma cuantitativa mejorando por lo tanto, las probabilidades de tomarlas correctamente.

La teoría básica de las líneas de espera para un estudio matemático puede ser dividida en dos partes que son las siguientes:

La primera se ocupa de distribuciones típicas desde donde algunas fórmulas matemáticas son derivadas; mientras que la segunda se ocupa de distribuciones hipotetizadas empíricas clásicas las cuales pueden ser analizadas a través de los métodos de simulación. Por otro lado, se debe mencionar que la primera parte es algo restrictiva desde que esta requiere que los tiempos de llegada sigan la distribución de Poisson y que los tiempos del servicio sigan la distribución exponencial.

PARTES PRINCIPALES DE UN MODELO MATEMÁTICO QUE REPRESENTA UNA LINEA DE ESPERA

Tres son las partes principales de la referencia y estas son las siguientes:

Los solicitantes de un servicio cualquiera.

La línea de espera propiamente dicha (cola).

La facilidad para dar el servicio correspondiente.

Generalmente hablando las facilidades para proveer el servicio tienen las siguientes restricciones:

Camiones siendo cargados por un cargador, pala, faja transportadora, etc.

Clientes pagando en las cajas registradoras de un supermercado.

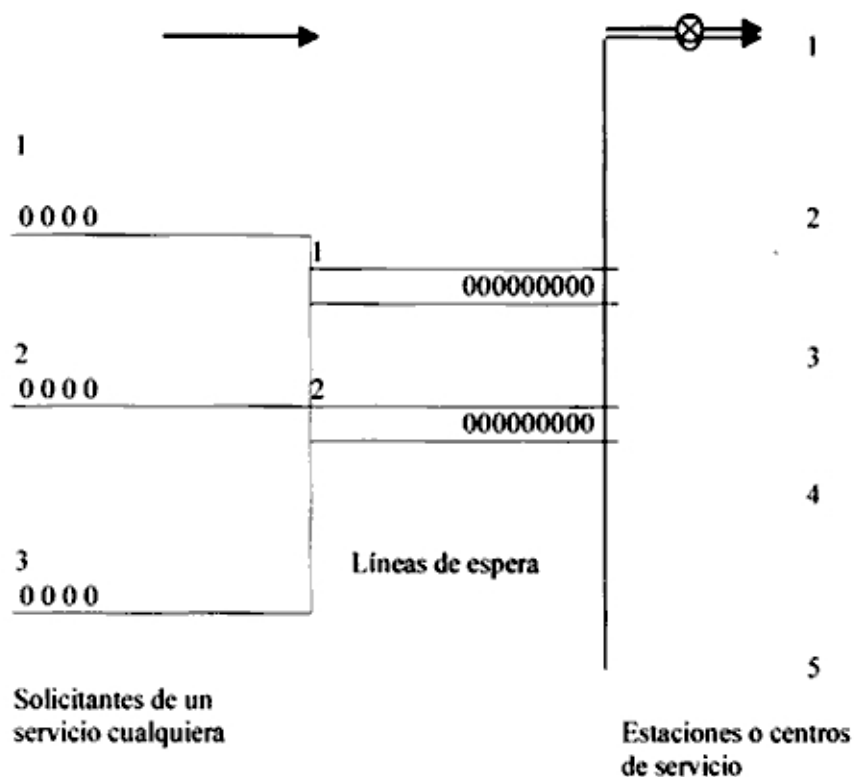
Impresiones siendo procesados por una computadora.

Mecánicos recogiendo sus herramientas de un almacén, etc.

En la tabla se muestra algunos ejemplos típicos de líneas de espera.

NATURALEZA DE LOS SOLICITANTES	NATURALEZA DE LOS SERVICIO	NATURALEZA DE LAS ESTACIONES
Vehículos	Paso en un cruce	Semáforos
Clientes	Entrega contra inventario	Inventarios
Correo	Mecanografía	Secretaria
Pedidos de ejecución	Confecciones o reparación	Talleres
Incendios	Extinción	Carros bomberos
Maquinas en reparación	Reparación	Mecánicos
Mensajes	Desciframiento	Descifradores
Llegadas de automóviles	Aduanas	Agentes
Llamadas telefónicas	Conversaciones	Circuitos
Aviones	Aterrizaje	Pistas
Barcos	Descarga	Muelles
Clientes	Venta de un artículo	Vendedores
Camiones	Siendo cargados	Palas

En la figura se muestra las partes principales o la estructura física de las líneas de espera en una forma muy general.



NATURALEZA Y ORIGEN DE LA TEORÍA DE LAS LÍNEAS DE ESPERA

Como se ha mencionado anteriormente, una línea de espera o más comúnmente llamada una “cola” es el resultado en que la demanda por un servicio cualquiera es mayor que la capacidad instalada para proveer dicho servicio. Un ejemplo común de muestra vida diaria lo representan las ventanillas de un banco y las grandes colas que se forman en determinadas fechas de cada mes, de cada año y determinadas horas del día, etc.

Por otro lado, la teoría de la línea de espera encontró sus primeras aplicaciones reales a comienzos del presente siglo; y hubieron muchos científicos que fueron los pioneros de esta teoría.

Los hombres de negocios y la comunidad científica de esta época, fueron muy receptivos a esta nueva teoría; porque los costos operacionales fueron aumentando y las administraciones de ese entonces encontraban que no era económico proveer con una capacidad instalada en demasía para dar cualquier servicio. Al mismo tiempo los científicos que trabajaban en esta nueva teoría se vieron obligados a diseñar sistemas que tuvieron mayor velocidad en los procesos operacionales y que tuvieran mayor capacidad instalada para proveer los servicios, etc.

CAMPOS DE APLICACIÓN DE LA TEORÍA DE COLAS

Si analizamos por un momento nuestra vida diaria; nos daremos cuenta que siempre estamos formando “colas”; ya sean estas planificadas o no; y si se tiene en cuenta las horas - hombre que se emplean haciendo colas; este debería ser un tema de profunda reflexión. De tal manera de encontrar los medios y métodos de minimizar estas horas - hombre perdidas.

Por otro lado, la teoría de colas ha sido o puede ser aplicada a las siguientes áreas:

Reacciones químicas, procesos de filtración, movimiento de moléculas de gases, negocios de todo tipo, inventarios, en los sistemas de los procesos judiciales, en los conductores de sonidos, en medicina en general, en peluquerías, en sistemas de transporte de todo tipo, establecimiento de la relación adecuada de hombre - máquina; de tal manera de minimizar la interferencia de la máquina, etc.

CARACTERÍSTICAS DE LOS PROCESOS DE LAS LINEAS DE ESPERA

Las principales características de los procesos de las líneas de espera entre otras son las siguientes:

- Forma de llegada de los clientes.
- Forma de dar el servicio por los que lo ejecutan.
- Disciplina que debe mantenerse en la cola.
- Capacidad del sistema.
- Número de canales para dar el servicio.
- Número de etapas para dar el servicio.

CONCEPTOS MATEMÁTICOS EN LOS QUE SE BASA LA TEORIA DE COLAS

1. EL PROCESO DE POISSON

Para explicarse el proceso de Poisson debe considerarse una serie de eventos E resultantes de la repetición de un mismo experimento y que ocurren consecutivamente.

El número N, de eventos que ocurren en el intervalo de tiempo t, es una variable aleatoria a la cual se le puede llamar N; a la probabilidad que $N = n$ se le podrá llamar $P_{\dots\dots\dots}(t)$.

Propiedades Poissonianas

Las propiedades de la referencia son las siguientes:

$P_{\dots\dots\dots}(t)$ dependerá solamente y principalmente del intervalo de tiempo y no del instante inicial (homogeneidad en tiempo estacionaridad en tiempo).

La probabilidad que el evento E ocurrirá mas de una vez durante el intervalo de tiempo dt es infinitesimalmente pequeña en relación a dt.

La probabilidad que E ocurrirá una vez durante un intervalo de tiempo dt es proporcional a dt; y esta es escrita dt.

La variable aleatoria N

Permanente constante cuando E no ocurre.

Se incrementa en 1 cuando E ocurre.

Es inicialmente cero.

Luego N es una función de t y puede asumir los valores 0,1,2,3,.....,n a instantes aleatorios t.....pasando abruptamente de 0a1, de 1a 2, etc.

La función aleatoria N(t) define el proceso de Poisson y es también un ejemplo típico de una cadena Markoviana que será descrita, evaluada y discutida con mayor profundidad en un siguiente libro. Por otro lado, N(t), será completamente definida por P.....(t).

Teorema No.1: Distribución de Poisson

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, en un proceso de Poisson, el número de eventos que pueden ocurrir en un intervalo de tiempo t son variables aleatorias que siguen una distribución de Poisson cuyo parámetro es λt ; es decir que la probabilidad que ocurra n eventos en un intervalo de tiempo t esta dada por la siguiente expresión matemática:

$$P_{n}(t) = \frac{(\lambda t)^n \cdot e^{-\lambda t}}{n!}$$

Luego se tiene que:

$P_0(t) = e^{-\lambda t}$ representa la probabilidad que no habrá llegadas en el tiempo t.

y

$P_1(t) = 1 - e^{-\lambda t}$ representa la probabilidad que habrá una llegada en el tiempo t.

Luego la probabilidad de más de una llegada estará por la siguiente expresión matemática:

$$1 - (e^{-\lambda t} + \lambda t e^{-\lambda t}) \quad \text{o}$$

$$1 - \left\{ \left[1 - \lambda t + \frac{(\lambda t)^2}{2!} + \dots + \lambda t \left[1 - \lambda t + \frac{(\lambda t)^2}{2!} \right] \right\}$$

$$= \frac{(\lambda t)^2}{2!} + \dots$$

= $0(t^2)$ que es una función que se comporta como t^2 .

Por otro lado, cuando t es pequeño; los términos t^2 son despreciables comparados con los términos t elevados a la primera potencia o los términos donde no aparece t .

