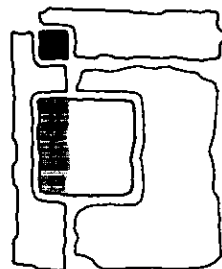


622.22
1587
1994, c.1

R



FONTEC

FONDO NACIONAL
DE DESARROLLO
TECNOLOGICO
Y PRODUCTIVO

BIBLIOTECA CORFO



8

**DESARROLLO DE UN SISTEMA
COMPUTACIONAL PARA LA
PLANIFICACION DE UNA
MINA SUBTERRANEA**

Informe Final

DICIEMBRE, 1994

BIBLIOTECA CORFO

**DESARROLLO DE UN SISTEMA
COMPUTACIONAL PARA LA
PLANIFICACION DE UNA
MINA SUBTERRANEA**

Informe Final

**PREPARADO PARA : CORPORACION DE FOMENTO DE LA
PRODUCCION - CORFO**

POR : METALICA CONSULTORES S.A.

DICIEMBRE, 1994

INDICE

1.0	RESUMEN EJECUTIVO	1
2.0	EXPOSICION DEL PROBLEMA	8
3.0	METODOLOGIA Y PLAN DE TRABAJO	11
4.0	RESULTADOS	14
5.0	IMPACTOS DEL PROYECTO	20

ANEXO I	"FUNCIONALIDAD DEL SISTEMA"	
----------------	------------------------------------	--

1.0 Resumen Ejecutivo

Descripción de la Empresa

METALICA CONSULTORES S.A., es una sociedad que gesta en 1990, a partir de la fusión de dos firmas de consultoría que tienen presencia en el rubro desde el año 1987. La misión definida por el Directorio de la empresa es brindar servicios de consultoría orientados a mejorar el rendimiento económico del negocio minero. Bajo este contexto, el accionar de la firma se centra básicamente en dos áreas: estudios y proyectos mineros y desarrollos de aplicaciones computacionales. Adicionalmente, se presta asesoría a instituciones crediticias en relación al financiamiento y valorización de proyectos mineros.

La estrategia para cumplir con los objetivos planteados en la misión definida, se basa en la identificación de variables relevantes que condicionan el negocio minero, para poner énfasis en su adecuado manejo. Para este efecto, se han introducido conceptos de teoría económica a los problemas de planificación minera, de modo que la determinación de dichas variables sea armónica y coherente con el objetivo empresarial.

Otro de los aspectos relevantes en el accionar de la empresa, es su relación con firmas y consultores internacionales de primer nivel. Estos acuerdos comerciales han resultado muy provechosos para las empresas mineras, las cuales han podido acceder a opiniones independientes por parte de prestigiados asesores de resonancia mundial.

Servicios Ofrecidos

Estudios y Proyectos Mineros

- Categorización, estimación y confirmación de reservas mineras
- Estudios de factibilidad y pre-inversionales
- Planificación minera
- Solución de problemas de operación y productividad
- Preparación y estimación de costos de inversión y operación

Desarrollo de Software

- Desarrollo de aplicaciones computacionales
- Desarrollo del sistema SPORA (rajo abierto)
- Evaluación y selección de equipamiento computacional

Servicios de Financiamiento

- Asistencia en financiamiento de proyectos mineros
- Evaluación de negocios mineros
- Diseño de sistemas de garantía para financiamiento
- Preparación de documentos para la banca

Personal Técnico

Jefes de Proyecto

Juan Camus	Ing. Civil de Minas (1979) Magister en Ev. de Proyectos
Francisco Fernández	Ing. Civil de Minas (1983)
José Pesce	Ing. Civil de Minas (1978) Ingénieur Expert en Techniques Minières, CESTEMIN, France DEA, Genie Geologique et Minière, INPL, France
Carlos Valenzuela	Ing. Civil de Minas (1981) Ingénieur Expert en Techniques Minières, CESTEMIN, France DESS, Valorization des Ressources du Sous- sol, INPL, France
Miguel Rojas	Ing. Civil de Minas (1972)

