

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

**FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA
MINERA Y METALURGICA**



**"PROGRAMACION DINAMICA EN LA PLANEACION
DE LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS PARA
LA MINERIA METALICA"**

TESIS

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE

INGENIERO DE MINAS

GILMER JUANDE MORALES NEYRE

LIMA - PERU

1994

A mi Madre Claudia.
Hermanos: Edelmira, Guido, Dante,
Walter y Lira.
Esposa: Macedonia e Hija Mirella.

Por su comprensión, afecto y
apoyo cotidiano en la realización
de esta Tesis.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi gratitud y un reconocimiento fraterno por su aporte y apoyo en la realización de este trabajo, a mis asesores Ing. Jaime Mercado, Ing. Jorge Quintana, Licenciado Walter Morales, y colegas de promoción.

INDICE

INTRODUCCION	1
RESUMEN	4
CAPITULO I : DEFINICIONES GENERALES	13
1.1 ENFOQUE DE SISTEMAS DE LAS ACTIVIDADES MINERAS	13
1.1.1 Definición de Sistemas	14
1.1.2 Clases de Sistemas	16
1.1.3 Componentes y Representación de Sistemas	19
1.1.4 Subsistemas en la Actividad Minera	20
1.1.5 Técnicas de Análisis de Sistemas	21
1.2 TECNICAS CUANTITATIVAS EN EL ANALISIS DE SISTEMAS MINEROS	23
1.2.1 Programación Lineal	24
1.2.2 Métodos PERT-CPM	28
1.2.3 Algoritmos de Asignación y Transporte	35
1.2.4 Modelos de Inventario	39
1.2.5 Modelos de Reemplazo	46
1.2.6 Programación Dinámica	51
1.2.7 Ingeniería de Métodos	52
CAPITULO II : SIMULACION DE RESERVAS MINERALES	61
2.1 CARACTERISTICAS GEOLOGICAS DEL DEPOSITO MINERAL	61

2.2 ESTADO ACTUAL DE LOS TRABAJOS MINEROS	65
2.3 RESERVAS PROBADAS Y PROBABLES	66
2.4 POSIBILIDADES DEL YACIMIENTO	71
2.5 RESULTADOS METALURGICOS (Balance Metalúrgico)	72
2.6 VALORIZACION DEL MINERAL	73
CAPITULO III : DETERMINACION DE PARAMETROS Y ES-	
TANDARES PARA EL PLANEAMIENTO DE	
PRODUCCION	77
3.1 OBJETIVOS Y METAS A MEDIANO Y CORTO PLAZO	77
3.1.1 Producción Mina	77
3.1.2 Tratamiento en Planta Concentradora	78
3.1.3 Presupuestos Operativos	79
3.2 SELECCION DEL METODO DE MINADO	80
3.3 INVENTARIO DE MINERAL	82
3.4 DIMENSIONAMIENTO DE LAS OPERACIONES	87
3.5 ANALISIS DE CICLOS	88
3.6 REQUERIMIENTO DE RECURSOS	91
3.6.1 Equipos	91
3.6.2 Energía	91
3.6.3 Personal	92
3.6.4 Insumos	93
3.6.5 Servicios	94
3.7 ANALISIS DE COSTOS	96
3.7.1 Estructura de Costos	96
3.7.2 Costos Estándares	99

	Pág.
3.8 ANALISIS DEL PUNTO DE EQUILIBRIO Y LEYES CUT-OFF	100
3.9 RESUMEN DE ESTANDARES OPERATIVOS	103
3.9.1 Perforación y Voladura	103
3.9.2 Acarreo y Transporte	104
3.9.3 Sostenimiento-Relleno	106
3.9.4 Personal	107
3.9.5 Insumos	108
3.10 VENTILACION Y OTRAS RESTRICCIONES OPERATIVAS	108
 CAPITULO IV : PLANEACION DE PRODUCCION MEDIANTE PROGRAMACION DINAMICA	 110
4.1 CARACTERISTICAS DE LA PROGRAMACION DINAMICA	110
4.2 ELEMENTOS DE LOS MODELOS DE LA PROGRAMACION DINAMICA	111
4.3 PRINCIPIO DE OPTIMALIDAD	113
4.4 PROBLEMAS DE DIMENSIONALIDAD	114
4.5 METODOS DE SOLUCION DE PROGRAMACION DINAMICA	116
4.5.1 Ecuación Recursiva	116
4.5.2 Método hacia Adelante	118
4.5.3 Método hacia Atrás	120
4.5.4 Métodos Computacionales	122
4.6 MODELOS DE PROGRAMACION DINAMICA APLICABLES A PROBLEMAS MINEROS TIPICOS	123
4.6.1 Planeación de la Producción (Tonelaje-Ley)	123
4.6.2 Tamaño de la Fuerza Laboral	131

	Pág.
4.6.3 Reemplazo de Equipo	136
4.6.4 Selección de Alternativas de Inversión	143
4.6.5 Otros Problemas	148
4.7 MODELACION DE LA PROGRAMACION DE PRODUCCION	152
4.7.1 Solución por Métodos Manuales	152
4.7.2 Solución por Computadoras	153
4.7.3 Comparación con Modelos de Programación Lineal	155
4.8 RESTRICCIONES DE LA APLICABILIDAD DE PROGRA- MACION DINAMICA A PROBLEMAS MINEROS	157
4.9 POSIBILIDADES DE IMPLEMENTACION	159
CAPITULO V : ANALISIS ECONOMICO	162
5.1 BENEFICIOS ECONOMICOS DE LA APLICACION DE LAS TECNICAS DE PROGRAMACION DINAMICA	162
5.2 SIGNIFICADO ECONOMICO DE LA IMPLEMENTACION DE LA PROGRAMACION DINAMICA	165
5.3 VENTAJAS PARA EL CONTROL DE PRODUCCION Y APLICACION DE INCENTIVOS AL PERSONAL OPERATI- VO	167
CAPITULO VI : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	170
BIBLIOGRAFIA	176
ANEXOS	

INTRODUCCION

Existe un conjunto de técnicas especiales inherentes a proyectos, producción y logística que un profesional debe conocer para decidir su propia aplicación.

La tesis que presento es en parte un acopio bibliográfico el cual está dividido en capítulos principales.

En el Capítulo I se expone un enfoque detallado referente al estudio de sistemas que nos permite enseñar y conocer los diferentes tópicos que guardan relación con el estudio de sistemas de la actividad humana, sus componentes, los subsistemas y las bases para su diseño adecuado; análisis de sistemas en las actividades mineras enfocados desde el punto de vista sistemático, en la que la Unidad Minera de operaciones se constituye en el sistema más representativo para su análisis; del cual es necesario conocer su metodología, sus características y la posibilidad de implementaciones en los sistemas industriales y especialmente en las operaciones mineras.

Para este análisis se toma el concepto de usuario-analista, en el que el usuario se encarga de identificar la necesidad y proporciona la información y los elementos

de juicio necesario; el analista, encamina las informaciones, aporta los conocimientos técnicos, diseña los modelos y cuantifica las alternativas sugiriendo.

También en este capítulo se hace un análisis de las técnicas cuantitativas de sistemas mineros. Estas técnicas en su mayoría son muy conocidas, por tal razón no se profundiza detalladamente tan sólo se hace un ligero comentario y un ejemplo sencillo para visualizar la importancia que tienen.

En los Capítulos II y III hacemos una muestra sobre el proceso completo de como se realiza un diagnóstico operacional, el planeamiento y programación de las operaciones mineras, la realización de los principales inventarios de ejecución, evaluación de los resultados, formulación de alternativas de optimización de las operaciones unitarias, determinación de parámetros y estándares para el planeamiento de producción. Con estos procesos seguidos, cualquier persona de minas con aspiración y visión del futuro puede iniciarse a desarrollar.

El Capítulo IV, es el tema central de la tesis o la parte más importante; planeación de producción mediante programación dinámica.

De todas las técnicas de investigación operacional, la programación dinámica a pesar de tener conceptos no muy confusos, es la más difícil de aplicar. Este capítulo

explica la teoría, procesos y ejemplos en términos simples y precisos que deben desarrollarse y implantarse la técnica en la unidad minera y ver la capacidad que tiene.

El Capítulo V, muestra una amplia información sobre los beneficios económicos que pueden lograrse aplicando esta técnica. Su posible implementación en las unidades mineras para obtener resultados óptimos, positivos, ventajosos y significativos, sería factible cuando se pone en práctica todo un planeamiento general con la técnica de programación dinámica.

En el Capítulo VI se tiene las conclusiones y recomendaciones, donde se mencionan los resultados y lo beneficioso que es emplear la investigación avanzada como lo es el modelo de programación dinámica.

Además se incluye Anexos con un ejemplo típico de producción y bibliografía que nos han servido para la realización de la tesis.

RESUMEN

El enfoque de sistemas en las actividades mineras quiere decir que las actividades relacionadas con la minería, están visualizadas en el campo de la teoría de sistemas y los sistemas a su vez definidos y orientados tomando en cuenta los adelantos científicos y tecnológicos; en la que el hombre cumple un papel fundamental en el uso racional de los recursos y optimización de beneficios.

La definición de un sistema tiene diferentes significados según las personas y su ambiente de trabajo. También la definición de sistemas depende de la persona que desea analizarlo. Luego en forma resumida un sistema cualquiera es un conjunto de elementos dinámicamente relacionados formando una actividad para alcanzar un objetivo.

Los sistemas pueden clasificarse según los diferentes criterios o propósitos. La clasificación que mencionamos no es estrictamente rígida, puede ser relativa según su alcance.

Los sistemas que se visualizan en las operaciones mineras, no pueden ser aquellos que obedecen a una sólo cla-

sificación; para determinar el comportamiento de los hechos en una unidad de producción minera metálica responden a una clasificación mixta. Lo que si caracteriza es que tienen que ser sistemas planificados o inventados.

Esquemáticamente la representación de un sistema y su relación con el medio ambiente se desarrolla en el punto 1.1.2 en donde las entradas representan todos los recursos con que cuenta un sistema para lograr un propósito, y las salidas están constituidos por los objetivos y metas. Además los componentes del sistema se clasifican en físicos y no físicos donde el elemento humano se considera en una categoría aparte (sólo como físico o sólo como no físico).

Los sistemas de la actividad minera se pueden visualizar en sus diferentes etapas o fases como exploración, desarrollo y minado en la fase de operación o de estudios, financiamientos o ejecución si se está en la fase de proyectos. La etapa más representativa en la actividad minera es la etapa de operación (producción). Conceptuado de esta manera el sistema de la actividad minera estará representada por la unidad minera en operaciones cuyas metas de operación son producción de tonelaje, obtención de leyes y ejecución de avances en frentes de exploración o desarrollo.

El sistema unidad minera cuenta con subsistemas como:

prospección, exploraciones y desarrollos, preparaciones, explotación de tajeos, ventilación, transporte, perforación y voladura, etc. Cada subsistema cumple una función específica y la sumatoria de todos está manifestado en el sistema principal.

Cuando el análisis del sistema productivo es más profundo; primero debe tenerse referencias sobre las técnicas de planeamiento y control, técnicas de computación, la investigación de operaciones, las estadísticas y probabilidades, técnicas de organización y administrativas, funciones y técnicas matemáticas, etc.; para analizar la interrelación de sus componentes de manera adecuada.

Sin embargo como los cálculos algebraicos y los métodos de tanteos no son suficientes para determinar cifras más próximas a lo óptimo, en esta tesis se ha desarrollado alguna de las técnicas cuantitativas en el análisis de sistemas mineros como la programación lineal, métodos PERT/CPM, algoritmo de transporte y asignación modelos de inventario, modelos de reemplazo, ingeniería de métodos y programación dinámica; cuyos ejemplos prácticos en la solución de problemas para cada caso se ilustra más objetivamente en el punto 1.2.

Estas técnicas en la actualidad con el apoyo de la computación, hacen posible que se maximicen los beneficios, se disminuyan los riesgos y se tomen decisiones con mu-

cha proyección para el futuro de los sistemas productivos. En las tareas de planeamiento todos ellos son necesarios; pero no en todas las empresas se utilizan.

El yacimiento que sirve de referencia para el desarrollo del trabajo está ubicado en la sierra del departamento de Lima provincia de Oyón. Dentro de las características geológicas del depósito mineral, las rocas más abundantes son las rocas sedimentarias cretáceas, en menor proporción se encuentran las rocas volcánicas e intrusivos. El depósito mineral es de tipo vetas, pequeños mantos, chimeneas mineralizadas y cuerpos de reemplazamiento; predominan las vetas de relleno y metasomatismo de contacto.

La mineralización es galena de grano grueso, pirita, pirrotita, esfalerita. Los controles de mineralización se caracterizan de la siguiente forma: estructural, litológico y mineralógico. El estado actual de los trabajos es que la unidad se encuentra en plena operación, los métodos de explotación utilizados son el SHIRINKAGE o almacenamiento provisional y el corte y relleno en su variante ARCH BACK. Las reservas probadas y probables han variado en forma progresiva, el potencial de reserva para esta unidad es alrededor de 3'000,000 de Toneladas cortas secas. Todo esto depende de los programas de exploración, el yacimiento en estudio tiene posibilidades de futuro tal como se puede observar del radio de

cubicación promedio que se aproxima a 55 TCS/metro de avance. Los resultados metalúrgicos de este depósito es algo especial por la presencia de manganeso en alto porcentaje, esto dificulta la flotación y por lo tanto su comercialización; por lo que el mineral tratado por flotación es necesario lixiviarlo; con lo que después de una serie de estudios y pruebas ha sido superado con éxito. Esto se ve claramente en los cuadros de balance metalúrgico desarrollado en el punto 2.5. Para la valorización del mercado de metales es deducido para estimar el precio neto debido a los gastos de refinación por cuanto la comercialización es a nivel de concentrados de plomo-plata.

La producción mina se caracteriza por el cumplimiento de metas mensuales, trimestrales, semestrales o anuales. La meta establecida es de 21,000 TCS/mes, con 15 onzas de plata/TCS, totalizando un contenido fino de 315,000 onzas de plata. En la planta concentradora lo que interesa es el porcentaje de recuperación metalúrgica que en nuestro caso es alrededor de 80% promedio.

En forma general en estos capítulos se hace un desarrollo y ilustración de las tareas de planeamiento y control de la producción determinando parámetros y estándares utilizando métodos tradicionales. Para los diferentes cálculos en algunos casos se han tomado datos reales y en otros se han asumido datos, pero lo más importante

es seguir una secuencia de desarrollo para que el profesional se desempeñe eficientemente y sea competitivo referente al planeamiento de producción ya sea técnicamente o en la gestión a nivel empresarial.

La programación dinámica puede definirse como una técnica matemática para la solución de una serie de decisiones en secuencia.

La característica principal de la programación dinámica es la toma de decisiones en secuencia, la idea básica es descomponer el problema en subproblemas más pequeños y que computacionalmente es más viable para su manejo.

La programación dinámica para su formulación requiere de tres elementos básicos: la etapa, alternativa (variables de decisión) y estado del sistema. El estado del sistema viene a ser el concepto más importante en un modelo de programación dinámica, ésta representa la "liga" entre las etapas subsecuentes de tal manera que cuando cada etapa se optimice por separado la decisión resultante es automáticamente factible para el problema completo.

Las matemáticas clásicas han resultado inadecuadas en la manipulación de muchos problemas de optimización. Entonces hoy en día debe existir un interés obvio en fraccionar un gran problema en subproblemas, cada una de las cuales incluye sólo una cuantas variables, y esto es lo

que hace la programación dinámica. Los ejemplos que se resuelven en este capítulo, a pesar de no ser muy grandes nos enseñan como cada uno de ellos tiene diferente ecuación recursiva para su desarrollo. Claramente se observa que no hay un algoritmo único o fijo para cada caso, los métodos de resolución son diferentes. Los modelos prácticos resueltos son una parte del sistema unidad minera. El objetivo de este método de programación dinámica es enseñar la forma de solución por medio de funciones recursivas discretas y continuas con o sin restricciones.

La teoría fundamental de la programación dinámica es el principio de optimalidad; esto básicamente nos dice como se puede resolver un problema adecuadamente a través del uso de cálculos recursivos.

Por lo general en la explotación minera se tienen varias frentes de trabajo (o varias vetas en minería subterránea); donde la ley tonelaje y el costo son los parámetros que reflejan la eficiencia operativa y un adecuado plan de producción; por lo cual es necesario controlar dichos parámetros mediante las técnicas de optimización, siendo tal vez la técnica menos conocida la de programación dinámica que aquí en la tesis hacemos ver su utilidad y uso en el campo minero.

Como ejemplo de aplicación de la misma tenemos el pla-

neamiento de producción (Ton-Ley); que nos permite determinar el tonelaje a extraerse de cada labor de trabajo, de tal modo que se entregue a la planta de beneficio, mineral en la cantidad y calidad requerida; tamaño de fuerza laboral, nos permite determinar el despido y contratación de personal necesario para cualquier área de trabajo que se requiera; reemplazo de equipos, nos permite saber cuando se debe mantener o reemplazar un equipo en operación; alternativas de inversión, nos permite invertir capital ya sea para ampliaciones o necesidades fundamentales y obtener beneficios rentables, etc.

La presente tesis enseña los siguientes pasos para la técnica de programación dinámica :

Construcción de un modelo de programación dinámica bajo el principio de optimalidad y su respectiva dimensionalidad de uso donde hay que tener presente, que según los estudiosos del problema de planificación de la producción WAGNER y WHITIN, redujeron el campo de búsqueda a no más de $N(N-1)/2$ cálculos.

Características y elementos necesarios para trabajar con el modelo de programación dinámica.

Métodos de soluciones y problemas de aplicación, donde nos permite demostrar la gran potencialidad y lo primordial a la aplicación típico de problemas mineros.

Las restricciones y la posible implementación está en función de su aplicación y difusión de esta técnica; para poder encontrar altas utilidades es necesario arriesgar y poner en práctica.

Los aspectos económicos son analizados en el capítulo V, mediante una amplia teoría, donde aplicando esta técnica de programación dinámica esperamos tener logros referentes a mínimos costos y óptimos beneficios en las empresas mineras. La programación dinámica es una técnica que ha demostrado buenos resultados en otras industrias referentes a análisis económico de inversión y contribución general.

Luego por las bondades y facilidades que ofrece este modelo es posible adaptar a problemas mineros. Básicamente su aplicación y beneficios serán en la medida que se le de un uso fundamental.

CAPITULO I

DEFINICIONES GENERALES

1.1 ENFOQUE DE SISTEMAS DE LAS ACTIVIDADES MINERAS

El enfoque de sistemas en las actividades mineras, quiere decir que las actividades relacionadas con la minería, están visualizadas o enmarcadas en el campo de la teoría de sistemas. Y los sistemas a su vez están definidas u orientadas tomando en cuenta los adelantos científicos y tecnológicos en la producción, administración y diseño de actividades socio-económicas en la que el hombre cumple un papel importante en el uso racional de los recursos y la optimización de beneficios.

Para el tratamiento de los recursos bajo el punto de vista sistemas, es necesario una breve referencia a la evolución, a las ciencias y técnicas administrativas del proceso productivo; que desde la concepción de Frederic Taylor y Henry Fayol hasta nuestros tiempos han intervenido un conjunto de puntos de vista, criterios, escuelas y teóricos. Una de ellas constituye la Teoría General de Sistemas, que es

plenamente aplicable al proceso productivo y extensible a la industria minera.

El enfoque sistemático que se complementa con la informática y la cibernética, tiene un tratamiento amplio y especializado. Su concepción es simple y sus definiciones diversificadas según los autores más representativos.

El estudio de sistemas productivos, obedece a una jerarquización, modelación; y una de las técnicas que coadyuvan al desarrollo de sistemas es la investigación de operaciones.

1.1.1 DEFINICION DE SISTEMAS

Un sistema viene a ser un conjunto de objetos, actividades, ideas o la combinación de éstos; cuya característica principal es menester de una unidad orgánica, funcional y racional. Gracias a la correlación lógica de sus elementos o componentes; donde todo el conjunto sometido a la influencia de su medio, es un subsistema más amplio. Y todo parte de un sistema, es potencialmente también un sistema.

El sistema, es un conjunto integrado de elementos homogéneos y heterogéneos en interrelación directa, aislado o comunicado con su ambiente a través de una frontera de porosidad variable y de valor producti-

vo. En forma resumida, un sistema cualquiera es: un conjunto de elementos, dinámicamente relacionados formando una actividad para alcanzar un objetivo, operando sobre datos-energía-materia, para proveer información-energía-materia a otro sistema de mayor jerarquía o a su ambiente.

También un sistema tiene diferentes significados según las personas y su ambiente de trabajo, como un Médico, Ingeniero Mecánico, Ingeniero Civil, Abogado, Economista, Periodista, Político, Ingeniero de Minas, etc.

Los sistemas son jerárquicos o piramidales, esto es, están constituidos de sistemas o subsistemas relacionados entre sí por un proceso o estándar de interacción. El propio Universo es un sistema constituido por una infinidad de subsistemas íntimamente relacionados entre sí. Realmente, es difícil decir dónde comienza y dónde termina un determinado sistema. Los límites o fronteras entre el sistema y su ambiente, admite cierta arbitrariedad.

La definición de un sistema depende del interés de la persona que desea analizarlo. Una organización, podrá ser entendida como un sistema o como un subsistema, dependiendo del análisis que se pretenda hacer, del mayor o menor grado de su autonomía, etc.

En conclusión, según el propósito, una organización productiva puede concebirse como sistema o subsistema; pero sus características, sus principios, las técnicas cuantitativas aplicativas y modos de tratamiento son los mismos.

1.1.2 CLASES DE SISTEMAS

Existe una gran variedad de sistemas y amplia gama de tipologías para clasificarlos, de acuerdo a ciertas características básicas. Por ejemplo:

a) En cuanto a su constitución de sistemas :

- Físicos o concretos
- Abstractos

b) En cuanto a su naturaleza :

- Cerrados
- Abiertos

c) En cuanto al tiempo y movimiento :

- Estático
- Dinámico

d) En cuanto a origen :

- Naturales
- Inventados o elaborados

Los sistemas pueden clasificarse, según los diferentes criterios o propósitos. La clasificación, no es estrictamente rígida, puede ser relativa; según su

alcance puede ser macro o micro sistema.

Los sistemas que se visualizan en las operaciones mineras, no pueden ser aquellas que obedecen a una sola clasificación. Entonces sistemas a conceptualizar para determinar el comportamiento de los hechos en una unidad de producción minera metálica responde a una clasificación mixta de modo que el sistema tiene como elementos o componentes sistemas del mundo real o conceptual, estáticos o dinámicos, abiertos o cerrados. Lo que sí caracteriza es que tienen que ser sistemas planificados (o inventados).

A continuación una breve referencia por cada tipo de sistema :

Sistemas Físicos o Concretos, aquellos que están compuestos por equipos, máquinas y por objetos reales y términos computacionales cuando está compuesto por Hardware.

Sistemas Abstractos, aquellos compuestos por conceptos, planes, hipótesis, ideas. En resumen cuando están compuestos por Software.

Sistemas Cerrados, son los sistemas que no permiten intercambio con el medio ambiente que le rodea; tiene una estructura rígida, también son llamados sistemas mecánicos.

Sistemas Abiertos, sistemas que presentan relación de intercambio con el ambiente, no es un sistema aislado, para sobrevivir debe reajustarse constantemente a las condiciones del medio ambiente.

Son Sistemas Estáticos cuando con el tiempo no varia o se consideran que no sufren cambios en periodos cortos. Y son sistemas dinámicos cuando se consideran que experimentan cambios en su comportamiento a través del tiempo. Es posible dar un tratamiento como sistemas estáticos a los sistemas dinámicos fraccionando en periodos cortos.

Los sistemas naturales como el sistema nervioso, el sistema solar o el sistema hidrográfico son aquellos en que no hubo intervención del hombre. Los sistemas planificados (inventados o elaborados) son sistemas donde han intervenido los conocimientos y técnicas al alcance del hombre; por tanto son sistemas mixtos.

De modo general, al margen de la clasificación, son sistemas :

Sistema de Abastecimientos

Sistema de Tribuciones

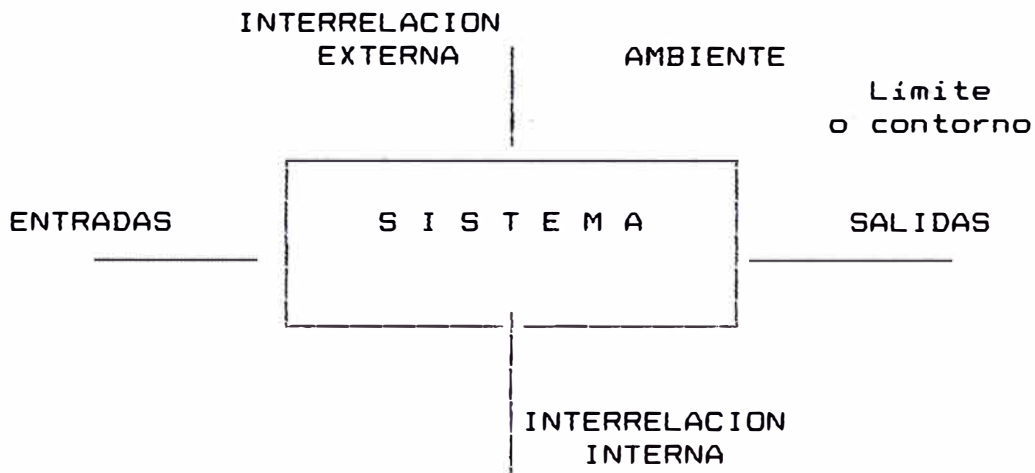
Sistema de Incentivos

Sistema de Pensiones

Sistema de Radiodifusión
Sistema Universitario
Sistema Contable
Sistema Nervioso
Sistema Celular
Sistema de Información
Sistema de Remuneraciones
Sistema de Telecomunicaciones, etc.

1.1.3 COMPONENTES Y REPRESENTACION DE SISTEMAS

Esquemáticamente la representación de un sistema y su relación con el medio ambiente es :



Las entradas representan todos los recursos con que cuenta el sistema para lograr su propósito, las salidas están constituidas por los objetivos y metas, los resultados logrados. Las interrelaciones internas significa la interacción recíproca entre los di-

ferentes componentes o elementos del sistema; por ejemplo todo sistema productivo tiene como componentes sistemas mecánicos, sin tener energía (que da movimiento) y sistema operador o elemento humano que ejerce control sobre todo el sistema. Del grado de interacción interna depende la contribución de los componentes al sistema.

La interrelación externa, se refiere a las relaciones del sistema con su ambiente, en ellos existen variables que escapan al control del sistema pero sí influyen considerablemente.

Los componentes del sistema, también se clasifican en FÍSICOS y NO FÍSICOS, donde el elemento humano se considera en una categoría aparte, sólo como físico o no físicos. Ambos tipos de componentes a su vez pueden ser estructurales, operativos y fluyentes; según la función principal que cumpla en el sistema.

1.1.4 SUBSISTEMAS DE LA ACTIVIDAD MINERA

La Industria Minera, se puede visualizar en sus diferentes etapas o fases como Exploración, Desarrollo y Minado en la fase de operación; o de estudios, financiamiento o ejecución de los mismos si está en la fase de proyectos. Para fines de análisis de las actividades mineras, la fase más repre-

sentativa es la etapa de operación (Producción), conceptualizado de esta manera el sistema de la actividad minera, estará representada por la Unidad Minera en Operación cuyas metas de operación son producción de tonelaje, obtención de leyes y ejecución de avances en frentes de exploración o desarrollo.

El sistema Unidad Minera, cuenta con subsistemas como : prospección, exploraciones y desarrollos, preparaciones, explotación de tajeos, abastecimiento de relleno, transporte, mantenimiento de equipos, ventilación, drenaje, suministros varios, planeamiento, informaciones, control, incentivos al personal, tratamiento metalúrgico, remuneraciones, sistemas de perforación y voladura, acarreo, sostenimiento, etc.

Todos estos subsistemas, son sistemas de menor categoría que el sistema unidad minera. Cada subsistema cumple una función específica y la sumatoria de todos está manifestado en el sistema principal. Cada una de ellas para efectos de su análisis evaluación de resultados y planteamiento de alternativas; se basan en los mismos principios, técnicas y mecanismos.

1.1.5 TECNICAS DE ANALISIS DE SISTEMAS

Por la composición compleja de los sistemas produc-

tivos para analizar la interrelación de sus componentes de manera adecuada, es necesario conocer un conjunto de técnicas como :

Técnicas de Planeamiento y Control

Técnicas de Computación

La Investigación de Operaciones

Las Estadísticas y Probabilidades

Funciones y Técnicas Matemáticas

Técnicas de Organización y Administrativas.

La investigación de operaciones y su síntesis en el modelo matemático, constituye una de las técnicas bases en el enfoque de sistemas de los sistemas productivos.

La investigación de operaciones, al igual que el concepto de sistemas, es variado según los diferentes estudiosos. Por ejemplo: "La Investigación de operaciones es la aplicación del método científico al estudio de las operaciones de las grandes y complejas organizaciones o actividades" o en sentido general, "La Investigación de Operaciones, puede considerarse como la aplicación de métodos científicos, técnicas e instrumentos a problemas relacionados con la operación de los sistemas, a fin de proporcionar a los que controlan las operaciones las soluciones óptimas para los problemas".

En conclusión, la investigación de operaciones, es la aplicación de técnicas de análisis cualitativo y cuantitativo para determinar las causas de desviación en las operaciones normales de una organización productiva para proponer medidas correctivas y la toma de decisión sensata.

1.2 TECNICAS CUANTITATIVAS EN EL ANALISIS DE SISTEMAS MINEROS

Al tratar el punto 1.1.5 se ha hecho mención a las técnicas usadas en el análisis de sistemas productivos en general. Sin embargo para la minería las técnicas cuantitativas más utilizadas son :

La Programación Lineal

Métodos del PERT/CPM

Algoritmos de Asignación y Transporte

Teoría de Colas

Modelos de Inventario

Modelos de Reemplazo

Técnicas de Simulación

Programación Dinámica.

Estas técnicas en la actualidad con el apoyo de las técnicas de computación, hacen posible que se maximice los beneficios, se disminuya los riesgos y se tomen decisiones con mucha proyección para el futuro de los sistemas productivos. En las tareas de pla-

neamiento todas ellas son necesarias; pero, no en todas las empresas se utiliza. Unas veces uno o dos técnicas, otras veces ninguna; su aplicación correcta y la adecuación a cada realidad operativa es trabajoso por lo que requiere dedicación y apoyo de los niveles de decisión.

1.2.1 PROGRAMACION LINEAL

La Programación Lineal, es una técnica que en principio identifica a la investigación de operaciones. Se constituye en una de sus primeras herramientas que en su oportunidad logra resolver problemas de producción; primero por el método gráfico, luego con el método simplex y últimamente con el método Dual-Simplex con aplicación a computadoras.

Con la programación lineal, en minería se resuelven problemas como :

- . Mezcla de minerales (blending).
- . Combinación de labores de desarrollo para optimizar beneficios a contratistas o maximización de beneficios aplicando incentivos.
- . Minimización de costos operacionales.
Planeación de producción.
- . Planeación de inversión con la mejor rentabilidad.
- . Evaluación del uso de recursos y cuantificación de

excedentes o defectos.

Ejemplo :

Dos zonas de explotación subterránea de mineral mong metálico de una Compañía Minera en inicio producen tres calidades de leyes del mineral baja, media y alta. Se tiene previsto producir 16 Ton de baja ley, 5 Toneladas de ley media y 20 Toneladas de alta ley. Los costos de operación son de \$ 1,000 por día para la zona I y de \$ 2,000 por día para la zona II.