La probabilidad de al menos una llegada durante el tiempo t esta dada por la siguiente expresión matemática:

$$1 - e^{-\lambda t} = \lambda t + 0(t^2) = \lambda t$$

La probabilidad de que NO ocurra ninguna llegada esta dada por la siguiente expresión matemática: $e^{-\lambda t}$:

$1 - \lambda t + 0(t^2) = 1 - \lambda t$ cuando t es pequeño. Ahora se puede escribir lo siguiente:

$$P_{\dots}(t + \Delta t) = P_{\dots}(t) \cdot P_{\dots}(\Delta t) + P_{\dots}(t) \cdot P_{\dots}(\Delta t) +$$

$$0_{\dots}(\Delta t) \quad \text{pero: } P_{\dots}(\Delta t) = \lambda(\Delta t) \quad \text{Y}$$

$$P_{\dots}(\Delta t) = 1 - \lambda(\Delta t).$$

Luego se tendrá lo siguiente:

$$P_{\dots}(t + \Delta t) = P_{\dots}(t) \cdot [1 - \lambda(\Delta t) + P_{\dots}(t) \cdot P_{\dots}(\Delta t)] \quad \text{o}$$

$$P_{\dots}(t - \Delta t) = P_{\dots}(t) + [P_{\dots}(t) - P_{\dots}(t)] \lambda(\Delta t).$$

Luego se tendrá lo siguiente:

$$1. \frac{dP_{n...}(t)}{dt} = P_{n...}(t) - P_{n...}(t) \text{ para } n = 1, 2, 3, \dots$$

$$\lambda \text{ dt}$$

Para $n = 0$, esto no se cumple porque se tiene lo siguiente:

$$\begin{aligned} P_{0...}(t + \Delta t) &= P_{0...}(t) \cdot P_{0...}(\Delta t) \\ &= P_{0...}(t) (1 - \lambda \Delta t) \end{aligned}$$

Pero desde que:

$$P_{0...}(t + \Delta t) - P_{0...}(t) = [-P_{0...}(t) \lambda \Delta t]$$

$$\frac{dP_{0...}(t)}{dt} = -\lambda P_{0...}(t) \quad \delta$$

$$\frac{dP_{0...}(t)}{P_{0...}(t)} = -\lambda dt$$

$$\begin{aligned} \ln P_{0...}(t) &= -\lambda t + c \\ P_{0...}(t) &= e^{-\lambda t + c} \end{aligned}$$

Pero: $P_{0...}(0) = 1$ y $P_{0...}(0) = 0$ siendo $n \neq 0$

Por ejemplo se tendría que:

$$P_{0...}(0) = e^{-\lambda \cdot 0 + c} = 1 \quad \delta \quad c = 0$$

y por lo tanto: $P_{0...}(t) = e^{-\lambda t}$

Por otro lado, KAUFMANN usa la transformación de CARSON-LAPLACE para probar que: $P_{n...}(t) = \frac{(\lambda t)^n e^{-\lambda t}}{n!}$, mostrando que la variable aleatoria ² es distribuida de acuerdo a la Ley de Poisson.

La transformación de CARSON-LAPLACE cambia las ecuaciones diferenciales una forma algebraica desde la cual la solución de $P_{n+1}(t)$ prueba ser Poissoniana.

Teorema No.2: Distribución Exponencial

Ahora se debe tratar de encontrar la ley de las probabilidades que gobiernan los intervalos de tiempo que separan dos eventos sucesivos.

Los intervalos de tiempo entre dos llegadas de un proceso de Poisson con un parámetro λ puede ser encontrado como sigue:

Si una llegada justo ha ocurrido; el intervalo de tiempo para que ocurra la siguiente llegada será menor que t , si y solamente si, hay una o más llegadas en dicho intervalo de tiempo.

Luego la probabilidad de una o más llegadas y por ende, la probabilidad que el intervalo de tiempo entre dos llegadas sea menor que o igual que t esta dada por la siguiente expresión matemática:

$$\sum_{n=0}^{\infty} \frac{(\lambda t)^n e^{-\lambda t}}{n!} = 1 - e^{-\lambda t}$$

Esta expresión matemática representa la distribución acumulativa. Por diferenciación se puede obtener la función de densidad exponencial: $\lambda e^{-\lambda t}$.

Por otro lado, se sabe que cuando las llegadas a una línea de espera son Poissonianas los intervalos de tiempo entre inter-llegadas están relacionadas mediante una función experimental.

CLASES DE SERVICIOS

Los servicios pueden ser descritos en relación al tiempo requerido para este. Entre otros se pueden tener los siguientes:

Constante

Por ejemplo un elemento de máquina en algún proceso podría funcionar en un tiempo prefijado.

Variable

En este caso la longitud del servicio podría variar pero el modelo podría ser conocido.

DISCIPLINA DE LA COLA

La disciplina de la referencia es la forma en que los clientes o usuarios que conforman la cola son elegidos para ser atendidos. En este caso, la situación más simple es cuando se tiene una sola cola y la disciplina a emplearse es :

- PRIMERO en llegar primero en ser atendido (FIFO).

También se pueden tener otras situaciones donde se puedan dar ciertas prioridades como por ejemplo:

- ÚLTIMO en llegar – primer en ser servido (LIFO).
- SERVICIO en orden aleatorio (SIRO).
- DISCIPLINA de servicio general (GSD), etc.

EL SISTEMA

Por el término sistema se entiende a la línea de espera o cola y al servicio que se provee. En otras palabras, los clientes o usuarios formando la cola y los clientes o usuarios que están siendo servidos es lo que constituye la demora del sistema o simplemente “El Sistema”.

CLASIFICACIÓN DE LAS LÍNEAS DE ESPERA O COLAS

Las líneas de espera o colas en primer lugar han sido clasificadas tomando como base la fuente o población desde donde ellas provienen ya sea esta finita o infinita. Luego ellas también han sido clasificadas como sigue:

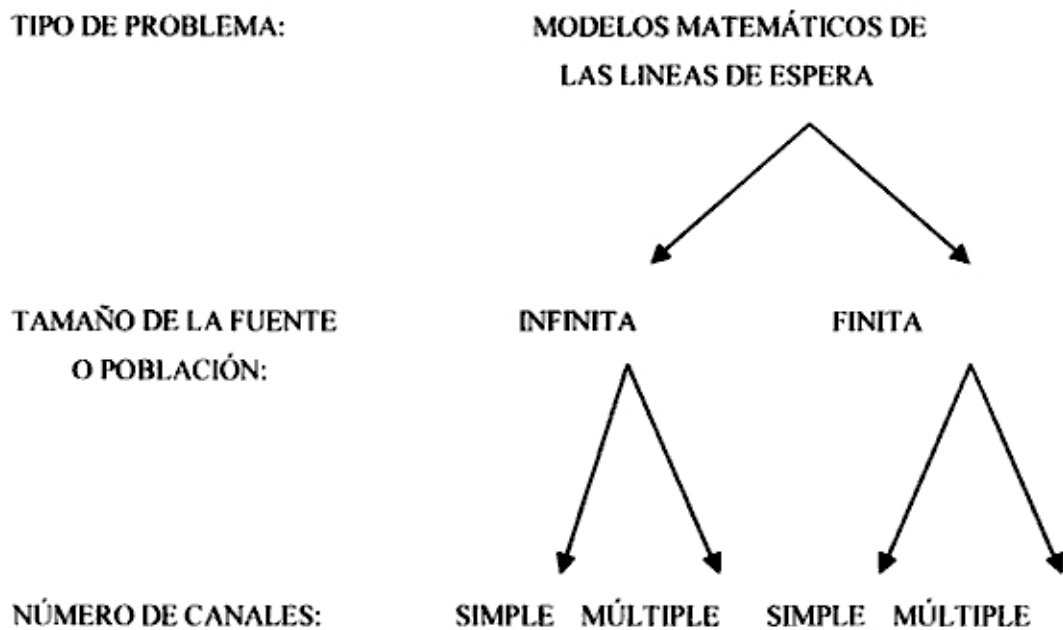
- 1.1 UNA LÍNEA – UN CANAL DE SERVICIO
- 1.2 UNA LÍNEA – MÚLTIPLES CANALES DE SERVICIO
- 1.3 MÚLTIPLES LÍNEAS – MÚLTIPLES CANALES DE SERVICIO (Sin poder cambiar las líneas)
- 1.4 MÚLTIPLES LÍNEAS – MÚLTIPLES CANALES DE SERVICIO (Pudiendo cambiar las líneas)
- 1.5 ESTACIÓN – A – ESTACIÓN

Por otro lado, existen otras clasificaciones que son usadas cuando se trata de situaciones especiales. En estos casos las matemáticas requeridas para solucionar este tipo de problemas son generalmente muy complejas y para encontrar la solución para estos problemas normalmente se usan las técnicas de simulación.

Existen otras combinaciones adicionales de acuerdo a que las llegadas o los servicios sean aleatorias constantes. Estas combinaciones pueden ser las siguientes:

- LLEGADAS CONSTANTES – SERVICIO CONSTANTE
- LLEGADAS RANDOM – SERVICIO CONSTANTE
- LLEGADAS CONSTANTES – SERVICIO RANDOM
- LLEGADAS RANDOM – SERVICIO RANDOM, etc.

En la figura MOSTRANDO LA CLASIFICACIÓN GENERAL DE LOS MODELOS MATEMÁTICOS DE LAS LÍNEAS DE ESPERA



CAPITULO VI

OPTIMIZACIÓN DEL ACARREO POR VOLQUETES

Por muchos años, la simulación ha sido aplicada a una gran variedad de procesos, particularmente en la manufactura. La simulación de eventos discretos, que describe muchas situaciones mineras, es relativamente nueva. Revisando brevemente los lenguajes de simulación y paquetes de software actualmente disponibles y luego mostrando cómo esta técnica puede aplicarse a un amplio rango de problemas mineros a un diseño de bajo costo.

Para mostrar el poder y versatilidad de esta herramienta se citan varios ejemplos, se señala, por ejemplo, cómo los cambios en el tamaño de la flota, eficiencias de vehículos y paradas por fallas pueden ser modeladas en forma exclusiva por esta técnica, para mostrar sus impactos en la producción. De esta manera, el exceso y la escasez de camiones pueden evitarse al igual que los costos asociados. Otros ejemplos de aplicaciones reales en la minería muestran como la lógica exacta de los elementos planificados o reales de un sistema (por ejemplo, en una chancadora), pueden simularse para identificar el mejor diseño.

VI.1 ANÁLISIS DE REQUERIMIENTO DE VOLQUETES SEGÚN PLANES DE MINADO

El planeamiento de minado a minas a cielo abierto, como ya vimos en los capítulos anteriores se encuentra controlado por los requerimientos de la planta concentradora (concepto del Mine to Mill), el desmonte que es necesario sacar para cumplir con el requerimiento del plan de desbroce, las características geo-estructurales de la mina y el tonelaje que se debe mover con el equipo disponible, considerando que es el equipo de transporte de vital importancia en los planes de minado, es por esta razón que el Departamento de Ingeniería elabora programas que prevean la correspondencia entre el equipo actual y el tonelaje a mover en los futuros años de minado.

Como el mayor porcentaje de material que se mueve con volquetes en casi todas las minas a cielo abierto, es fundamental que todas las minas hagan un análisis profundo del número de unidades necesarias para cumplir con el tonelaje a mover.

En Cuajone las proyecciones futuras de minado, los tonelajes correspondientes a los diferentes niveles de la mina son agrupados en bloques según la proximidad a las tolvas (Hopper A y Hopper B) y también en función del material de transferencia y carguío directo a ser movido por volquetes y trenes. Teniendo en cuenta el rendimiento del equipo considerado, se realizó un estudio y se determinó el número de guardias que se necesitan para mover el tonelaje de bloques, para luego obtener el número de unidades requeridas según las guardias.

En el caso general de las dos minas que explota Southern y en el caso particular de Cuajone el acarreo se realiza con volquetes y trenes; es importante establecer de que niveles se pueden extraer por carguío directo Pala-Tren, esto indudablemente ahorraría volquetes para ser usados en otros niveles, pero eso implicaría un mayor requerimiento de trenes y eso sería más costoso y menos versátil.

Sabemos que para el cálculo del equipo son dos las variables utilizadas:

- ✓ El tonelaje a mover
- ✓ El rendimiento por nivel

Y como factores de ajuste entran la disponibilidad mecánica y el factor de carga.

Los volquetes cargados no deberán exceder gradientes de más de 10% pues si esto ocurre la posibilidad que funda motor es muy alta. Existen minas donde el yacimiento condiciona un talud muy inclinado en esos lugares se usan fajas transportadoras o otros medios de transportes, en estos casos los volquetes deben subir pendientes muy fuertes o en su defecto recorrer espirales muy largos para el acarreo de mineral.