STAFF PROFESIONAL

- 10 Ingenieros Senior (Minas, Industrial y Computación)
- 10 Ingenieros Junior (Minas y Computación)
- 4 Proyectistas (Ingenieros de Ejecución)
- 4 Administrativos

ASOCIADOS

Kenneth F. Lane	Inglaterra
Call & Nicholas, Inc.	U.S.A.
Mine Ventilation Services	U.S.A.
Mario Rossi	MSc. Geoestadística
Guillermo Krstulovic	PhD. Mecánica de Rocas

Principales Clientes

CODELCO CHILE, DIVISION CHUQUICAMATA

CODELCO CHILE, DIVISION ANDINA

CODELCO CHILE, DIVISION EL TENIENTE

CODELCO CHILE, DIVISION EL SALVADOR

COMPAÑIA MINERA DEL PACIFICO S.A.

COMPAÑIA MINERA MANTOS DE ORO

EMPRESA MINERA DE MANTOS BLANCOS S.A. (ANGLOAMERICAN)

CANADA TUNGSTEN CHILE LTDA.

COMPAÑIA MINERA QUEBRADA BLANCA S.A. (COMNCO)

COMPAÑIA MINERA EL INDIO (LAC MINERALS)

COMPAÑIA MINERA LOS PELAMBRES LTDA. (MIDLAND BANK)

COMPAÑIA MINERA DISPUTADA DE LAS CONDES S.A. (EXXON)

COMPAÑIA CONTRACTUAL MINERA CANDELARIA

MINERA ANACONDA CHILE LTDA.

COMPAÑIA DE CARBONES DE CHILE S.A.

CEMENTO POLPAICO S.A. (HOLDERBANK)

COMPAÑIA MINERA OJOS DEL SALADO S.A. (PHELPS DODGE)

MINERA PHELPS DODGE DE CHILE S.A.

COMPAÑIA MINERA DAYTON DE CHILE S.A.

BANCOS (CHILE, SUDAMERICANO, ESTADO)

Equipamiento e Instalaciones

- 4 Estaciones de trabajo IBM Risc 6000,
modelos 360H, 350H, 320H y 25T

- 5 PC's modelos 486/33 MHz

- 16 PC's modelos 386/33 MHz

- 5 PS/2's IBM modelos 80 y 60

- 3 Notebooks IBM 51 SLC

- 1 Network PC - NFS

- 1 Plotter Novajet - Color Inkject

- 1 Digitalizador Numonics modelo 2200

- 1 Impresora color HP modelo XL 300

- 1 Impresora Laser modelo HP IIID

- 2 Impresoras HP modelos Deskjet 500

- 6 Impresoras de punto

660 m² de oficina

Trabajos Relevantes en el Area de Asesoría Financiera y Valorización de Proyectos

PROYECTO	CLIENTE
"La Candelaria"	Banco de Chile
"Tasación Comercial Planta San Esteban". Cía Minera San Esteban Primera	Banestado Leasing
"Proyecto Quebrada Blanca"	Banco de Chile
"Proyecto Can - Can"	Banco de Chile
"Proyecto Refugio"	Banco de Chile
"Expansión Minera Proyecto Lince"	Banco de Chile
"Proyecto Andacollo Oro"	Banco del Estado
"Proyecto Iván Minera Rayrock"	Banco Sudamericano
"Proyecto Mapocho"	Banco Sudamericano
"Análisis de Opciones de Compra por Proyecto Challacollo"	Banestado Leasing
"Proyecto Minero Tuina"	Banco de Chile
"Comercialización Placer Aurífero Lonquimay"	Minera Lonquimay S.A.
"Valorización Comercial Empresa Minera Caleta el Cobre y Empresa Minera Punta Grande"	Corporación de Fomento de la Producción (CORFO)

El desarrollo de un software de planificación de minas subterráneas en Sistemas Abiertos, permite a la empresa prestar a sus clientes servicios en plazos de ejecución menores a los actuales.