La primera zona produce actualmente 8 toneladas de baja ley, 1 tonelada de ley media y 2 toneladas de alta ley en un día de operación. La zona II produce 2 toneladas de baja ley, 1 tonelada de ley media y 7 toneladas de alta ley por cada día de operación. ¿Cuántos turnos por día necesita trabajarse en cada zona a fin de nivelarse con la producción que se tiene previsto en la forma más económica?.

SOLUCION

Sea x número de turnos por día que debe trabajar la zona I.

Sea y número de turnos por día que debe trabajar la zona II.

Luego para cumplir con la meta se hará optimizando los costos de operación (minimizando los costos propiamente).

$$\text{====> } \text{Min } Z = 1000X_1 + 2000X_2$$

Pero se tendrá las siguientes restricciones :

Leyes	Zona I (Ton)	Zona II (Ton)	Requerimientos (Ton)
Ley Baja	8	2	16
Ley Media	1	1	5
Ley Alta	2	7	20

Finalmente el problema queda formulado según el siguiente modelo :

$$\begin{aligned} \text{Min. } Z &= 1000X_1 + 2000X_2 \\ \text{Sujeto a :} & \quad 8X_1 + 2X_2 \leq 16 \\ & \quad X_1 + X_2 \leq 5 \\ & \quad 2X_1 + 7X_2 \leq 20 \end{aligned}$$

$$\text{para } X_1, X_2 \geq 0$$

Resolvemos gráficamente :

$$\begin{aligned} 8X_1 + 2X_2 &= 16 \quad \dots\dots\dots(1) \\ X_1 + X_2 &= 5 \quad \dots\dots\dots(2) \\ 2X_1 + 7X_2 &= 20 \quad \dots\dots\dots(3) \end{aligned}$$

Tabulando .

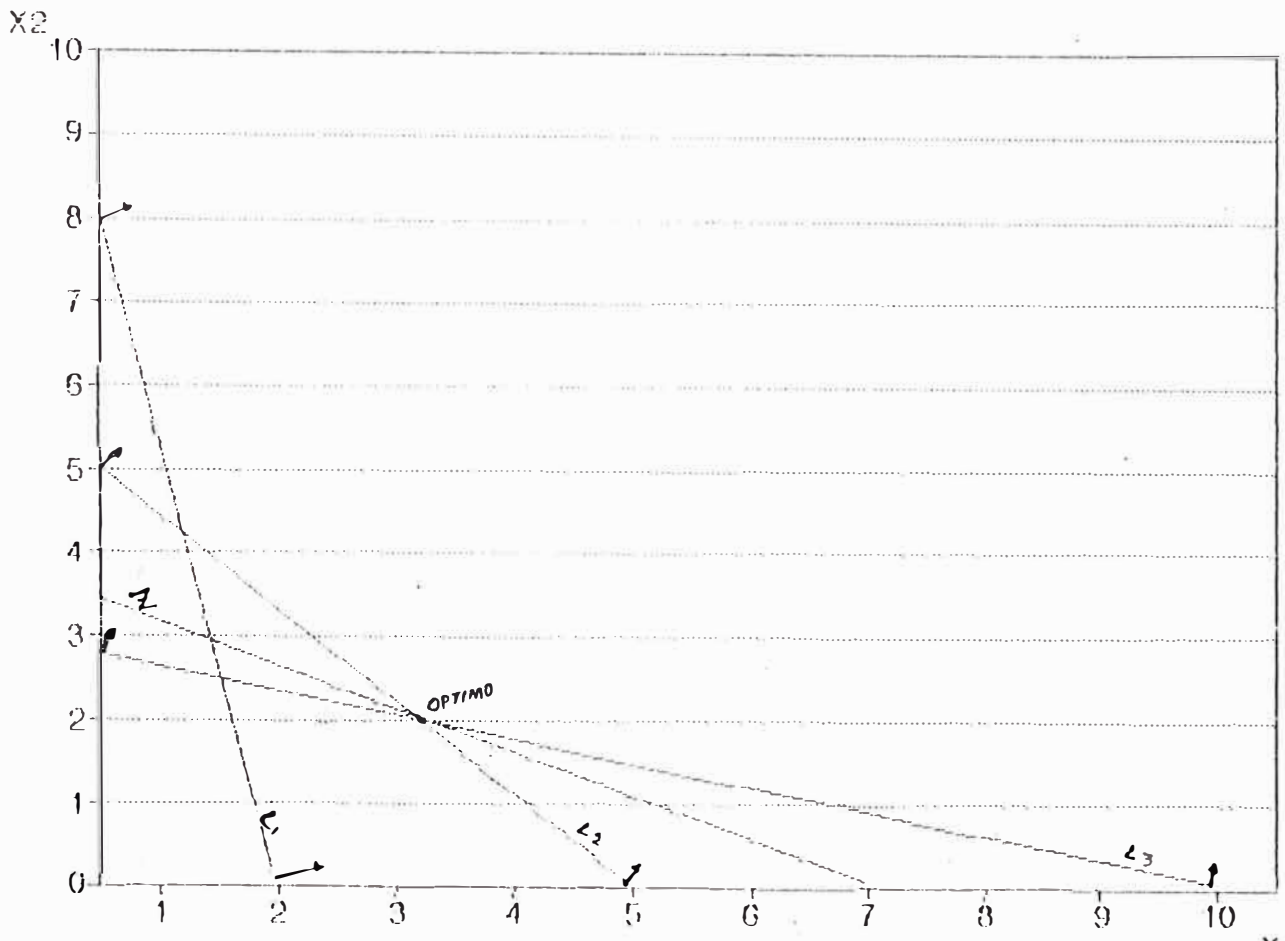
x_1	x_2	
0	8	.....(1)
2	0	
0	5	.....(2)
5	0	
0	2.86	.....(3)
10	0	

Luego graficando en el primer cuadrante por la condición de no negatividad se tiene, los siguientes resultados :

$x_1 = 3$ turnos por día en la zona I

$x_2 = 2$ turnos por día en la zona II

$Z = \$ 7000$ costo de operación de las dos zonas de explotación.



1.2.2 METODOS PERT/CPM

Las técnicas PERT y CPM son de gran aplicación en las tareas de planeamiento, programación y control. Se visualiza mejor cuando la red de actividades de los métodos PERT o CPM se plasma en un diagrama de GANTT.

La combinación de las técnicas PERT que enfatiza los tiempos y el CPM que enfatiza los costos, se denomina el método del camino crítico. Y tiene como aplicación en los siguientes items :

Producción

Ventas

Finanzas

Control de producción

Formulación y ejecución de proyectos.

En cuanto a los proyectos son aplicados con bastante éxito como en construcciones de plantas concentradoras, piques, rampas, hidroeléctricas, campamentos, carreteras de acceso, etc. Su característica principal es que especifica la secuencia de las diferentes actividades, sus costos, el tiempo de ejecución de todo el proyecto, las actividades críticas que no poseen holgura, las actividades que poseen holgura. La posibilidad de comprimir la red para realizar en tiempos menores a lo normal y su implicancia en los

costos por adelantar la fecha de terminación, o los costos de oportunidad por retrasar el proyecto, etc.

A continuación un ejemplo de su aplicabilidad.

Ejemplo :

Se tiene un cuadro que presenta y describe secuencialmente los tiempos destinados para el tendido de una red de agua de alimentación a un campamento minero. Se pide calcular los tiempos PERT-CPM que corresponde a cada una de las actividades que se indica y dibujar la red relacionada a este proyecto, midiéndose los tiempos más tempranos y los tiempos más tardíos de empezar y terminar los eventos o sucesos que relacionan las actividades del proyecto así como la duración total esperada del proyecto; además calcular la varianza del camino crítico. Por otro lado el proyecto señala plazo de conclusión con probabilidad de ocurrencia de 80 a 90%. El proyecto se requiere con urgencia en un tiempo compuesto $t_i = 120$ días contados a partir de la fecha de inicio con un 50% de adelanto convencional. ¿Se podrá cumplir con el proyecto?.

**TIEMPOS DESTINADOS PARA EL TENDIDO
DE UNA RED DE AGUA**

i - j	Descripción	0	m	P
0 - 1	Preparación del personal	10	10	10
1 - 2	Traslado de equipos y herram.	18	20	22
1 - 3	Compra de tuberías	20	30	100
1 - 6	Compra de válvulas y accesorios	18	20	70
2 - 4	Trazo y replanteo ejes y nivel	6	7	14
3 - 5	Muda	0	0	0
3 - 6	Acondicionamiento de accesorios	7	9	17
4 - 5	Excavación de zanjas	20	25	60
5 - 6	Preparación caja para válvulas	17	18	31
5 - 7	Colocación de tuberías	18	20	46
6 - 8	Colocación de válvulas	8	10	12
7 - 8	Anclajes de concreto	11	12	13
8 - 9	Muda	0	0	0
8 - 10	Rellenos	8	8	20
8 - 10	Terminación caja de válvulas	8	8	8
9 - 10	Prueba de la red	5	6	7
10 - 11	Limpieza y eliminación	2	3	10
11 - 12	Retiro de equipo y personal	3	4	5

SOLUCION

Procedencias	Descripción	ESTIMACIONES			
		O	m	P	T
0 - 1	Preparación del personal	10	10	10	10
1 - 2	Traslado de equipos y herram.	18	20	22	20
1 - 3	Compra de tuberías	20	30	100	40
1 - 6	Compra de válvulas y accesorios	18	20	70	28
2 - 4	Trazo y replanteo ejes y nivel	6	7	14	8
3 - 5	MUDA	0	0	0	0
3 - 6	Acondicionamiento de accesorios	7	9	17	10
4 - 5	Excavación de zanjas	20	25	60	30
5 - 6	Preparación caja para válvulas	17	18	31	20
5 - 7	Colocación de tuberías	18	20	46	24
6 - 8	Colocación de válvulas	8	10	12	10
7 - 8	Anclajes de concreto	11	12	13	12
8 - 9	MUDA	0	0	0	0
8 - 10	Rellenos	8	8	20	10
8 - 10	Terminación caja de válvulas	8	8	8	8
9 - 10	Prueba de la red	5	6	7	6
10 - 11	Limpieza y eliminación	2	3	10	4
11 - 12	Retiro de equipo y personal	3	4	5	4

$$T_{PERT} = \frac{O + 4m + P}{6}$$

CALCULO DEL CAMINO CRITICO : Para esto hallamos las hol-
guras de suceso y las holguras de actividad de acuerdo
a la gráfica que se encuentra en el Anexo.

$$Hs = t^*(x) - t(x), \quad \left[\begin{array}{l} t^* : \text{Tiempo lo más tarde posible} \\ t : \text{Tiempo lo más pronto posible} \end{array} \right.$$

$$Ha = t^*(j) - t(i) - t(i,j), \quad \left[\begin{array}{l} t^*(j) : \text{Tiempo lo más tarde} \\ \text{permisible} \\ t(i) : \text{Tiempo lo más pronto} \\ \text{permisible} \\ t(i,j) : \text{Tiempo de duración} \\ \text{de la actividad} \end{array} \right.$$

Suceso-Actividad	Hs	Ha
1	0	0
2	0	0
3	18	18
4	0	0
5	0	0
6	6	6
7	0	0
8	0	0
9	4	4
10	0	0
11	0	0
12	0	0

Actividad i - j	Duración (T)	Situación	Lo más pronto posible		Lo más tarde posible	
			Comienzo	Terminación	Comienzo	Terminación
0 - 1	10	Critica	0	10	0	10
1 - 2	20	Critica	10	30	10	30
1 - 3	40	No critica	10	50	10	68
1 - 6	28	No critica	10	38	10	94
2 - 4	8	Critica	30	38	30	38
3 - 5	0	No critica	50	68	68	68
3 - 6	10	No critica	50	60	68	94
4 - 5	30	Critica	38	68	38	68
5 - 6	20	No critica	68	88	68	94
5 - 7	24	Critica	68	92	68	92
6 - 8	10	No critica	88	98	94	104
7 - 8	12	Critica	92	104	92	104
8 - 9	0	No critica	104	104	104	108
8 - 10	10	Critica	114	104	104	114
8 - 10	8	No critica	98	106	104	118
9 - 10	6	No critica	104	110	108	114
10 - 11	4	Critica	114	118	114	118
11 - 12	4	Critica	118	122	118	122

Luego de estos cuadros tabulados se procede a realizar los gráficos correspondientes a camino crítico y diagrama de GANT . Ver Anexo.

Por lo tanto :

Camino crítico o ruta crítica

0 - 1 - 2 - 4 - 5 - 7 - 8 - 9 - 10 - 11 - 12

CALCULO DE LA VARIANZA DEL CAMINO CRITICO

Actividad	tp	to	$S^2 = \left(\frac{tp - to}{2} \right)^2$
0 - 1	10	10	0
1 - 2	22	18	0.4
2 - 4	14	6	1.3
4 - 5	60	20	44.4
5 - 7	46	18	21.8
7 - 8	13	11	0.1
8 - 10	20	8	4
10 - 11	10	2	1.8
11 - 12	5	3	0.1

$$\Sigma S^2 = 73.9$$

Luego el desvio estándar del camino crítico :

$$S = \sqrt{\Sigma S^2} = 8.59 \approx 9 \text{ días}$$

CALCULO DEL PLAZO DE CONCLUSION DEL PROYECTO

Probabilidad de cumplimiento 85 % (Z = 1.04 en la tabla de distribución de GAUSS), siendo $Z = \frac{ts - T}{S}$ resulta

$t_s = 1.04 \times 9 + 122 = 131$ días, observándose que no se puede cumplir con el plazo para la conclusión del proyecto (t_i) sin extracostos, debiendo reducirse el tiempo (T) de 122 a 111 días si queremos $t_i = Z \times S + T = 120$ días.

1.2.3 ALGORITMOS DE ASIGNACION Y TRANSPORTE

Los algoritmos de asignación y transporte son casos especiales de los problemas de programación lineal, debido a la complejidad y laboriosidad en la solución por el método general (gráfico, algebraico o simplex) se ha establecido algoritmos especiales cuya estructura matemática es como sigue :

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij}$$

Sujeto a :

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = a_i \quad \text{para } i = 1, 2, 3, \dots, m$$

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} = b_j \quad \text{para } j = 1, 2, 3, \dots, n$$

para $X_{ij} \geq 0$

La presentación matricial es más simplificada, tomando en cuenta los coeficientes de las ecuaciones de las restricciones.

		DESTINOS				OFERTA ó Suministros
		1,	2,	.....	n	
ORIGENES	1	C11	C12	.....	C1n	a1
	2	C21	C22	.....	C2n	a2

	m	Cm1	Cm2	.....	Cmn	am
DEMANDA ó REQUERIMIENTOS		b1	b2	.....	bn	

Para los motivos mineros constituyen las demandas : los insumos, mineral, relleno, etc.

Constituyen las ofertas, los mismos que las demandas; los orígenes, los lugares, estaciones o ubicaciones desde donde se debe trasladar o transportar y los destinos por lo mismo pueden ser : las tolvas de gruesos, los tajeros, los almacenes, las canchas de depósitos, etc.

El flujograma de tratamiento del proceso de cálculo y los métodos utilizados para su mejoramiento de la solución básica inicial. No están al alcance de este trabajo. EJEMPLO :

Sean las tolvas de mineral de cabeza los demandantes y

los tajeos de producción los ofertantes de producto. Los diferentes costos aparecen en la matriz de costos y la función objetivo es minimizar los costos de transporte.

TOLVAS INTERMEDIA DE ACOPIO

		A	B	C	D	
TAJEOS DE PRODUCCION	I	11	12	10	8	2,000
	II	9	7	6	13	1,500
	III	8	10	9	12	1,500
	IV	12	9	11	8	1,000
		1,200	800	2,500	1,500	

donde la capacidad de producción de los tajeos y de las tolvas de acopio se expresan en toneladas métricas húmedas. Y los costos de transporte por tonelada están en fracciones de dólar americanos (\$/1000).

SOLUCION :

Resolviendo el problema por el método de la Esquina del Noroeste para la solución básica inicial y mejorando los costos se tiene :

Resultado inicial - costo total de transporte

U.S. \$ 54.8 por la producción total de 6,000 TMH a un promedio de \$ (9.13/1,000)/TMH.

Mejorando para optimizar los costos de transportes se llega a la siguiente conclusión :

TAJEO	TOLVA DE ACOPIO	TMH	IMPORTE (\$)
I	A	700	7.700
I	D	1.300	10.400
II	C	1.500	9.000
III	A	500	4.000
III	C	1.000	9.000
IV	B	800	7.200
IV	D	200	1.600
TOTAL		6.000	48.900

La ventaja de este algoritmo es que se ha determinado los tonelajes a transportar de cada tajeo a cada tolva para optimizar los costos. Significando una mejora del 11%.

Los Problemas de Asignación, tienen la misma estructura que los problemas de transporte, con la diferencia de que las ofertas y demandas son unitarios e indivisibles; por esta característica su tratamiento para la selección es más complejo. Y el método más conocido es el Método HUNGARO. Sus aplicaciones en los problemas mineros son innumerables y variados.

NOTA: Aquí se ha aplicado; para la solución básica Método de la Esquina Noroeste y para optimizar el método MODI en cuatro iteraciones.

1.2.4 MODELOS DE INVENTARIO

Es otra de las técnicas de valiosísima importancia en las operaciones mineras y las tareas de planeamiento. Se conoce más comúnmente como control de inventarios, se ocupa de dos tipos de decisiones :

- a) Qué cantidad hay que ordenar su compra por cada período.
- b) Cuándo hay que pedir esa cantidad para aminorar los costos y que no falte stock de materiales.

Las ventajas de la aplicación adecuada de estos modelos son :

1. Minimizar la inversión en el inventario.
2. Minimizar los costos de almacenamiento.
3. Minimizar las pérdidas por daños o por obsolescencia.
4. Mantener un inventario suficiente para que las operaciones de producción no carezca de materias primas, partes y suministros.
5. Mantener un eficiente despacho, transporte y recepción.
6. Hacer pronósticos sobre futuras necesidades.

También denota algunas desventajas :

Puede ocasionar alto costo de mantenimiento.

Costo de almacenaje.

Costo de oportunidad causado por falta de stock, etc.

El tratamiento de los inventarios, debe merecer igual consideración que el aire comprimido o el agua de perforación; ya que a nivel del sistema total es igualmente importante las técnicas que se utilizan en su aplicación son las probabilidades, uso de computadoras cuando se trata de estudios serios o la aplicación de fórmulas conocidas para problemas determinísticos o para períodos cortos.

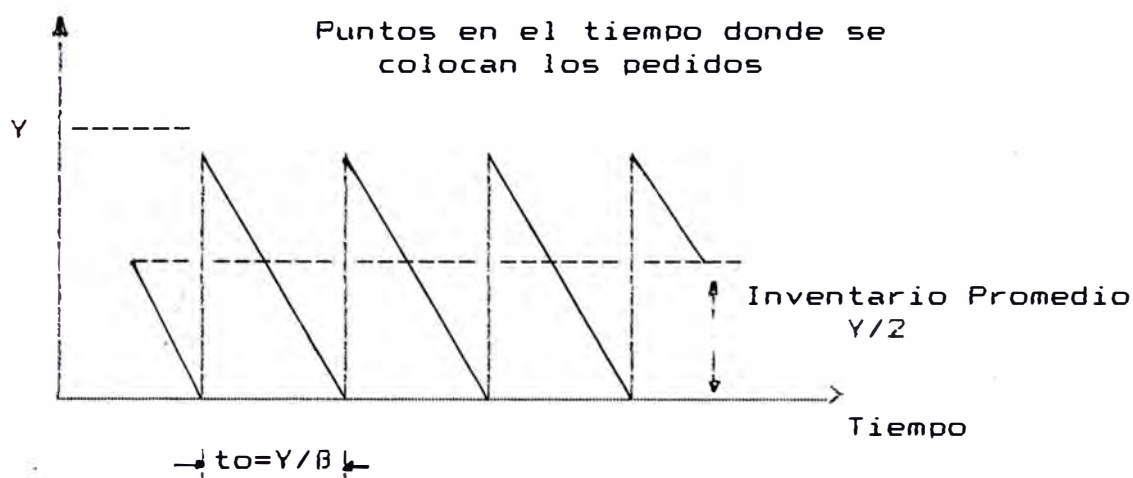
Los Modelos de inventario se visualiza de dos ángulos, uno como inventario de insumo para la producción y otro como inventario de productos terminados. La finalidad es encontrar un equilibrio con uso limitado de recursos. Los problemas más sencillos para ilustrar las técnicas pueden ser

Modelo estático de un solo artículo con precio constante.

Modelo estático de un solo artículo con diferentes precios.

Modelos estáticos de múltiples artículos y con limitaciones de almacén.

Nivel de
Inventario



donde :

$$Y^* = \sqrt{\frac{2 K \beta}{h}}$$

Y^* = Tamaño del lote económico (o costo óptimo)

$to = y/\beta =$ ciclo del inventario

$y/2 =$ Inventario promedio

$Y =$ Costo total por unidad de tiempo

$Y =$ Costo fijo/unidad de tiempo + costo de mantenimiento por unidad de tiempo

$K =$ Costo fijo/unidad de tiempo

$h =$ Costo de mantenimiento/unidad de tiempo

$\beta =$ demanda/unidad de tiempo.

EJEMPLO

El Gerente General de la Cía Minera "X", solicita se le haga un estudio sobre sus inventarios de tres tipos de Barrenos Integrales (Barrenos tipo cincel (H19), Barrenos de inserto múltiple (H22), y Barrenos con boca de botones (H25)). Para llevar a cabo tal estudio se tiene la siguiente información :

La demanda anual de cada insumo en unidades/año es :

H19 -----> 420 , H22 -----> 335 y H25 -----> 260

El costo estimado de mantenimiento es de \$1250 por año, y los costos de ordenar una compra es aproximadamente \$130.

El costo de cada tipo de barreno es :

H19	----->	\$ 95
H22	----->	\$ 110
H25	----->	\$ 120

El tiempo que demora en llegar un pedido al almacén después de dar la orden de compra es de 15 días. El objetivo principal del presente estudio es determinar para cada tipo de barreno lo siguiente :

- a) La cantidad óptimo de pedido
- b) El costo total por año
- c) El número de pedidos por año

- d) El tiempo entre pedidos (en días)
- e) Punto de pedido
- f) Graficar

Nota : - Todos los datos son asumidos, además dentro de los costos de mantenimiento y los costos de hacer un pedido, están incluidos los diferentes costos que existen en cada uno de ellos.

- Para la solución del problema considerar valores constantes para los coeficientes de los costos; también la demanda de los barrenos es constante.

SOLUCION

CUADRO INICIAL :

Tipo de Material	Cantidad de Demanda	Costo Unitario	Costo Total de Compra	Costo Total de Mantenimiento	Costo Unitario de Mantenimiento
BC -H19	420	95	39,900	400	0.96
BIH-H22	335	110	36,850	370	1.10
BBB-H25	260	120	31,200	480	1.85
	1,015		107,950	1,250	

CUADRO DE INVENTARIO :

TIPO DE MATERIAL	β DEMANDA Anual (Unidades)	C_1 Costo Unitario de compra	Costo total de compra	h Costo V de mantenimiento	K Costo total hacer pedido	Tiempo de Entrega
BC - H19	420	95	39,900	0.95	130	15 días
BIM - H22	335	110	36,850	1.10	130	15 días
BBB - H25	260	120	31,200	1.85	130	15 días
	1,015		107,950			

a) Cantidad óptima de pedido (Y^*) :

$$Y^* = \sqrt{\frac{2 K \beta}{h}}$$

$$Y^*_{H19} = \sqrt{\frac{2(130)(420)}{0.95}} = 339 \text{ Unidades}$$

$$Y^*_{H22} = \sqrt{\frac{2(130)(335)}{1.10}} = 281 \text{ Unidades}$$

$$Y^*_{H25} = \sqrt{\frac{2(130)(260)}{1.85}} = 191 \text{ Unidades}$$

b) Costo Total por año (Y) :

$$Y = C_1 \beta + K \frac{\beta}{Y^*} + h \frac{Y^*}{2}$$

$$Y_{H19} = 95(420) + 130\left(\frac{420}{339}\right) + 0.95\left(\frac{339}{2}\right) = \$40,222.08/\text{año}$$

$$Y_{H22} = 110(335) + 130\left(\frac{335}{281}\right) + 1.10\left(\frac{281}{2}\right) = \$37,159.53/\text{año}$$

$$Y_{H25} = 120(260) + 130\left(\frac{260}{191}\right) + 1.85\left(\frac{191}{2}\right) = \$31,553.64/\text{año}$$

c) Número de Pedidos por año (N) :

$$N = \frac{\beta}{Y^*}$$

$$N_{H19} = \frac{420}{339} = 1.24 \text{ pedidos al año}$$

$$N_{H22} = \frac{335}{281} = 1.19 \text{ pedidos al año}$$

$$N_{H25} = \frac{260}{191} = 1.36 \text{ pedidos al año}$$

d) Tiempo entre pedidos (t_0) :

$$t_0 = \frac{365}{N}$$

$$t_{0H19} = \frac{365}{1.24} = 294 \text{ días}$$

$$t_{0H22} = \frac{365}{1.19} = 306 \text{ días}$$

$$t_{0H25} = \frac{365}{1.36} = 268 \text{ días}$$

e) Punto de pedido (P) :

$$P = \frac{\beta}{365} \quad (\text{Tiempo de demora del pedido})$$

$$P_{H19} = \frac{420}{365} \quad (15 \text{ días}) = 17.26 \quad \text{unidades}$$

$$P_{H22} = \frac{335}{365} \quad (15 \text{ días}) = 13.76 \quad \text{unidades}$$

$$P_{H25} = \frac{260}{365} \quad (15 \text{ días}) = 10.68 \quad \text{unidades}$$

CUADRO FINAL :

Tipo de Material	Cantidad Op- tima de pedi- do (Y#)	Costo Total por año \$/año	N° de Pedidos al año	Tiempo entre Pedidos	Punto en que debe pedir
BC -H19	339 unidades	40.222.08	1.24 veces	294 días	17.26 unidades
BIH-H22	281 unidades	37.159.53	1.19 veces	306 días	13.76 unidades
BBB-H25	191 unidades	31.553.64	1.36 veces	268 días	10.68 unidades

f) Los gráficos se encuentran en el anexo.

1.2.5 MODELOS DE REEMPLAZO

Todo tipo de recurso que forma parte del proceso produc-
tivo se deteriora a través del tiempo y con el uso. Pa-
ra alargar su vida útil, se recurre a dos tipos de mante-
nimiento :

Preventivo (antes que ocurra la falla).

Correctivo (cuando ya ocurrió).

De estos dos tipos es fundamental sobre todo el mantenimiento preventivo para prever fallas mayores que acortan la vida de los recursos; especialmente cuando se trate de equipos y maquinaria. En el mantenimiento correctivo que consiste en reparar, no siempre la reparación es económica, hay casos en que la reparación resulta más costosa que un reemplazo del equipo deteriorado por otro nuevo.

Sin embargo el reemplazo, no sólo se da por deterioro; también se reemplaza por avance tecnológico que hace obsoleto a los equipos operativos por la aparición de otros más modernos y eficaces.

Los problemas típicos que se analizan con estos modelos de reemplazo, obedecen a

Determinar los períodos en que se balancean los costos de operación con la depreciación periódica de un recurso; con o sin criterio de valor presente.

Determinar los períodos adecuados para proporcionar mantenimiento preventivo a un recurso cuyo costo de utilización se incrementa con el tiempo.

Determinar los períodos de reemplazo preventivo de un recurso cuya probabilidad de falla aumenta con el uso.

Determinar los diseños que balancean el costo de incrementar la confiabilidad de un sistema con el costo del diseño.

En los problemas Mineros, para la aplicación de estos modelos es posible agrupar en dos tipos :

- a) Los que se utiliza para evaluar artículos que se deterioran con el tiempo, como los activos fijos de una empresa: máquinas, camiones, equipos, instrumentos, etc. que por lo general son de costo elevado. Ejemplo : Grupos electrógenos, compresoras, winches de izaje, palas mecánicas, tractores, locomotoras, molinos, etc.
- b) Los que se utilizan para artículos que fallan después de un determinado periodo de uso que son relativamente más económicos (de costos menores), como : los neumáticos de un camión, las tuberías de instalación de agua, baterías de las locomotoras, cables de un winche, tolvas de carros mineros, etc.

EJEMPLO DE APLICACION:

Se adquiere un equipo minero cuyo valor de adquisición es \$ 3,000.= las estimaciones de los costos de operación, valor residual del equipo se presenta en el cuadro siguiente :

	AÑO DEL REEMPLAZO						
	1	2	3	4	5	6	7
Costo de Operación	600	700	800	900	1,000	1,200	1,500
Valor Residual	2,000	1,333	1,000	750	500	300	300

Del cuadro se observa que los costos de operación se incrementan a mayor uso y el valor residual disminuye a mayor tiempo.

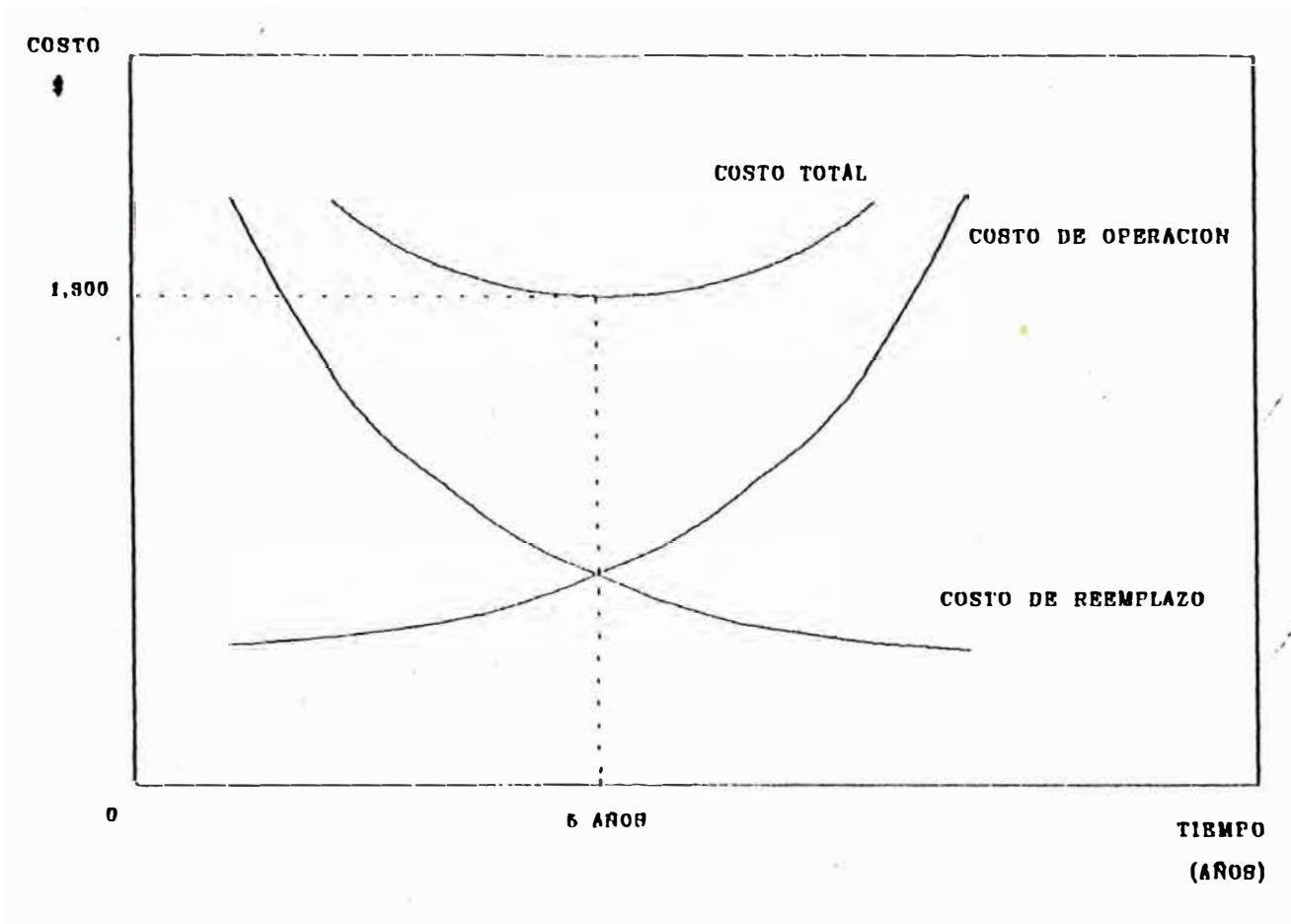
$$\text{Depreciación} = \frac{\text{Costo de Adquisición} - \text{Valor residual}}{\text{Vida útil}}$$

$$\text{Costo por año} = \frac{\text{Costo acumulado de operación al año } n + \text{Depreciación}}{n^\circ \text{ de Años}}$$

	AÑO DE REEMPLAZO						
	1	2	3	4	5	6	7
Costo acumulado de Op.	600	1,300	2,100	3,000	4,000	5,200	6,700
Depreciación	1,000	1,667	2,000	2,250	2,500	2,700	2,700
Costo Total	1,600	2,967	4,100	5,250	6,500	7,900	9,400
Costo por Año	1,600	1,483	1,367	1,312	1,300	1,317	1,343

Para este ejemplo simple, sin considerarse el valor del dinero en el tiempo; la decisión a tomar debe ser reemplazar el equipo al final del año 5.