VI.2 MONITOREO PRELIMINAR DE VOLQUETES

Para calcular los rendimientos reales de los volquetes Ingeniería procedió a realizar un estudio de tiempos basándose en tres aspectos fundamentales:

- ✓ Cálculo de velocidades y ciclos
- ✓ Tiempos reales operativos de cada guardia.
- ✓ Factor de carga.

Cuando todavía no se tenía el sistema Dispatch se llevo a cabo una toma de datos de campo con los cuales se controlaron rígidamente los tiempos operativos de las guardias y paralelamente se determinaron la densidad del material a mover con la mayor precisión posible.

En ese entonces para la toma de datos de campo se colocaron marcas con pintas fosforescentes a intervalos de 150 a 200 metros dependiendo lo precisó que se necesitaba en ese punto, cronometrándose el paso de volquetes, obteniéndose un tiempo de recorrido y una velocidad. Se tuvo en consideración:

- Rampas de subida
- Rampas de bajada
- Tramos planos
- Zonas superiores de gran radio de curvatura.
- Zonas inferiores de gran radio de curvatura.
- Curvas en rampas y en zonas planas.
- Cruces con tanques, camiones, moto niveladora y otros equipos.
- Paso de sub-nivel de línea férrea.
- Desaceleración por acercamiento a la pala o a otro lugar de descarga

Tomados en cuenta estos factores se calcularon las velocidades para pendientes que varían entre -10% y +10% las cuáles a su vez serán corregidas por los siguientes casos de excepción.

- Por radio de curvatura menor de 600 metros.
- Por curva en rampa.
- Por zona de tráfico intenso
- Por desaceleración al llegar a la pala o zona de descarga.

Para efectos de completar el ciclo del volquete se cronómetro el tiempo de carguío, de descarga y el tiempo esperando en la pala. Aunque los tiempos de carguío y descarga son normalmente homogéneos, el tiempo de espera en pala varía considerablemente, sin embargo se ha concluido que una buena aproximación en la actualidad es la siguiente:

- Tiempo de carguío = 5.0 minutos
- Tiempo de descarga = 1.0 minutos
- Tiempo esperando en pala = 3.0 minutos

Todo lo mencionado anteriormente en la actualidad ya no se realiza. Ahora el sistema Dispatch puede analizar todos estos datos por la instalación de una antena de baja precisión (receptores SK8 de Trimble), realizando las mejoras en el control de las operaciones, combinado con la aplicación de base de datos SQL para gestión de datos. Con estas herramientas mejoraron tremendamente la evaluación de resultados de la Mina Cuajone como mencionare mas detalladamente en el siguiente acápite.

CONTROL DE TIEMPOS EN DISPATCH

A continuación se detallan los puntos que se discutieron durante una reunión entre el personal involucrado en el control de tiempos de los equipos, Operaciones, Ingeniería y Mantenimiento Mina.

Se llegó a los siguientes alcances:

- a) Discutir el concepto de tiempos diversos, clasificación y distribución.
- b) Discutir la estandarización del control de tiempos en las 3 Guardias de operaciones mina.
- c) El concepto de Disponibilidad y Utilización.

Se tuvieron los siguientes acuerdos:

- a) El tiempo total es igual al tiempo programado, en este caso 24 horas al día. No incluye descuento por corte de corriente fuera del área.
- b) El tiempo no programado solo incluye casos especiales como huelga, neblina, terremoto, etc, en la que exista parada de equipo por estos conceptos.
- c) Se indicó que en una reunión anterior, se acordó con la aprobación de la dirección, que el tiempo de accidente entraba al cálculo de disponibilidad del equipo a partir del 1ro de junio del 2003.
- d) Se acordó que el tiempo de mantenimiento preventivo para el equipo auxiliar y perforadoras podría durar 8 horas y sólo en el caso de mantenimientos de 2000 horas podría extenderse a un máximo de 12. Cualquier tiempo mayor a estos límites debe ser considerado como reparación por alguna razón que indicará el mecánico por radio al Despachador. Para los demás equipos el PM será de 8 horas.
- e) En el caso de los PM de campo para equipos auxiliares que duran en promedio 1-2 horas, este se ha estado considerando como servicio. A partir de ahora, el mecánico que toma el equipo indicara al despachador cuando se trate de un PM de campo.

- f) Los tiempos de espera de volquetes en palas y los tiempos de espera de pala por volquetes son tiempos que el sistema internamente los registra, de alguna forma, se restarán del tiempo operativo para reportar correctamente la utilización y productividad del equipo.
- g) **Se mencionó que el Despachador debe de optimizar en lo posible la producción de volquetes ya que el costo de acarreo es 4 a 5 veces mayor que el costo de carguío.**
- h) Se implementará la forma de habilitar a los equipos auxiliares el ingreso manual de combustible por despacho. La idea es poder controlar el combustible consumido en el mes y compararlo con los reportes de Contratos.
- i) Se creará el código de equipo auxiliar para especificar la limpieza de área de perforación, y se usará el código 101 del estado malogrado esperando por Mecánicos en lo posible para controlar el tiempo de respuesta de Mecánica al requerimiento de operaciones.
- j) Se precisó que las 3 guardias de operaciones deben llevar el mismo procedimiento de disponibilidad, utilización, productividad y costos horarios.
- k) A continuación se explicará la metodología del cálculo de disponibilidad, utilización y uso de disponibilidad física.

En esta reunión se precisó que si bien este último cálculo era importante para el Grupo México (GM), Cuajone seguirá llevando internamente el concepto de utilización para determinar correctamente el tiempo operativo ($\text{Total} \cdot \text{disp} \cdot \text{utilizac}$), y llevar una estadística real y comparable, base para calcular el requerimiento de equipo adecuado.

A. Concepto de tiempos diversos, clasificación y distribución

Se tiene la siguiente clasificación de tiempos por categorías:

- Tiempo total
- Tiempo programado
- Tiempo no programado
- Mantenimiento programado
- Servicio
- Reparación mecánica – eléctrica
 - Soldadura
 - Enllante
 - Reparaciones varias
- Tiempo disponible
- Rancho / Cambio de guardia
- Demora Operativa
- Stanby
- Corte de energía fuera / dentro de mina
- Tiempo operativo

B. Estandarización del control de tiempos en las 3 guardias de operaciones mina

El hecho de llevar este control en forma diferente en cada guardia trae como consecuencia que los resultados obtenidos, como disponibilidad, utilización, productividad y costos horarios, no sean los correctos.

Los principales tiempos que deben estandarizarse son:

- Tiempos de espera de volquetes en carguio y descarga
- Tiempos de pala esperando volquetes
- Tiempo de trenes esperando chancadora
- Demoras operativas
- Tiempos de espera mecánicos / eléctricos
- Tiempos de equipo auxiliar y tolvas
- Habilitar digitación de combustible en todos los equipos.

C. Concepto de disponibilidad y utilización. Ejemplos de otras minas

Por lo menos, desde 1995 SPCC adoptó el concepto de Asarco para el cálculo de disponibilidad y utilización. Estas fórmulas son las siguientes:

$T \text{ programado} = \text{Total} - T \text{ no programado}$

$T \text{ disponible} = T \text{ prog} - \text{servicio} - \text{PM} - \text{Reparación mecánica-eléctrica}$

$T \text{ operativo} = T \text{ disponible} - \text{Rancho/CG} - \text{STBY} - \text{Dem Operativas} - \text{Corte de energía.}$

$\% \text{Disp} = (T \text{ disponible} / T \text{ programado}) * 100$

$\% \text{Util} = (T \text{ operativo} / T \text{ disponible}) * 100$

La única diferencia que se tiene en el cálculo de la utilización con respecto a las Minas de Cananea y La Caridad, es que ellos calculan el “uso de la disponibilidad” (utilización) considerando el rancho /CG como tiempo operativo, lo que hace que este ratio sea más alto.

Toquepala tiene la misma fórmula que Cuajone, pero tiene mayor cantidad de categorías de tiempos. Se adjunta explicación de los mismos en los cuadros siguientes.

D. Estandarización de D&U con respecto al GM

Discutido en el punto anterior

E. Distribución de los tiempos de accidentes y otros

Este punto ha quedado flotando. Como referencia, en las Minas de Cananea y La Caridad, los tiempos de reparación debido a accidentes de equipos son cargados a la disponibilidad del equipo.

Debido a este estudio, la gerencia presentó la propuesta y hoy en día todas las minas del grupo México utilizan las mismas formulas de Disponibilidad y Utilización.

CASO VOLQUETE 60: 20 de Mayo del 2002

Minas Cananea y Caridad

T total			
T Usado		724	
T Fuera de Servicio		471	
T de reserva		181	
T Demorado	T Demora Usado (Operador en Cabina)		2
	T Demora No Usado (Operador fuera de Cabina)		
		Rancho Cambio de turno	62
T TOTAL		1440	

Southern Perú

T TOTAL	CATEGORIAS						
T Operativo	OPER	194	216	210	122		
T Malogrado	MEC	ELEC	MPREV	SERV	SOLD	ENLL	
T Standby	STBY						
T Demora	D OPER	RAN-CG					
NUMERO DE CATEGORIAS EN DISPATCH							
T Operativo	1	11	12	12	14		
T Malogrado	7	8	9	10	6	5	
T Standby	4						
T Demora	2	3					
HORAS							
T Operativo	724					724	
T Malogrado	460	0	0	12	0	0	471
T Standby	181						181
T Demora	2	62					64
T Total						1440	

VI.3 SIMULACIÓN DEL ACARREO POR VOLQUETES CON UN SISTEMA DE DESPACHO COMPUTARIZADO

VI.3.1 SIMULACIÓN DE LOS MOVIMIENTOS REALES DE LOS VOLQUETES

Especialmente cuando simulamos el sistema de acarreo de una mina, no es tan sencillo como pensamos, no es del todo suficiente calcular el tiempo de los ciclos de viajes de los volquetes usando velocidades y/o distancias de acarreo promedio. En lugar de eso los movimientos reales de los volquetes tienen que ser modelados. Esto significa particularmente:

- Tener en cuenta las diferentes velocidades acordes a las condiciones de las carreteras y rampas con su respectiva inclinación, así como los diferentes tipos de volquetes y su actual estado (vacío o cargado).
- Tener en cuenta el actual sistema de rampas (en Cuajone las rampas Sur y Norte), esto significa precisar secciones rápidas y de desaceleración, intersecciones y cruces, y las zonas críticas donde se generan congestiones de los volquetes.
- Y como fundamento principal tener en cuenta la posible formación de colas en las Palas, Tolvas o Botaderos.

VI.3.2 TOMAR EN CUENTA INFLUENCIAS ESTOCÁSTICAS

El análisis que realice tiene que estar lo más cerca posible de la realidad. Esto significa (además de las características ya mencionadas) tener en cuenta influencias estocásticas. Estas pueden ser divididas en dos grandes grupos:

- ***PERFORMANCE ESTOCÁSTICA DE EQUIPO.***- En la operación ninguna pala, volquete y equipo auxiliar funcionará en su 100%, siempre funcionará en su capacidad promedio. Sin embargo realizando estudios de tiempos se puede construir una función de probabilidad de esta distribución de tiempos que representa el comportamiento de dicha performance real. Usando estas funciones en el programa, cada operación parcial durante un ciclo de trabajo total de un

volquete (viajes de subida, bajada y en tramos horizontales, cargando en la pala, descargando en tolvas o en botaderos, etc) es modelada tomando en cuenta estas influencias estocásticas y por lo tanto a partir de aquí una representación verdadera de la realidad está siendo producida.