La planificación de minas subterráneas requiere de la confección, interpretación y análisis simultáneo de numerosos planos de diseño. En esta etapa se consume una considerable cantidad de recursos, los que se reducen considerablemente con el uso del software resultante de este proyecto de innovación tecnológica.

En resumen, el desarrollo de un software para su uso en los servicios de ingeniería de minas subterráneas, permite a la empresa mejorar la calidad del servicio y a un menor precio, aumentar su eficiencia, mayores grados de libertad en la asignación del recurso humano, reducir los costos de operación y aumentar la capacidad productiva.

2 Exposición del Problema

El proyecto que se presentó, se enmarca en la política de investigación e innovación tecnológica que caracteriza la estrategia de desarrollo global de Metálica Consultores, con el propósito de mantener un sitio de liderazgo en el contexto de la consultoría de ingeniería de minas.

Durante los últimos años se han materializado importantes inversiones de capital tanto nacionales como extranjeros en el sector minero. Los requerimientos de ingeniería asociados a ellos han abierto un importante mercado para las empresas consultoras del rubro, situación que ha permitido la aparición de nuevas empresas dispuestas a satisfacer la creciente demanda de servicios, configurándose un escenario altamente competitivo.

Dentro de los trabajos prestados por las firmas consultoras, la planificación y evaluación de operaciones de minas subterráneas, constituye un importante porcentaje de los servicios requeridos por las empresas productoras de minerales. Tales servicios demandan a las consultoras de la manipulación y procesamiento de una gran cantidad de información, la que es sometida a complejos cálculos matemáticos.

Puesto que no existen en el mercado paquetes de software adecuados, para resolver los problemas de manejo, y procesos de información se recurre a soluciones computacionales que emplean un conjunto de rutinas de diseño propio, creados generalmente por profesionales especialistas en minería y que poseen los conocimientos computacionales suficientes para ejecutar la tarea, pero que adolecen del dominio de la tecnología digital de vanguardia.

De esta forma, las herramientas computacionales diseñadas no alcanzan el óptimo técnico y son utilizables sólo por su creador, pues es el único que conoce la lógica de los programas.

Por otra parte, el campo de acción de Metálica Consultores abarca, además del ámbito de la consultoría de ingeniería de minas, el área de desarrollo de softwares para minería, ocupando un sitio de reconocido prestigio en ambos escenarios. Tanto el recurso humano disponible, como el equipamiento y "know-how" propios de la empresa, constituyen una condición de privilegio para lograr la sinergia entre las especialidades minera y computacional.

Dado que existe una carencia de un software adecuado para el problema de la planificación minera, y considerando que Metálica posee los recursos humanos, tanto en el ámbito de la minería como en el área de computación, el propósito del proyecto de innovación tecnológica es el de aprovechar las capacidades de la empresa para desarrollar un software de Planificación de Minas Subterráneas en ámbitos de Sistemas Abiertos.

Como resultado del proyecto, este software permitirá mejorar sustancialmente la eficiencia de la empresa en los servicios contratados en el área, y una reducción significativa de costos por la disminución del tiempo total y horas hombre asignadas a los servicios prestados.

Estos factores (mayor eficiencia y menor costo), unido al hecho de que no existen paquetes de software similares en el mercado, sin duda privilegian la posición de la empresa frente a sus competidores.

Dado que se planteó la necesidad de construir una herramienta computacional que apoye la gestión de planificación para la minería subterránea al interior de la empresa, esta debía enmarcarse en un área específica.

En primer lugar las herramientas que se utilizan en el área minera, deben tener un alto porcentaje de manejo gráfico, ya que es de esta forma que se analiza con mayor facilidad la gran información de que se dispone.

Además, la posibilidad de interactuar con ella era indispensable para poder manipular correctamente los datos de entrada. Finalmente para que fuera un software a la altura de los desarrollos actuales debía incorporar interfaces gráficas ya que actualmente los desarrollos no se contemplan sin esta alternativa.