Para ilustrar mejor se puede graficar los datos.- La curva se comporta así



1.2.6 PROGRAMACION DINAMICA

Los Modelos Dinámicos, están sujetos al factor tiempo, además tiene la ventaja de predecir futuras necesidades o requerimientos período por período aparte que independientemente a las decisiones anteriormente tomadas, sirve para aplicar correctivos y lograr metas.

La mayoría de los modelos o técnicas cuantitativas se refieren a resolver problemas estáticos. En la práctica los problemas son dinámicos, que sólo pueden ser resueltos cuando se descompone en una serie de etapas por el principio de optimalidad de Bellman.. Este procedimiento secuencial se conoce como Programación Dinámica que tiene sus propias características y principios, sus ventajas y limitaciones de aplicabilidad a la solución de problemas reales.

Un aspecto importante de la Programación Dinámica que no es una técnica simplemente como el simplex o transporte. Sino que es un concepto aplicable a la solución de muchos problemas de optimización sean lineales, enteros, no lineales, inventario, reemplazo. Todo ello basado en la optimalidad, recursividad y la descomposición del sistema de varias etapas, y, cada etapa corresponde a una decisión determinada.

Las características, los elementos y los métodos de so-

lución a los Modelos de Programación Dinámica se especifican en el Capítulo IV.

1.2.7 INGENIERIA DE METODOS

La Ingeniería de Métodos se ocupa de la integración del ser humano dentro del proceso de producción. También puede describirse como el diseño del proceso productivo en lo que se refiere al ser humano. La tarea consiste en decidir donde encaja el ser humano en el proceso de convertir materias primas en producto terminado y en decidir como puede el hombre desempeñar más efectivamente las tareas que se le asigna.

La posición y alcance de la ingeniería de métodos se ilustra así :

	Especificación del método de trabajo (Diseño de métodos)
Ingeniería de Métodos ----- Incluye	Especificación del tiempo de ejecución (Medición de trabajo)

observándose que hay dos fases en la Ingeniería de Métodos. La primera fase, diseño de métodos consiste en el proceso de diseñar el método de trabajo, lo que efectivamente es una actividad de diseño. La segunda fase, el estudio de tiempos es una consecuencia de la primera ya que es una especificación de una característica de desempeño particular y especialmente importante en el diseño

final a saber, el tiempo de producción.

Estudio de Trabajo. Es una expresión que describe un conjunto de técnicas que proporcionan datos confiables que ayudan a la gerencia a tomar decisiones sobre o con el fin de permitirle utilizar los recursos disponibles de mano de obra, equipos y materiales para lograr la eficiencia máxima.

Estudio de Tiempo. Es una técnica de medición de trabajo que trata de eliminar el tiempo ineficiente o improductivo determinando cuanto le lleva a un trabajador calificado realizar un concepto de obra a un nivel de rendimiento definido. Además la técnica distingue entre un tiempo efectivo y tiempo no efectivo.

Los objetivos de la medición del trabajo son:

Comparar la eficiencia de los métodos.

Equilibrar tanto como sea posible la cantidad de trabajo que realiza cada miembro de la cuadrilla en comparación con otro.

Determinar el número de actividades que puede desempeñar eficientemente una persona.

Proporcionar información actualizada que permita realizar una mejor planeación, programación cronológica y estimación, etc.

De las diversas técnicas de medición de trabajo los que se refieren al estudio de tiempos y al muestreo de actividades han demostrado ser los más pertinentes para las actividades en las diferentes industrias, razón por la cual haremos ver la importancia que tiene el estudio de tiempos.

Las etapas implicadas en la realización de un estudio de tiempos son:

Seleccionar el trabajo que se medirá.

Analizar y dividir éste en sus elementos.

Cronometrar la ocurrencia del comienzo y acabado de cada elemento.

Transformar el tiempo observado a un tiempo básico.

Asignar las holguras de los tiempos básicos y determinar el tiempo standard.

La determinación del tiempo de producción es muy importante ante los ojos de la mayoría de las gerencias, denominándose esta fase de la ingeniería de métodos como la medición del trabajo (estudio de tiempos), cuya finalidad productiva y el tiempo estimado resultante se le conoce como el "standard de tiempo" para la actividad en cuestión. Este standard de tiempo es importante para propósitos de programación, presupuestos, pago de salarios, establecer precios y así sucesivamente.

Importancia de los tiempos standard. Una compañía que no cuente con estimaciones de tiempo para cada una de las operaciones realizadas, se encontrará en una posición desventajosa con otros que tienen. Por consiguiente es muy importante poder disponer de estimaciones de tiempos para operaciones individuales, a partir de las cuales se puede deducir el tiempo total de trabajo.

Las predicciones de las horas-hombre y horas-máquina necesarias en el futuro, se obtienen a partir de las estimaciones de los tiempos para las operaciones y de los volúmenes de producción previstos para períodos futuros.

Debe notarse que en una empresa existen dos tipos básicos de aplicaciones de la estimación de los tiempos a saber en la planeación y en la evaluación, para la planeación se necesita un pronóstico, mientras que para la evaluación un standard.

La siguiente relación establecida para un trabajo:

Tiempo oficial permitido para completar el trabajo

Tiempo realmente requerido para completar el trabajo

Para que funcione éste es necesario disponer de "tiempo permitido" para cada operación, con el cual se comparará el tiempo real que el trabajador emplea.

Igualmente esta relación puede usarse para evaluar a

todo un departamento, así como a su supervisor, si se acumula la siguiente relación para un cierto intervalo de tiempo:

Horas totales oficialmente permitidos para completar trabajo en cierto periodo

Horas totales requeridas realmente por el Dpto. para completar trabajo

Si esta relación es > 1 , entonces se está realizando un trabajo efectivo.

Si esta relación es < 1 , entonces se está realizando un trabajo no efectivo; luego se tomará mayor atención al funcionamiento del departamento.

Son varias las razones por las que la compañía estará interesada en estos tiempos permitidos para sus operaciones, pues ellos pueden usarse como base para establecer los "costos estándares" de las operaciones.

Si la gerencia comparara los costos reales con los costos standard de las operaciones podrá descubrir los casos en que estos son excesivos y que es necesario una acción correctiva. El tiempo standard será usado para evaluar y no para predecir la velocidad de producción del trabajador, sin importar quien lo ejecute.

En términos cuantitativos un standard de medición es el denominador (la base) de la expresión para un fenómeno o característica. Como cualquier standard la unidad de medición es arbitraria; sus únicos requerimientos es que

sea aceptada por aquellos que lo usan y que sea comunicable.

Por desempeño normal entendemos la rapidez de ejecución del trabajo, como base en los tiempos standard de la compañía. Existen muchas ideas equivocadas con respecto a la naturaleza del desempeño normal; entonces conviene insistir en que:

La velocidad de trabajo particular que una compañía persigue como desempeño normal, es un concepto de naturaleza arbitraria; ya que ni tiene justificación científica, ni es asunto de magia.

La velocidad de trabajo que se selecciona generalmente puede ser excedida por la mayoría de los trabajadores sin un esfuerzo extraordinario.

El desempeño normal no es la velocidad óptima de trabajo.

En forma general el tiempo standard de una operación deberá definirse como el tiempo necesario para completar un ciclo de una operación cuando ésta se ejecuta con cierto "método" y a "cierta velocidad" de trabajo arbitrario, la cual incluya estipulaciones por retrasos que están fuera del control del operador.

Todos los tiempos se registran en el campo y se debe tener presente las siguientes definiciones: elemento, valoración, tiempo acumulado, tiempo observado, calificación standard, tiempo básico, holgura para descanso, holgura para contingencias, etc.

El siguiente ejemplo aclarará alguno de los términos descritos:

Dada la siguiente información, calcular el tiempo standard para la operación de una excavadora o pala mecánica.

Elemento	Puntuación	Tiempo Acumulado	Tiempo Observado	Tiempo Básico
Tiempo o comienzo del cronometraje		2.75	2.75	
Llenar la pala	100	2.90	0.15	$\frac{0.15 \times 100}{100} = 0.15$
Balancear	100	3.02	0.12	$\frac{0.12 \times 100}{100} = 0.12$
Vaciar	85	3.12	0.10	$\frac{0.10 \times 85}{100} = 0.085$
Regreso al inicio	100	3.25	0.13	$\frac{0.13 \times 100}{100} = 0.13$

Elemento	Tiempo básico	Tiempo para descanso (%)	Holgura de Contingencia (%)
Llenar la pala	0.15, 0.16, 0.15, 0.14, 0.17, 0.13, 0.14, 0.15, 0.15, 0.16, 0.17, 0.18.	10	5
Balancearla	0.12, 0.17, 0.12, 0.09, 0.08, 0.11, 0.13, 0.14, 0.13, 0.12, 0.16, 0.15.	10	5
Vacearla	0.09, 0.10, 0.08, 0.08, 0.09, 0.09, 0.08, 0.11, 0.08, 0.08, 0.11, 0.10.	10	5
Regreso al inicio	0.13, 0.12, 0.11, 0.13, 0.11, 0.10, 0.11, 0.12, 0.10, 0.13, 0.12, 0.14.	10	5

Solución: En los siguientes cuadros se hallan los resultados del tiempo standard.

Calculos necesarios para el tiempo promedio

Elemento	Tiempo básico total	Frecuencia	Promedio
Llenar la pala	1.85	12	0.554
Balancearla	1.51	12	0.126
Vaciarla	1.11	12	0.093
Regreso al inicio	1.42	12	0.118

Elemento	Tiempo Básico	Holgura para descanso (%)	Holgura para contingencia (%)	Holgura total (%)	Tiempo estándar
Llenar la pala	0.154	10	5	15	$\frac{0.154 \times 115}{100} = 0.177$
Balancearla	0.126	10	5	15	$\frac{0.126 \times 115}{100} = 0.145$
Vaciarla	0.093	10	5	15	$\frac{0.093 \times 115}{100} = 0.107$
Regreso al inicio	0.118	10	5	15	$\frac{0.118 \times 115}{100} = 0.136$

El objetivo de la medición de trabajo consiste en establecer el tiempo estándar para una operación y para hacerlo se usó el siguiente método:

- Calcular el tiempo observado para cada elemento.
- Calcular el tiempo básico promedio sobre la serie de estudio.
- Sumar las holguras para contingencias y descanso.

CAPITULO II

SIMULACION DE RESERVAS MINERALES

2.1 CARACTERISTICAS GEOLOGICAS DEL DEPOSITO MINERAL

El yacimiento minero que sirve de referencia para el presente trabajo, está ubicado en la sierra del departamento de Lima; a 30 km del poblado de Oyón y a 4,500 msnm. Las rocas más abundantes son las rocas sedimentarias cretáceas, en menor proporción se encuentran las rocas volcánicas e intrusivas.

Las rocas sedimentarias presentes en la Zona son capas carbonosas, areniscas y lutitas; también hay presencia de cuarcitas, calizas y lutitas calcáreas, conglomerados. Las formaciones, grupos y edades no se consideran en este caso. Las rocas volcánicas están representadas por rocas piroclásticas y derrames andesíticos del terciario. Los intrusivos son dacitas por lo general.

Estructuralmente las rocas sedimentarias han sido intensamente plegadas; existen indicios de fallamientos pre y post mineral, ocasionando movimientos horizontales y verticales.

El Plano N° 1, muestra un perfil de la Zona del Yacimiento.

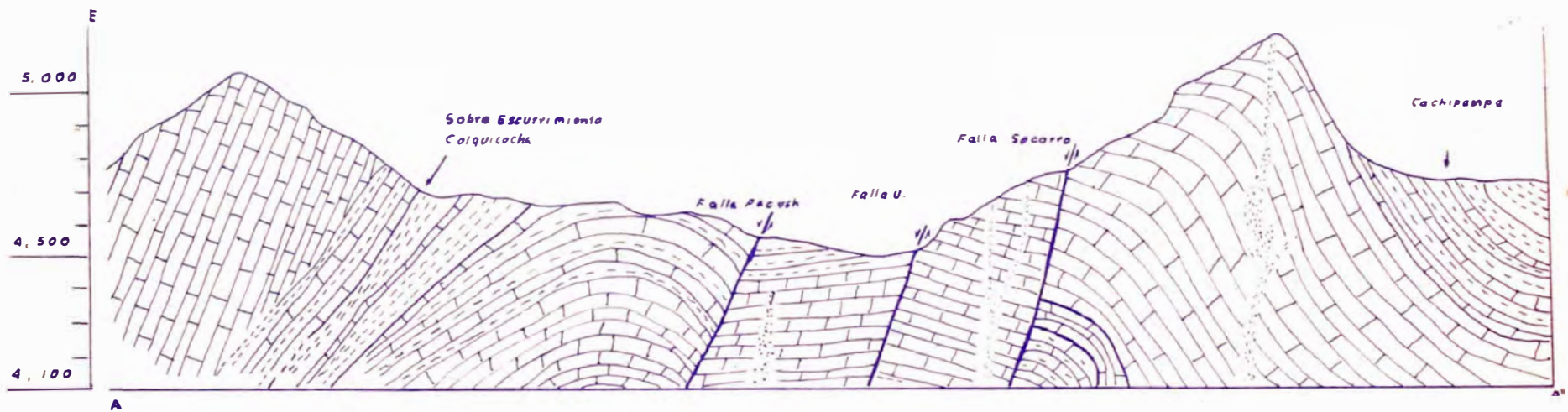
El depósito mineral es de tipo vetas, pequeños mantos, chimeneas mineralizadas y cuerpos de reemplazamiento. Predominan las vetas de relleno y metasomatismo de contacto.

Las vetas están en caliza fresca y caliza marmolizada, son de gran longitud y desplazados por fallas de poco salto.

La mineralización es galena de grano grueso, pirita, pirrotita, esfalerita. Tiene potencia hasta de 3 y 5 metros y un promedio de 1.6 m las partes anchas corresponden a ensanchamientos de fractura; los ramales tensionales son más angostos y con mayor contenido de plata con la presencia de galena argentífera.

Los depósitos de metasomateismo de contacto encontrados son pequeños, están restringidos en la zona de skarn, se presentan como disseminaciones y vetillas. La mineralización típica es la blenda oscura, chalcopirita y galena argentífera de grano grueso; son de menor ley en comparación a las vetas.

Los cuerpos de reemplazamiento, están emplazadas en calcita; la mineralización es proustita, pirargiri-



- | | |
|---------------------|----------------------|
| K ₄ - IB | INTRUSIVO DACITA |
| K ₃ - CA | F. CASAPAICA |
| K ₃ - CS | F. CELENDIN SUPERIOR |
| K ₃ - CI | F. CELENDIN INFERIOR |
| K ₃ - J | F. JUMASHA |
| K ₁ - PT | F. PARIATAMBO |
| K ₁ - CH | F. CHULEC |

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA	
FACULTAD DE INGENIERIA	
GEOLOGICA - MINERA Y METALURGICA	
TESIS DE GRADO	
SECCION GEOLOGICA TRANSVERSAL	
TRAZO Y DIBUJO GILMER MORALES	ESCALA = 1/20000 PLANO = N° 1 FECHA = AÑO - 1954

ta, galena de granos grueso y fino, esfalerita, cuarzo, fluorita, silicatos diversos de manganeso. Estos depósitos por reemplazamiento son muy fracturadas y alteradas, con 30 a 70 m de longitud, la potencia varía desde 2 m hasta 30 m.

Los controles de mineralización, se caracterizan de la siguiente forma :

Estructural, es un control muy importante donde se puede considerar que las fallas de rumbo NE a EW han facilitado la migración de soluciones hidrotermales. Las fallas posteriores al plegamiento han originado brechamientos, cavidades y fisuras favorables a la mineralización.

Litológico, es otro control importante, en las zonas fracturadas de caliza fresca, se presentan mayor cantidad de clavos de mineral. Los apófisis intrusivos de dacita no son favorables para la mineralización; observándose que en este tipo de rocas las vetas se adelgazan.

Mineralógico, se ha observado que la galena de grano grueso y la pirita de grano fino, tienen mucha relación con la mineralización de plata; la pirrotita, la alabandita y la magnetita contienen plata en solución sólida.

Las principales vetas son : Rosa, Luz, Carmen, los cuerpos de reemplazamiento son Rosa Norte y Rosa Sur. Para el presente trabajo, predomina el análisis de las operaciones en la veta Luz.

2.2 ESTADO ACTUAL DE LOS TRABAJOS

La Unidad Minera se encuentra en plena operación, las vetas que se trabajan son Luz, Carmen y Rosa. Están desarrolladas en los niveles 360, 450, 500, 550, 590, 630 y 670; corresponde el nivel 450 para la extracción de mineral y transporte de personal.

Los métodos de explotación utilizados son el SHRINKAGE o almacenamiento provisional y el corte y relleno en su variante ARCH BACK. El método de Shrinkage se usa desde los principios de la operación, especialmente en las zonas altas (niveles 590, 630 y 670). Y el método de corte y relleno se utiliza en los niveles medio e inferior en las vetas anchas y cuerpos de reemplazamiento con relleno convencional proveniente de las labores de exploraciones y desarrollos.

En los niveles inferiores (500, 450 y 360), la explotación se realiza mediante el SHRINKAGE Mecanizado (uso de los Draw Point), que tiene su diseño, aplicación y ventajas frente al almacenamiento provi-

sional convencional.

Ver Planos N° 2, 3, 4 y 5.

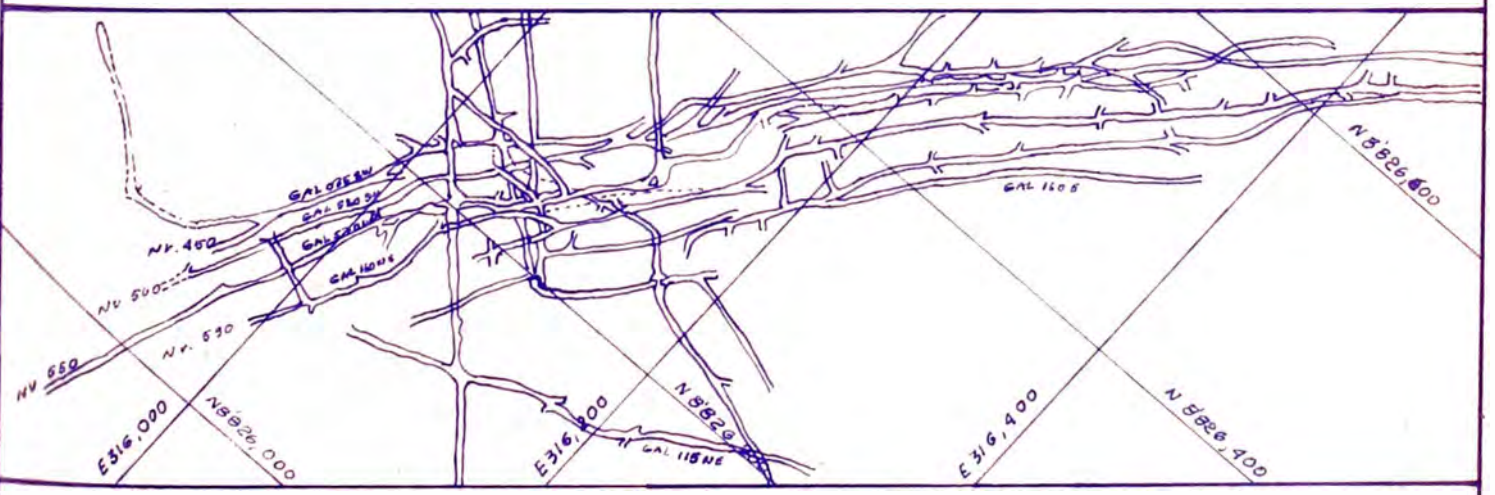
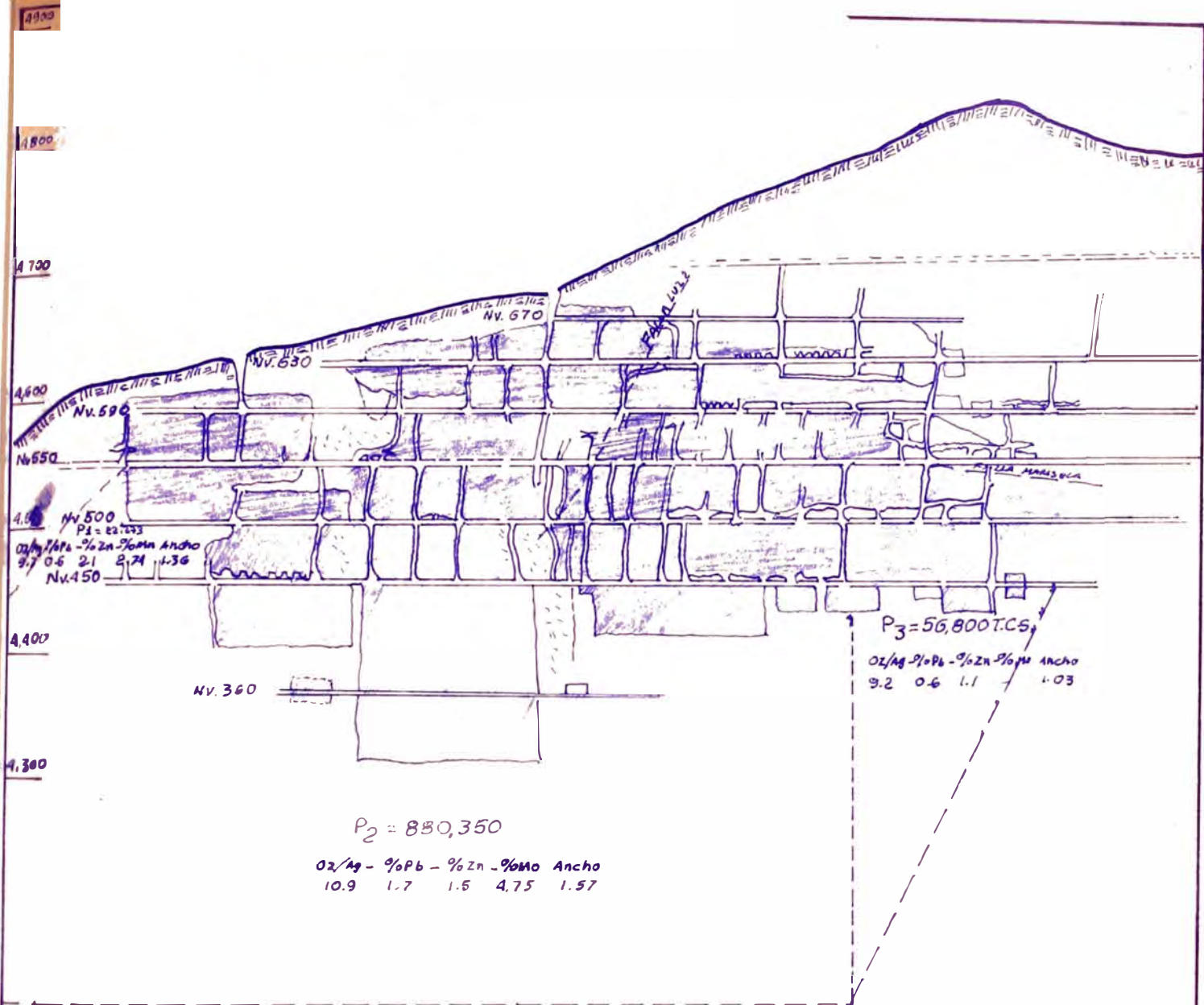
Los equipos de perforación son convencionales, perforadoras Stoper; los equipos de acarreo en el método de corte y relleno son rastrillos de arrastre. Y la limpieza para el mecanizado son los equipos LHD.

El transporte en los niveles del 450 al 670 son por locomotoras; del nivel 360 la extracción por rampas con equipos de bajo perfil. Al momento de los estudios, la zona de explotación convencional aporta mayor producción al total de la Unidad, alrededor del 70%, de los cuales la veta Luz significa la más importante operacionalmente. La meta mensual es de 30,000 TCS de mineral de cabeza con valores de Ag, Pb y Zn.

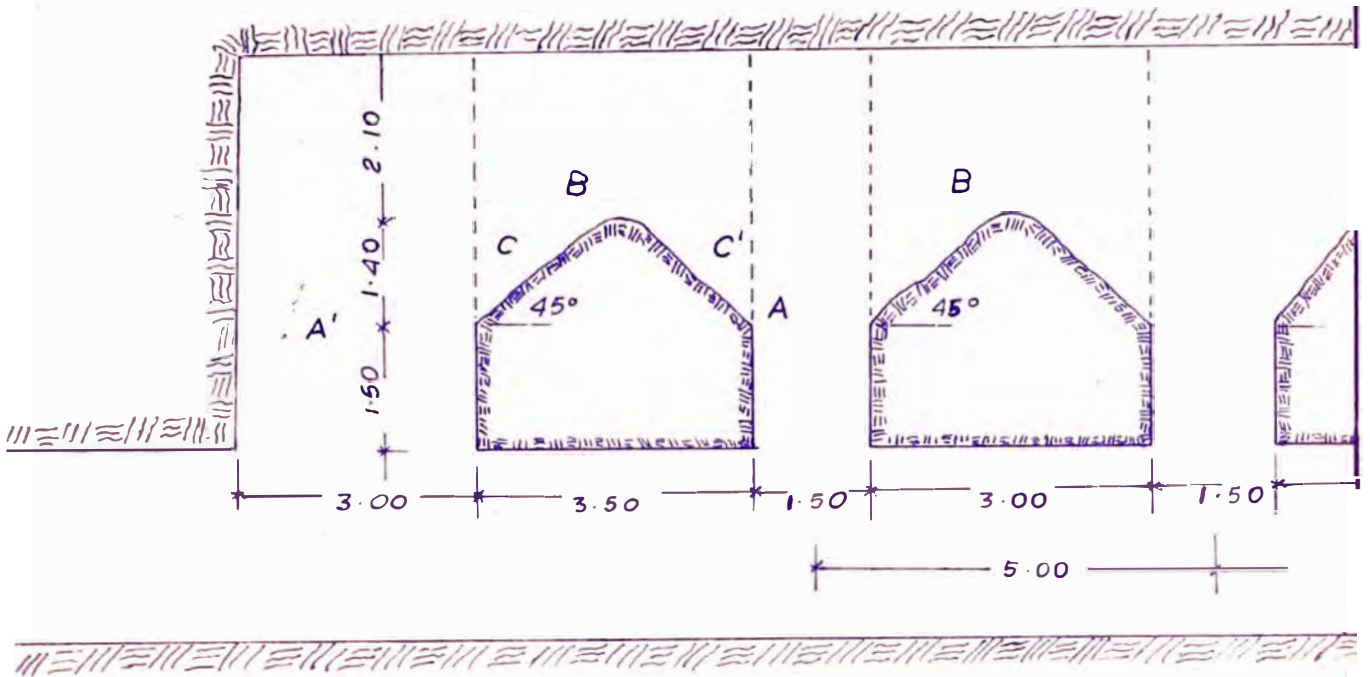
Otra característica que se distingue es que las labores de exploración y desarrollos son realizados por contratistas y las tareas de explotación es exclusiva responsabilidad de la compañía.