- ***SIMULACIÓN DE DEMORAS DEL EQUIPO.***- Además de la performance estocástica de palas y volquetes, paralizaciones no programadas de equipo por causas operativas o de reparación tienen que ser tomadas en cuenta cuando la realidad de la operación de una mina a cielo abierto es tratada de ser modelada y simulada. De nuevo utilizamos procesos estadísticos probabilísticos para analizar datos recolectados a través de estudios de tiempos de la operación de la misma mina. Estas demoras son luego distribuidas al azar en el período a ser estudiado. Al realizar esto se consigue una particular clase de programación que indica en que punto en el tiempo algún elemento de nuestra flota de palas y volquetes es probable que se malogre y cuanto tiempo durará la demora.

Finalmente tengo que señalar que el Supervisor Despachador y los Supervisores de campo tienen que estar consientes de las variables estocásticas ya que estas son diversas, como el clima, el estado de las vías de acarreo, el piso de la pala, el estado de los botaderos y hasta el estado del operador. Por lo que eleva la importancia del criterio del Ingeniero Despachador.

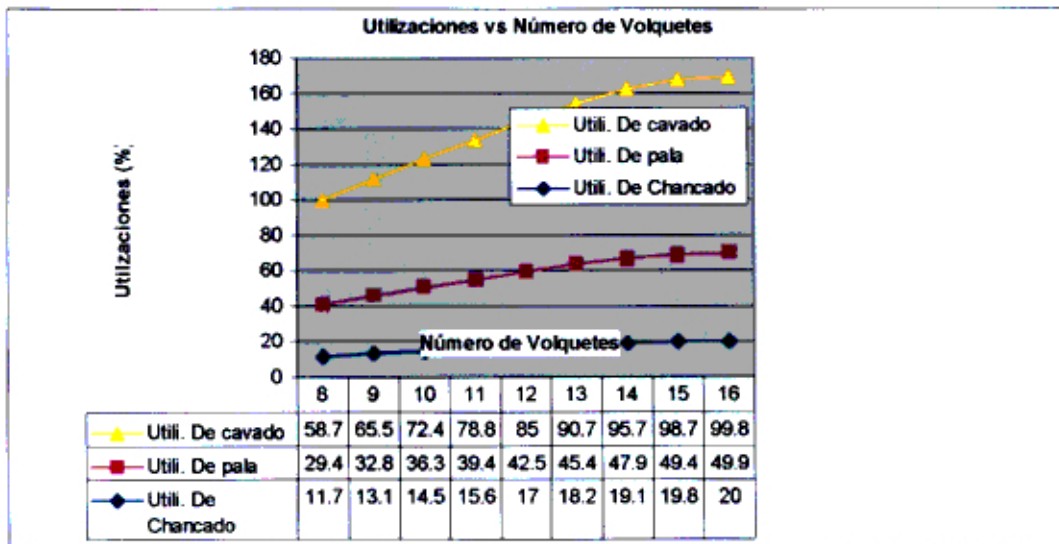
VI.3.3 RESULTADOS Y POSIBLES CAMPOS DE APLICACIÓN

Los Ingenieros de Minas han estado interesados en el uso de computadoras para crear modelos de simulación de operaciones mineras desde el momento en que la computadora fue introducida y aceptada en su industria, lo que llevó a la información de APCOM (Application of Computers and Operations Research in Mining) en el año 1961 y a más de 20 conferencias asociadas. Conferencias como el Simposio Internacional sobre Planificación Minera y Selección de Equipos, las que se sostienen regularmente a través del mundo, también entregan una valiosa fuente de referencias.

Muchos de los modelos encontrados en la minería son ejemplos de la teoría de espera, tales como camiones llegando a una punta (tip) o botadero y el conocimiento de los conceptos de la teoría de espera son esenciales para toda persona interesada en crear y entender los modelos de simulación.

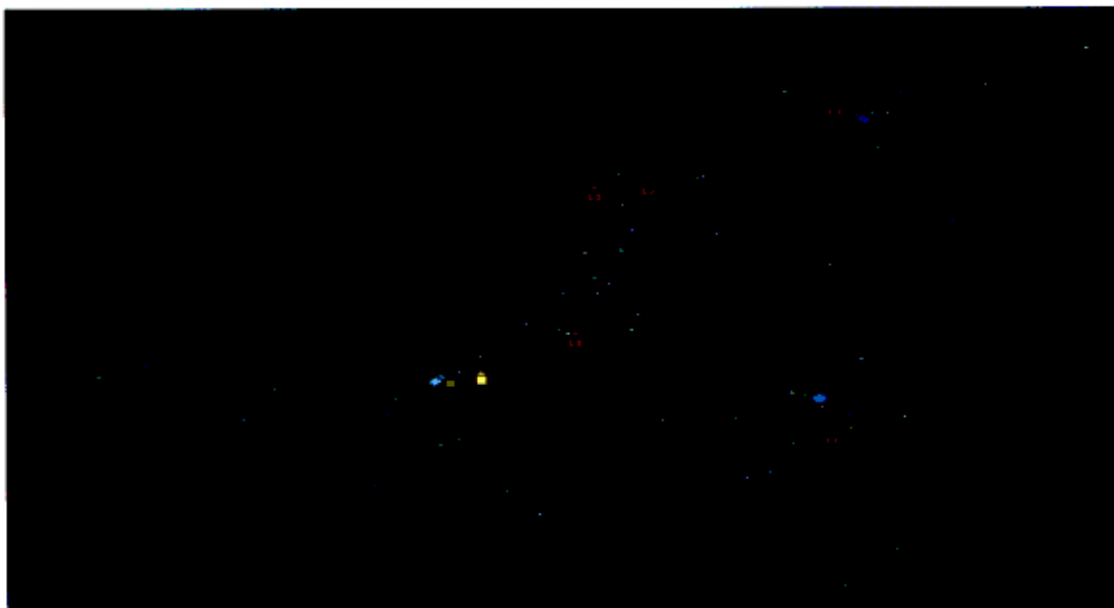
Probablemente los primeros resultados publicados en teoría de espera aplicada a la minería fueron los realizados por Koenigsberg (1958), quien solucionó el problema de determinar la producción para un número determinado de cuadrillas trabajando en los frentes de varias minas de carbón subterráneas.

Las cuadrillas no dejaron el sistema e hicieron ciclos desde un frente a otro (del resultado simulado de varios grupos de camiones puede ser almacenado directamente dentro de un archivo .xls. Los efectos de estas simulaciones pueden ser graficados desde la hoja de cálculo. La figura a continuación señala los efectos de aumentar el número de camiones como también los efectos de la espera, e introducir el taller de camiones, lo que puede usarse para introducir el concepto de “paradas por falla” (breakdowns) mantenimiento. El exceso de camiones queda demostrado en el caso de “sin espera / sin taller de trabajo”, lo que señala que 342 cargas/día se pueden lograr con 14 camiones, aunque sólo ligeramente superior con 15 camiones (347 cargas/día). El caso más real de espera y de tener un taller de trabajo (permitiendo las paradas por fallas) muestra que el número óptimo de camiones de hecho es 13 (para el grupo determinado de parámetros usados en este estudio hipotético), ya que éste alcanzara las 266 cargas/día. Aumentar el número de camiones sólo incrementará en 9 el número de cargas por día.



En la figura se grafica la operación simple de camión y pala mecánica: Utilizaciones vs Número de Camiones

La figura siguiente muestra cómo la pala y especialmente la chancadora tiene bajas utilizaciones, y cómo se justificará un mejoramiento a las disposiciones en el área de la pala, la que está siendo utilizada en 90% mientras genera una utilización de pala de sólo 45% (para 13 camiones. Una pala tradicional, por ejemplo puede mejorar tremendamente la utilización de la chancadora, por lo que una evaluación de los aspectos económicos de estas alteraciones será altamente justificada y podría realizarse con considerable confianza en vista de la validez de los escenarios simulados, esto se puede apreciar en el Dispatch como en la siguiente gráfica de movimiento de equipo en tiempo real.



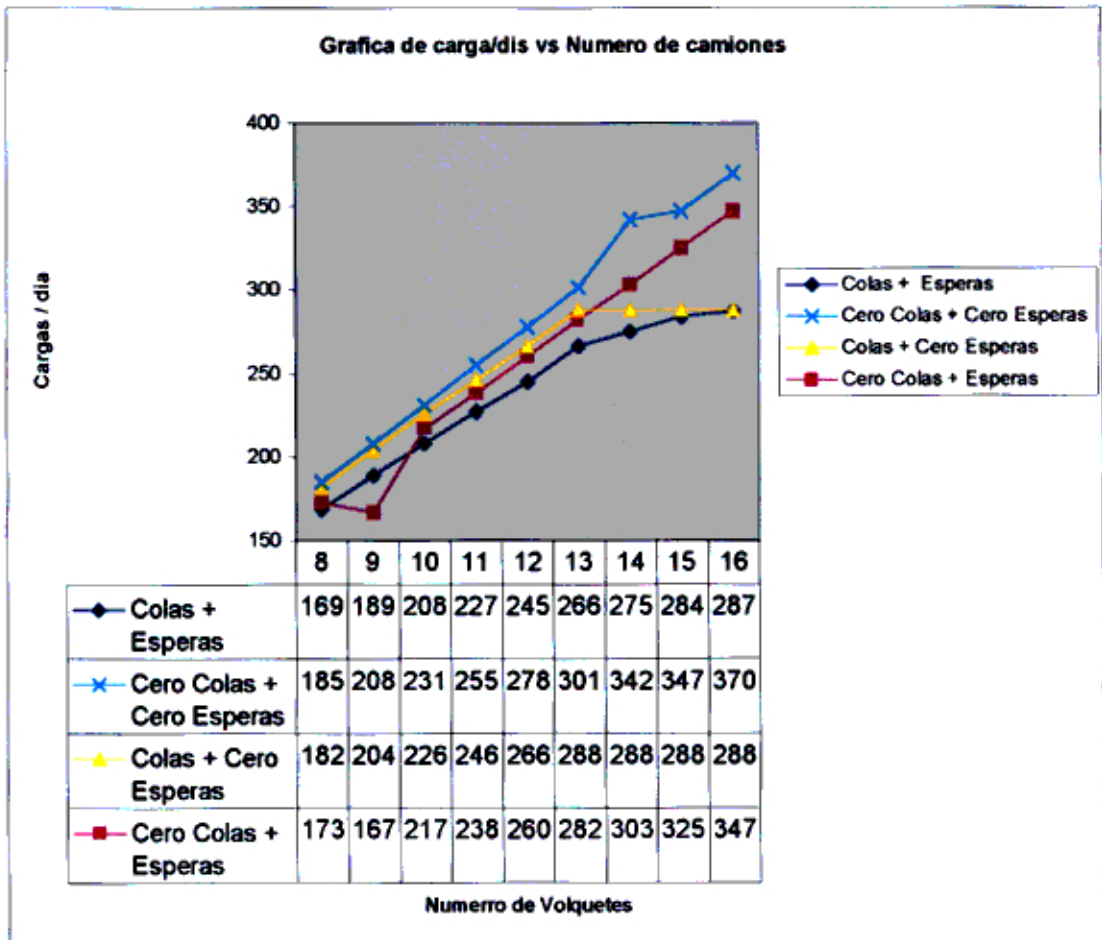


Figura Operación simple de camión y pala : Cargas/día vs. Número de Camiones.