Para cumplir los requerimientos anteriormente expuestos, el desarrollo se efectuó en estaciones de trabajo (Workstations), que entregan un conjunto de herramientas, que actuando con lenguajes de bajo nivel que permiten la construcción de software con alto performance y capacidades de manejo de información de volúmenes importantes.

3 Metodología y Plan de Trabajo

Para el desarrollo del Software de Planificación, se utilizaron técnicas de ingeniería de software basadas en el desarrollo de prototipos, la cual consiste en definir la funcionalidad mínima del sistema, implementar la interfaz con el usuario y finalmente comenzar la construcción de los programas reales.

Para la construcción del sistema, se contemplaron 6 fases:

Análisis y Definición de Requerimientos

El objetivo de esta etapa fue definir la funcionalidad del sistema, o en otras palabras, qué es lo que se desea como resultado final y que etapas son necesarias para alcanzarlo

Diseño de Soluciones Alternativas

Se debe analizar entre una o más alternativas de solución para lograr los resultados deseados. Es necesario escoger la solución que cumpla con el máximo de exigencias de la manera más eficaz, considerando la funcionalidad y el diseño de las bases de datos.

Diseño Modular

En esta etapa se utilizan técnicas de computación orientadas a obtener un producto final portable, eficiente y de alto tiempo de respuesta.

Prototipo Inicial

Se implementa la interfaz con el usuario, de manera que este logre una idea básica del producto, y de esta manera comenzar a simular la funcionalidad del sistema.

Crecimiento Evolutivo

Principalmente se transformará funcionalidad simulada, a funcionalidad real.

Pruebas y Puesta en Marcha

Esta es la etapa actual del proyecto, ya que se está corriendo el sistema actual en forma paralela al viejo, de manera de ir verificando los resultados obtenidos.

Las actividades descritas anteriormente se ejecutaron de acuerdo a la siguiente carta gantt de trabajo.

Actividades	MESES									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Análisis y Requerimientos										
Diseño de la Solución										
Diseño Modular										
Informe de Análisis										
Informe de Diseño										
Prototipo Inicial										
Desarrollo del Prototipo										
Pruebas y Puesta en Marcha										
Manual del Usuario										

4 Resultados

Del proyecto surgió un nuevo sistema computacional, desarrollado completamente en ambiente UNIX, utilizando estaciones de trabajo, y que están diseñados bajo una interfaz gráfico que entregará al usuario final, una herramienta más poderosa e integrada.

Como característica principal, hay que destacar que durante la etapa de diseño del Sistema para Planificación de una Mina Subterránea fue necesario redefinir 2 procesos. Estos son los principales algoritmos que utiliza el sistema, y corresponden al Costo Oportunidad y a la generación del Plan de Producción. Además se entrega un tercer proceso que corresponde a la secuenciación de las columnas, de manera de agilizar un trabajo que hasta ahora se realizaba manualmente, ocasionando una gran pérdida de tiempo, y fuertes probabilidades de errores.

A continuación se entregaran los principales detalles de del sistema de manera de solucionar los requerimientos impuestos por los usuarios, mayores antecedentes pueden verse en el Anexo N° 1

Secuenciar las columnas.

Las columnas que han permanecido luego de aplicar el criterio de Ley de Corte, deben ser secuenciadas para su extracción.

Los bloques a secuenciar se encuentran en diferentes sistemas coordinados y las alturas de ellos no tienen por qué coincidir, por lo tanto, el objetivo de este procesos es asignar a cada columna del Modelo, un número indicando en que lugar será extraída.

Para el ingreso de esta información, se presenta una planta de las reservas en coordenadas malla, y manualmente se van seleccionando las columnas. Existen herramientas de Zoom, para trabajar sobre áreas más detalladas.

Costo Oportunidad

El objetivo es encontrar aquellas alturas de extracción de las columnas que maximizen el incremento del Valor Presente Neto (VPN). Para encontrarlas, se utilizará el criterio que dice:

$$\text{IncrementoVP} = \text{Ingreso} - \text{Costo} - d \times \text{VP} \times T$$

donde:

d : Tasa de descuento

VP: Valor Presente del resto del yacimiento al momento de extraer la columna que se está analizando.