2.3 RESERVAS PROBADOS Y PROBABLES

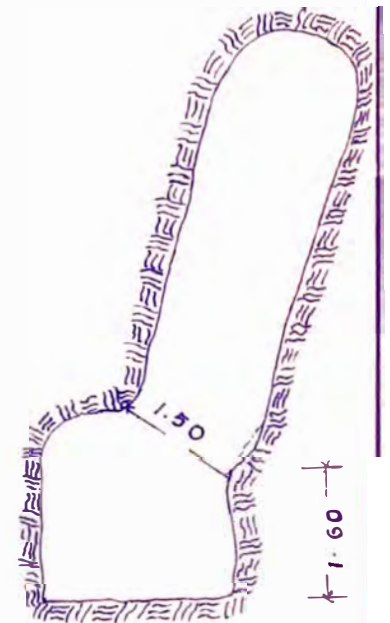
Desde la iniciación de los trabajos mineros a nivel de explotación ha variado en forma progresiva. Se puede observar en el siguiente cuadro. El potencial



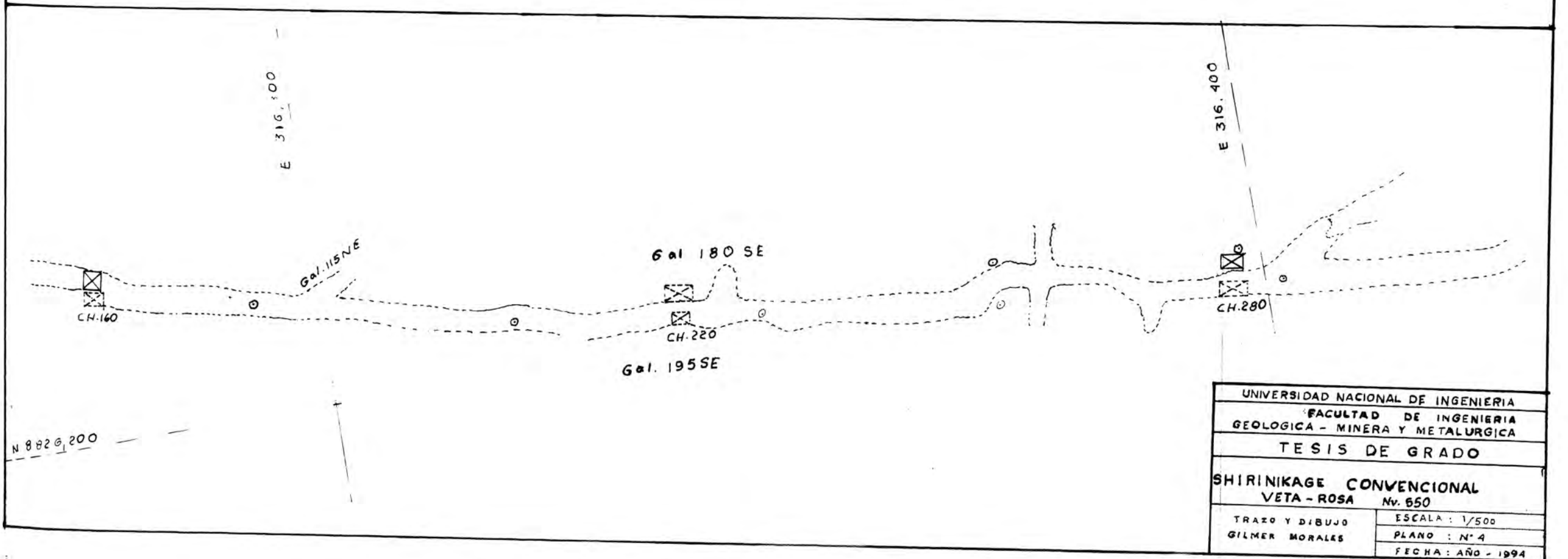
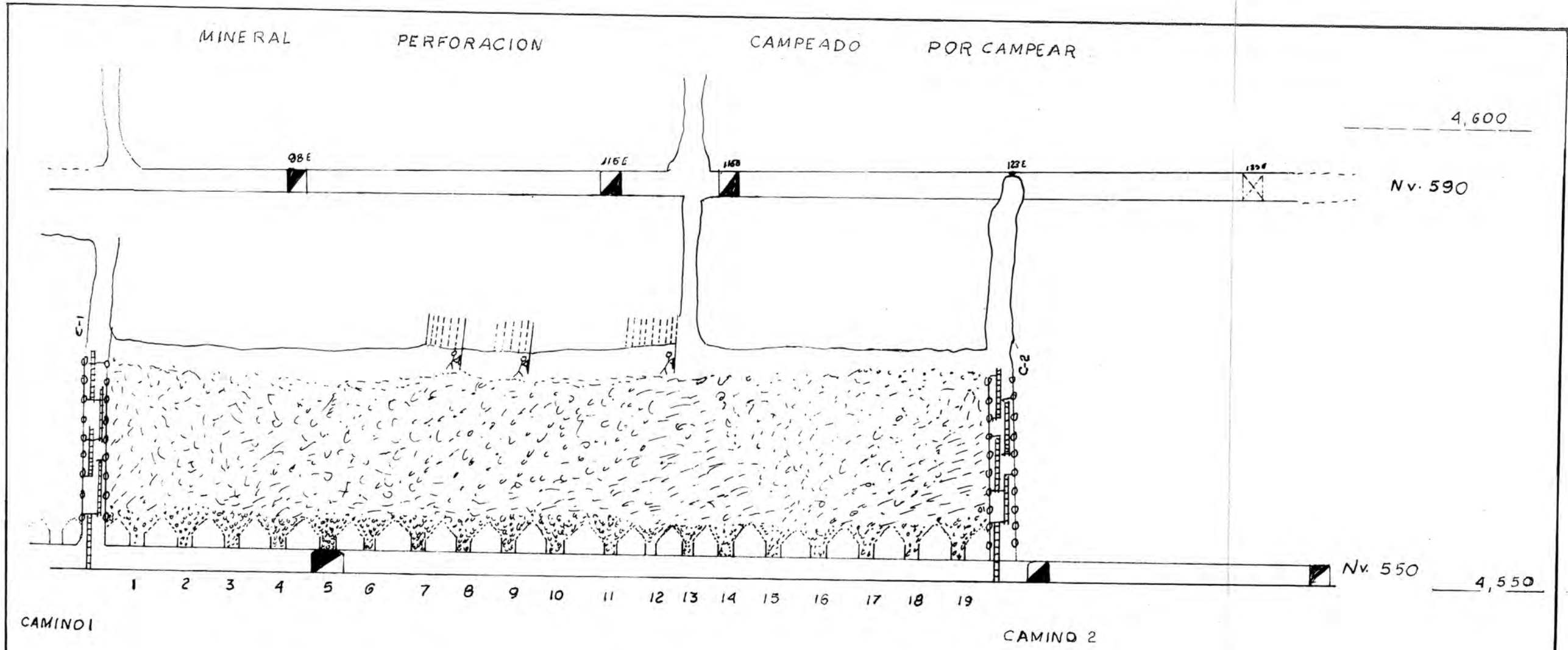
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA	
FACULTAD DE INGENIERIA	
GEOLOGICA - MINERA Y METALURGICA	
TESIS DE GRADO	
SECCION LONGITUDINAL VETA LUZ	
TRAZO Y DIBUJO	ESCALA : 1/5000
GILMER MORALES	PLANO : N° 2
	FECHA : AÑO - 1994



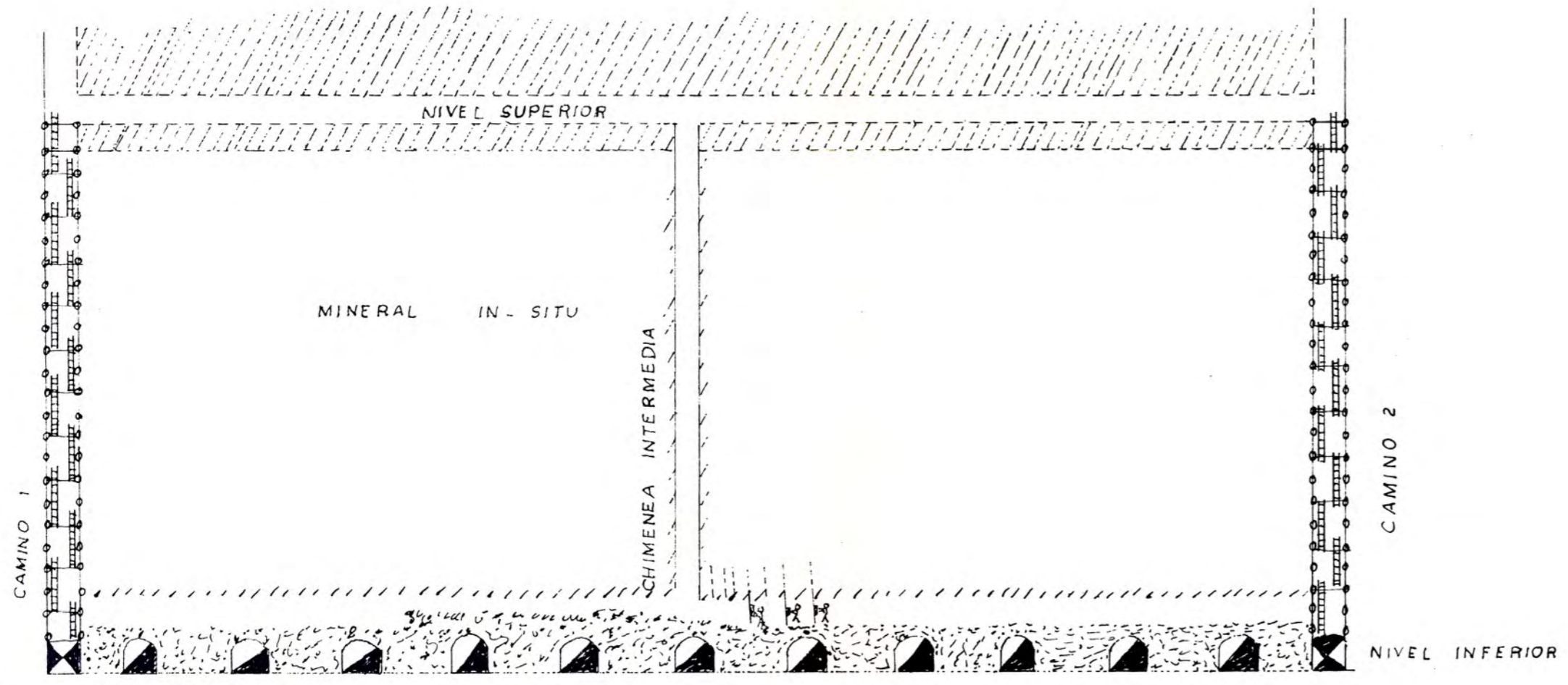
DIMENCIONES	SECCION	LONG.	ANCHO	VOLUMEN
(A) BOX HOLES	1.5 x 1.5	5.00		
(A') BOX HOLES	1.5 x 3.0	5.00		
(B) SUB NIVEL	1.5 x 2.1	3.50		
(C) DESQ. CONOS			0.98 m ²	1.47 m ³
(D) DESQ. CAMADA			0.50 m ²	0.75 m ³



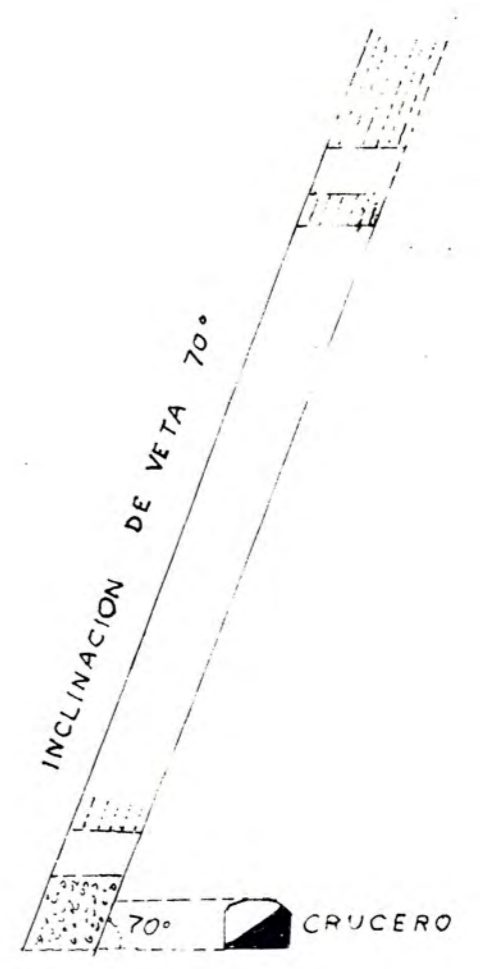
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA	
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA - MINERA Y METALURGICA	
TESIS DE GRADO	
DIMENSIONES DE BOX HOLES	
TRAZO Y DIBUJO GILMER MORALES	ESCALA : 1/100 PLANO : N° 3 FECHA : AÑO - 1994



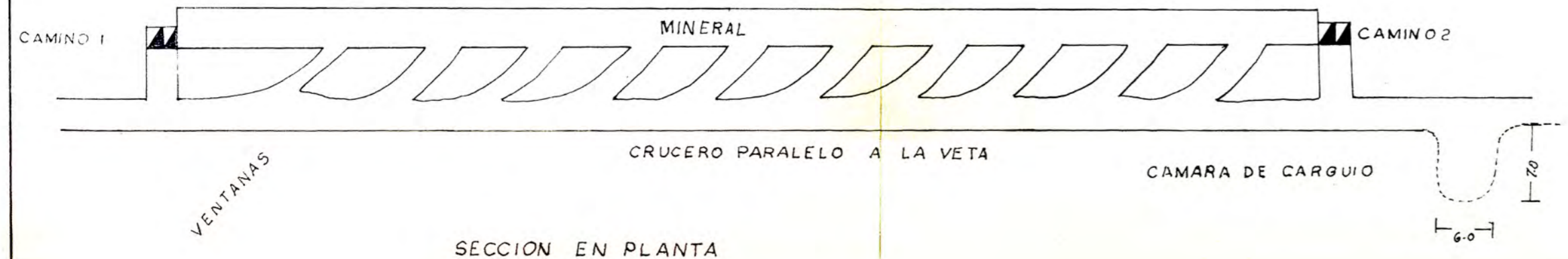
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA	
FACULTAD DE INGENIERIA	
GEOLOGICA - MINERA Y METALURGICA	
TESIS DE GRADO	
SHIRINIKAGE CONVENCIONAL	
VETA - ROSA Nv. 650	
TRAZO Y DIBUJO	ESCALA : 1/500
GILMER MORALES	PLANO : N° 4
	FECHA : AÑO - 1994



SECCION LONGITUDINAL



SECCION TRANSVERSAL



SECCION EN PLANTA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA	
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA - MINERA Y METALURGICA	
TESIS DE GRADO	
METODO DE EXPLOTACION DRAW-POINT	
TRAZO Y DIBUJO	ESCALA: 1/500
GILMER MORALES	PLANO: N°5
	BOGOTA, 1984

de reserva para esta unidad es alrededor de 3'000,000 TCS. Lógico dependerá de los programas de exploración. Por ejemplo en los 10 últimos años se ha comportado así :

AÑO	AVANCES (m)	GANANCIA NETA TCS	TCS/METRO
1	1,590	69,994	44.0
2	1,807	97,585	54.0
3	1,899	119,668	63.0
4	2,874	101,370	35.3
5	5,012	165,911	33.1
6	6,698	214,270	32.0
7	5,294	334,146	63.0
8	3,368	505,818	150.0
9	4,285	277,861	64.8
10	4,120	328,506	79.7
TOTAL	36,947	2'022,279	54.7

Las reservas consideradas para la realización del presente trabajo es :

VETA	T.C.S.	Onza Ag/TCS	%Pb	%Zn	%Mn	ANCHO DILUIDO
LUZ	856,315	10.9	1.5	1.9	2.82	1.28
ROSA	476,680	9.5	0.7	1.1	5.76	1.60
ROSA NORTE	287,275	15.1	1.2	1.3	14.60	14.00
SUB TOTAL	1'620,270	10.6	1.2	1.6	5.80	3.63
OTRAS VETAS	98,945	12.5	1.2	2.3	2.78	1.66
TOTAL	1'719,215	10.7	1.2	1.8	5.60	3.60

2.4 POSIBILIDADES DEL YACIMIENTO

El yacimiento en estudio tiene posibilidades de futuro, tal como se puede observar del radio de cubicación promedio de que se aproxima a 55 TCS/metro de avance.

Además el yacimiento por debajo del nivel 450 a parte de la veta Luz, Rosa y Carmen existen otras que aún faltan explorar por ejemplo la veta NORA y VICTORIA, esta última en el nivel 550 presenta una estructura de 3.0 m de potencia y con valores de hasta 20.0 onz Ag/TCS.

Luego la conclusión es de que el depósito ofrece expectativas futuras y que con un programa balanceado de exploraciones y desarrollos es posible mantener el nivel de reservas. Debe hacerse notar que la explotación de minerales de plata se hace crítico por el nivel de precios; pero que con más tecnología y ponderación de recursos será posible seguir operando.

2.5 RESULTADOS METALURGICOS

Este depósito es algo especial metalúrgicamente, la presencia de manganeso en alto porcentaje (según cuadro de reservas) dificulta la flotación y por tanto su comercialización; por lo que el mineral tratado por flotación es necesario lixiviarlo; este último proceso después de una serie de estudios y pruebas ha sido superado con éxito.

El tratamiento del mineral se comporta como sigue :

NOTA : El cuadro se presenta en la pág. siguiente en sus dos etapas: Flotación y Lixiviación.

Para la valorización de la producción se realiza en función al concentrado Lixiviado, en la que el contenido de manganeso ya ha disminuido hasta los límites permisibles. Y de acuerdo a los contratos de venta los elementos que se cotizan sólo son la plata y el plomo.

2.6 VALORIZACION DEL MINERAL

Las cotizaciones del mercado de metales, es deducido para estimar el precio neto debido a los gastos de refinación, por cuanto la comercialización es a nivel de concentrados de plomo-plata.

Las condiciones promedio para la liquidación de concentrados de la producción de la mina en estudio por tonelada de concentrado es como se muestra :

Ejemplo :

	Ag (H & H)	Pb (LME SETT/NWWA)
	-----	-----
- Cotización	600 ¢ /onz	20 ¢ /libra
- Refinación y otros pagos	5.6 ¢ /onz	9.002 ¢ /libra
- Precio Neto	594.4 ¢ /onz	10.998 ¢ /libra

BALANCE METALURGICO
(FLOTACION).- REFERENCIAL

PRODUCTO	PESO	LEYES			CONTENIDOS			RECUPERACION		
	TCS	Onz Ag	%Pb	%Mn	Onz Ag	Pb	Mn	Ag	Pb	Mn
CABEZA	21,000	14.0	0.9	10.0	294,000	189,00	2,100.0	100.0	100.0	100.0
CONCENT.	1,667	141.1	9.4	11.0	235,047	156.87	182.7	80.0	83.0	8.7
RELAVE	19,333	3.0	0.17	9.9	58,800	32.13	1,917.3	20.0	17.0	91.3

RC = 12.60

LIXIVIACION

CABEZA	1,667	141.1	9.4	11.0	235,200	156.67	182.7	100.0	100.0	100.0
CONC. LIX.	1,296	180.0	12.2	2.0	235,200	156.67	182.7	100.0	100.0	14.1
PERDIDA PESO	371									85.9

RC = 1.286

* El siguiente cuadro metalúrgico corresponde al promedio de los últimos 06 meses de producción.

VALORIZACION/TCS

Ag : 180.0 onz x 0.95 x 594.4 c = 1,016.424 \$

Pb : (12.2 - 1.5)x0.95x2000x10.998 c = 22.360 \$

TOTAL BRUTO : U.S.\$ 1,038.784

A. DEDUCCIONES

- Gastos de Fundición

- Maquila Base	200.000
- Ajuste de Mano de Obra	7.200
- Ajuste de Combustible	1.760
- Ajuste de Energía	0.320

	209.280

- Penalidades

- Arsénico	6.000
- Antimonio	1.500
- Plomo Bullion	10.780

	18.280

Total Gastos de Tratamiento

y Penalidades \$ 227.560

VALOR NETO DE OTRAS DEDUCCIONES \$ 811.224

B. OTRAS DEDUCCIONES

- Seguros	0.6%	4.87
- Impuesto al valor	2% por D.L.	16.22
- Fletes y otras deducciones		68.72
TOTAL OTRAS DEDUCCIONES		\$ 89.81

VALOR NETO/TCS US. \$ 721.414

VALOR NETO/TCS DE CABEZA = $\frac{\text{US. \$ 721.414}}{\text{RC}_{(F)} \times \text{RC}_{(L)}}$

VALOR NETO/TCS = $\frac{721.414}{12.60 \times 1.286} = 44.52 \text{ \$/TCS}$

FACTOR DE LIQUIDACION = $\frac{\text{VALOR NETO/TCS}}{\text{VALOR BRUTO/TCS}}$

FACTOR DE LIQUIDACION = $\frac{721.414}{1,038.784} = 0.694479$

CAPITULO III

DETERMINACION DE PARAMETROS Y ESTANDARES PARA EL PLANEAMIENTO DE PRODUCCION

3.1 OBJETIVOS Y METAS A MEDIANO Y CORTO PLAZO

3.1.1 PRODUCCION MINA

La producción mina, se caracteriza por el cumplimiento de metas mensuales, trimestrales, semestrales o anuales. El siguiente cuadro corresponde a un año de producción con balances trimestrales :

TRIMESTRE	TCS			LEY (onz Ag/TCS)		
	PLAN	REAL	% LOGROS	PLAN	REAL	% LOGROS
I	62,200	56,747	91.2	15.0	15.8	105.3
II	62,800	61,067	97.2	15.0	14.3	95.3
III	63,500	57,430	90.4	15.0	16.7	111.3
IV	63,500	64,858	102.1	15.0	14.8	98.7
TOTAL	252,000	240,102	95.3	15.0	15.3	102.0

La meta establecida para el cuadro expuesto es de 21,000 TCS/mes con 15.0 onz Ag/TCS totalizando un

contenido fino de 315,000 onz Ag. Notándose que en tonelaje el cumplimiento de metas es de 95.3% y no obstante que el cumplimiento de metas en leyes es superior al 100%. La meta compósito de tonelaje x ley es apenas alrededor del 97%. Que en general está dentro de los límites tolerables. Para metas y objetivos a mediano plazo es menester de analizar la situación de reservas, disponibilidad de recursos como infraestructura, equipos, personal, energía. De manera que las metas a mediano plazo para esta unidad minera es de 30,000 TCS/mes.

3.1.2 TRATAMIENTO EN PLANTA CONCENTRADORA

De modo concordante con las metas de producción minera, en la planta concentradora guarda estrecha relación; en ella interesa el porcentaje de recuperación metalúrgica (% R).

TRIMESTRE	TCS	%R		
		PLAN	REAL	% LOGROS
I	56,747	80.0	80.5	100.6
II	61,067	80.0	79.5	99.4
III	57,430	80.0	80.3	100.4
IV	64,858	80.0	79.9	99.9
TOTAL	240,102	80.0	80.0	100.0

De este cuadro, se deduce que el logro de metas en planta concentradora es satisfactorio para las operaciones de corto plazo. Para metas a mediano plazo, la planta concentradora y de lixiviación están implementadas y tienen una capacidad instalada para 1000 TCS/24 horas.

3.1.3 PRESUPUESTOS OPERATIVOS

Los presupuestos operativos para la operación en la unidad minera se basa en los costos de producción históricos dolarizados proyectando la inflación y los escalamientos si fuera necesario. Los rubros principales de costos de operación son :

Mano de obra

Suministro

Diversos

Depreciación

Por ejemplo el comportamiento para el último año, se tiene :

COSTOS EN \$/TCS

RUBROS	MANO DE OBRA	SUMINISTROS	DIVERSOS	DEPRECIACION	TOTAL
PROGRAMADO	10.40	8.50	6.90	6.34	32.14
REALIZADO	11.39	9.75	7.36	7.36	34.84
CUMPLIMIENTO DE METAS (%)	91.31	87.18	93.75	100.00	92.25

De estos costos el siguiente es la distribución porcentual

RUBROS	%	\$/TCS
Mina	45	15.68
Planta	25	8.71
Superficie	10	3.48
Servicios	12	4.18
Administrativos	08	2.79
	TOTAL	34.84 \$/TCS

Las cifras señaladas, servirán de referencia para estimar presupuestos operativos por rubros generales, debiendo desagregar por cada cuenta específica si los requerimientos exigen.

3.2 SELECCION DEL METODO DE MINADO

El método de explotación predominante para la mina en análisis ya está seleccionada; es el SHRINKAGE en su variedad convencional y el mecanizado (con el uso de los Draw Point). El corte y relleno es utilizado en menor proporción, como ya se describió en la parte de los aspectos geológicos del depósito.

La justificación técnica de la utilización del método ha sido implementado con el correr de los años (con la experiencia); puesto que las características

del depósito son favorables por su buzamiento uniforme (de 65° a 80°), las rocas encajonantes son calizas competentes, los rumbos de las vetas casi uniformes, el mineral es de mediana dureza.

La preparación para el minado se ilustra en los Planos 4 y 5.

a) PREPARACION SHRINKAGE CONVENCIONAL

<u>ACTIVIDADES</u>	<u>N° Gdias</u>	<u>N° Tareas</u>
- Perforación de Box Holes	79	158
- Limpieza de mineral	16	31
- Armado de tolvas y camino	29	171
- Perforación de subniveles	27	106
- Servicios Auxiliares (instalaciones de tuberías-otros)	05	10
- Otros varios	4	8
	-----	-----
TOTAL	160	484

$$\text{Total N° de días : } \frac{160 \text{ Gdias}}{2 \text{ Gdias/día}} = 80 \text{ días.}$$

b) PREPARACION SHRINKAGE CON DRAW POINT

ACTIVIDADES	N° Gdias	N° Tareas
- Preparación de cruceros paralelos a la veta	45	135
- Preparación de cruceros o ventanas a la veta (DRAW POINT)	30	90
- Servicios Auxiliares	05	10
- Otros Varios	04	08
TOTAL	84	243

Total N° de días : $\frac{84 \text{ Gdias}}{2 \text{ Gdias/día}} = 42 \text{ días.}$

De modo similar se ha confeccionado el siguiente cuadro para la explotación de ambos :

METODO	N° DIAS	TAREAS	COSTO TOTAL	EFICIENCIAS
SHRINKAGE CONV.	325	3,300	5.1 \$/TCS	6.5 TCS/Tarea
SHRINKAGE CON. DRAW POINT	200	1,747	3.7 \$/TCS	9.9 TCS/Tarea

3.3 INVENTARIO DE MINERAL

Un inventario de mineral consiste en una relación de todos los blocks de mineral cubicados, accesibles o no; pero que facilita una rápida visualización de la posibilidad de reservas minerales para plantear alternativas operacionales. La relación adjunta de los blocks de mineral nos indican la operatividad del cuadro y su gráfica para los niveles 730 al 450.

INVENTARIO DE MINERAL

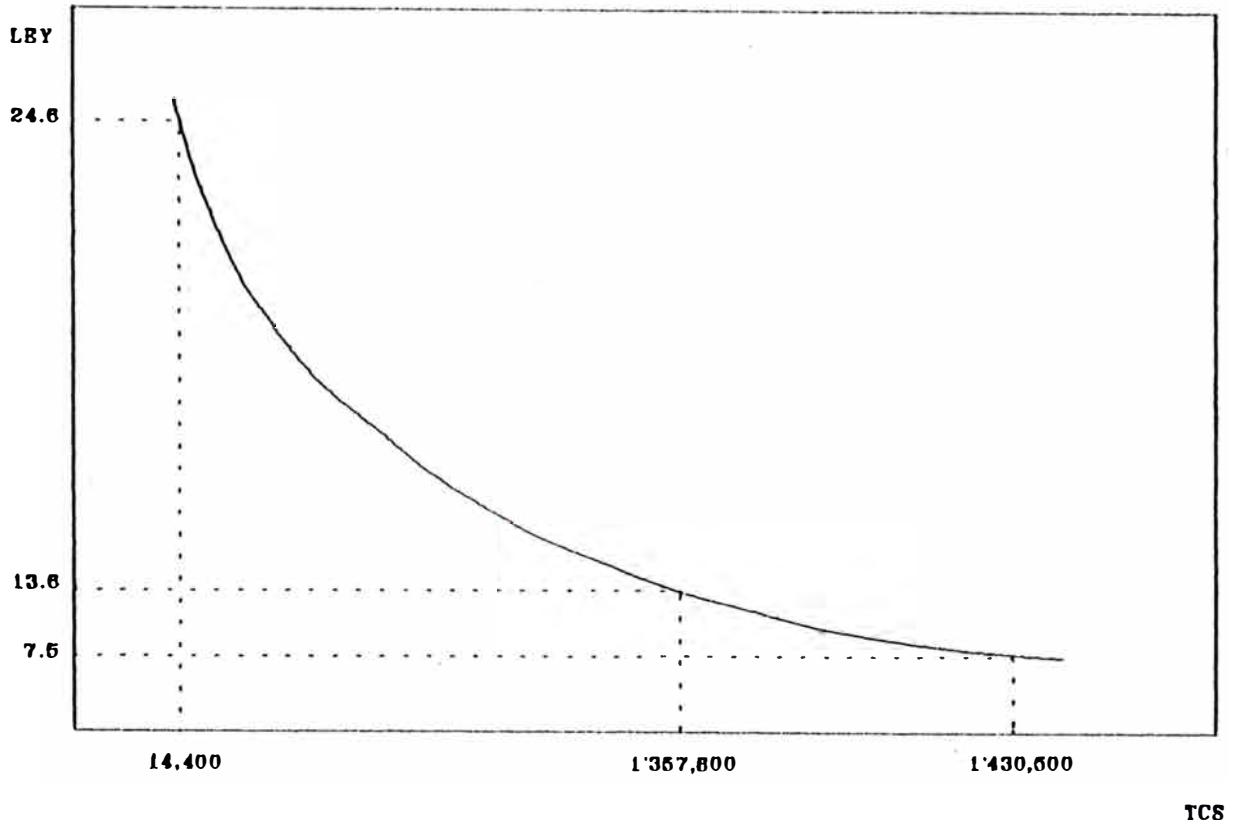
NIVEL	BLOCK	VETA	ANCHO DILUIDO	PARCIAL		ACUMULADO		CONTENIDO FINO
				TCS	LEY	TCS	LEY	
730	45	CARMEN	1.60	14.400	24.6	14.400	24.6	354.240
500	80	ROSA	1.80	16.200	24.5	30.600	24.5	749.700
450		LUZ	2.30	20.700	23.9	51.300	24.3	1'246.590
680	46	CARMEN	3.40	30.600	23.9	81.900	24.1	1'973.790
450		LUZ	4.10	36.900	23.7	118.800	24.0	2'851.200
550	81	ROSA	2.15	19.350	23.5	138.150	23.9	3'301.785
550	82	ROSA	3.20	28.800	23.4	166.950	23.8	3'973.410
450		LUZ	2.60	23.400	23.1	190.350	23.7	4'511.295
680	47	CARMEN	1.50	13.500	22.9	203.850	23.7	4'831.245
450		LUZ	2.80	25.200	22.6	229.050	23.5	5'382.675
500	83	ROSA	2.90	26.100	22.6	255.150	23.4	5'976.510
680	48	CARMEN	1.90	17.100	22.3	275.250	23.1	6'358.275
450	300	LUZ	2.40	21.600	22.1	296.850	23.0	6'835.635
450	301	LUZ	2.10	18.900	21.8	315.750	22.9	7'247.655
500	84	ROSA	1.90	17.100	21.6	332.850	22.9	7'617.015
550	85	ROSA	1.70	15.300	21.4	348.150	22.8	7'944.435
680	49	CARMEN	3.15	28.350	21.0	376.500	22.7	8'539.785
730	49-50	CARMEN	1.90	17.100	20.6	393.600	22.6	8'892.042
450	302	LUZ	3.10	27.900	20.2	421.500	22.4	9'455.625
680	50	CARMEN	1.90	17.100	20.1	438.600	22.3	9'799.335
500	86	ROSA	2.60	23.400	19.4	462.000	22.2	10'253.295
550	87	ROSA	2.10	18.900	19.0	480.900	22.1	10'612.395

NIVEL	BLOCK	VETA	ANCHO DILUIDO	PARCIAL		ACUMULADO		CONTENIDO FINO
				TCS	LEY	TCS	LEY	
680	51	CARMEN	1.80	16.200	18.3	497.100	21.9	10'908.855
730	51-52	CARMEN	1.60	14.400	18.1	511.500	21.8	11'169.495
450	303	LUZ	3.30	29.700	17.5	541.200	21.6	11'689.245
450	304	LUZ	3.10	27.900	17.3	569.100	21.4	12'171.915
500	88	ROSA	2.60	23.400	16.9	592.500	21.2	12'567.375
680	52	CARMEN	1.65	14.850	16.7	607.350	21.1	12'815.370
550	89	ROSA	1.90	17.100	16.5	624.450	20.9	13'097.520
450	305	LUZ	2.15	19.350	16.3	643.800	20.8	13'412.925
730	53	CARMEN	1.90	17.100	15.8	660.900	20.7	13'683.105
680	53- 1	CARMEN	2.20	19.800	15.6	680.700	20.5	13'991.985
450	306	LUZ	3.40	30.600	14.4	711.300	20.3	14'432.625
500	90	ROSA	3.20	28.800	14.1	740.100	20.0	14'838.705
550	91	ROSA	3.350	29.700	13.8	769.800	19.8	15'248.565
680	54	CARMEN	2.30	20.700	13.5	790.500	19.6	15'528.015
680	55	CARMEN	2.10	18.900	13.1	809.400	19.5	15'775.605
680	56	CARMEN	1.80	16.200	13.0	825.600	19.4	15'986.205
730	57	CARMEN	1.90	17.100	12.7	842.700	19.2	16'203.375
500	92	ROSA	2.60	23.400	12.4	866.100	19.0	16'493.535
500	93	ROSA	2.70	24.300	12.2	890.400	18.8	16'789.995
550	94	ROSA	2.40	21.600	12.1	912.000	18.7	17'051.355
500	95	ROSA	2.20	19.800	11.9	931.800	18.5	17'286.975
500	96	ROSA	2.10	18.900	11.8	950.700	18.4	17'509.995

NIVEL	BLOCK	VETA	ANCHO DILUIDO	FARCIAL		ACUMULADO		CONTENIDO FINO
				TCS	LEY	TCS	LEY	
680	58	CARMEN	1.80	16.200	11.6	966.900	18.3	17'697.915
500	97	ROSA	2.30	20.700	10.1	987.600	18.1	17'906.985
450	307	LUZ	2.15	19.350	10.0	1'006.950	18.0	18'100.485
450	308	LUZ	2.10	17.100	9.9	1'024.050	17.8	18'228.090
500	98	ROSA	1.60	14.850	9.8	1'038.900	17.5	18'180.750
500	99	ROSA	1.80	19.800	9.7	1'058.700	17.3	18'315.510
550	100	ROSA	3.10	20.700	9.5	1'079.400	16.5	17'810.100
550	101	ROSA	2.60	16.200	9.4	1'095.600	16.0	17'529.600
590	309	LUZ	1.65	18.900	9.3	1'114.500	15.8	17'609.100
590	310	LUZ	1.90	14.400	9.2	1'128.900	15.6	17'610.840
450	102	ROSA	3.20	15.900	9.1	1'144.800	15.2	17'400.960
450	103	ROSA	1.40	17.000	9.0	1'161.800	15.0	17'427.000
680	59	CARMEN	3.0	16.500	8.9	1'178.300	14.8	17'438.840
680	59- 1	CARMEN	2.10	18.500	8.8	1'196.800	14.5	17'353.600
730	59- 2	CARMEN	1.80	16.300	8.7	1'213.100	14.1	17'104.710
500	104	ROSA	1.60	20.150	8.6	1'207.250	13.8	17'018.850
500	105	ROSA	2.00	14.200	8.5	1'252.450	13.6	17'633.320
500	106	ROSA	2.20	16.700	8.4	1'269.150	13.5	17'133.525
730	60	CARMEN	1.60	17.200	8.3	1'286.350	13.4	17'237.090
550	1- 7	ROSA	1.30	14.900	8.2	1'301.250	13.3	17'306.625
550	108	ROSA	1.80	21.000	8.1	1'322.250	13.2	17'453.700
450	311	LUZ	2.10	18.300	8.0	1'340.550	13.1	17'561.205

NIVEL	BLOCK	VETA	ANCHO DILUIDO	PARCIAL		ACUMULADO		CONTENIDO FINO
				TCS	LEY	TCS	LEY	
450	312	LUZ	1.50	17.250	7.9	1'357.800	13.06	17'732.868
680	61	CARMEN	1.60	18.500	7.8	1'376.300	12.8	17'616.640
730	61- 1	CARMEN	1.90	20.000	7.7	1'396.300	12.5	17'453.750
550	109	ROSA	2.00	19.300	7.6	1'415.600	12.3	17'411.880
500	110	ROSA	2.10	14.700	7.5	1'430.500	12.0	17'166.600

GRAFICA DE INVENTARIO DE MINERAL



3.4 DIMENSIONAMIENTO DE LAS OPERACIONES

El dimensionamiento de las operaciones, implica el determinar el volumen de producción mensual-anual y los metrajes en exploraciones y desarrollos. En condiciones normales de niveles de precios y relativa estabilidad económica en lo referente a los costos de operación sirve de referencia la relación establecida por Taylor's, es una fórmula empírica de cuarto grado y que determina el n° de años que dura las reservas y luego la producción diaria 1 año = 360 días.

$$n^{\circ} \text{ Años} = 0.2 \sqrt[4]{Q}$$

$$n^{\circ} \text{ Años} = 0.6 \sqrt[4]{Q}$$

n = años de vida de la mina dividida entre 360;
se tiene la producción/día.