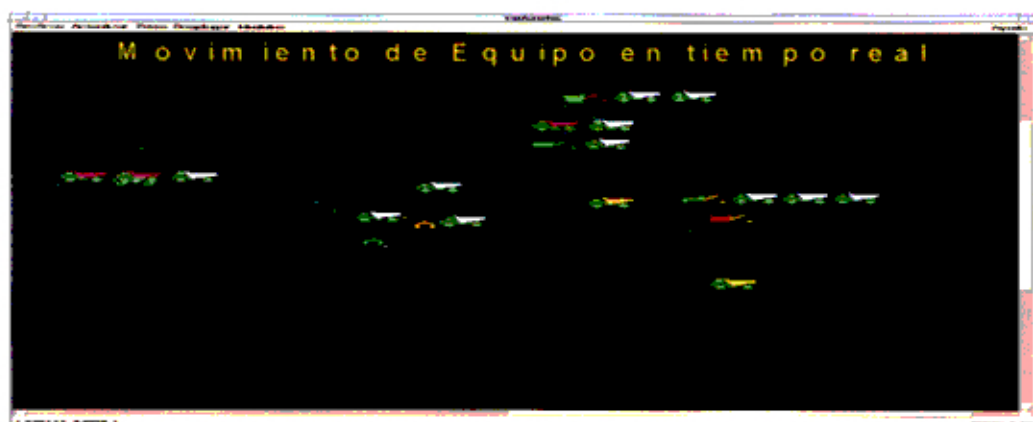
Otro aspecto importante revelado por esta simulación es que un 10% de tasa de falla aleatoria no significa que la producción cambie en un 10%. Si la mina tiene una escasez de camiones, la pérdida es inferior a 10%. El impacto de las paradas por fallas predecibles (y los esfuerzos y costos asociados en que la mina puede invertir para reducirlos) puede, por lo tanto, incorporarse en la evaluación de diferentes tamaños de flota.

VI.4 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE DESPACHO COMPUTARIZADO DE VOLQUETES

En este ítem haré una descripción breve de las características y opciones de trabajo que posee el sistema Dispatch para el control y administración de la información de la mina.

VI.4.1 ASIGNACIONES AUTOMÁTICAS.

El Dispatch maneja todas las rutinas de asignación de volquetes automáticamente.



VI.4.2 CARGUIO DE COMBUSTIBLE AUTOMÁTICO.

La mina puede especificar los parámetros de consumo de combustible para una determinada flota base. El sistema reconoce las horas operativas del panel de combustible y los límites del residuo en el tanque y asigna automáticamente a los volquetes al grifo para el relleno respectivo. El sistema maneja la contabilización del combustible total, agua y aceite de lubricación.

VI.4.3 LA VOLADURA EN EL SISTEMA.

El sistema soporta la programación automática de palas y volquetes demorados y malogrados para aquellos que están afectados por el disparo.



VI.4.4 CONFIGURACIONES DEL EQUIPO.

El sistema optimiza el esquema de acarreo para una determinada flota de palas y volquetes. Antes del inicio de la guardia, el jefe de guardia puede evaluar los requerimientos de volquetes para una particular flota de palas basándose en datos de operaciones actualizados.

VI.4.5 ALINEACIÓN DE DISPONIBILIDAD DE EQUIPO.

El sistema soporta asignación manual y automática de operadores de equipo al inicio de la guardia. Si operadores se registran en equipos no asignados, el sistema alerta al despachador. El Dispatch soporta también asignaciones del operador basadas en "equipo favorable" ó "antigüedad".

VI.4.6 PANTALLAS DE ADMINISTRACIÓN.

Todos los reportes y utilitarios Dispatch están elaborados en “formatos guías” para una fácil entrada de información y una rápida reexaminación de datos operativos. El personal de mina puede fácilmente reordenar y modificar estos formatos o crear nuevos reportes acordes a las necesidades de la mina sin cambiar el código base.

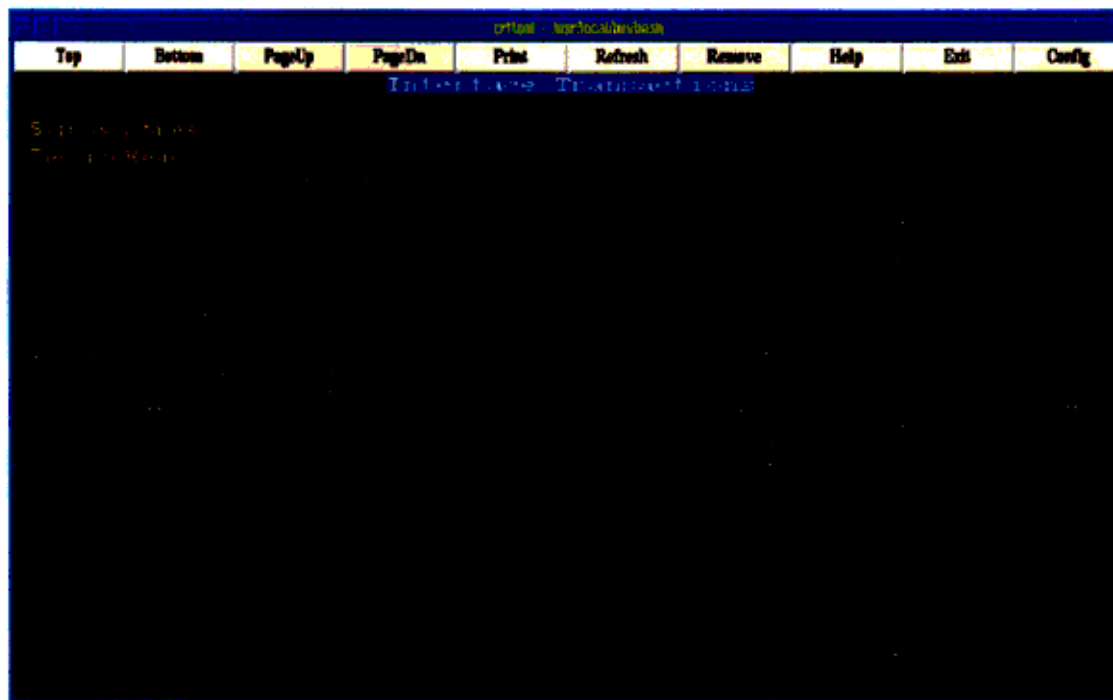
KEYPAD										
Top	Bottom	PageUp	PageDn	Print	Refresh	Remove	Help	Exit	Config	Select
Pantalla DISPATCH Supervisor de Torre										
Volquete	V 361	Más información?	NO							
Acción deseada	Operativo	Asignar volquete a	NINGUNA							
Ubicación actual	N 24	Causa								
Poligono	NINGUNA	Ubicación próxima	P 02							
Combustible restante	948	Tipo de material	Vacio							
Enviar el mensaje	-----	Asig. Fija a pala	NINGUNA							
Ver todos los volquetes?	NO	Asig. Fija a bota	NINGUNA							
		Reg/Op 21749								
Pala		Más información?	NO							
Acción deseada		Asignación fija	NINGUNA							
Estado	Operativo	Causa								
Region SUPERIOR	Ubic 3460-04	Poligono	3460-04 Ley 111							
Deshabilitar la pala?	NO	Tipo de material	3460-04 Ley 111							
Pct de utilización	90.0%	Reg/Op 60378/	1375 1375 1375							
Ver todas las palas	NO	Restricciones para volquetes	NO							
Botaderos/tolvas	NO	Reportes de la mina	NO							
Talleres de reparación	NO	Prioridad de palas	NO							
Asignaciones fijas	NO	Operadores	NO							
Rutas	NO	Inicio de turno	NO							
Form	-----									

VI.4.7 DIAGNÓSTICOS COMPLETOS.

El sistema examina toda la información para su validez e instantáneamente reporta cualquier error de entrada. El Dispatch alerta al despachador enviando un mensaje y haciendo sonar una alarma siempre que un equipo falla en completar una acción a tiempo.

VI.4.8 CIERRE DE RUTAS LÓGICAS.

El despachador puede cerrar rutas de acarreo desde un punto a otro punto de la mina, Asimismo restringir el acceso desde una parte de la mina a otra.



VI.4.9 DESCANSOS POR RANCHOS.

El Dispatch automáticamente programa a los volquetes para el descanso por rancho mediante una hora específica. Los chóferes de volquetes pasan rancho cuando las palas están demoradas por alguna razón durante este tiempo o cuando los operadores de palas pasan rancho.

VI.4.10 INSPECCIONES DE MANTENIMIENTO.

El Dispatch programa periódicamente el mantenimiento de los volquetes tal como puede especificar la sección de operaciones.

VI.4.11 ASIGNACIONES MANUALES.

El despachador puede cambiar las asignaciones realizadas por el sistema. Esta acción puede hacerla inmediatamente en cualquier locación de la mina o alternativamente demorar la asignación deseada hasta que el volquete requiera la próxima asignación.



VI.4.12 COMBINACIÓN DE MATERIAL.

El Dispatch puede combinar el material existente en la mina para asegurar una consistente alimentación de mineral a la concentradora o a la planta de procesamiento. El sistema puede combinar el mineral por ley o flujo del mismo hasta por diez variables y opcionalmente por otras diez.

VI.4.13 VERSIONES DISPONIBLES EN DISTINTOS LENGUAJES.

Actualmente, el sistema esta disponible en Ingles y Español. Otros lenguajes, tales como Francés, Alemán, Greco o Servio-Croata, están disponibles a requerimiento sin ningún cargo adicional.

VI.4.14 RUTAS DE ACARREO DE UN SÓLO SENTIDO.

El despachador puede especificar segmentos de rutas o rampas de acarreo como de un sólo sentido.

VI.4.15 MONITOREO DE OPERACIONES

El sistema examina a todos los operadores de equipo y permite a los supervisores observar el rendimiento individual de cada operador.



VI.4.16 RESTRICCIONES EN DETERMINADOS PITS.

El Dispatch maneja múltiples asignaciones para diferentes tajos. El despachador puede restringir algunos volquetes a específicos tajos o regiones dentro de un tajo determinado.

VI.4.17 OBLIGACIONES DE DESCARGAS PRIMARIAS.

El Dispatch monitorea descargas primarias y cambia el flujo de los volquetes a determinadas palas que alimenten tales botaderos, esto a lo largo de la guardia. Esto minimiza las colas en vario botaderos con una tasa de alimentación variable.

VI.4.18 LIMITES DE COLAS.

El Dispatch acepta un determinado tamaño máximo para una cola de volquetes en botaderos y locaciones de servicio.

VI.4.19 REASIGNACIÓN DE PUNTOS DE LLAMADA.

Desde las antenas solares situadas en la mina, el sistema puede automáticamente reasignar volquetes en ruta. Esto permite tomar una decisión de último minuto cuando las palas a las que han sido asignados se malogren.

VI.4.20 CIERRE DE TRAMOS DE RAMPAS.

El despachador puede cerrar un segmento físico de algunas rampas ocasionando que el Dispatch use rutas que obvien los tramos de rampas cerradas.