T : Fracción del tiempo que necesita para procesar hasta la altura k de la columna.

A través de un proceso iterativo, se irán analizando estos incrementos, hasta obtener el mayor VPN del yacimiento.

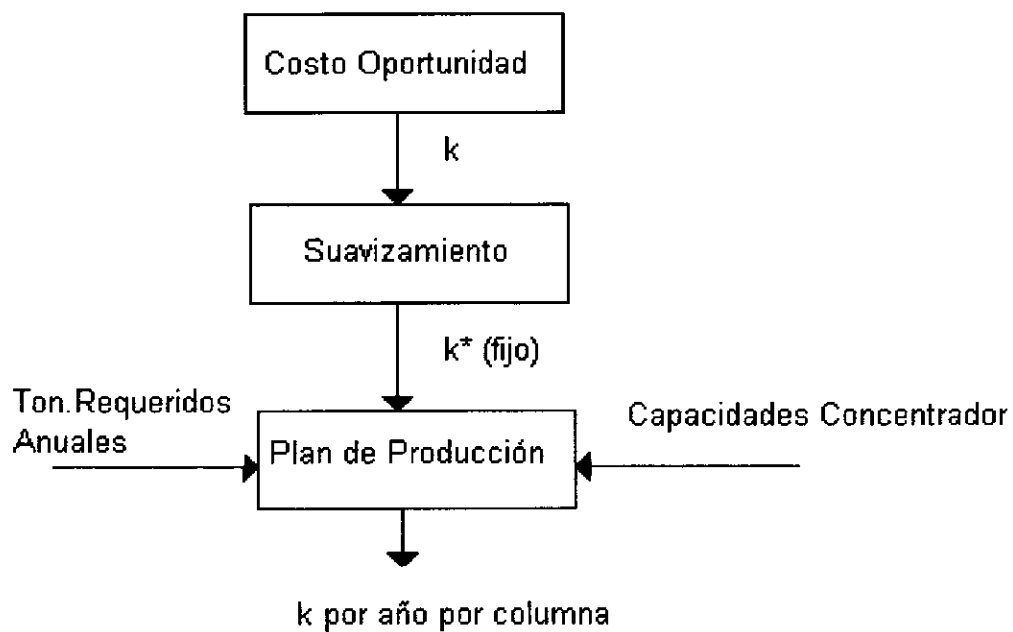
Este es el principal proceso dentro del sistema, ya que Metálica Consultores es una empresa conocida por la gran difusión que realizada sobre el algoritmo de Kenneth Lane, para la maximización del beneficio en los yacimientos mineros. El proceso de iteración que se utiliza para resolver el problema, es el propuesto por K. F . Lane. Por otro lado este algoritmo fue generalizado, de manera que los usuarios lo puedan utilizar con cualquier clase de yacimiento que se deba analizar o estudiar.

Generar el Plan de Producción

El objetivo del plan de producción, es cumplir las restricciones de Tonelaje anual impuestas por la mina, sujeto a restricciones técnicas operacionales, como es la capacidad de hundimiento.

El siguiente esquema muestra como el Plan de Producción interactúa con el resto del sistema:

Plan de Producción



De este algoritmo se desprende, utilizando las alturas de extracción de cada columna, la siguiente información preponderante para los análisis siguientes :