Q = Reservas minerales (miles) y en el otro caso
en millones de toneladas.

Tiene una aproximación bastante aceptable y se puede trabajar con un error de $\pm 10\%$.

Para la unidad en análisis está ya dimensionada con una producción de 30,000 TCS/mes y para cumplir con esa producción en :

Explorar para reemplazar reservas

Dar acceso a los blocks inaccesibles

Preparar tajeos, etc.

Determina un metraje en avances para exploraciones, desarrollos y preparaciones según las metas establecidas para corto y mediano plazo plasmado en sus planes operativos y financieros. En la que el tonelaje a producir está limitado por

Capacidad de tratamiento en planta concentradora.

Disponibilidad de reservas accesibles.

Disponibilidad de recursos: Energía, equipos, personal, infraestructura.

Las metas establecidas en avances son :

Exploraciones y desarrollos 300 m/mes y 3,600 m/año.

Preparaciones 150 m/mes y 1,800 m/año \pm con % de cumplimiento alrededor del 90%.

3.5 ANALISIS DE CICLOS

Según los métodos de explotación utilizados

a) SHRINKAGE convencional 30%

b) SHRINKAGE MECANIZADO (DRAW POINT) 40%

El análisis del trabajo se centrará en este método.

c) Corte y Relleno convencional 30%

Los ciclos de minado para el método de almacenamiento son

Perforación y disparo

Jale parcial

Producción plena

- . La Perforación se realiza desde una chimenea intermedia hacia los caminos extremos, las máquinas perforadoras utilizadas son las MONTABERT ST-25 tipo STOPER, el promedio de taladros perforados/máquina es de 30 taladros/Gdia. los taladros son de 8 pies, en los tajeos se disparan de 100 a 150 taladros mediante personal especializado y entrenado para realizar disparos.
- . El Jale Parcial consiste en extraer una tercera parte del material roto a través de los BOX HOLES o DRAW POINT para dar la altura de perforación correspondiente y facilitar un piso en condiciones seguras de trabajo.
- . La Producción Efectiva en esta etapa sólo es la tercera parte del mineral roto, mientras que las dos terceras partes será para la fase de producción propiamente. Tanto en el SHRINKAGE convencional y mecanizado para esta unidad de operación son idénticas, con la única diferencia en los BOX HOLES y DRAW POINT y los equipos de extracción.
- . La Producción Plena de los tajeos de almacenamiento provisional, consiste en la extracción del mi-

neral roto en la fase de perforación y disparo.

- . Los Trazos de Perforación son ZIG-ZAG en vetas de poca potencia y de 2:1, 3:2 ó 4:3 para vetas más potentes espaciados cm. Los juegos de barrenos utilizados de 2, 4 y 8 pies de longitud. El espaciamiento es de 50 cm y piedra máxima de 0.40 m.
- . La voladura es con dinamita Semexa 65% de 7/8" x 7", fulminante N° 6, mechas blancas y conectores de mecha rápida.
- . La Extracción durante la producción plena o jale parcial en un caso es por carros mineros desde los BOX HOLES y con equipos LHD en el caso de los DRAW POINT.

En el caso del método de explotación corte y relleno, los ciclos son

Perforación y disparo

Acarreo o limpieza

Relleno

Por ser un método común ya no se hacen mayores comentarios.

3.6 REQUERIMIENTOS DE RECURSOS

3.6.1 EQUIPOS

En la unidad de operación se dispone y se requiere de los siguientes equipos

Carros de 60 p ³	16
Locomotoras de 5 Ton con convertidor de 20' trocha	2
Locomotoras de 8 Ton Trolley	1
Máquinas perforadoras Jack Leg Atlas Copcco BB C17WTH	6
- Carros grandes de 80 p ³	6
Rastrillos de tres tamboras JOY y respectivos rastros de 36"	4
Motores para rastrillos de tres tamboras 24 HP	10
Perforadoras PICK HAMMER a barreno ATLAS COPCCO BB12WRT	5
- Ventilador 90 HP	2
SCOOP TRAM de 80 HP c/u	2
Camiones de bajo perfil 120 HP	2

3.6.2 ENERGIA

En la unidad de operación se dispone de los siguientes equipos de Generación.

EQUIPO	CAPACIDAD INSTALADA	PRODUCCION REAL
Grupo Sulzer	1,110 kW	1,000 kW
Grupo Caterpillar	800 kW	550 kW
Grupo Caterpillar	800 kW	550 kW
Turbina Siemens	500 kW	500 kW
Turbina Westinghouse	800 kW	800 kW
TOTAL	4,010 kW	3,400 kW

DEMANDA ACTUAL

Mina	1,060 kW
Planta de Tratamiento	1,800 kW
Vivienda y Alumbrado Público	660 kW
Talleres y Hospital	100 kW
TOTAL	3,600 kW

La diferencia, es posible, superar por factor de simultaneidad; en conclusión, satisface.

3.6.3 PERSONAL

El personal requerido para la operación de la unidad minera, se distribuye del siguiente modo. De los cuales el personal operativo en los obreros no exceden el 80%; las razones son diversas: variaciones, permisos por enfermedad, ausentismo no justificado, permiso sindical, etc.

SECCIONES	EMPLEADOS	OBREROS	TOTAL
Mina	08	179	187
Geología - Topografía	05	22	27
Seguridad	01	15	16
Superficie	01	22	23
Planta Concentradora	08	67	75
Talleres y Servicios	02	50	52
Almacén - Mercantil	05	20	25
Comedor - Hotel	02	18	20
Oficinas Administrativas	06	12	18
Total Cía :	38	405	443
Contratos MINA	07	182	189
TOTAL GENERAL	45	587	632

En total más de 40 ejecutivos o personal de dirección que goza de la confianza de la empresa. Cabe resaltar que el número de ejecutivos es igual o mayor al N° de empleados en compañía, lo que permite una mejor dirección técnica de la producción y tareas administrativas y técnicas de diseño a comparación de otras compañías donde el N° de empleados > al N° de ejecutivos.

3.6.4 INSUMOS

Los insumos que garantizan las operaciones de produc

ción en la unidad minera son abastecidas con regularidad, una porque la unidad está relativamente cerca a Lima (mercado principal de sus insumos), se aplica el control de inventarios y porque la empresa gozaba de capacidad financiera para proveer sus insumos.

Los insumos de voladura, explosivos y otros agentes de voladura, necesitan bastante vigilancia y protección policial para el transporte debido a los fenómenos sociales. Lo que significa que los stock de estos insumos no sean los volúmenes que recomiendan el tamaño económico de inventario.

Los demás insumos como tuberías, repuestos, lubricantes, rieles, maderas y todo aquel para las operaciones mineras es abastecida normalmente. Lo mismo ocurre con el suministro de productos alimenticios, medicinas e insumos para la planta de beneficio.

3.6.5 SERVICIOS

Los principales servicios básicos son aire comprimido, sostenimiento, drenaje, agua industrial, ventilación.

La generación de aire comprimido está conformada por :

	PRODUCCION REAL

1 Compresora Sullar 3,500 Pcm	2,975 P.c.m.
1 Compresora Ingersoll Rand XLE 2,500 P.c.m.	2,125 P.c.m.
1 Compresora Ingersoll Rand XLE 1,000 P.c.m.	750 P.c.m.
1 Compresora Ingersoll Rand XLE 2,500 P.c.m.	STAND BY

TOTAL PRODUCCION REAL	5,850 P.c.m.
Menos pérdidas, fugas, etc. 10%	585

Disponibilidad de aire comprimido	5,265 P.c.m.

La presión de salida es de 100 psi.

El agua industrial cuya demanda es de 2,590 m³/día para una producción de 1,000 TCS/día es abastecida de las lagunas vecinas mediante bombeo y su almacenamiento en reservorios. Para el agua de perforación son captados en las partes altas de la mina el agua de los deshielos.

Para las operaciones mineras interesa el mantenimiento de los equipos como perforadoras, winche de rastrillo, locomotoras, palas mecánicas, scoops, grupos electrógenos, compresoras. Estas necesidades son plenamente satisfechas por los talleres de maestranza y taller eléctrico. Las necesidades de mantenimiento de perforadoras y afilado de barrenos, son atendidas por el taller de perforadoras.

Drenaje.- De los niveles superiores al 450 son canalizados mediante el drenaje natural (cunetas) de los niveles inferiores al nivel 450, del pique y la rampa son drenados mediante bombeo con una bomba eléctrica Hidrostral de 40 HP mediante tuberías de 3" de ϕ .

Las necesidades de sostenimiento, son atendidas mediante cuadros de madera, pernos de roca (eventualmente) y relleno en los tajeos de corte y relleno. En las zonas falladas se utiliza arcos de rieles con concreto.

3.7 ANALISIS DE COSTOS

3.7.1 ESTRUCTURA DE COSTOS

La estructura de costos presentado en el punto 3.1.3, que para mina 45%, planta 25%, superficie 10%, servicios 12% y administrativo 08%. En esta parte interesa analizar el costo de mina por centros de responsabilidad, y por centro de costos (mano de obra, suministros, diversos y depreciación) y otros items que facilitan un mejor análisis y su tratamiento adecuado. En el caso del presente trabajo no ha sido posible lograr la información requerida por cuanto este tipo de información es de manejo interno. Sin embargo la estructura de costos más adecua-

do según el plan general de cuentas aprobado por CONASEV, es más recomendable.

Los ítems principales son

MINA :

Exploraciones y Desarrollos

Explotación

Transporte mina

Conservación mina

Depreciación

Servicios Auxiliares Mina

TOTAL COSTOS DE MINA

PLANTA DE BENEFICIO :

- Servicios Generales

Provisiones diversas

Depreciación Activo Fijo

. TOTAL PLANTA DE BENEFICIO

GASTOS ADMINISTRACION

GASTOS DE VENTAS

. TOTAL COSTO DE OPERACION

GASTOS FINANCIEROS

. TOTAL COSTO EMPRESARIAL

Del mismo, los centros de costos que debe tratar cada ítems, jornales, sueldos, cargas sociales, materiales, reparación y mantenimiento, servicios de

terceros, energía eléctrica, útiles de escritorio, depreciación, varios.

Otra estructura de costos que es de necesidad conocer son los costos fijos, variables y semivaria-
bles.

COSTOS VARIABLES : (Costos Directos)

- . Mano de obra directa
- . Materiales directos
- . Combustibles
- . Regalías
- . Prima de sobretiempo
- . Gastos de Ventas
- . Gastos de distribución
- . Gastos de comunicaciones, etc.

COSTOS FIJOS : (Costos Indirectos)

Alquileres
Impuestos prediales
Seguros a la Propiedad
Sueldos de ejecutivos
Intereses sobre deudas
Depreciación, agotamientos
Amortización
Gastos indirectos
Gastos administrativos
Pago de feriados y domingos

Seguro social
Servicio técnico
Impuestos y seguros
Costos de inversión de capital
Honorarios legales
Investigación, etc.

3.7.2 COSTOS ESTANDARES

Como el sistema de costos variables, fijos y semivariables no es fácil conocer para las empresas; con fines de optimización es más conveniente operar con costos estándares, entendida como los costos unitarios por TCS, metro lineal de avance, pie de perforación, etc. Estos costos son el resultado de una serie de pruebas e investigaciones ponderadas las cuales se han estandarizado para los cálculos de rendimientos y proyecciones con fines de planeamiento y control.

EJEMPLO :

Entre los métodos SHRINKAGE CONVENCIONAL y SHRINKAGE DRAW POINT, los costos de rotura y extracción son de \$ 5.1/TCS y \$/3.7/TCS respectivamente. De \$15.68/TCS que son los costos de mina; entre los principales rubros se distribuye del siguiente modo:

Exploraciones y Desarrollos	1.3	\$/TCS	08%
Explotación	5.1	\$/TCS	32%
Transporte mina	1.8	\$/TCS	11%
Conservación mina	0.8	\$/TCS	5%
Depreciación equipos mina	2.8	\$/TCS	18%
Servicios auxiliares mina	3.5	\$/TCS	22%
Misceláneas	0.4	\$/TCS	02%

También es necesario determinar los costos unitarios y estandarizar para efectos de proyecciones :

\$/taladro (perforación)

\$/TCS en explosivos

\$/TCS en acarreo

a) Rastrillos

b) Scoop Tram

3.8 ANALISIS DEL PUNTO DE EQUILIBRIO Y LEYES CUT-OFF

El punto de equilibrio económico es el indicador básico si una unidad económica opera en niveles de pérdida o ganancia. Consiste en determinar con qué volumen de producción en TCS por mes, trimestre o año o con qué niveles de Ley de mineral de cabeza, puede cubrir los costos mínimos en que la empresa incurre en sus costos y gastos de operación normal (mensual o anual).

En los análisis económicos de precisión es necesario

conocer a detalle del comportamiento de los costos fijos, semivariantes y variables. Lamentablemente muy pocas empresas mineras disponen de un análisis de esta naturaleza que son patrimonio de carácter reservado.

De otro lado son parámetros el tamaño de la capacidad instalada de las plantas de beneficio, la capacidad de producción mina. La cotización de los metales es variable, lo que no ocurre en otro tipo de industrias. Y la única alternativa es jugar con las leyes cut-off, no importa a costa de disminuir las reservas minerales. Y bajo esta óptica, para determinar la ley cut-off para el punto de equilibrio económico puede prescindir de los costos variables y fijos, operando sólo con los costos totales.

Según el punto 3.1.3, el costo de operación para la unidad en estudio es de \$34.84/TCS y el valor del mineral es de \$44.52/TCS con una variación mínima de \$9.68/TCS y esto además es función de la cotización del mineral principal que es la plata. Del balance metalúrgico, la recuperación compósito es de 80%. Luego la ley de cut-off para el punto de equilibrio se puede calcular así :

$$\text{Ley Cut-Off} = \frac{34.84 \text{ \$/TCS}}{1 \text{ TCS} \times 0.80 \times 0.694479 \times 4.8}$$

Ley Cut-Off = 13.06 onz Ag

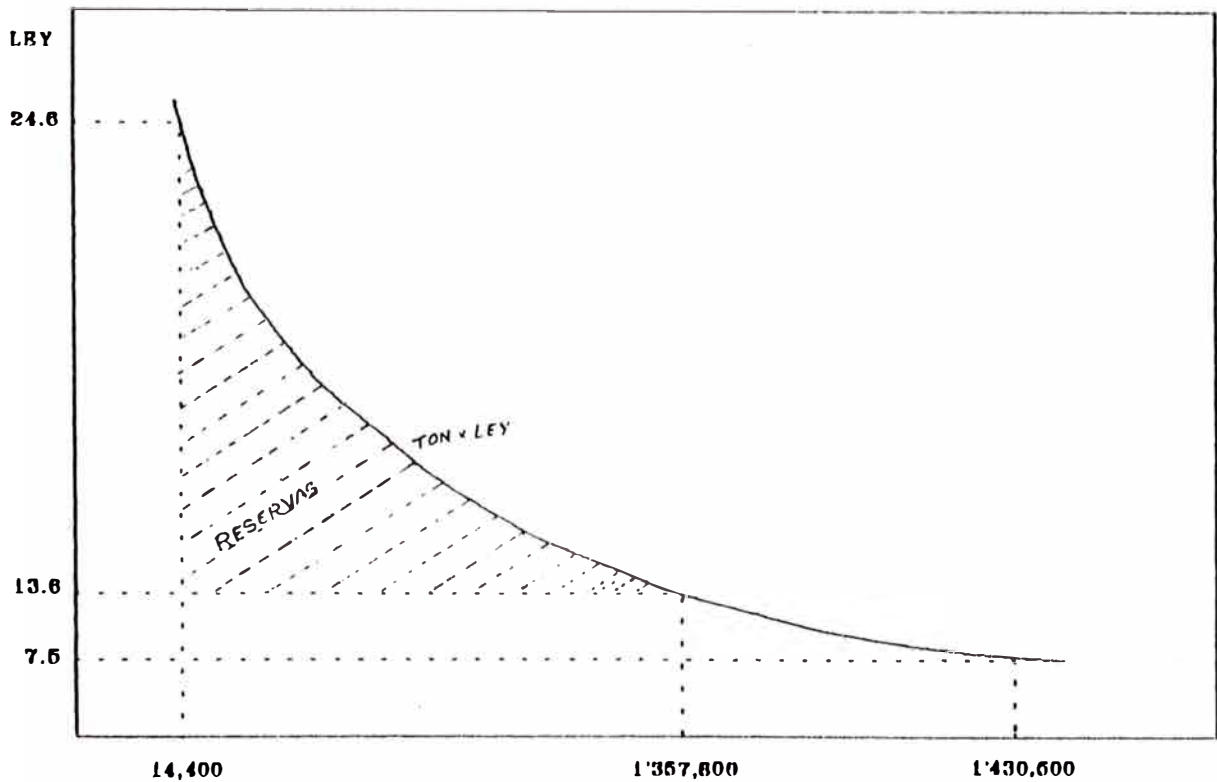
donde : 4.8 \$/onz Ag : cotización

0.694479 = Factor de Liquidación

0.80 = Recuperación Metalúrgica

Con esta ley cut-off de 13.06 onz Ag/TCS; se puede determinar qué cantidad de reservas existe con leyes superiores. Del cuadro y gráfica del mineral 3.3 (inventario de mineral) se tiene :

GRAFICA DE INVENTARIO DE MINERAL



3.9 RESUMEN DE ESTANDARES OPERATIVOS

3.9.1 PERFORACION Y VOLADURA

Las máquinas perforadoras utilizadas son la Stoper Montabert ST-25 también se utiliza los Wpper Drill en forma cautivo, en ambos métodos barrenos integrales de 2', 4', 6' y 8'; Explosivo Semexa de 65% de 7" x 7/8" los resultados que se toman como estándares de referencia son

	SHRINKAGE CONVENCIONAL -----	SHRINKAGE MECANIZADO -----
N° taladros/Gdía.	30	30
Longitud del taladro	8'	8'
Pies perforados/TCS	3.4	3.4
Velocidad de perforación (pies/min)	1.25	1.25
Producción/disparo	6.5	9.9
Kg de Explosivo/TCS	0.34	0.34
Vida Económica de 1 juego de barrenos	900 pies	900 pies
Rotura	265 Gdias	265 Gdias
Malla de perforación	0.50m(z16-z16)	0.60m x 0.9m

Perforación en Draw Point.

Tiempo de perforación taladro 8'	8 min
Cambio de barrenos pateros-pasadores	1 min

	9 min

Tiempo para 30 taladros de 8 pies	270 min
Desplazamiento de máquina	5 min
Instalaciones máquinas y accesorios	15 min
Otros	10 min

TOTAL	300 min

Horas efectivas de perforación 5.0 Horas/Gdia.

3.9.2 ACARREO Y TRANSPORTE

En el caso del SHRINKAGE CONVENCIONAL el acarreo consiste en hacer campo y dar altura; y para el DRAW POINT es con Scoop Tram. El transporte para el primer caso es con locomotoras y para el segundo con camiones de bajo perfil. Los resultados estandarizados para el Scoop son

Capacidad de cuchara	SCOOP GHH	2.0 m ³
Distancia promedio	SCOOP GHH	50 m
Tiempo por ciclo	SCOOP GHH	4.7 min
Horas efectivas	SCOOP GHH	200 Horas/mes
Producción/Hora	SCOOP GHH	12.24 m ³ /Hora
* Tiempo fijo SCOOP	SCOOP GHH	52 seg.

La capacidad de transporte está determinado por :

La distancia promedio de transporte e inclinación de la vía.

El mineral obtenido por disparo.

La fracturación del mineral.

La potencia del motor adecuado a la altura de la mina.

Otros.

Para obtener la eficiencia máxima es necesario asegurar las siguientes condiciones

Las galerías de acceso deben tener una sección adecuada a las dimensiones del equipo utilizado.

La masa de mineral debe ser grande y de adecuada fracturación.

La ventilación debe ser correspondiente a la potencia de los motores Diesel.

El personal operativo debe estar bien instruido y examinado, etc.

Teniendo en cuenta todas estas condiciones y entre otros se puede hacer los cálculos para transporte de locomotoras y camión de bajo perfil como

Tipo de carro minero

Nro. de carros/convoy

Tiempo de carguío/carro

Tiempo por ciclo

Horas efectivas de trabajo, etc.

3.9.3 SOSTENIMIENTO Y RELLENO

Los trabajos de sostenimiento y relleno ambos cumplen de dar estabilidad mecánica a las labores mineras.

El relleno que se utiliza en los tajeos de corte y relleno es material detrítico. Luego según los requerimientos y la producción de extracción se debe tomar en cuenta los siguientes cálculos para su estandarización

Requerimiento de relleno mensual	m^3
Relleno/tajeo	m^3
Número de días en relleno (promedio)	días
Costo/TCS extraída	\$/TCS
Otros, etc.	

El trabajo de sostenimiento se realizan con cuadros de madera, pernos de anclaje, cerchas de riel (ocasionalmente), con Chotcrette en las rampas por donde se realiza el transporte mecanizado (también es poco frecuente), por las competencias de las calizas. Para su estandarización se pueden hacer los siguientes cálculos :

N° de tareas por cuadro de Galería
N° de tareas por cuadro tolva-camino
Costo/tarea, etc.

3.9.4 PERSONAL

Como estándares de personal, se menciona

El personal neto operativo en explotación es en un máximo de 80% del personal de tajeos (o sea $179 \times 0.80 = 140$, en cifras redondeadas).

Los rendimientos son :

SHRINKAGE = 6.5 TCS/Tarea

DRAW POINT = 12.4 TCS/Tarea

GENERAL MINA = 4.5 TCS/Tarea

La distribución de personal en los DRAW POINT :

Gdia A	Gdia B
-----	-----
3 perforistas	3 perforistas
2 disparadores	2 camperos (peones) que hacen campo
2 enmaderadores	
-----	-----
7 hombres	5 hombres

Total/tajeo DRAW POINT = 12 hombres

* COSTOS DE EXPLOTACION

SHRINKAGE	5.1	\$/TCS
DRAW POINT	3.7	\$/TCS

3.9.5 INSUMOS

Los principales consumos en explotación son

Dinamita	0.233	kg/TCS
Madera	1.064	pies ² /TCS
Barrenos	2.129	pies/TCS
Otros		

3.10 VENTILACION Y OTRAS RESTRICCIONES OPERATIVAS

La ventilación en los niveles superiores, es natural mediante chimeneas de ventilación que están debidamente planificadas. En los niveles inferiores al 450, donde la explotación es por DRAW POINT, donde el requerimiento de aire es :

2 SCOOP TRAM de 80 HP c/u	16,960 P.c.m.
1 camión de bajo perfil 120 HP	12,720 P.c.m.
20 hombres/Gdia	4,240 P.c.m.

TOTAL	33,920 P.c.m.

Para diluir los gases del disparo y los requerimientos de equipos y personal, son satisfechas por el empleo de 2 ventiladores de motor eléctrico de 35 HP c/u para evacuar el aire viciado hacia la chimenea de ventilación. A medida que se profundiza las labores de explotación será necesario hacer una evaluación del sistema para incrementar el N° de

ventiladores.

Otras restricciones operativas de consideración de carácter técnico, generalmente no se presentan; pero sí, es necesario mencionar que las restricciones se presentan por paros laborales por problemas de poca significación. Además las operaciones de producción se ven restringidas por el bloqueo de las carreteras de acceso en las épocas de lluvia en los meses de enero - marzo por la presencia de los huaycos que generalmente afectan el sistema logístico.

CAPITULO IV

PLANEACION DE PRODUCCION MEDIANTE PROGRAMACION DINAMICA

4.1 CARACTERISTICAS DE LA PROGRAMACION DINAMICA

La programación dinámica puede definirse como una técnica matemática para la solución de una serie de decisiones en secuencia. Hay que tomar una secuencia de decisiones, con cada una de ellas que las decisiones futuras. Esto es necesario, porque rara vez encontramos una situación de operación en la que las implicancias de una decisión no se extienden al futuro. Entonces, el ejecutivo se enfrenta a situaciones que requieren tomar una serie de decisiones; en la que el éxito de cada una de las decisiones depende de los resultados de una decisión previa de la misma serie.

La característica principal de la programación dinámica es la toma de decisiones en secuencia. Además de la característica esencial, la programación dinámica tiene otras propiedades; tal por ejemplo: "sólo hay que conocer una pequeña cantidad de datos en ca-

da etapa a fin de describir el problema".

La toma de una serie de decisiones, permite corregir las decisiones mal tomadas con el propósito de lograr la optimización corrigiendo resultados en las etapas siguientes.

4.2 ELEMENTOS DE LOS MODELOS DE PROGRAMACION DINAMICA

La programación dinámica es una técnica matemática principalmente para mejorar la eficiencia de cómputo en ciertos problemas de optimización. La idea básica es descomponer el problema en subproblemas más pequeños y que computacionalmente es más viable para su manejo. Para evitar dificultades de cálculo o procedimiento, en la resolución de problemas de Programación Dinámica, está diseñada de la siguiente manera :

1. El problema se descompone en subproblemas (llamados etapas) y cada subproblema se optimiza sobre sus alternativas de manera que nunca sea necesario enumerar todas las combinaciones anticipadamente.
2. Debido a que la optimización se aplica a cada subproblema, todas las combinaciones no óptimas se descartan sistemáticamente.
3. Los subproblemas están "ligados" en una forma especial de manera que nunca es posible optimizar

sobre combinaciones infactibles.

La Programación Dinámica para su formulación requiere de 3 elementos básicos :

Etapa

Alternativa (variables de decisión en cada etapa)

Estado del sistema.

- . La etapa representa una porción del problema para la cual se debe tomar una decisión.
- . La determinación de alternativas dentro de cada etapa es parte integral de la definición de la etapa y por consiguiente, deberá ser fácilmente identificable. Asociada a cada etapa está la función de rendimiento de una variable de decisión, la cual evalúa el "valor" de cada alternativa.
- . El estado del sistema viene a ser el concepto más importante en un modelo de programación dinámica, ésta representa la "liga" entre las etapas subsecuentes de tal manera que cuando cada etapa se optimice por separado, la decisión resultante es automáticamente factible para el problema completo. Además permite que se hagan decisiones óptimas para las etapas restantes sin tener que comprobar el efecto de decisiones futuras sobre decisiones que se han tomado anteriormente.

No existe una forma fácil de definir el estado del sistema. Viene a ser la condición del proceso en una determinada etapa, y el estado se especifica mediante los valores de las variables de estado. Se puede encontrar pistas haciéndose dos preguntas siguientes

1. ¿Qué relaciones enlazan (ligan) las etapas?
2. ¿Qué información es necesaria para tomar decisiones factibles en la etapa actual sin verificar la factibilidad de decisiones hechas en etapas anteriores?

4.3 PRINCIPIO DE OPTIMALIDAD

El principio de optimalidad de Bellman que se refiere a la solución secuencial de los problemas de decisión asociado con cada etapa es equivalente a la solución del problema de decisión del sistema original.

Richard Bellman en su obra *Dynamic Programming* de 1957 enuncia el principio de optimalidad "Una política óptima tiene la propiedad de que cualquiera que sea el estado inicial y la decisión inicial, las decisiones restantes deben constituir una política óptima con respecto al estado resultante de la primera decisión".