VI.4.21 DEMORAS DE RUTINAS.

El sistema programa demoras de rutina para los operadores por rancho y asegura que cada uno de ellos tenga su asignación de demora por consumo de alimentos.

VI.4.22 CAMBIO DE GUARDIA.

El sistema acepta el "cambio caliente de guardia". Los volquetes pueden quedar demorados por fin de guardia encontrándose en ruta, en zonas de parqueo, palas, botaderos y/o cualquier locación.

VI.4.23 PRIORIDAD DE PALAS.

El despachador puede ajustar las prioridades por palas y/o tipo de material. En situaciones de congestión de volquetes, el sistema limita la asignación a las palas según su prioridad.

VI.4.24 CARGUÍO POR LOS DOS LADOS.

El Dispatch considera si una pala está cargando por ambos lados o solamente por un lado para la asignación de volquetes a dichas palas.

VI.4.25 BASE DE DATOS DE USUARIOS.

El personal de la mina puede fácilmente crear una "base de datos de usuarios" para almacenar información tal como nivel de entrenamiento de personal, programación de servicio de equipo, o inventarios de repuestos.

FIG.30.- REPORTE DE PRODUCCION POR DIA



VI.4.26 ALMACENAMIENTO DE MATERIALES.

El Dispatch minimiza el recarguío de material alimentado a las palas que trabajan en dicha condición solamente por un número de volquetes necesario para cumplir los límites de combinación de material.

VI.4.27 ASIGNACIONES FIJAS DE VOLQUETES Y PALAS Y RESTRICCIONES DE DESTINO.

El despachador puede asignar fijamente algunos volquetes a ciertas palas, de la misma forma algunas palas a determinados botaderos y/o tolvas. El despachador puede también restringir le acceso de algunos volquetes a algunas palas con determinado tipo de material y a algunas locaciones. También puede restringir algunas palas a ciertos destinos entre los botaderos o tolvas disponibles.

VI.5 PROYECCIÓN DE RESULTADOS CON EL USO DEL SISTEMA DE DESPACHO COMPUTARIZADO DISPATCH

La simulación ha probado ser una valiosa herramienta para el Ingeniero de diseño de minas como para el de Operaciones. Les da la habilidad para plantear muchas preguntas importantes y obtener respuestas inmediatas que pueden ser usadas para análisis económico. Usando un software moderno, los modelos básicos de simulación pueden desarrollarse en materia de días, no meses e incluso años. Los modelos son fáciles de operar, pueden ser cambiados por el ingeniero de minas mediante la entrega de un mínimo grado de capacitación.

El comentario realizado por el Dr. A. Bauer en el año 1973, respecto a que llegaría el día en que la “simulación jugaría un papel esencial en cada operación de planificación de tajo abierto” bien podría estar refiriéndose a nosotros – sólo el comentario también puede extenderse a minas subterráneas complejas.

CAPITULO VII

RESULTADOS OBTENIDOS POR LA APLICACIÓN DEL SISTEMA DE DESPACHO

VII.1 INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD CON LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA SPS EN LAS OPERACIONES

El sistema SPS mejora el proceso productivo y reduce los costos para que el negocio sea competitivo; identifica áreas potenciales a mejorar y optimiza el ciclo de carguio y acarreo por ser las dos actividades unitarias más costosas.

Por otro lado, la correcta aplicación del sistema posibilita el mejor análisis de disponibilidad y utilización del equipo.

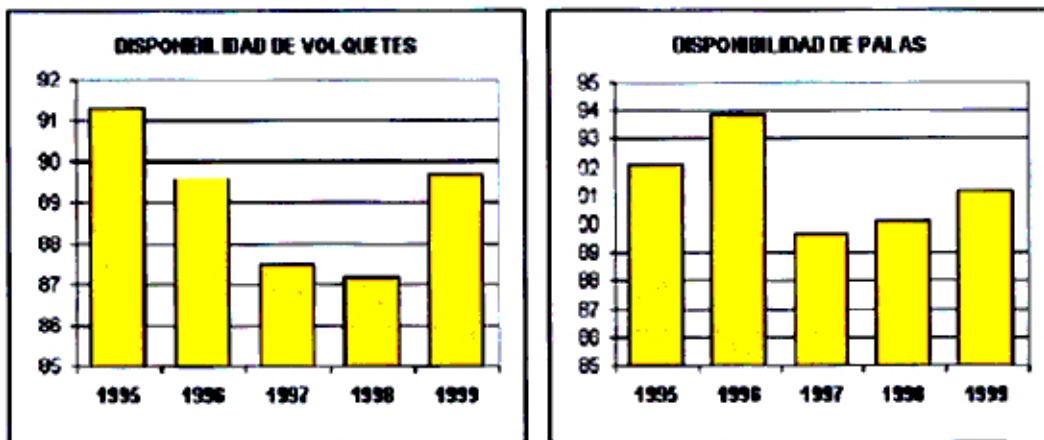


GRÁFICO 1

Gráfico 1

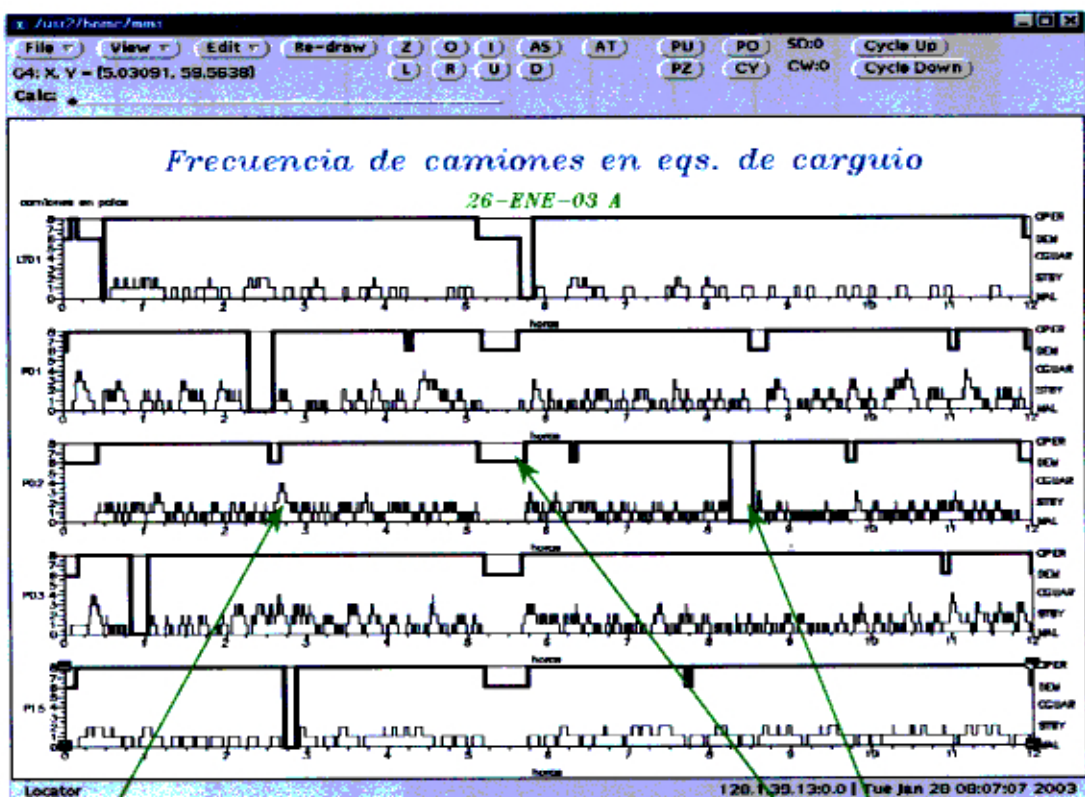
En los gráficos podemos concluir según estos datos históricos; lo siguiente:

- Entre los años 1995 y el 1997 existía un control de disponibilidad, pero este no se ajustaba a la realidad; esto lo podemos notar cuando analizamos lo que paso el año 1998, la disponibilidad histórica de los volquetes llegó hasta 87% y en palas hasta 90%, datos que aparentemente son aceptables, sin embargo su precisión varía de un equipo a otro e incluso algunas cifras no se registran. Obviamente, no han sido medidos al segundo; Pero en la práctica varían mucho en los tiempos reales.

- Esta toma no eficiente de datos es debido a que el método usado era manual (registros de datos) y en la actualidad es digital lo que da mayor precisión y mejora la confiabilidad, debido al incremento de un mayor numero de variables de demora, como fuera de servicio y stand by.

- El gráfico en conclusión nos indica que los datos de disponibilidad de estos equipos no se llevaban de la forma mas real y efectiva. Con el SPS tenemos un monitoreo digital y a tiempo real del input de datos; mejorando la administración del sistema de información y control de las operaciones. Todo esto conlleva a mejorar el cálculo de la calidad de trabajo, productividad y eficiencia.

El sistema de despacho de volquetes tiene un sistema de control por el cual analiza en cada momento la producción por hora de cada pala y además por un sistema que analiza la eficiencia del control de colas, como indico en el siguiente gráfico.

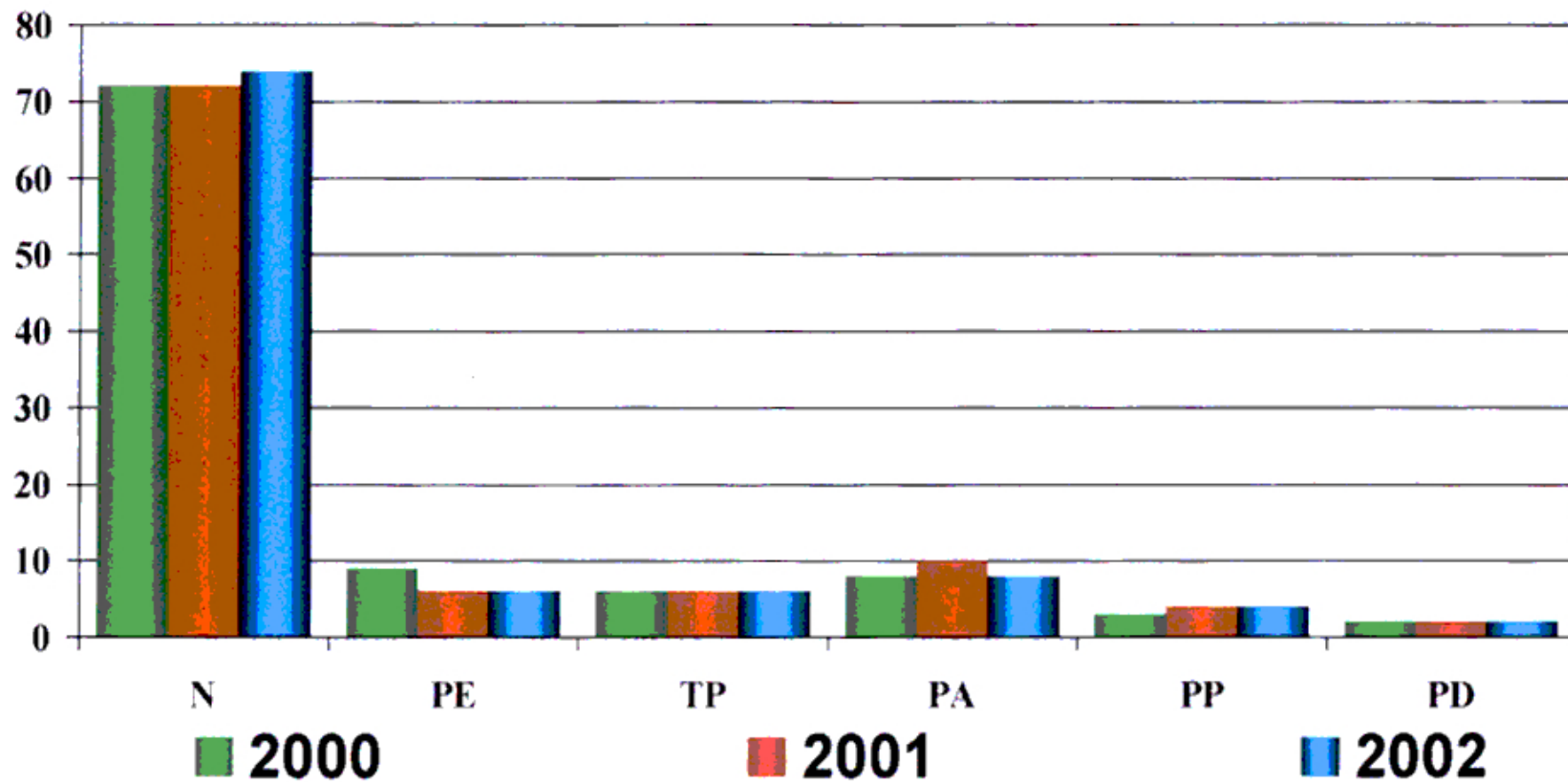


Indica las paradas o colas realizadas por volquetes.