2. Anualmente:

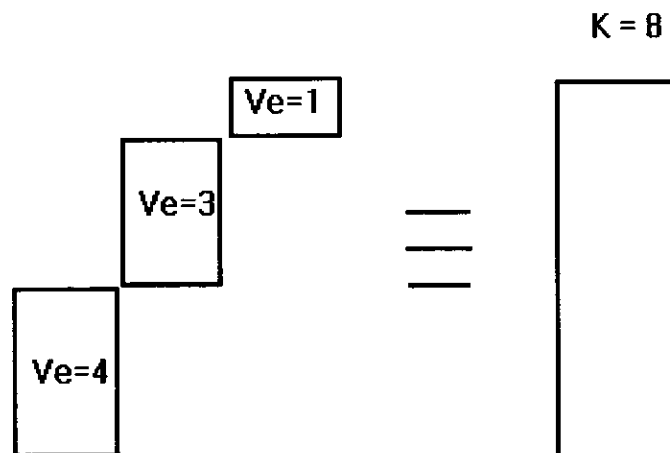
Ley media anual

Ley media anual de primario

Ley media agotada anual

Para obtener las estadísticas anteriores, se ejecutará un proceso de ajuste interactivo, que permitirá revisar si las restricciones impuestas se cumplen, de no ser así, se permitirá modificar las velocidades de extracción para alcanzar un punto que se aproxime al óptimo.

Como una medida de validez, hay que cuidar que la suma de las velocidades de extracción para los diferentes años, no sobrepase la altura máxima de la columna. Este último valor fue obtenido por medio del algoritmo de Costo Oportunidad y puede haber sido suavizado para corregir "islas".



Además de los 3 procesos ya mencionados, el software posee un conjunto de opciones de menú que entregan entre otras características:

- Despliegue gráfico de plantas con la información de cada bloque por nivel
- Despliegue gráfico de plantas con la información de cada bloque por cota
- Despliegue gráfico de plantas con la información por columna de : alturas, tonelajes, leyes medias, etc.
- Herramientas como : Zoom, grillas, que permiten visualizar mejor la información
- Generación de archivos de ploteo, para traspasar la información a un dispositivo de salida como un ploter

5 Impactos del Proyecto

Como ya se ha mencionado, la prestación de servicios de ingeniería en planificación subterránea ha crecido en forma sostenida, de manera que las horas hombre dedicadas a ellos, han experimentado el siguiente crecimiento:

Año	Horas / Hombre
1991	7.720
1992	11.480
1993	29.200

Para un estudio de planificación subterránea se requiere actualmente un grupo de trabajo que gasta aproximadamente 2.165 horas como lo muestra el siguiente cuadro:

Profesional	Dedicación horas/hombre
Ingeniero Civil	826
Ingeniero Ayudante	818
Proyectista	521
TOTAL	2.165

Al disponer de un software de planificación que satisface los objetivos técnicos planteados en este proyecto de innovación tecnológica, se estima que la dedicación del equipo de profesionales, se reducirá a 541 horas:

Profesional	Dedicación horas/hombre
Ingeniero Civil	332
Ingeniero Ayudante	6
Proyectista	206
TOTAL	541

Actualmente el software desarrollado se está utilizando para un proyecto de planificación minera.

En un principio este sistema se está utilizando en forma paralela al antiguo, de manera de ir verificando los resultados e ir testeando el producto, antes de utilizarlo en forma independiente.

Luego del período habitual de capacitación por parte de los usuarios, se espera reducir los tiempos involucrados en el desarrollo del proyecto y por lo tanto los costos del proyecto, a la vez que entregar resultados más óptimos ya que los ingenieros pueden dedicar mayor tiempo al trabajo propio de la planificación, y no desgastarse en tareas tediosas y monótonas, que pueden desarrollarse de mejor manera en un computador.

Por lo anterior, el producto que Metálica ofrece está constituido por las horas hombre ahorradas o “liberadas” al utilizar la empresa el software especificado. El mercado está, en este caso, formado por la participación de la empresa en la demanda de servicios de ingeniería que la actividad minera genere.

Se estima que tanto la experiencia de Metálica, su staff de ejecutivos y profesionales, y en especial su participación en el mercado, reflejada a través de su cartera de clientes, son garantía suficiente para asegurar la capacidad de la empresa para generar la venta de las horas adicionales, liberadas al disponer del software de planificación minera subterránea.

A N E X O I

FUNCIONALIDAD DEL SISTEMA

1. Introducción

Durante la etapa de diseño del Sistema para Planificación de una Mina Subterránea fue necesario redefinir 2 procesos. Estos son los principales algoritmos que utilizará el sistema, y corresponden al Costo Oportunidad y a la generación del Plan de Producción.