O dicho en otras palabras, por principio de optimalidad se entiende que ciertos problemas de programación dinámica en cuanto a su optimización sólo pueden ser resueltos cuando se les descompone en una serie de etapas. Las soluciones parciales de cada etapa que conducen a una optimización del sistema equivale a la solución del problema original. Obviamente la descomposición del problema en subproblemas siguiendo las normas del principio de descomposición y tomando en cuenta los componentes controlables y no controlables y todas las interrelaciones existentes entre ellas. Por ejemplo, un programa anual, se descompone en programas mensuales o trimestrales; el resultado acumulado, es el resultado anual y las correcciones fue posible realizar en las etapas siguientes, a las etapas en que se incurrió en deficiencias.

4.4 PROBLEMAS DE DIMENSIONALIDAD

En la solución de problemas de programación dinámica, en general, los vectores de entrada y salida al sistema, tienen n componentes. La dificultad de resolver un problema dinámico aumenta exponencialmente con el número de componentes de los vectores de entrada y salida al sistema. Se entiende por dificultad dos aspectos fundamentales: el tiempo que

demora la computadora en realizar el proceso de cómputo y la capacidad de memoria requerida para almacenar una gran cantidad de información para poder resolver la función recursiva. Por ejemplo si se tendría un problema de caso continuo, donde existe una infinidad de valores en un rango dado y que en general existan k componentes en un vector de entrada y éstos pueden tomar w valores diferentes y existen n etapas. Entonces el N° total de alternativas a analizar estaría dado por nw^k .

Entonces el problema de dimensionalidad en la formulación de problemas dinámicos, es menester de analizar con cuidado, procurando no exceder el número de etapas o el número de componentes de los vectores de entrada-salida.

De lo contrario se origina el problema de infactibilidad de cómputo, especialmente en los cálculos tabulares (tablas-cuadros).

El problema de la dimensionalidad, para ilustrar al lector se puede comparar cuando problemas de transporte o de asignación se desean resolver por el método general de Programación Lineal. Para los cuales se han implementado los algoritmos de transporte y asignación. Del mismo para la solución de problemas dinámicos se basa en la recursividad que es la

estructura de la descomposición de un sistema en varias etapas.

4.5 METODOS DE SOLUCION DE PROGRAMACION DINAMICA

4.5.1 ECUACION RECURSIVA

Para formular y resolver problemas de programación dinámica, se debe seguir los siguientes pasos :

Hacer un reconocimiento de las variables de decisión.

Establecer las etapas del sistema.

Determinar los estados para cada etapa.

Definir la ganancia, beneficios o función de rendimiento que genera el sistema por cambiar de estado entre dos etapas.

Definir la función del valor $v(i,r)$.

Para definir las pautas señaladas, utilizamos la siguiente nomenclatura :

Etapa (r), varía de cero a n .

Estado (i), el estado corresponde a cada etapa.

Ganancia, beneficio o función de rendimiento (q).

Políticas (s), cómo optimizar el sistema mediante modelos de maximización o de minimización. Lo mismo que la descomposición del sistema si toma la forma aditiva o multiplicativa.

Estrategia.- Consiste en elegir el método de solución: Entrada - Salida (hacia adelante) o Salida - Entrada (hacia atrás).

Luego la función recursiva, consiste en expresar en forma matemática y generalizada la función objetivo del problema y la interrelación de los componentes del sistema.

Para expresar la ecuación recursiva se requiere un tratamiento matemático avanzado. Para fines de ilustración de los problemas a mencionar en el presente trabajo. Se presenta la ecuación recursiva por cada tipo de problema y en toda la descomposición es aditiva. La descomposición multiplicativa es más usual para la solución de problemas estocásticos.

- Programación de Producción

$$v(i,r) = \begin{matrix} \text{máx} \\ \text{ó} \\ \text{mín} \\ J \end{matrix} \{ q(i,s) + v(J,r-1) \}$$

donde : $J = i + s - m_r$

m_r = entrega (meta) mensual

- Tamaño de la Fuerza Laboral

$$v(i,r) = \text{mín}_J \{ q(i,s) + v(J,r-1) \}$$

- Reemplazo de Equipos

$$v(i,r) = \min_J \{ q(i,s) + v(J,r-1) \}$$

Para s en un caso corresponde a reparación (r). Y en otro corresponde a remplazo (R)

Para r: q = Costo de reparación

R: q = Valor residual - costo de equipo nuevo

Además : para r : J = i + 1

R : J = 1

- Selección de Alternativas de INVERSION

$$v(i,r) = \begin{matrix} \text{mín} \\ \text{o} \\ \text{máx} \\ \text{J} \end{matrix} \{ q(i,s) + v(J,r-1) \}$$

4.5.2 METODO HACIA ADELANTE

Los problemas dinámicos por este método de solución consiste en realizar los cálculos de f_i en el siguiente orden :

$$f_1 \text{ ---> } f_2 \text{ ---> } \dots \text{ ---> } f_N \quad \text{donde } f_1 \text{ y } f_N$$

Vienen a ser las funciones inicial y final de la Ecuación recursiva. Por ejemplo : Se tiene el siste

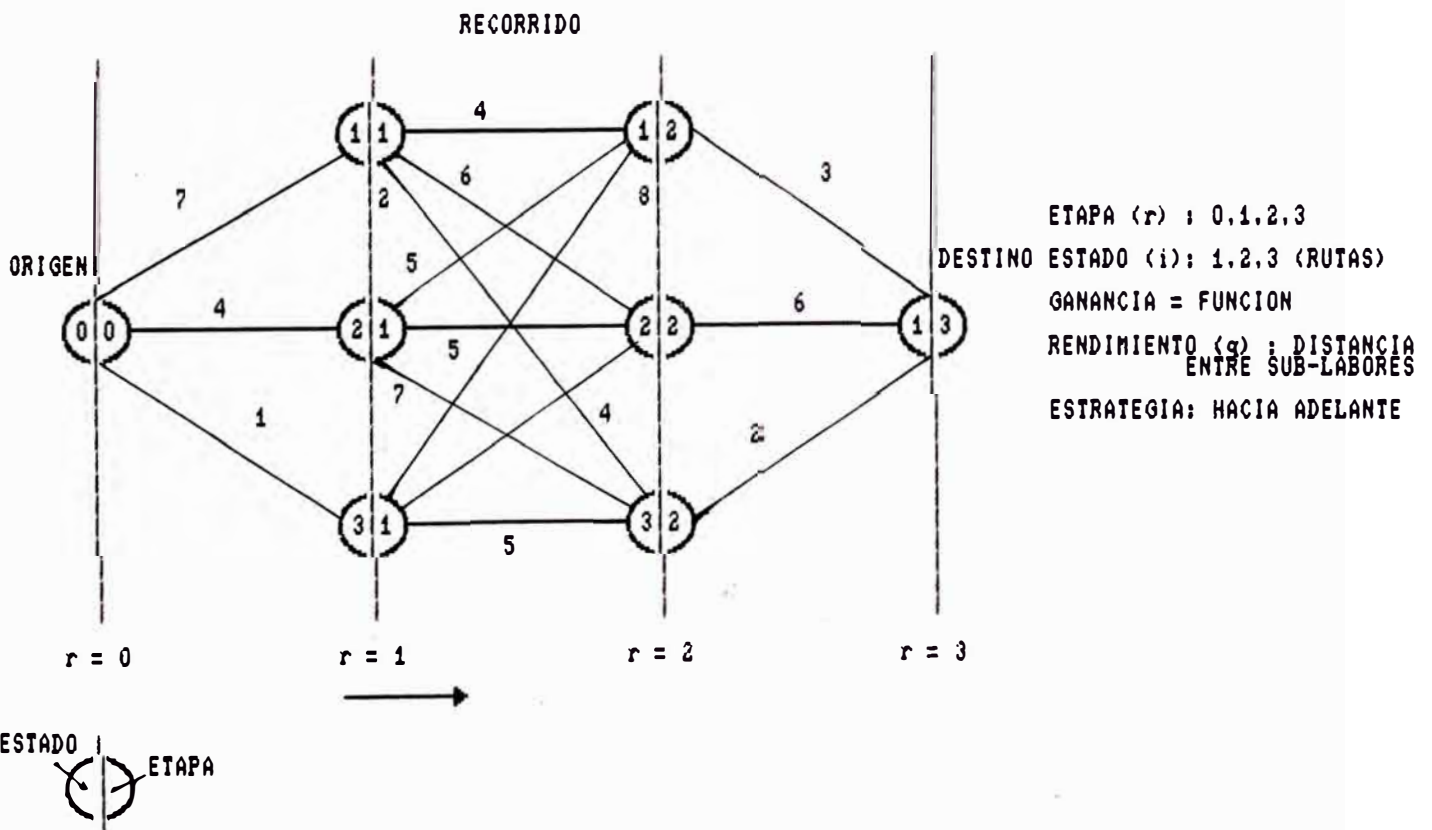
ma de un supervisor de mina que visita 2 labores diferentes y en cada labor puede visitar 3 sub-labores.

OBJETIVO Visitar las sub-labores con el mínimo recorrido.

La función recursiva generalizada es :

$$v(i,r) = \min_J \{ v(j,r+1) + q(i,r : j,r+1) \}$$

donde (r+1) indica que va de la etapa r a la etapa r+1 o sea de izquierda a derecha o hacia adelante.



4.5.3 METODO HACIA ATRAS

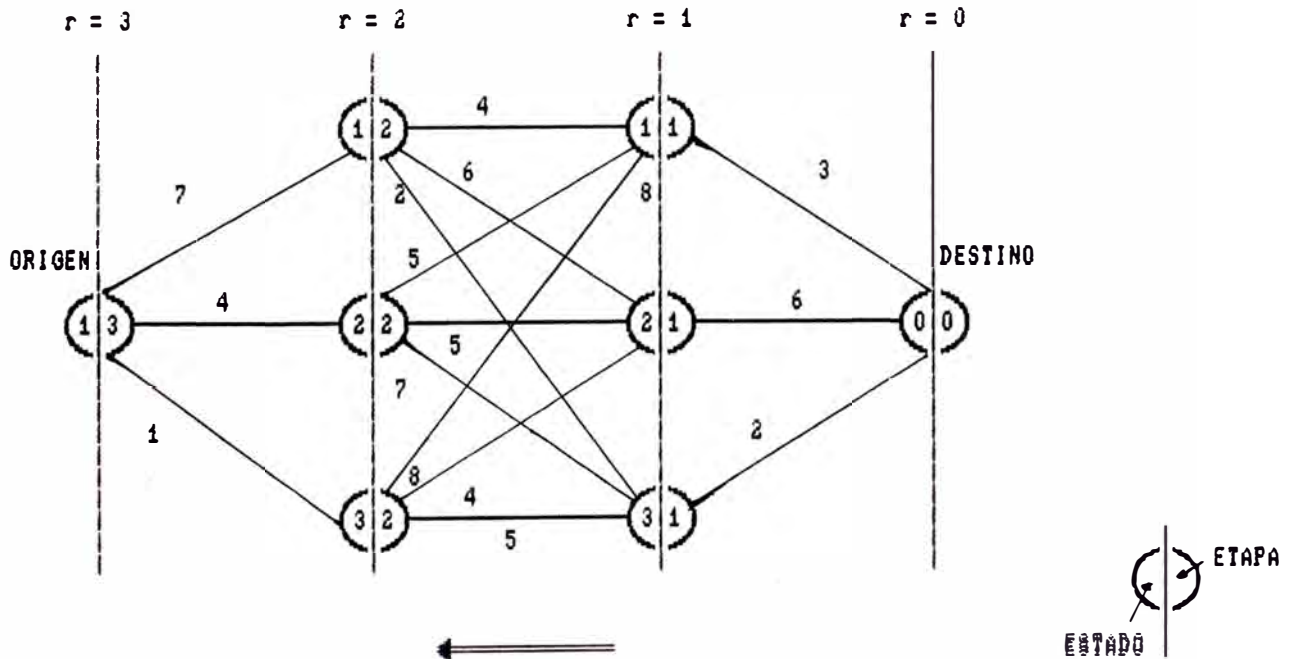
El otro método de solución es de salida-entrada o hacia atrás, o de derecha a izquierda, los cálculos de la función f_i se calcula en el sentido siguiente:

$$f_N \text{ ---> } f_{N-1} \text{ ---> } \dots \text{ } f_1$$

La función recursiva generalizada para el ejemplo anterior es :

$$v(i,r) = \min_J \{ v(j,r-1) + q(i,r : J,r-1) \}$$

El esquema es el siguiente :



No es posible especificar cuál de los métodos es más conveniente para determinados problemas; pero la práctica recomienda que encuentra menos dificultad por ejemplo, cuando se trata de variables enteras.

Desarrollando la función objetivo o ecuación recursiva :

para $r = 0$

$$V(1,0) = 0$$

para $r = 1 ; i = 1,2,3.$

$$i = 1: V(1,1) = V(1,0) + q(1,1 : 1,0)$$

$$V(1,1) = 0 + 3 \implies V(1,1) = 3$$

$$i = 2: V(2,1) = V(1,0) + q(2,1 : 1,0)$$

$$0 + 6 \implies V(2,1) = 6$$

$$i = 3: V(3,1) = V(1,0) + q(3,1 : 1,0)$$

$$= 0 + 2 \implies V(3,1) = 2$$

min = 2

Ruta (3,1)

Para $r = 2 :$

y para $i = 1$

$$V(1,2) = \min_J$$

$$\left[\begin{array}{l} V(1,1) + q(1,2 : 1,1) = 3 + 4 = 7 \\ V(2,1) + q(1,2 : 2,1) = 6 + 6 = 12 \\ V(3,1) + q(1,2 : 3,1) = 2 + 2 = 4 \end{array} \right] = 4$$

para $i = 2$

$$V(2,2) = \min_J$$

$$\left[\begin{array}{l} V(1,1) + q(2,2 : 1,1) = 3 + 5 = \boxed{8} \rightarrow (1,1) \\ V(2,1) + q(2,2 : 2,1) = 6 + 5 = 11 \\ V(3,1) + q(2,2 : 3,1) = 2 + 7 = 9 \end{array} \right]$$

para $i = 3$

$$V(3,2) = \min_J \begin{cases} V(1,1) + q(3,2 : 1,1) = 3 + 8 = 11 \\ V(2,1) + q(3,2 : 2,1) = 6 + 4 = 10 \\ V(3,1) + q(3,2 : 3,1) = 2 + 5 = \boxed{7} \rightarrow (3,1) \end{cases}$$

Para $r = 3$

e $i = 1$

$$V(1,3) = \min_J \begin{cases} V(1,2) + q(1,3 : 1,2) = 4 + 7 = 11 \\ V(2,2) + q(1,3 : 2,2) = 8 + 4 = 12 \\ V(3,2) + q(1,3 : 3,2) = 7 + 1 = \boxed{8} \rightarrow (3,2) \end{cases}$$

CONCLUSION :

Los valores mínimos por etapas son :

1era. etapa $(r = 1) = 2$

2da. etapa $(r = 2) = 4$

3era. etapa $(r = 3) = 1$

Tiempo total mínimo de la Ruta = 8

$$(1,3) \xleftarrow{1} (3,2) \xleftarrow{4} (3,1) \xleftarrow{2} (0,0)$$

4.5.4 METODOS COMPUTACIONALES

Hoy en día es muy difícil encontrar programas que resuelvan problemas de programación dinámica. Esto se debe a que el modelo no es muy conocido ni aplicado en nuestro medio. No es un único lenguaje que puede desarrollar los diferentes tipos de problemas

ya que los algoritmos o secuencias que tiene cada una de ellos es diferente para cada tipo. Pero los lenguajes posibles que pueden resolver por su capacidad que tienen es el Lenguaje TURBO PASCAL.

En nuestro caso de los problemas típicos de minería que se desarrollan en este capítulo los programas de cómputo tienen que ser diferentes para cada uno de ellos. Esta es la dificultad que se tiene para su aplicación.

4.6 MODELOS DE PROGRAMACION DINAMICA APLICABLES A PROBLEMAS MINEROS TIPICOS

4.6.1 PLANEACION DE LA PRODUCCION

Una unidad minera tiene dos zonas de trabajo (Norte y sur) y una planta concentradora con una capacidad de 650 Toneladas de tratamiento máximo en 24 horas. La zona norte puede producir hasta 13,500 Toneladas/mes y la zona sur hasta 12,500 toneladas/mes; las reservas de la zona norte tienen una ley promedio de 5 onzas de Ag equivalentes y de la zona sur 4 onzas de Ag equivalente.

La meta mensual en contenido fino es no menor de 90,000 onzas. Además se tiene los siguientes rendimientos

	ZONA NORTE	ZONA SUR	TOTAL DISPONIBLE
	-----	-----	-----
Trab. Equip.	2 hora/Ton	2 hr/Ton	36,000 hr/mes
Personal	2 Ton/	1 Ton/	28,000 hr/mes
Energía	3 kW-h/Ton	4 kW-h/Ton	62,000 kW-h/mes
Costos	7 \$/Ton	12 \$/Ton	180,000 \$/mes

Dentro de los costos se tiene incluido los gastos de minado, transporte y tratamiento.

Con los rendimientos y estándares citados y por la relativa estabilidad de las cotizaciones es posible obtener 15 \$/Ton y 14 \$/Ton de utilidades respectivamente.

¿Qué tonelaje es necesario extraer de cada zona, para obtener mayores utilidades?.

SOLUCION :

Sea X_1 la producción de la zona norte y X_2 la producción de la zona sur.

$$\text{Máx } Z = 15 X_1 + 14 X_2$$

Sea :

Capacidad de planta	$X_1 + X_2$	\leq	19,500
Capacidad zona norte	X_1	\leq	13,500
Capacidad zona sur	X_2	\leq	12,500
Meta contenido fino	$5X_1 + 4X_2$	\leq	90,000
Equipos	$2X_1 + 2X_2$	\leq	36,000

Personal	$2X_1 + X_2 \leq$	28,000
Energía	$3X_1 + 4X_2 \leq$	62,000
Costos	$7X_1 + 12X_2 \leq$	180,000

El problema lineal es :

$$\text{Máx } Z = \sum_{i=1}^n C_i X_i$$

Sea

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} X_j \leq b_i \quad i = 1, \dots, m$$
$$X_j \geq 0 \quad j = 1, \dots, n$$

Para resolver este problema por medio de la programación dinámica se tiene que cada actividad $j = 1, \dots, n$ constituye una etapa. El nivel de la actividad $X_j \geq 0, j = 1, \dots, n$ representa la decisión en la etapa $j, j = 1, \dots, n$. Esta decisión es una variable continua. La entrada a la etapa $j, j = 1, \dots, n$ es un vector de disponibilidad de recursos, que tiene m componentes. Este vector, en la etapa j se representa por :

$$H_j = \begin{bmatrix} h_{1j} \\ h_{2j} \\ \vdots \\ h_{mj} \end{bmatrix}, \quad j = 1, \dots, n$$

Se hace notar que el vector de entrada a todo sistema H_1 , tiene como componentes :

$$H_1 = \begin{bmatrix} h_{11} \\ h_{21} \\ \vdots \\ h_{m1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_m \end{bmatrix}, \quad \begin{aligned} 0 \leq H_j \leq H_1 \\ j = 1, \dots, n \end{aligned}$$

La función de transferencia la dan las mismas restricciones del problema lineal es decir,

$$\begin{aligned} h_{ij} = a_{ij} x_j, \quad \text{para } j = 1, 2, \dots, n \\ i = 1, 2, \dots, m. \end{aligned}$$

La eficiencia total en este caso es la función objetivo del programa lineal.

La función recursiva de salida a entrada es :

$$\begin{aligned} g_k(h_{1k}, h_{2k}, \dots, h_{mk}) = \text{Máx} \quad \{C_k x_k + g_{k+1}(h_{1k} - a_{1k} x_k, \dots, h_{mk} - a_{mk} x_k)\} \\ 0 \leq a_{ik} x_k \leq h_{ik} \end{aligned}$$

$$i = 1, \dots, m ; k = 1, 2, \dots, n-1$$

Con :

$$\begin{aligned} g_n(h_{1n}, h_{2n}, \dots, h_{mn}) = \text{Máx} \{c_n x_n\}, \quad i=1, 2, \dots, m \\ 0 \leq a_{in} x_n \leq h_{in} \end{aligned}$$

Como condición inicial se tiene :

$$0 \leq h_{ij} \leq h_{i1} = b_i \quad i = 1, 2, \dots, m$$

Ahora con este concepto procedemos a resolver el problema

Optimización de una etapa :

$$\begin{array}{l}
 H_2 = \begin{bmatrix} h_{12} \\ h_{22} \\ h_{32} \\ h_{42} \\ h_{52} \\ h_{62} \\ h_{72} \\ h_{82} \end{bmatrix}
 \end{array}$$

$$g_2(h_{12}, \dots, h_{82}) = \text{Máx}(14 X_2)$$

$$0 \leq X_2 \leq h_{12}$$

$$0 \leq 10X_2 \leq h_{22}$$

$$\vdots$$

$$0 \leq 12X_2 \leq h_{82}$$

$$\implies X_2^* = \text{Min} \left(h_{12}, h_{32}, \frac{h_{42}}{4}, \frac{h_{52}}{2}, h_{62}, \frac{h_{72}}{4}, \frac{h_{82}}{12} \right)$$

$$\implies g_2(h_{12}, \dots, h_{82}) = 14 \text{ Min} \left(h_{12}, h_{32}, \frac{h_{42}}{4}, \frac{h_{52}}{2}, h_{62}, \frac{h_{72}}{4}, \frac{h_{82}}{12} \right)$$

Optimización de dos Etapa :

$$H_2 = \begin{bmatrix} h_{12} \\ h_{22} \\ h_{32} \\ h_{42} \\ h_{52} \\ h_{62} \\ h_{72} \\ h_{82} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \\ b_5 \\ b_6 \\ b_7 \\ b_8 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 19,500 \\ 13,500 \\ 12,500 \\ 90,000 \\ 36,000 \\ 28,000 \\ 62,000 \\ 180,000 \end{bmatrix}$$

=====>

$$q_1 (19500, \dots, 180,000) = \text{Máx} \{ 15 x_1 + q_2(h_{12}, \dots, h_{g2}) \}$$

$$0 \leq x_1 \leq 19500$$

$$0 \leq x_2 \leq 180000$$

$$\Rightarrow q_1 (19500, \dots, 180,000) = \text{Máx} \left\{ 15x_1 + 14 \min \left(19500 - x_1, 13500 - x_1, 12500, \frac{90000 - 5x_1}{4}, \frac{36000 - 2x_1}{2}, 28000 - 2x_1, \frac{62000 - 3x_1}{4}, \frac{180000 - 7x_1}{12} \right) \right\}$$

La siguiente tabla de tabulación de valores servirá para encontrar los valores de x_1 y x_2 óptimos, tomando como referencia la máxima producción de la zona norte (13,500 ton) y de la zona sur (12,500 ton).

x_1 (Ton)	x_2 (Ton)	$q_2(x)$	$q_1(x)$	Observaciones
		\$	\$	
0	12,500	175,000	175,000	Solución factible
1,000	12,500	175,000	190,000	Solución factible
2,000	12,500	175,000	205,000	Solución factible
3,000	12,500	175,000	220,000	Solución factible
4,000	12,500	175,000	235,000	Solución factible
5,000	11,750	164,500	239,500	Solución factible
6,000	11,000	154,000	244,000	Solución factible

Continuación.....

X_1 (Ton)	X_2 (Ton)	$g_2(x)$	$g_1(x)$	Observaciones
		\$	\$	
7,000	10,250	143,500	248,500	Solución factible
8,000	9,500	133,000	253,000	Solución factible
9,000	8,750	122,500	257,500	Solución factible
10,000	8,000	112,000	262,000	Solución óptima
11,000	7,250	101,500	266,500	No factible
12,000	6,500	91,000	271,000	No factible
12,500	6,125	85,750	273,000	No factible
13,000	5,750	80,500	275,500	No factible
13,500	5,375	75,250	277,750	No factible

Según la teoría se sabe que, de los infinitos pares de números (X_1, X_2) no negativos, algunos de estos pares o decisiones violan por lo menos una de las restricciones y algunos los satisfacen. En nuestro modelo son admisibles las decisiones no negativas que satisfagan todas las restricciones; tales decisiones se llaman decisiones óptimas o factibles. Entonces sólo pueden ser considerados soluciones óptimas las alternativas de producción que satisfagan todas las restricciones.

Observando el cuadro tabulado se concluye que los valores factibles que satisfacen el problema planteado son:
 $X_1 = 10,000$, $X_2 = 8,000$ con una utilidad óptima de

262,000 dólares.

Para comprobar tomamos el valor de $X_1 = 10,000$ y procedemos a calcular X_2 óptimo matemáticamente y de acuerdo al modelo.

$$\begin{array}{l}
 H2 = \begin{bmatrix} h12 \\ h22 \\ h32 \\ h42 \\ h52 \\ h62 \\ h72 \\ h82 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H11 - a11 X1^* \\ h21 - a21 X1^* \\ h31 - a31 X1^* \\ h41 - a41 X1^* \\ h51 - a51 X1^* \\ h61 - a61 X1^* \\ h71 - a71 X1^* \\ h81 - a81 X1^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 19,500 - 1(10,000) \\ 13,500 - 1(10,000) \\ 12,500 - 0(10,000) \\ 90,000 - 5(10,000) \\ 36,000 - 2(10,000) \\ 28,000 - 2(10,000) \\ 62,000 - 3(10,000) \\ 180,000 - 7(10,000) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 9,500 \\ 3,500 \\ 12,500 \\ 40,000 \\ 16,000 \\ 8,000 \\ 32,000 \\ 110,000 \end{bmatrix}
 \end{array}$$

$$\implies \text{en } X_2^* = \text{Mín} (9500, 12500, \frac{40000}{4}, \frac{16000}{2}, 8000, \frac{32000}{4}, \frac{110000}{12})$$

$$X_2^* = \text{Mín} (9500, 12500, \underline{8000}, \underline{8000}, \underline{8000}, 9156)$$

$$\therefore X_2^* = 8,000$$

Luego la solución óptima es :

X_1^* , Producción de la Zona Norte = 10,000 Toneladas

X_2^* , Producción de la Zona Sur = 8,000 Toneladas

Total de Producción = 18,000 Toneladas

Con una utilidad óptima de $Z^* = \$ 262,000$

4.6.2 TAMAÑO DE LA FUERZA LABORAL

Una Compañía Minera necesita decidir el tamaño de su fuerza de trabajo durante los próximos 5 meses siguientes. El cálculo que el tamaño mínimo de la fuerza de trabajo, b_i para los 5 meses será de 600, 800, 900, 500, 700 trabajadores para $i=1,2,3,4$ y 5, respectivamente. La compañía puede mantener el número mínimo de trabajadores requerido ejerciendo las opciones de contratación y despido de trabajadores. Sin embargo, se incurre en costo de contratación adicional toda vez que el tamaño de la fuerza de trabajo del mes en curso excede el del último mes. Por otra parte, si la compañía mantiene como fuerza de trabajo para cualquier mes que excede el requisito mínimo, se incurre en un costo excesivo en ese mes.

Sea que Y_j represente el número de trabajadores para el j -ésimo mes. Define $C_1(Y_j - b_j)$ como el costo excesivo cuando Y_j sea mayor $C_2(Y_j - Y_{j-1})$ como el costo de contratación de nuevos trabajadores ($Y_j > Y_{j-1}$).

Los datos de la compañía muestran que :

$$C_1(Y_j - b_j) = 5(Y_j - b_j) \quad , \quad j = 1, 2, \dots, 5$$

$$C_2(Y_j - Y_{j-1}) = \begin{cases} 600 + 4(Y_j - Y_{j-1}); & Y_j > Y_{j-1} \\ 0 & Y_j \leq Y_{j-1} \end{cases}$$

Si la fuerza de trabajo inicial Y_0 al inicio del primer mes es de 600 trabajadores. Se requiere determinar el plan óptimo de la fuerza de trabajo para los próximos 5 meses.

NOTA La definición de C_2 implica que el despido ($Y_j \leq Y_{j-1}$) no incurre en costo adicional. Por otro lado suponer que no se permite trabajar en tiempo parcial y que los hombres disponibles se emplean para producir (no se permite tiempo ocioso).

SOLUCION

La función recursiva es

$$f_5(Y_4) = \text{Mín}_{Y_5 \geq b_5} \{C_1(Y_5 - b_5) + C_2(Y_5 - Y_4)\}$$

$$f_j(Y_{j-1}) = \text{Mín}_{Y_j \geq b_j} \{C_1(Y_j - b_j) + C_2(Y_j - Y_{j-1}) + f_{j+1}(Y_j)\}$$

donde :

$f_j(Y_{j-1})$ ---> Costo óptimo para los periodos (mes) $j, j+1, \dots, 5$

dado Y_{j-1}

j ---> representa la Etapa en el j -ésimo mes.

Y_{j-1} ---> representa el Estado en la etapa j y es el número de trabajadores al final de la etapa $j-1$.

Y_j ---> representa la alternativa y es el número de trabajadores en el mes j .

Primeramente definiremos los valores posibles de Y_1 , Y_2 , Y_3 , Y_4 y Y_5 . Como $j=5$ es el último periodo (mes) y como el despido no incurre en ningún costo, Y_5 debe ser igual al número mínimo de trabajadores seguidos, b_5 ; es decir :

$$Y_5 = b_5 = 700$$

$Y_4 = 500, 600, 700$, dado que $b_4 (= 500) < b_5 (= 700)$, dependiendo de que nivel genera el costo más bajo. De modo similar :

$$Y_3 = 900$$

$$Y_2 = 800, 900$$

$$Y_1 = 600, 700, 800, 900$$

$$Y_0 = 600$$

ETAPA 5 :

$$b_5 = 700$$

	$C_1(Y_5-700) + C_2(Y_5-Y_4)$	SOLUCION OPTIMA	
Y_4	$Y_5 = 700$	$f_5 (Y_4)$	Y_5^*
500	$5(0)+600+4(200)= 1400$	1400	700
600	$5(0)+600+4(100)= 1000$	1000	700
700	$5(0)+ 0 = 0$	0	

ETAPA 4 :

$$b_4 = 500$$

		$C_1(Y_4 - 500) + C_2(Y_4 - Y_3) + f_5(Y_4)$		SOLUCION OPTIMA	
Y3	Y4 = 500	600	700	f4 (Y3)	Y4*
900	$0 + 0 + 1400$ $= 1400$	$5(100) + 0 + 1000$ $= 1500$	$5(200) + 0 + 0$ $= 1000$	1000	700

ETAPA 3 :

$$b_3 = 900$$

		$C_1(Y_3 - 900) + C_2(Y_3 - Y_2) + f_4(Y_3)$		SOLUCION OPTIMA	
Y2	Y3 = 900			f3 (Y2)	Y3*
800		$5(0) + 600 + 4(100) + 1000 = 2000$		2000	900
900		$5(0) + 0 + 1000 = 1000$		1000	900

ETAPA 2 :

$$b_2 = 800$$

		$C_1(Y_2 - 800) + C_2(Y_2 - Y_1) + f_3(Y_1)$		SOLUCION OPTIMA	
Y1	Y2 = 800	900		f2 (Y1)	Y2*
600		$0 + 600 + 4(300) + 2000 = 3400$	$5(100) + 600 + 4(300) + 1000 = 3300$	3300	900
700		$0 + 600 + 4(100) + 2000 = 3000$	$5(100) + 600 + 4(200) + 1000 = 2900$	2900	900
800		$0 + 0 + 2000 = 2000$	$5(100) + 600 + 4(100) + 1000 = 2500$	2500	800
900		$0 + 0 + 2000 = 2000$	$5(100) + 0 + 1000 = 1500$	1500	900

ETAPA 1

$$b_1 = 600$$

C1(Y1-600)+C2(Y1-Y0)+f2(Y1)					SOLUCION OPTIMA	
Y0	Y1=600	700	800	900	f1 (Y0)	Y1*
600	0+0+3300 = 3300	5(100)+600+5(100) +2900 = 4400	5(200)+600+4(200) +2500 = 4900	5(300)+600+4(300) +1500 = 4800	3300	600

Luego la solución óptima será la siguiente :

$$Y_0 = 600 \rightarrow Y_1^* = 600 \rightarrow Y_2^* = 900 \rightarrow Y_3^* = 900$$

$$Y_4^* = 700 \rightarrow Y_5^* = 700$$

Por lo tanto resumimos en la siguiente tabla :

MES j	REQUISITO MINIMO b _j	Y _j	DECISION	COSTO TOTAL
1	600	600	No hay contratación ni despido	3.300
2	800	900	Si contratan 300 trabajadores	
3	900	900	No hay contratación ni despido	
4	500	700	Se despide a 200 trabajadores	
5	700	700	No hay contratos ni despido	

4.6.3 REEMPLAZO DE EQUIPO

Supongamos que se conocen las funciones :

$i(t)$ = Ingresos anuales de un equipo de t años de edad

$m(t)$ = Costo anual de mantenimiento de un equipo de t años de edad

$r(t)$ = Costo de reemplazar un equipo de t años de edad

Supongamos que además, se considera un horizonte de planeación de 5 años y también se considera una tasa de descuento de 10%, es decir, una unidad de retorno en el periodo $t+1$ equivale 10% unidades en el periodo t .