En el caso de la pala 02 podemos observar el movimiento de dicha pala.
Podemos observar también una parada realizada por la pala 02

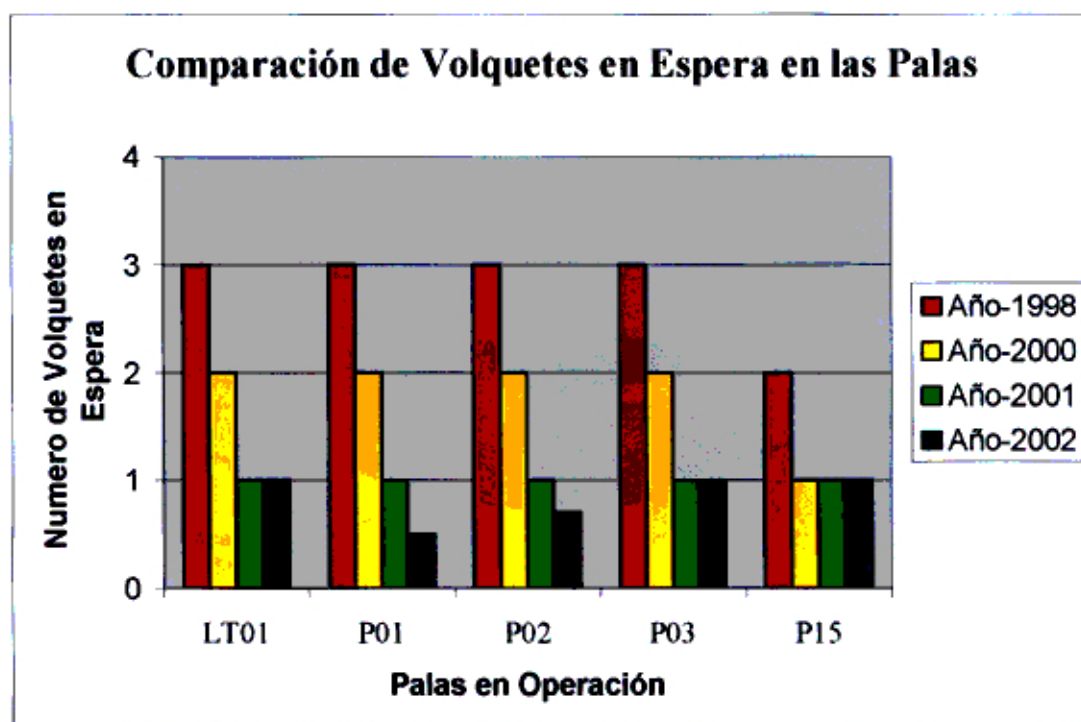
TIEMPOS CUANTIFICADOS DE ACARREO

En este cuadro observamos datos tomados con el Dispatch desde los años 2000 al 2002



El sistema SPS ha mejorado el control de las operaciones como ya ha sido expuesto anteriormente; debido a este mejor control se han reducido las colas en las palas y mejorado la distribución de volquetes para los botaderos y los hoppers.

En el cuadro siguiente analizaremos mejor estos resultados.

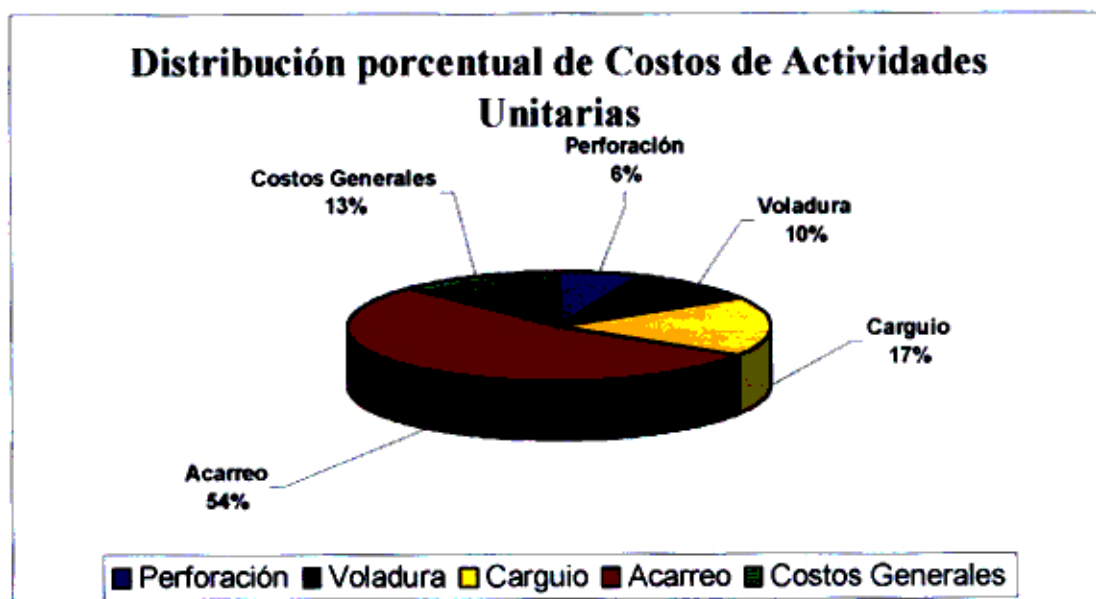


Se comparan los años 1998 y 2000; el año 1998 porque es el único año donde se obtienen datos obtenidos de un estudio de tiempos realizado manualmente, donde todavía no se tenía implementado el sistema SPS. Escogimos el año 2000 porque es en este año donde el sistema se desarrolla en un 90%. Esto significa que en este año los despachadores alcanzan una madures con respecto al manejo del sistema y los operadores de equipo un mayor conocimiento de su utilización.

Si observamos en el gráfico; lo que pasó con la Pala 01 y con la Pala 03, podemos concluir que con el sistema SPS se ha mejorado significativamente **el número de volquetes en espera.**

VII.2 DISMINUCIÓN DE LOS COSTOS EN LAS ACTIVIDADES UNITARIAS DE PERFORACIÓN, EXTRACCIÓN (PALEO), ACARREO (VOLQUETES) Y MANTENIMIENTO.

A continuación vamos a demostrar con cifras y datos estadísticos como disminuyeron los costos debido a la implementación del SPS en la mina Cuajone.

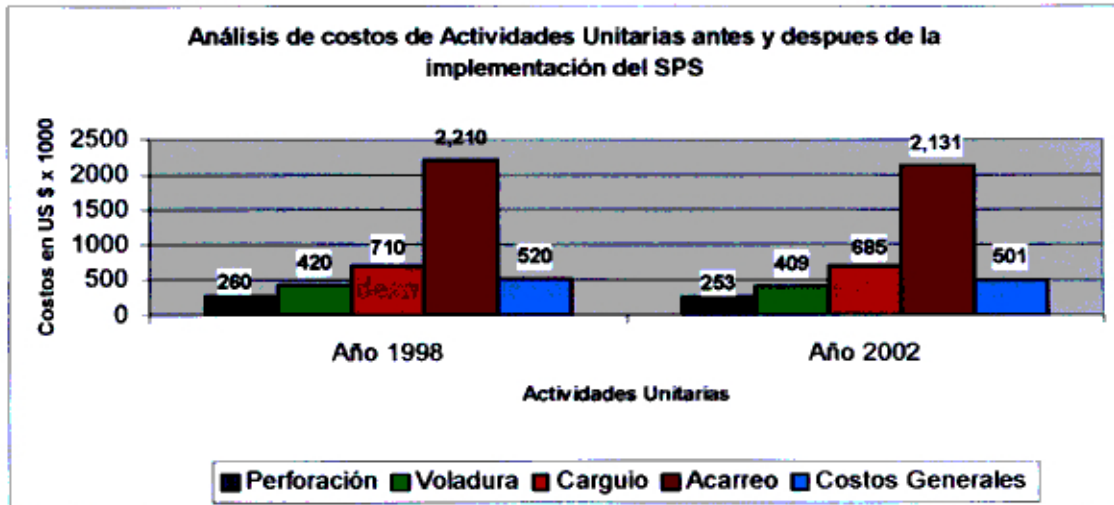


Como podemos observar en el siguiente gráfico notamos que el Acarreo es la actividad más costosa representando el 54% del costo total.

También se tiene que mencionar que el SPS influye en el control directo de las actividades de Acarreo y Carguio que representa los costos más importantes en la operación.

- **Acarreo:** El sistema SPS influye en la mejor distribución y asignación de los volquetes.
- **Carguio:** El sistema SPS influye en el mejor control de la calidad de mineral que se extrae en cada polígono y el control de las colas en cada palas.

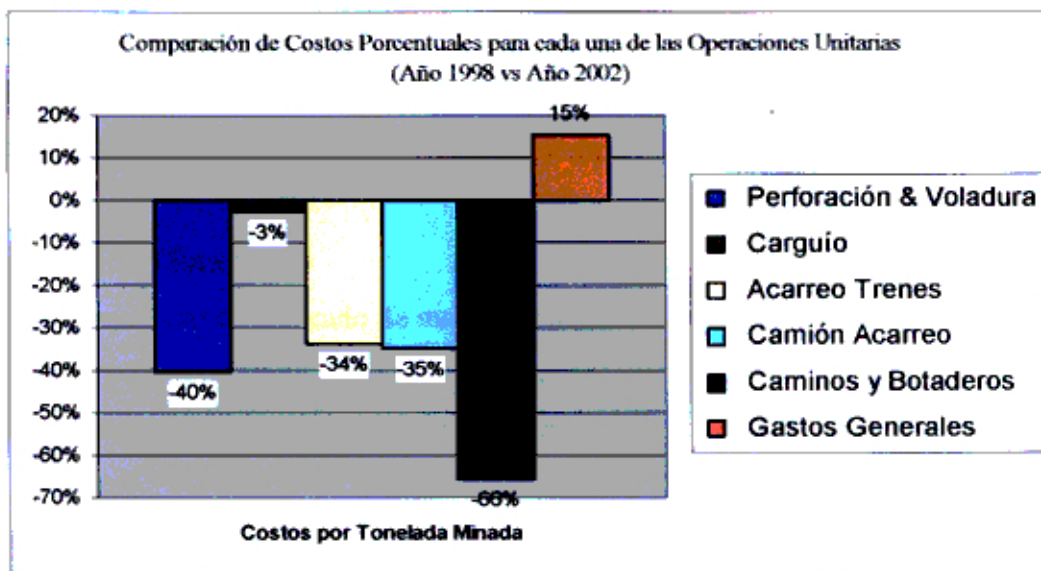
En el cuadro a continuación analizaremos los resultados obtenidos en el mes de Febrero, comparando los años 2002 y 1998 (ejemplo como costos totales).



En **Costos generales** comprende: Taller general y taller electricidad Mina, Dique Torata, Tajo abierto general, Mantenimiento de equipo liviano y Ajuste de compras conjuntas.

En el siguiente cuadro podemos observar que en todas las actividades unitarias, realizadas en la operación, desde la implementación del SPS han bajado ostensiblemente su costo de operación.

Es pertinente aclarar que el costo de acarreo comprende tanto el costo de Camiones como el de Locomotoras; es por eso el costo tan alto que se observa en el gráfico.



VII.3 MEJORA DE LA SUPERVISIÓN DE LAS OPERACIONES Y MEJOR CONTROL EN TIEMPO REAL VENTAJAS Y DESVENTAJAS

En general, las principales desventajas que se encuentran en la implementación de un sistema de posicionamiento por satélite se refieren al tiempo de adecuación del personal a esta nueva tecnología, ello se ha visto reflejado en el GPS de topografía, y en menor magnitud en el sistema de despacho de volquetes. Definitivamente, existe una curva de aprendizaje, la cual muestra una reducción del rendimiento de las operaciones, para luego, después de asumido el funcionamiento de este sistema, pasar a ventajas como las siguientes (se mencionan las principales):

SPS Topográfico

- Se reduce la mano de obra a la mitad.
- Simplificación notable del trabajo.
- Posiciones de primer orden fácilmente obtenidas.
- No se necesita mucha teoría.

SPS en Volquetes

- Asignación correcta de volquetes.
- Mayor productividad.
- Reportes automáticos. Eliminación total de reportes manuales.
- Posición de equipo e información en tiempo real.

SPS en Perforadoras

- Eliminación de estacado de mallas de perforación.
- Reducción de mano de obra de topografía.
- Almacenamiento de parámetros de perforación por tipo de roca para zonas similares futuras.

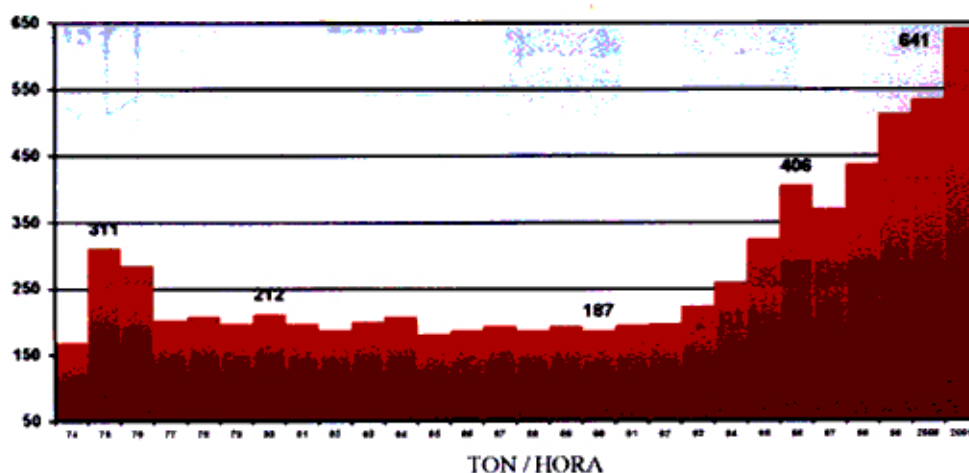
SPS en Palas

- Control de mineral y gradiente del piso en tiempo real.
- Reducción de mano de obra.

CAPITULO VIII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

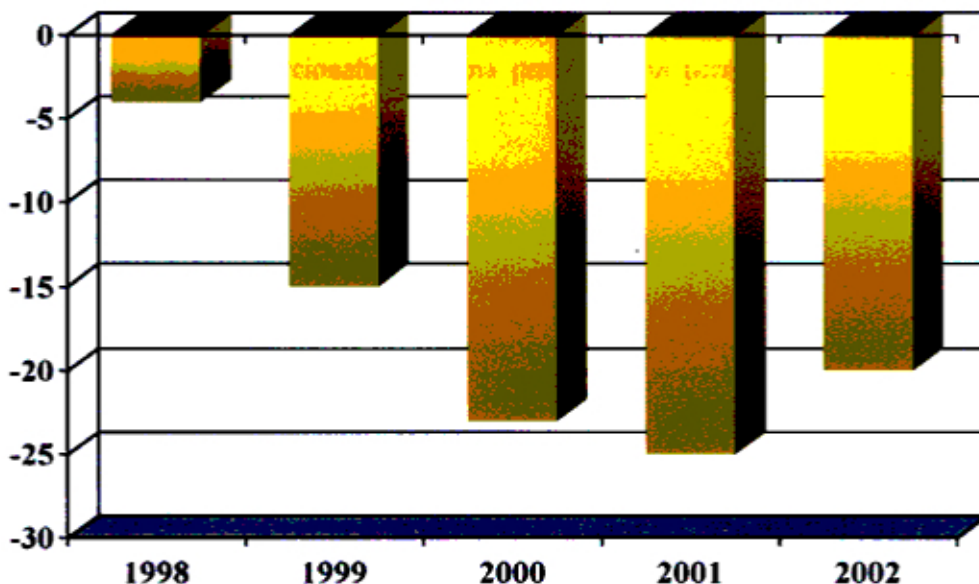
CONCLUSIONES

- I. Este programa se puede aplicar sin ningún problema en la Minería Subterránea altamente tecnificada en general (con postes que sirven como repetidoras) y como concepto de control en las operaciones en minería convencional.
- II. Los datos de disponibilidad y utilización son importantes a la medida que estos sean interpretados correctamente y tenga una validez de toma de datos reales del campo.
- III. Al buscar incrementos de la productividad con reducción de costos, debemos aplicar una estrategia operacional que garantice paralelamente la calidad de trabajo.
- IV. El contar con un sistema de despacho que cuantifica cada una de las demoras permitirá comparar resultados mensual, semestral y anual para con ello comparemos resultados y continuemos con las mejoras planificadas.
- V. Lo más difícil de la implementación de un sistema SPS aplicado a minería es la etapa de adecuación del personal a la nueva tecnología adquirida.
- VI. Todas las aplicaciones de SPS reducen la necesidad de mano de obra y por ende los costos de operación, mejorando el rendimiento de las Ton / hora; debido a la eliminación de trabajos convencionales (como muestra el gráfico).



- VII. Las principales virtudes de las aplicaciones SPS en minería superficial son:
- ✓ Topografía: Operación sencilla. Se necesita una sola persona.
 - ✓ Despacho Volquetes: Información en tiempo real. Incremento de productividad.
 - ✓ Perforadoras: Eliminación de estacado y reducción de mano de obra.
 - ✓ Palas: Control de mineral, gradiente y reducción de mano de obra.
- VIII. Como todo producto de alta tecnología que ingresa al mercado, los precios de los sistemas GPS decrecen a través del tiempo y cada vez son más accesibles para los clientes mineros, esto significa que hoy en día esta tecnología esta al alcance de cualquier empresa.
- IX. Debido a la aplicación del SPS, el costo de transporte a disminuido significativamente (ver cuadro).

COSTOS DE TRANSPORTE %



RECOMENDACIONES

- I. En el presente trabajo se menciona que el Despachador debe de optimizar en lo posible la producción de volquetes ya que el costo de acarreo es 4 a 5 veces mayor que el costo de carguío; es por esta razón que en lo posible se deben evitar las colas y/o esperas innecesarias.
- II. Para una opime efectividad de equipo deben mantenerse registros por Dispatch actualizados y precisos de la operación del equipo.
- III. Se debe de formar un equipo de trabajo para el control y análisis de resultados (departamento de productividad) con capacidad para la mejora de cada actividad unitaria y mejor control de las operaciones (dispatch vs campo).
- IV. El sistema de despacho para ser más rentable; requiere del uso de mas herramientas estadísticas que comparen en el momento eficiencias y rendimientos; como las que manejo en el presente trabajo.
- V. Para tener éxito en el mercado competitivo de hoy, las compañías deben ser eficientemente productivas y dinámicas; para ello también son importantes la motivación, la poli funcionalidad y una preocupación permanente no sólo de la producción sino del elemento humano.

BIBLIOGRAFÍA

- 1.- Gordon Geoffrey, "Simulación de sistemas", Editorial Diana, 1986.
- 2.- Modular Mining Systems, "Dispatch", Folleto Publicitario.
- 3.- Minuteman Software, "GPSS/PC Versión 2.0", Guía del usuario.
- 4.- Sturgul, J.R y Harrison, J.F., "Using a especial computer language for simulating Coal mines", The coal journal, No18,1987.
- 5.- Wike, F.L. y Heck, K., "Simulation studies on truck dispatching", 17th APCOM Symposium, Arizona, EE.UU., 1982.
- 6.- Mendez C. y Bendejú M., "Simulación en operaciones mineras", Maquimin, agosto 1986.
- 7.- Ramírez, J.C., Zúñiga, S. Y Díaz, B., "Calculo para requerimiento de volquetes en minería a cielo abierto", XVII Convención de Ingenieros de Minas, Huaraz 1984.
- 8.- Sturgul, J.R. y Ren Yi, "Building simulation models or surface coal mines using the GPSS computer language", the coal journal, No. 15, 1987.
- 9.- Cardoso, R "Seguridad en el acarreo por volquetes", XIV Convención de Ingeniero de Minas, Lima 1978.
- 10.- Pfleyder, E.P., Brauns, J.W. y Orr, D.H., "Surface Mining Railroad", SME/AIME, New York 1968.
- 11.- Ramírez, J.C. "Parámetros de planeamiento de mediano y largo plazo en minas a cielo abierto: Aplicación en Cuajone", XIX convención de Ingenieros de Minas, Tacna 1988.
- 12.-Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica, "Planeamiento de minado", Capítulos III y IV, 1978.
- 13.-Chadwick, John, *Satellite Positioning*, Mining Journal, 1998, 10 pgs.
- 14.- Modular Mining Systems, *High Precision Drill & Shovel System*, USA, 1998, 2 pgs.
- 15.- Modular Mining Systems, Manuales sobre Dispatch Operation, USA, 1998.
- 16.-Trimble Navigation Limited, *GPS for Mining*, USA, 1997, 61 pgs.
- 17.-Modular Mining Systems, *Computer Based Truck Dispatching*, USA, 1996, 40 pgs.