Se tienen los siguientes datos :

Tabla de Ingresos en miles de dólares

Año de la decisión (k)	Año en que se construyó el equipo (t)				
	1	2	3	4	5
1	11				
2	10	15			
3	9	13	16		
4	8	12	14	15	
5	7	10	13	14	18

$i(t,k)$

Tabla de Costo del reemplazo en miles de dólares

Año del reemplazo (k)	Año en que el nuevo equipo se fabricó (t)				
	1	2	3	4	5
1	0				
2	6	0			
3	9	5	0		
4	13	6	4	0	
5	15	9	6	5	0

$r(t,k)$

Tabla de Costo de Mantenimiento en miles de dólares

Año del reemplazo (k)	Año en que el nuevo equipo se fabricó (t)				
	1	2	3	4	5
1	0				
2	4	0			
3	3	3	0		
4	2	4	2	0	
5	3	7	4	3	0

$m(t,k)$

Por otro lado, el reemplazo se hace al principio de cada año, el reemplazo y mantenimiento es instantáneo, es decir, no delata un determinado periodo de tiempo. El reemplazo es siempre por una máquina nueva.

SOLUCION

Definamos :

$f_k(t)$ = El valor en el año k del retorno total de un equipo de t años de edad, donde se ha utilizado una política óptima de reemplazo.

Como el horizonte de planeación es de 5 años, suponemos $f_{N+1}(t) \approx 0$ ($N=5$); además se conocen las funciones de acuerdo a tablas para cada año $k = 1, 2, \dots, N$, es decir tenemos valores $i_k(t)$, $m_k(t)$, $r_k(t)$.

Si en el año k se toma la decisión de comprar un equipo nuevo, el retorno asociado es :

$$f_k(t, \text{compra}) = i_k(0) - m_k(0) - r_k(t) + af_{k+1}(1)$$

Si la decisión es la de mantener el equipo, el retorno asociado es :

$$f_k(t, \text{mantener}) = i_k(t) - m_k(t) + af_{k+1}(t+1)$$

es decir :

$$f_k(t) = \text{Máx} \left[f_k(t, \text{compra}); f_k(t, \text{mantener}) \right]$$

Luego la función recursiva será :

$$f_k(t) = \text{Máx} \left[\begin{array}{l} C : i_k(0) - m_k(0) - r_k(t) + af_{k+1}(1) \\ M : i_k(t) - m_k(t) + af_{k+1}(t+1) \end{array} \right]$$

Optimizaremos la función de recurrencia de salida a entrada :

Para facilitar la solución del problema, haremos lo siguiente :

$$f(t,k) = \text{Máx} \left[\begin{array}{l} C : i(k,k) - m(k,k) - r(t,k) + af(k,k+1) \\ M : i(t,k) - m(t,k) + af(t+1,k+1) \end{array} \right]$$

Optimización de una etapa :

$$k = 5, t = 5,4,3,2,1$$

$$f(5,5) = \text{Máx} \left[\begin{array}{l} C : i(5,5) - m(5,5) - r(5,5) + 0.1f(5,6) \\ \quad 18 - 0 - 0 + 0 = 18 \\ M : i(5,5) - m(5,5) + 0.1f(6,6) \\ \quad 18 - 0 - 0 = 18 \end{array} \right]$$

$f(5,5) = 18$ -----> comprar o mantener

$$f(4,5) = \text{Máx} \left[\begin{array}{l} C : i(5,5) - m(5,5) - r(4,5) + 0.1f(5,6) \\ \quad 18 - 0 - 5 + 0 = 13 \\ M : i(4,5) - m(4,5) + 0.1f(5,6) \\ \quad 14 - 3 + 0 = 11 \end{array} \right]$$

$f(4,5) = 13$ -----> comprar

$$f(3,5) = \text{Máx} \left[\begin{array}{l} C : i(5,5) - m(5,5) - r(3,5) + 0.1f(5,6) \\ \quad 18 - 0 - 6 + 0 = 12 \\ M : i(3,5) - m(3,5) + 0.1f(4,6) \\ \quad 13 - 4 + 0 = 9 \end{array} \right]$$

$f(3,5) = 12$ -----> comprar

$$f(2,5) = \text{Máx} \begin{cases} C : i(5,5) - m(5,5) - r(2,5) + 0.1f(5,6) \\ \quad 18 - 0 - 9 + 0 = 9 \\ M : i(2,5) - m(2,5) + 0.1f(3,6) \\ \quad 10 - 7 + 0 = 3 \end{cases}$$

$f(2,5) = 9$ -----> comprar

$$f(1,5) = \text{Máx} \begin{cases} C : i(5,5) - m(5,5) - r(1,5) + 0.1f(5,6) \\ \quad 18 - 0 - 15 + 0 = 3 \\ M : i(1,5) - m(1,5) + 0.1f(2,6) \\ \quad 7 - 3 + 0 = 4 \end{cases}$$

$f(1,5) = 4$ -----> mantener

Optimización de dos etapas : (k = 4, t = 4,3,2,1)

$$f(4,4) = \text{Máx} \begin{cases} C : i(4,4) - m(4,4) - r(4,4) + 0.1f(4,5) \\ \quad 15 - 0 - 0 + 0.1(13) = 16.3 \\ M : i(4,4) - m(4,4) + 0.1f(5,5) \\ \quad 15 - 0 + 0.1(18) = 16.8 \end{cases}$$

$f(4,4) = 16.8$ -----> mantener

$$f(3,4) = \text{Máx} \begin{cases} C : i(4,4) - m(4,4) - r(3,4) + 0.1f(4,5) \\ \quad 15 - 0 - 4 + 0.1(13) = 12.3 \\ M : i(3,4) - m(3,4) + 0.1f(4,5) \\ \quad 14 - 2 + 0.1(13) = 13.3 \end{cases}$$

$f(3,4) = 13.3$ -----> mantener

$$f(2,4) = \text{Máx} \begin{cases} C : i(4,4) - m(4,4) - r(2,4) + 0.1f(4,5) \\ \quad 15 - 0 - 6 + 0.1(13) = 10.3 \\ M : i(2,4) - m(2,4) + 0.1f(3,5) \\ \quad 12 - 4 + 0.1(12) = 9.2 \end{cases}$$

$f(2,4) = 10.3$ -----> comprar

$$f(1,4) = \text{Máx} \begin{cases} C : i(4,4) - m(4,4) - r(1,4) + 0.1f(4,5) \\ \quad 15 - 0 - 13 + 0.1(13) = 3.3 \\ M : i(1,4) - m(1,4) + 0.1f(2,5) \\ \quad 8 - 2 + 0.1(9) = 6.9 \end{cases}$$

$f(1,4) = 6.9$ -----> mantener

Optimización de tres etapas ($k=3, t=3,2,1$)

$$f(3,3) = \text{Máx} \begin{cases} C : i(3,3) - m(3,3) - r(3,3) + 0.1f(3,4) \\ \quad 16 - 0 - 0 + 0.1(13.3) = 17.33 \\ M : i(3,3) - m(3,3) + 0.1f(4,4) \\ \quad 16 - 0 + 0.1(16.8) = 17.68 \end{cases}$$

$f(3,3) = 17.68$ ----> mantener o comprar

$$f(2,3) = \text{Máx} \begin{cases} C : i(3,3) - m(3,3) - r(2,3) + 0.1f(3,4) \\ \quad 16 - 0 - 5 + 0.1(13.3) = 12.33 \\ M : i(2,3) - m(2,3) + 0.1f(3,4) \\ \quad 13 - 3 + 0.1(13.3) = 11.33 \end{cases}$$

$f(2,3) = 12.33$ ----> comprar

$$f(1,3) = \text{Máx} \left[\begin{array}{l} C : i(3,3) - m(3,3) - r(1,3) + 0.1f(3,4) \\ \quad 16 - 0 - 9 + 0.1(13.3) = 8.33 \\ \\ M : i(1,3) - m(1,3) + 0.1f(2,4) \\ \quad 9 - 3 + 0.1(10.3) = 7.03 \end{array} \right]$$

$$f(1,3) = 8.33 \text{ ----> comprar}$$

Optimización de cuatro etapas (k = 2, t = 2,1)

$$f(2,2) = \text{Máx} \left[\begin{array}{l} C : i(2,2) - m(2,2) - r(2,2) + 0.1f(2,3) \\ \quad 15 - 0 - 0 + 0.1(12.33) = 16.233 \\ \\ M : i(2,2) - m(2,2) + 0.1f(3,3) \\ \quad 15 - 0 + 0.1(13.68) = 16.768 \end{array} \right]$$

$$f(2,2) = 16.233 \text{ ó } 16.768 \text{ -----> Comprar o mantener}$$

$$f(1,2) = \text{Máx} \left[\begin{array}{l} C : i(2,2) - m(2,2) - r(1,2) + 0.1f(2,3) \\ \quad 15 - 0 - 6 + 0.1(12.33) = 10.233 \\ \\ M : i(1,2) - m(1,2) + 0.1f(2,3) \\ \quad 10 - 4 + 0.1(12.33) = 7.233 \end{array} \right]$$

$$f(1,2) = 10.233 \text{ -----> Comprar}$$

Optimización de cinco etapas (k = 1, t = 1)

$$f(1,1) = \text{Máx} \left[\begin{array}{l} C : i(1,1) - m(1,1) - r(1,1) + 0.1f(1,2) \\ \quad 11 - 0 - 0 + 0.1(10.233) = 12.0233 \\ \\ M : i(1,1) - m(1,1) + 0.1f(2,2) \\ \quad 11 - 0 + 0.1(16.768) = 12.6768 \end{array} \right]$$

$$f(1,1) = 12.0233 \text{ ó } 12.6768 \text{ ----> Comprar o mantener}$$

De retroceso la ecuación recursiva es :

$$f_k(X) = \text{Máx} \{g_k(X_k) + f_{k+1}(X-X_k)\}$$
$$0 \leq X_k \leq X$$

$$f_N(X) = g_N(X)$$

Nosotros emplearemos la ecuación recursiva de retroceso.

ETAPA 3:

$$f_3(X_3) = \text{Máx} \{g_3(X_3) + \underbrace{f_{3+1}(X-X_3)}_0\}$$

X_3	$k = 0$	1	2	3	4	5	$f_3(X_3)$	X_3^*
0	0						0	0
1	0	3,3					3,3	1
2	0	3,3	4,3				4,3	2
3	0	3,3	4,3	4,7			4,7	3
4	0	3,3	4,3	4,7	5,0		5,0	4
5	0	3,3	4,3	4,7	5,0	5,2	5,2	5

ETAPA 2:

$$f_2(x_2) = \text{Máx} \{g_2(x_2) + f_3(x-x_2)\}$$

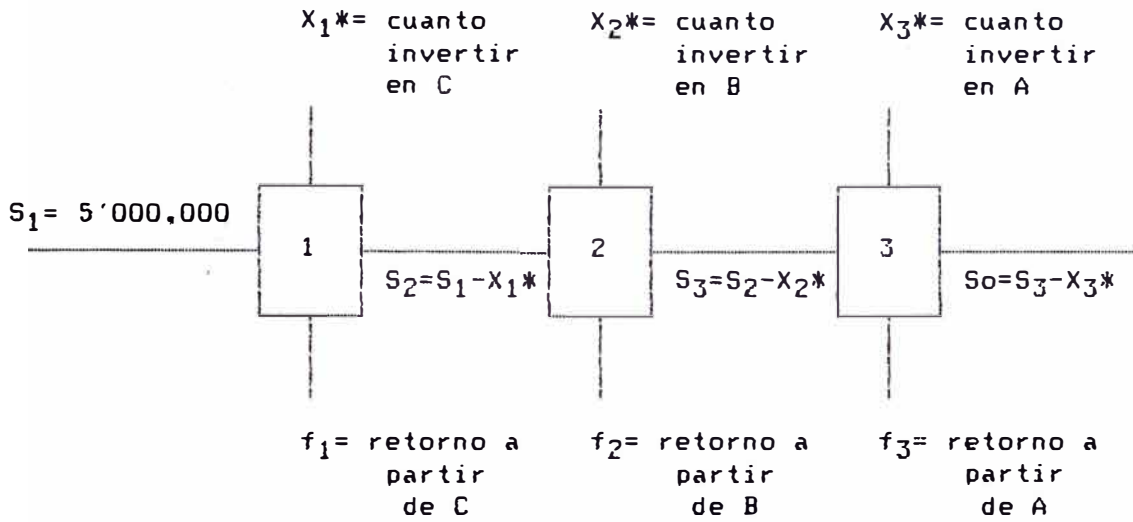
x_2	$K = 0$	1	2	3	4	5	$f_2(x_2)$	x_2^*
0	$0+0 = 0$						0	0
1	$0+3,3 = 3,3$	$2,0+0 = 2,0$					3,3	0
2	$0+4,3 = 4,3$	$2,0+3,3 = 5,3$	$3,8+0 = 3,8$				5,3	1
3	$0+4,7 = 4,7$	$2,0+4,3 = 6,3$	$3,8+3,3 = 7,1$	$5,4+0 = 5,4$			7,1	2
4	$0+5,0 = 5,0$	$2,0+4,7 = 6,7$	$3,8+4,3 = 8,1$	$5,4+3,3 = 8,7$	$6,5+0 = 6,5$		8,7	3
5	$0+5,2 = 5,2$	$2,0+5,0 = 7,0$	$3,8+4,7 = 8,5$	$5,4+4,3 = 9,7$	$6,5+3,3 = 9,8$	$7,3+0 = 7,3$	9,8	4

ETAPA 1:

$$f_1(x_1) = \text{Máx} \{g_1(x_1) + f_2(x-x_1)\}$$

x_1	$K = 0$	1	2	3	4	5	$f_1(x_1)$	x_1^*
0	$0+0 = 0$						0	0
1	$0+3,3 = 3,3$	$2,5+0 = 2,5$					3,3	0
2	$0+5,3 = 5,3$	$2,5+3,3 = 5,8$	$4,2+0 = 4,2$				5,3	0
3	$0+7,1 = 7,1$	$2,5+5,3 = 7,8$	$4,2+3,3 = 7,5$	$5,5+0 = 5,5$			7,5	2
4	$0+8,7 = 8,7$	$2,5+7,1 = 9,6$	$4,2+5,3 = 9,5$	$5,5+3,3 = 8,8$	$6,3+0 = 6,3$		9,6	1
5	$0+9,8 = 9,8$	$2,5+8,7 = 11,2$	$4,2+7,1 = 11,2$	$5,5+5,3 = 10,8$	$6,3+3,3 = 9,6$	$6,9+0 = 6,9$	11,3	2

Representación del Problema de Inversiones



$\therefore X_1^* = 2$

$X_2^* = 4$

$X_3^* = 5$

$f_1(X_1) = \$ 11,3$ -----> Solución óptima

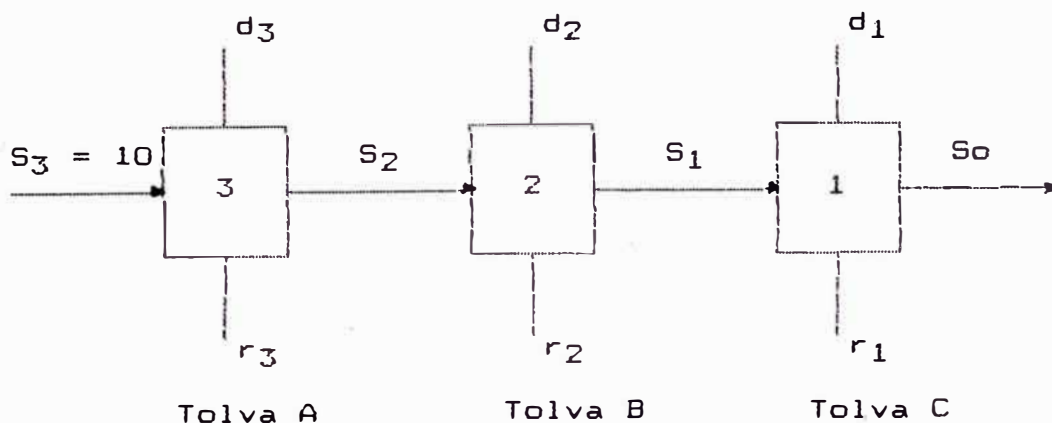
4.6.5 OTROS PROBLEMAS

Un camión puede transportar un total de 10 toneladas de mineral. Hay tres tolvas de donde debe transportar. Suponiendo que por lo menos debe transportar una tonelada de cada tolva. Determinar el cargamento que maximice el valor total. Los pesos y valores están tabulados.

TOLVA	VALOR	PESO TONELADAS
A	\$ 20	1
B	50	2
C	60	3

SOLUCION

En este caso hay tres decisiones básicas a transportarse (A, B y C), por lo tanto cada etapa representa la decisión con respecto al número de unidades de una tolva dada.



La entrada representa la capacidad antes de cargar, por lo tanto $S_3 = 10$ Toneladas ya que en ese momento no se han tomado decisiones. La entrada a las etapas dependerá de la entrada y decisión precedentes.

La ecuación recursiva es :

$$S_i = S_{i+1} - d_{i+1} w_i$$

====>

$$f_i = r_i + f_{i-1}$$

$$r_i = d_i v_i$$

v_i = Valor de tonelada

w_i = Tonelada (peso)

ETAPA 1 :

$n = 1$

S_1	d_1			f_1^*	d_1^*
	1	2	3		
2	$1(60) = 60$			180	1
3	$1(60) = 60$	$2(60) = 120$		180	1
4	$1(60) = 60$	$2(60) = 120$		180	2
5	$1(60) = 60$	$2(60) = 120$		180	2
6	$1(60) = 60$	$2(60) = 120$	$3(60) = 180$	180	3
7	$1(60) = 60$	$2(60) = 120$	$3(60) = 180$	180	3

ETAPA 2

n = 2

S ₂	d ₂			f ₂ *	d ₂ *
	1	2	3		
4	1(50)+60=110			110	1
5	110			110	1
6	50+ 120 =170	2(50)+60=160		170	1
7	170	160		170	1
8	50+ 180 =230	100 +120=220	3(50)+60=210	230	1
9	50+ 180 =230	100 +120=220	3(50)+60=210	230	1

ETAPA 3 :

n = 3

S ₃	d ₃						f ₂ *	d ₂ *
	1	2	3	4	5	6		
10	20+230=250	2(20)+230=270	3(20)+170=230	4(20)+170=250	5(20)+110=210	6(20)+110=230	270	1

Por lo tanto : Los resultados del análisis mostrado en las tablas tabuladas indican la siguiente secuencia óptima de decisiones.

$$d_3^* = 2A$$

$$d_2^* = 1B$$

$$d_1^* = 3C$$

$$f_3^* = 3(60) + 1(50) + 2(20) = \$ 270$$

$$f_3^* = \$270 \text{ -----> Solución óptima.}$$

4.7 MODELACION DE LA PROGRAMACION DE PRODUCCION

4.7.1 SOLUCION POR METODOS MANUALES

Al desarrollar los diferentes tipos de problemas en el punto 4.6 se pudo observar lo importante que es la programación dinámica, sin embargo, como es de esperarse, este método es muy ineficiente resolverlo manualmente.

Por ejemplo si consideramos un problema de distribución de recursos y suponiendo un proceso en el que existen 10 etapas y en el cual cada una de las variables puede tomar 10 valores diferentes, o sea la función está definida en 10 valores. Enfocando este problema por programación dinámica tendríamos aproximadamente $X^2/2$ sumas que comparar en cada etapa y X es el número de estados en cada etapa. Por lo tanto el total de sumas que se han de comparar es del orden de $NX^2/2$ donde N es el número de etapas y X el número de estados existentes.

Entonces para el caso planteado, este número es a-

$$\text{proximadamente } \frac{10(10)^2}{2} = \frac{1000}{2} = 500 \text{ cálculos.}$$

Luego en forma general por los problemas que se han resuelto en este capítulo y por este ejemplo que mencionamos; decimos para problemas grandes y complejos manualmente no se puede resolver en un menor

tiempo; necesitaríamos varios días para poder resolverlo y esto ocasiona un costo mayor. Los problemas pequeños y poco complejos si se pueden resolver manualmente y en un tiempo record podríamos decir tal vez más rápido que por el método de Programación Lineal.

4.7.2 SOLUCION POR COMPUTADORAS

Para tener solución por computadora siempre se debe tener presente lo siguiente

Los requisitos de memoria y el tiempo de computadora aumentan rápidamente al incrementarse el número de variables de estado en cada etapa.

La mayor parte de las dificultades de cálculo todavía persiste, sin embargo, probablemente continuará así independientemente del tremendo aumento en las capacidades de las computadoras digitales modernas. Generalmente estas dificultades se presentan al resolver problemas de programación dinámica de tamaño mediano y grande.

Se pueden emplear algunos artificios de cómputo para reducir los requerimientos de tiempo o de espacio disponible, pero esto no es suficiente. Una de las técnicas comunes consiste en determinar primero una respuesta optimal empleando una red

amplia para calcular una respuesta aproximada. Luego se utilizan divisiones cada vez más pequeñas hasta obtener una respuesta tan exacta como se quiere.

Veamos por ejemplo cuando el número de etapas es de $N = 20$ y el número de estados es de $X = 10$, la numeración exhaustiva requiere el orden de 10^{20} cálculos; mientras que el enfoque de programación

dinámica requiere el orden de $\frac{20 \times 10^2}{2} = 1000$

cálculos. Si suponemos que un computador de alta velocidad realiza el orden de 500,000 de estos cálculos por segundo, en el primer caso de enumeración exhaustiva se requerirán el orden de N horas de computador; en el segundo caso se requerirán aproximadamente M años.

Las ventajas como se puede observar, parecen ser obvios. Es necesario advertir a los interesados que no todos los problemas de programación dinámica son de características tan alentadoras.

Para quienes tienen interés podrán notar que al tener una relación recursiva con dos variables de estado el problema adquiere dimensiones apreciables y de un número mucho mayor de cálculos.

La solución por computadoras aplicando la programación dinámica a muchos problemas es posible realizarse en un tiempo realmente corto, pero cuando los problemas son de tamaño medio a grande se necesita un tiempo respetable.

Como no hay un método fijo para elaborar un programa para resolver problemas de programación dinámica; se tiene que preparar ecuaciones recursivas para cada caso y esto ocasiona un costo. Por tal razón actualmente es difícil encontrar paquetes que resuelvan programas de este tipo en el mercado nacional.

4.7.3 COMPARACION CON MODELOS DE PROGRAMACION LINEAL

Las características básicas de la programación dinámica implican un proceso de decisión en varios pasos, en el que generalmente hay intervalos de tiempo. Sin embargo estos pasos o etapas sólo pueden indicar un orden en el que ha de resolverse el problema.

Por otra parte la programación lineal da una solución para uno de los periodos basada en ciertas restricciones de capacidad, cantidad y contribución (o cotas).

Las decisiones erróneas tomados en el pasado, bajo la programación dinámica no impiden el tomar decisiones correctas ahora y en el futuro. O en otras palabras dejando fuera las decisiones anteriores, la programación dinámica permite encontrar decisiones óptimas para los periodos futuros.

La programación lineal, requiere la constante actualización que refleje las restricciones en curso para lograr una respuesta óptima.

La programación dinámica no tiene un formato estandar, sinó que más bien es un enfoque general a la resolución de problemas.

La programación lineal tiene formatos para las resoluciones de problemas. Es decir que en el proceso iterativo se siguen ciertas reglas.

La programación dinámica no se refiere a una clase particular de problemas de optimización como sucede con la programación lineal o a un método específico para resolver problemas. Más bien indica un procedimiento general para reducir un problema a una serie de subproblemas, lo que resulta en menos variables y en combinar las soluciones respectivas para lograr la solución del problema original.

La programación dinámica siempre tiene presente al tiempo, mientras que la programación lineal es estática.

Tanto la programación dinámica como la programación lineal se utilizan para resolver problemas lineales. Pero el inconveniente de la programación dinámica es la dimensionalidad y versatilidad del proceso que se sigue.

La programación dinámica utiliza la ecuación recursiva para la solución de los problemas. Mientras que la programación lineal lo resuelve por el método simplex.

La programación dinámica es más potente en cuanto se refiere a conceptos. Mientras que la programación lineal tiene conceptos menos potentes y entendibles fácilmente.

La programación dinámica no hace uso de un algoritmo fijo; es decir carece de éste. La programación lineal hace uso de algoritmos definidos para la resolución de problemas.

4.8 RESTRICCIONES DE LA APLICABILIDAD DE PROGRAMACION DINAMICA A PROBLEMAS MINEROS

Una de las dificultades que presenta la aplicación

de la programación dinámica para la resolución de problemas más aún en el campo de la minería, es la carencia de una formulación definida y de algoritmos de soluciones; por lo tanto la formulación de cada problema requiere decisiones básicas.

Antes de comenzar la aplicabilidad de solución de un problema netamente minero es necesario comprender tanto el problema o la necesidad en sí como la técnica. No hay reglas simples, fáciles de aplicar y que siempre conduzcan a una formulación correcta. Esto nos lleva a tener restricciones en el uso de este tipo de programación. Por consiguiente la aplicación de esta técnica se demostrará mediante el desarrollo de varios ejemplos y así evitar las dificultades que se puedan presentar.

Una de las restricciones fundamentales de la aplicación de la programación dinámica en el sector minero es tener poco conocimiento de éste y no haberse empleado esta técnica por lo menos a nivel nacional en una de las empresas mineras. Lo fundamental sería la difusión de esta técnica como primera prioridad y luego avanzar poniendo en marcha superando las restricciones que se pueden presentar.

Los sutiles conceptos que se utilizan en la programación dinámica junto con las notaciones matemáticas

poco conocidos son una fuente de confusión en especial cuando se inicia o para un principiante. Aunque teóricamente la programación dinámica se puede emplear para resolver una amplia variedad de problemas, las aplicaciones rápidamente llegan a ser muy difíciles.

La principal restricción de emplear este sistema es el tamaño del problema. El tamaño aumenta exponencialmente con el número de etapas y obviamente el tamaño del problema también aumenta en la variedad de condiciones posibles en cada etapa.

4.9 POSIBILIDADES DE IMPLEMENTACION

La programación dinámica no se refiere a una clase particular de problemas de optimización como sucede con la programación lineal, o a un método específico para resolver problemas. La programación dinámica indica un procedimiento general para reducir un problema de gran envergadura a una serie de subproblemas, lo que resulta en menos variables y en combinar las soluciones respectivas para lograr la solución del problema original.

Esta es una técnica matemática para resolver problemas que se usa en el modelado como un medio de reducir los costos del proyecto que se desea realizar.

Este método de programación dinámica permite resolver problemas de optimización multidimensionales transformando un problema en una secuencia de problemas de una sola etapa.

En las tareas de planeamiento para la industria minera, la mayoría de los cálculos son realizados con métodos empíricos por aproximaciones sucesivas. Por tal razón la posible implementación de esta técnica de programación dinámica que ha demostrado mejores resultados en otras industrias; por las bondades que ofrece es posible adaptar a problemas mineros como algunos ejemplos que muy a diario se presentan y se pudo demostrar en los problemas prácticos en esta tesis.

Naturalmente su aplicación y beneficio serán en la medida de su difusión, realizando la investigación necesaria para orientar las técnicas a problemas mineras y formular modelos con la utilización de estándares y variables del sistema productivo de la industria minera. Al comienzo para ser reconocido se deben determinar tipos de problemas mineros adaptables a los modelos de programación dinámica.

Los análisis y formulación de problemas estarán orientados para la minería metálica en sectores que tienen un volumen de producción elevada, ya que

estos requieren tecnologías de planeamiento más avanzados y una de éstas es la implementación de técnicas de programación dinámica.

Otra de las posibilidades de implementación de esta técnica en la industria minera es que los modelos de optimización para la planificación de proyectos se realizan para largo plazo parciales de un año a diez años.

Nuestra experiencia demuestra que la exposición frecuente a formulaciones y soluciones de programación dinámica permitirá a un principiante, con algo de esfuerzo, entender estos conceptos avanzados. Cuando sucede esto la Programación Dinámica se vuelve sencilla y clara.

CAPITULO V

ANALISIS ECONOMICO

5.1 BENEFICIOS ECONOMICOS DE LA APLICACION DE LAS TECNICAS DE PROGRAMACION DINAMICA

En lo referente a los fenómenos económicos sobre todo en las aplicaciones al sector minero, este carácter secuencial justifica el empleo de un método apropiado, y esto debe permitirnos no sólo llevar a cabo los cálculos de optimización, sino también aclarar los problemas mediante la introducción de conceptos precisos. Así el criterio de decisión, políticos o estrategias y la influencia de la información sobre la calidad de las decisiones, deben quedar definidos con tanta precisión como sea posible.

Si las gerencias divisionales de una Empresa Minera sugieren inversiones en los organismos que dirigen con la finalidad de incrementar su productividad, es factible efectuar una eficiente distribución de recursos financieros limitados por las posibilidades de inversión estimando previamente los beneficios económicos, utilidades que se obtendrían por la

reducción de costos, utilizando este modelo de programación dinámica.

Cuando se realiza comparaciones de programas de planeamiento de producción como por ejemplo convencionalmente y otro empleando el modelo matemático de programación dinámica deben ser aproximadamente el mismo; y si no sucede esto, uno de ellos debe corregirse o el programa están mal llevado. En otras palabras la contribución neta del programa de producción obtenida utilizando el modelo debe ser aproximadamente igual a la contribución neta del programa de producción obtenida convencionalmente.

El modelo además nos proporciona una sólida herramienta de decisión en el cual deben considerarse todos los parámetros de la producción, tanto de Geología, mina, planta, así como precios de los minerales, costos, horas del personal, etc.

Desde el punto de vista, la programación dinámica viene a ser una técnica para calcular un plan, para alcanzar los objetivos determinados en una situación en la que los recursos no son necesariamente limitados. Esto es una técnica de resolver el problema económico de la producción.

Para fines de análisis económico suponemos que este problema está resuelto sin preocuparnos de la forma

en que se resuelva la producción en la práctica; la comprobación de los resultados se pueden realizar empleando otros métodos y con ello deben obtenerse siempre una producción óptima.

Según las alternativas de minimización de costos operacionales y maximización de beneficios y la centralización de operaciones en la mina los trabajos o proyectos que se hagan empleado esta técnica deben alcanzar la más óptima y real resultado.

Con la aplicación de este modelo de programación dinámica se obtendrán buenos beneficios económicos si es que se emplea en gran escala y a una serie de problemas prácticos que sean rentables para la industria en general. A continuación daremos algunas aplicaciones que deben realizarse en los diferentes campos de la minería.

Programación de la producción o procesos de optimización de eficiencias variables.- Se emplea con éxito para calcular el rendimiento máximo de los procesos de producción de eficiencia variable.

Distribución de fondos de capital.- Ayuda en la presupuestación de capital para la asignación de recursos a nuevos proyectos, tendiente a maximizar las utilidades a largo plazo.

Evaluación de inversión.- Determina la inversión que produzcan utilidades más elevados de recursos.

Determinación de remplazo de equipos.- Es útil para la determinación de una política óptima de remplazamiento de nuevos equipos.

Programación de reparaciones generales de equipo.- Se emplea como método de programación para las reparaciones generales de rutina de la maquinaria en general.

Ajuste de la contratación de empleados.- Es útil para el ajuste del volumen de empleados de producción en un medio de demanda de gran fluctuación.

Maximización de ventas esperadas.

Programas de inventarios en general, etc.

Luego la tarea fundamental de la programación dinámica es minimizar los costos y maximizar los beneficios para cada una de las aplicaciones que se realicen.

5.2 SIGNIFICADO ECONOMICO DE LA IMPLEMENTACION DE LA PROGRAMACION DINAMICA

Los resultados que se obtengan con este modelo de programación dinámica aplicado a proyectos mineros nos deben dar el tamaño óptimo de cada mina (producción), de tal manera que el costo total de operación sea el mínimo.

Es evidente que dados los enormes recursos mineros

que tiene el Perú, existe una creciente necesidad para evaluar la posibilidad de arriesgar capital para diferentes trabajos que pueden realizarse, como exploraciones, preparación, explotación de depósitos mineros, etc., entonces aplicando este modelo a largo plazo nos dará un resultado óptimo; luego el significado económico tendrá validez a pesar de las grandes incertidumbres que se pueden presentar tales como costos, recuperaciones, inversión, tamaño de planta, mercado de los metales, etc., todas estas decisiones gerenciales implican costos y riesgos, pero para experimentar se debe arriesgar.

Sin embargo el analista o la persona responsable de elaborar el plan debe ser prevenido contra la impresión que desarrolla el modelo matemático de programación dinámica alcanza su climax al establecer la ecuación funcional. Esta es una impresión falsa. Aunque es verdad que hay gran cantidad de ingenio y de arte en tal desarrollo, el análisis raramente se para allí. Distinta a la programación lineal, la especificación de la ecuación funcional da poca orientación acerca de como proceder de manera más eficiente con los cálculos.

Por otra parte cuando el planeamiento se realiza por este método, los logros de cada uno, está en función de la contribución o de sus respectivas restriccio-

nes, por ejemplo estándares de horas hombre, estándares de perforación, estándares de recuperación metalúrgica, costos, reservas, etc. Luego con estos alcances teóricos podemos decir que el significado económico de la implantación de programación dinámica en el sector minero debe realizarse y medir su potencialidad de uso general para obtener óptimos frutos.

5.3 VENTAJAS PARA EL CONTROL DE PRODUCCION Y APLICACION DE INCENTIVOS AL PERSONAL OPERATIVO

La solución óptima de programación de producción cuyo control estará precedido con la ayuda de computadoras compatibles para este tipo de trabajo, y la memoria de almacenamiento de acuerdo a los datos que se tengan deben ser moderados y luego tener al día todo lo concerniente (tratándose netamente al campo minero) a la distribución de tonelaje de mineral a producir ya sea por niveles, tajeos, leyes de explotación, eficiencias, consumo de explosivos y barrenos; para los efectos de control diario, mensual y anual, incentivos de personal, etc.

El control de la producción se debe realizar con las variaciones del valor de mineral que implica un control de leyes de mineral de cabeza, variaciones en la disponibilidad de recursos, etc.

Las decisiones se deben llevar a cabo, mediante una asignación de precios y análisis económico de los resultados consistentes para una producción óptima y a un costo mínimo relativamente que implica un máximo beneficio.

La ventaja para el control de producción aplicando este método de programación dinámica es eficiente, porque los errores o fallas que se pueden cometer durante el desarrollo o después de un período pasado, uno no tiene porque preocuparse; el método facilita corregir y actualizarlo y además hacer cálculos para el futuro. Otra de las ventajas importantes para el control con este método es que todos los planeamientos se deben hacer para mediano y largo plazo. También se hace para un período de corto plazo; la diferencia está en los costos. La más rentable es para períodos de largo plazo.

Si el plan de control de proyectos aplicando este modelo funciona y da buenos resultados en coordinación con todo el personal operativo; las empresas se verán obligadas a plantear una mejora en la política empresarial, en lo relacionado a incentivos para el personal ejecutivo de la unidad y de los jefes de departamentos de apoyo directo a la producción, otorgar bonos de producción; los beneficiarios de estos

incentivos serán el personal de la producción en general y como consecuencia de estos convenios procurarán hacer reajustes en las técnicas operativas.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Hubiera sido útil realizar la presente Tesis en alguna unidad minera en actividad; pero la mayoría desconoce esta técnica, razón por la cual el desarrollo es mayoritariamente simulado para diferentes cálculos.

CONCLUSIONES

La mejor disciplina que estudia a los sistemas, es la Ingeniería de Sistemas; del cual con la metodología y sus características que tiene se tomó con la posibilidad de implementarlo en los sistemas de las operaciones mineras.

De estos alcances que brindamos en la primera parte de la Tesis, esperamos que tengan interés en desarrollarlo y poner en práctica en la industria minera, ya que hablar de sistemas es realmente muy amplio. Los otros modelos de investigación operativa que se desarrolla es muy conocido por todos es por tal razón no profundizamos mucho en su desarrollo; pero lo más importante es recordar con lo cual es muy provechoso su aplicación que ya

ha sido demostrado en diferentes industrias.

El planeamiento de producción prevé los recursos que uno dispone de manera tal que podamos saber que ley de mineral vamos a extraer, en que tonelaje, de donde y en que momento y a que costo, es decir conocido el objetivo de producción y analizado el sistema se puede prever cual es su producción óptima, cual es su contribución y de que recursos se disponen.

El planeamiento de producción se hace pues indispensable para poder operar eficientemente; la mejor manera de contrarrestar los parámetros y variables de una empresa es conociendo de que recursos se dispone, para así jugar en lo posible con costos fijos y variables versus la ley de minado que es la base de los ingresos.

El Modelo Matemático de Programación Dinámica, tiene un alto valor de uso, del cual esperamos mejorar de manera apreciable la producción y contribución en general.

El Modelo de Programación Dinámica puede ser aplicado en las diversas fases de la industria minera; tanto para optimizar las operaciones como en la programación de un planeamiento general de producción e incluso como se ha demostrado en la presente Tesis en lo referente a problemas de aplicación típicos.

El método de solución aplicando la técnica de programa-

ción dinámica más adaptable y fácil de usar es el Método hacia Atrás, siempre teniendo en cuenta la ecuación recursiva.

Los problemas que se deben tomar de acuerdo a su dimensionalidad para sus respectivos cálculos, no deben pasar más allá de lo mencionado en la parte del resumen e incluso se puede ver los ejemplos ligeros que se dan en la última parte de esta Tesis.

El desarrollo de problemas aplicativos de menor tamaño se pueden resolver manualmente y sin problemas; mientras los problemas extensos o complejos deben ser resueltos por computadoras compatibles y modernas de almacenamiento de memoria altísima.

Los problemas de programación lineal también se pueden resolver por este modelo de programación dinámica, siempre y cuando no tenga excesos de variables y restricciones; porque de lo contrario sería inútil realizarlo. Sobre este caso tenemos el problema resuelto en el punto 4.6.1 de la tesis en el que se observa que la tabulación para encontrar la solución óptima es muy grande; lo único que se puede hacer es trabajar con los resultados aplicando la programación lineal y luego con esos valores jugar por el otro método. Se puede conseguir el resultado tabulando todos los valores pero el tiempo que demora es muy grande (días y meses, etc.) para la solución

final.

La diferencia entre la Programación Lineal y la Programación Dinámica está en que el primero es estático y utiliza algoritmos para su resolución de problemas; mientras que el segundo tiene presente el tiempo y no tiene algoritmo para su utilización.

En el Anexo tenemos un problema propuesto para poder ver la forma de desarrollar y plantear la planeación de producción para un período de un año.

RECOMENDACIONES

Es recomendable que el modelo de programación dinámica sea aplicado para periodos de mediano a largo plazo, porque de lo contrario sería antieconómico.

Los ingenieros encargados de aplicar la importancia de este modelo a la práctica deben tener conocimientos adecuados de las técnicas de programación matemática, en este caso de programación dinámica, ya que en la práctica cuando se les presente la oportunidad de utilizar el modelo al no entender las técnicas comienzan a dudar de la efectividad del modelo y es así como desechan la idea de aplicarlo y nuevamente comienzan a trabajar con modelos convencionales.

Los mandos Jerárquicos Superiores de las Empresas mine-

ras en general deben considerar más seriamente las modernas herramientas de decisión (en este caso los modelos de programación dinámica) para elaborar sus programas de producción, dichos modelos deben estar apoyados por las computadoras modernas.

Es necesario que exista una mayor organización dentro de las empresas y que se respete el nivel jerárquico de cada área de la organización de tal manera que se cumplan los principios básicos de la administración. Al existir esto los niveles superiores estudian y concluyen que es conveniente la aplicación de estos modelos al programa de planeamiento en este caso y los mandos inferiores tendrán que esmerarse en hacerlo y obtener buenos resultados.

Por otro lado para poder mejorar nuestra eficiencia y en consecuencia obtener una alta productividad en el futuro, tenemos que planear nuestras minas subterráneas y a cielo abierto, exigiendo mayor profundización y empleo de la investigación operativa. Por lo tanto nuestras Universidades donde se enseña Ingeniería de Minas, Institutos de Investigación y Tecnología Minera, profesional minero en general deberán dedicar mayor porcentaje de su tiempo a idear, pensar y tratar de utilizar cada vez más esta disciplina para el planeamiento de mina que les permita simular todos los servicios esenciales, entre ellos la producción, sirviéndose para ello de todas

las facilidades que brindan los sistemas tradicionales y computacionales de cálculo.

BIBLIOGRAFIA

1. A. KAUFMANN y R. CRUON : La Programación Dinámica.
2. ALUJA-WALSH : Ingeniería de Costos y Administración de Proyectos.
3. B. VANDER VEEN Introducción a la Teoría de la Investigación Operativa.
4. BENJAMIN W. NIEBEL: Ingeniería Industrial, Métodos, Tiempos y Movimientos.
5. Colección de las Revistas de Minería.
6. EDWARD V. KRICK: Ingeniería de Métodos.
7. FELIX B. PRADO R. Control de Operaciones Mineras- Análisis de Sistemas Mineros.
8. GROFF : Planeamiento y Control de la Producción.
9. HADLEY G. : Programación Dinámica y Programación no Lineal.
10. IDALBERTO CHIAVERNATO: Introducción a la Teoría General de la Administración.
11. MAURICE W. SACIENI : Fundamentos de Investigación de Operaciones.
12. PRAWDA JUAN WITENBERG Métodos y Modelos de Investigación de Operaciones.
13. RAFFO LECCA E. Investigación de Operaciones.
14. RENATO GIBELLINS y SERGIO SATO Proyectos, Producción y Logística.
15. ROBERT J. THIERAUF Investigación de Operaciones.
16. TAHA : Investigación de Operaciones.
17. TESIS DE ECONOMIA - FIE - UNI : Modelos Matemáticos.

18. TESIS DE MINAS - FIGMM - UNI : Programación Lineal aplicado a la Minería.

19. Textos sobre Enfoques de Sistemas

20. VARELA Introducción a la Investigación de Operaciones.

A N E X O S

PROBLEMA DE PLANEACION DE PRODUCCION

Una Compañía Minera "X" realiza un planeamiento de producción general. Los requerimientos mensuales son: 16,000 Ton para el primer mes del año, 15,000 Ton para el segundo mes, 18,000 Ton para el tercer mes, 17,000 Ton para el cuarto, 20,000 Ton para el quinto, 19,000 Ton para el sexto, 20,500 Ton para el séptimo, 16,500 Ton para el octavo, 17,000 Ton para el noveno, 19,500 Ton para el décimo, 18,500 Ton para el décimo primero y 20,000 Ton para el décimo segundo mes del año. La producción del mineral debe realizarse ya sea en tiempo ordinario (O) o en tiempo extraordinario (E). Sin embargo hay dos estaciones que imponen las condiciones técnicas que son : La producción en tiempo ordinario no puede exceder de 16,000 Toneladas por mes y la producción en tiempo extraordinario no puede exceder de 5,000 Toneladas por mes.

El costo de producción varía cada mes (costo que incluye todos los gastos que se necesite para cumplir con la meta).

Durante las

		Horas Ordinarias =====		Horas Extraordinarias =====	
Primer	mes	24	\$/Ton	6.0	\$/Ton
Segundo	mes	26	\$/Ton	5.0	\$/Ton
Tercer	mes	25	\$/Ton	7.0	\$/Ton
Cuarto	mes	24.50	\$/Ton	4.50	\$/Ton
Quinto	mes	27	\$/Ton	6.50	\$/Ton
Sexto	mes	24	\$/Ton	5.50	\$/Ton
Séptimo	mes	25.50	\$/Ton	7.50	\$/Ton
Octavo	mes	25	\$/Ton	6.0	\$/Ton
Noveno	mes	26.50	\$/Ton	6.50	\$/Ton
Décimo	mes	24	\$/Ton	4.0	\$/Ton
Décimo I	mes	26.50	\$/Ton	5.0	\$/Ton
Décimo II	mes	25	\$/Ton	6.0	\$/Ton

El costo mensual de acumulación en cancha es de \$4.0/Ton. Los producidos pero no tratados durante el mes se acumulan para ser tratados en el siguiente mes. Como el período es limitado no debe quedar nada en inventario al final del año (décimo II mes). El número de toneladas producidas debe ser igual al número de toneladas tratadas en planta.

NOTA: Los cuadros de solución para el problema propuesto se tienen a continuación:

$$\text{Capacidad no usada} = (16,000 \times 12) + (5,000 \times 12) - (\Sigma \text{Toneladas del año}) = 35,000$$

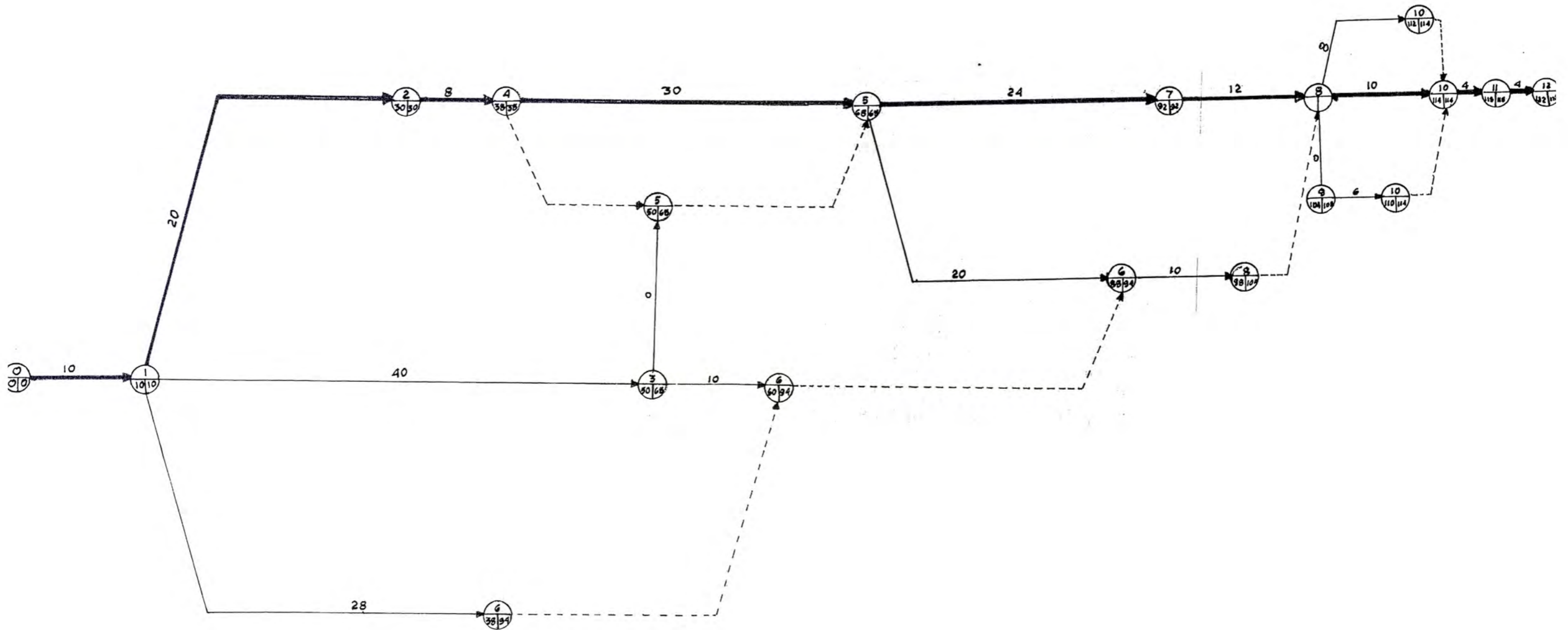
CUADRO DE COSTOS DE PROGRAMACION DE PRODUCCION

		UNIDADES	EN	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	Cap. no usada
ENERO	Producción en Tiempo Ordinario	16,000	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	0
	Producción en Tiempo Extraordinario	5,000	6	10	14	18	22	26	30	34	38	42	46	52	0
FEB	Producción en Tiempo Ordinario	16,000	-	26	30	34	38	42	46	50	54	58	62	66	0
	Producción en Tiempo Extraordinario	5,000	-	5	9	13	17	21	25	29	33	37	41	45	0
MAR	Producción en Tiempo Ordinario	16,000	-		25	29	33	37	41	45	49	53	57	61	0
	Producción en Tiempo Extraordinario	5,000	-		7	11	15	19	23	27	31	35	39	43	0
ABR	Producción en Tiempo Ordinario	16,000	-			24.5	28.5	32.5	36.5	40.5	44.5	48.5	52.5	56.5	0
	Producción en Tiempo Extraordinario	5,000	-			4.5	8.5	12.5	16.5	20.5	24.5	28.5	32.5	36.5	0
MAY	Producción en Tiempo Ordinario	16,000	-				27	31	35	39	43	47	51	55	0
	Producción en Tiempo Extraordinario	5,000	-				6.5	10.5	14.5	18.5	22.5	26.5	30.5	34.5	0
JUN	Producción en Tiempo Ordinario	16,000	-					24	28	32	36	40	44	48	0
	Producción en Tiempo Extraordinario	5,000	-					5.5	9.5	13.5	17.5	21.5	25.5	29.5	0
JUL	Producción en Tiempo Ordinario	16,000	-						25.5	29.5	33.5	37.5	41.5	45.5	0
	Producción en Tiempo Extraordinario	5,000	-						7.5	11.5	15.5	19.5	23.5	27.5	0
AGO	Producción en Tiempo Ordinario	16,000	-							25	29	33	37	41	0
	Producción en Tiempo Extraordinario	5,000	-							6	10	14	18	22	0
SET	Producción en Tiempo Ordinario	16,000	-								26.5	30.5	34.5	38.5	0
	Producción en Tiempo Extraordinario	5,000	-								6.5	10.5	14.5	18.5	0
OCT	Producción en Tiempo Ordinario	16,000	-									24	28	32	0
	Producción en Tiempo Extraordinario	5,000	-									4	8	12	0
NOV	Producción en Tiempo Ordinario	16,000	-										26.5	30.5	0
	Producción en Tiempo Extraordinario	5,000	-										5	9	0
DIC	Producción en Tiempo Ordinario	16,000	-											25	0
	Producción en Tiempo Extraordinario	5,000	-											6	0
REQUERIMIENTOS MENSUALES			16,000	15,000	18,000	17,000	20,000	19,000	20,500	16,500	17,000	19,500	18,500	20,000	35,000

CUADRO DE AJUSTE DE PRODUCCION

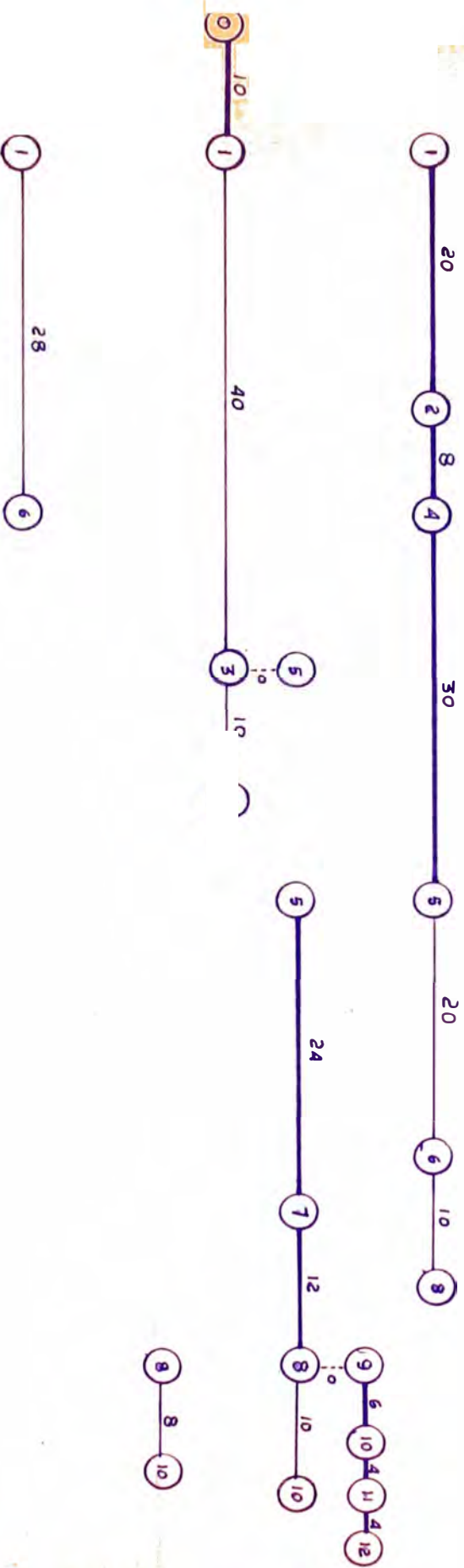
		EN	FE	MAR	AB	MAY	JUN	JUL	AG	SE	OC	NOV	DIC	CAPACIDADES DISPONIBLES
ENERO	O	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	16,000
	E	6	10	14	18	22	26	30	34	38	42	46	52	5,000
FEBRERO	O		26	30	34	38	42	46	50	54	58	62	66	16,000
	E		5	9	13	17	21	25	29	33	37	41	45	5,000
MARZO	O			25	29	33	37	41	45	49	53	57	61	16,000
	E			7	11	15	19	23	27	31	35	39	43	5,000
ABRIL	O				24.5	28.5	32.5	36.5	40.5	44.5	48.5	52.5	56.5	16,000
	E				4.5	8.5	12.5	16.5	20.5	24.5	28.5	32.5	36.5	5,000
MAYO	O					27	31	35	39	43	47	51	55	16,000
	E					6.5	10.5	14.5	18.5	22.5	26.5	30.5	34.5	5,000
JUNIO	O						24	28	32	36	40	44	48	16,000
	E						5.5	9.5	13.5	17.5	21.5	25.5	29.5	5,000
JULIO	O							25.5	29.5	33.5	37.5	41.5	45.5	16,000
	E							7.5	11.5	15.5	19.5	23.5	27.5	5,000
AGOSTO	O								25	29	33	37	41	16,000
	E								6	10	14	18	22	5,000
SEPTIEMBRE	O									26.5	30.5	34.5	38.5	16,000
	E									6.5	10.5	14.5	18.5	5,000
OCTUBRE	O										24	28	32	16,000
	E										4	8	12	5,000
NOVIEMBRE	O											26.5	30.5	16,000
	E											5	9	5,000
DICIEMBRE	O												25	16,000
	E												6	5,000
REQUERIMIENTO MENSUAL		16,000	15,000	18,000	17,000	20,000	19,000	20,500	16,500	17,000	19,500	18,500	20,000	252,000

NOTA: Se puede encontrar fácilmente la solución de este cuadro, aplicando el METODO DE LA ESQUINA NOROESTE o las reglas del método de ARROYO (considerar como un problema de transporte).



	ACTIVIDAD
	ACTIVIDAD FICTICIA
	SUSESO
	TIEMPO MAS TEMPRANO
	TIEMPO MAS TARDIO

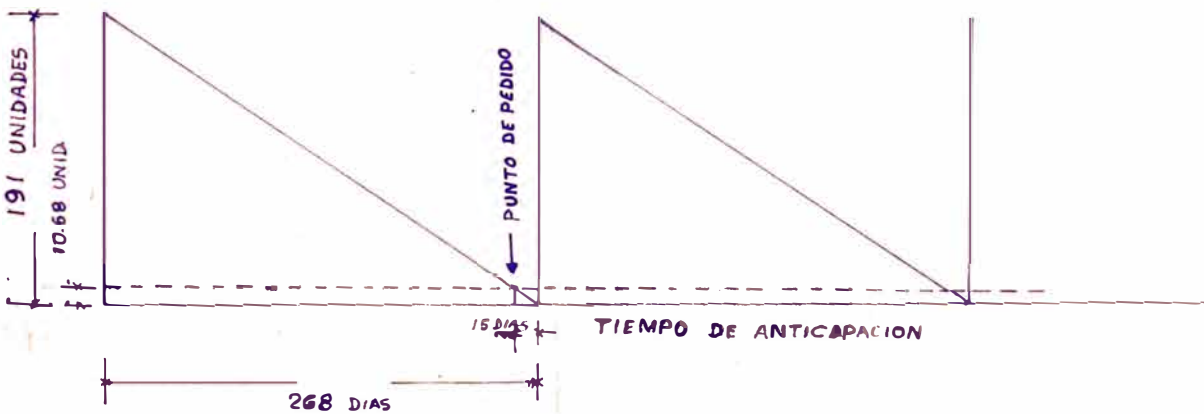
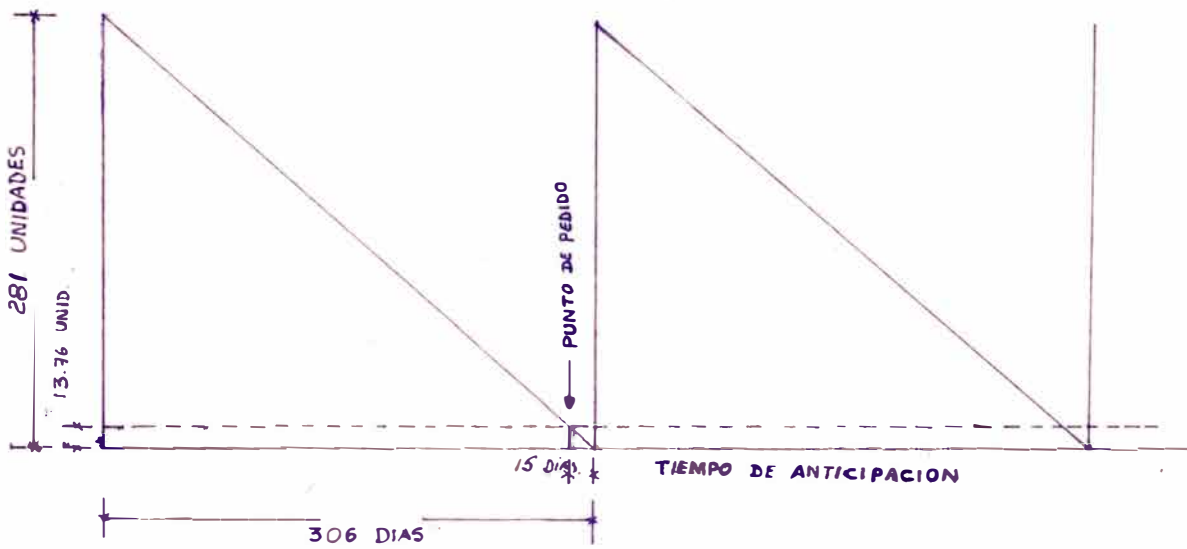
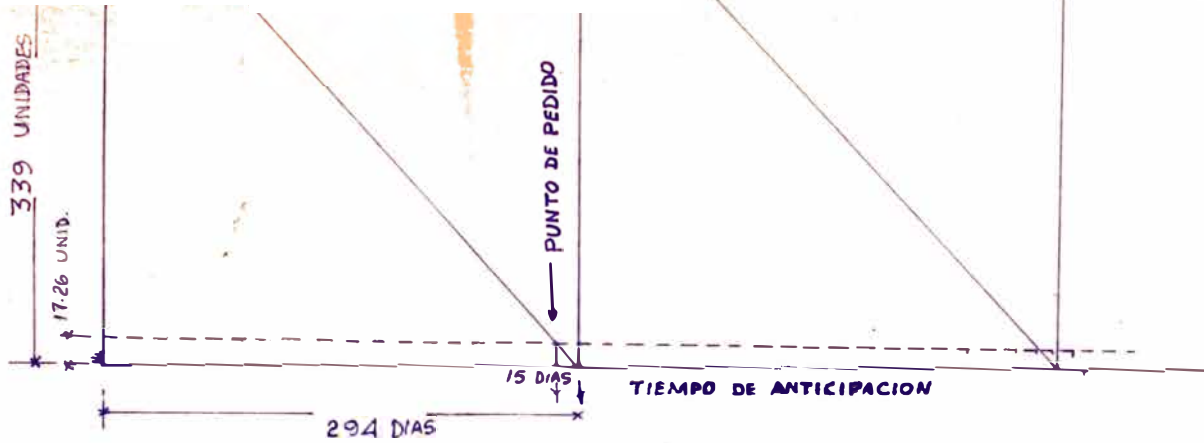
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA	
FACULTAD DE INGENIERIA	
GEOLOGICA - MINERA Y METALURGICA	
TESIS DE GRADO	
TENDIDO DE UNA RED DE AGUA	
TRAZO Y DIBUJO	ESCALA : 1/500
GILMER MORALES	FIGURA : N° 1
	FECHA : AÑO - 1994



* **TIEMPO DE DURACION DEL PROYECTO Y RUTA CRITICA**
 * **TIEMPO DE DURACION DEL PROYECTO**
 ○ **ACTIVIDAD**

DIAGRAMA DE GANTT

TRAZO Y DIBUJO	ESCALA	1/500
ELIMPA NORALIS	FIGURA:	2
	FECHA:	AÑO - 1994



INVENTARIO DE BARRENOS INTEGR.

TRAZO Y DIBUJO
GILMER NORALES

ESCALA : 1/50
FIGURAS : A, B y C
FECHA : AÑO - 1998