En este informe se entrega los detalles de los requerimientos que deberán ser cubiertos por ambos procesos, de manera de satisfacer las necesidades del sistema de la mejor manera.

Además se entrega la última definición de tablas y estructuras requeridas para ambos.

2. Análisis Requerimientos.

2.1 Descripción de la Información.

El sistema Computacional de apoyo a la Planificación de una mina subterránea, administra un conjunto de información que representa al Modelo de Reservas Subterráneas, más todos los atributos asociados a él. Este conjunto de información esta compuesto por algunos elementos básicos como son:

- Sistemas Coordinados. Involucra la información que detalla la ubicación geográfica del Modelo.
- Sectores. Subconjuntos ó áreas de un Sistema Coordinado
- Unidad Básica de Extracción (UBE). Mínima unidad a extraer.
- Columnas. Conjunto de Bloques o UBE.
- Altura de Extracción. UBE hasta donde se extraerá una columna.
- Ley Media de Extracción. Valor de la Ley hasta la altura de extracción.
- Tonelaje de Extracción.
- Mineral Remanente.
- Mineral Extraído.
- Valores de Ley para cada UBE.
- Valores litológicos para cada UBE.
- Altura de cada UBE

2.2. Descripción de Informes de Entrada y Salida.

Uno de los principales objetivos de este Sistema Computacional, es entregar al usuario un conjunto de reportes que contienen datos y estadísticas que lo apoyarán en su trabajo. Existe un conjunto de reportes de entrada y el sistema emitirá un conjunto de reportes de salida. Una lista de ellos se entrega a continuación:

2.2.1 Entrada.

- Altura de entrada al sistema. Número máximo de UBE que serán extraídas de cada columna.
- Leyes medias de entrada de las columnas para la altura dada.
- Tonelaje de extracción.
- Litología (tipo de roca para cada UBE).
- Ley de la UBE (Unidad Básica de Extracción). Puede existir más de una ley para cada UBE del Modelo de Reservas.

2.2.2 Salidas

I. Salidas del Plan de Producción

Informe: Resumen Plan de Producción

Contenido:

- Toneladas de mineral extraído cada año.
- Ley Media extraída cada año.
- Metros cuadrados del Área hundida. Este valor corresponde a la suma de las áreas de aquellas columnas que comenzaron a ser hundidas en un cierto año.
- Metros cuadrados del Área agotada. Corresponde al área de la columna que se terminó de extraer en un cierto año.
- Área Activa
- Velocidad Media de Extracción. Para cada año se detalla el número máximo de UBE que pueden ser extraídas de una columna.

Informe: Tonelajes Plan de Producción

Contenido:

- Toneladas extraídas de cada uno de los sectores .

Informe : Leyes Medias por sector

Informe : Leyes Medias de Cierre de las columnas por sector.

Contenido:

Estas corresponden a la ley del último bloque extraído de las columnas que se agotaron en ese año.

Informe : Número de columnas agotadas por año y por sector.

Contenido:

Éstas corresponden a las que alcanzaron su altura máxima en cierto año

Informe :Promedio de las alturas de las columnas agotadas durante ese año.

Informe :Número de columnas hundidas por año y por sector.

Informe :Tonelaje anual por tipo litológico.

II. Salidas gráficas

a. Planta con datos de Entrada.

- Altura de Entrada.
- Ley Media de Entrada.
- Tonelaje

b. Planta con datos de Salida.

- Altura de Salida.
- Ley Media de Salida.
- Tonelaje

c. Planta con la siguiente información para cada columna:

- Alturas de Extracción
- Beneficio Columna
- Velocidad de Extracción anual.

d. Planta con datos de mineral extraíble. Ley extraída .

Para cada bloque:

- j. Leyes
- k. Lista de rocas para cada bloque (ó adoptar criterio de roca predominante).
- m. Tonelaje

Además cada una de las salidas gráficas irá acompañada de un despliegue por rangos y colores.

2.3. Procesos

Los procesos que el Sistema deberá realizar para la obtención de la información y su posterior administración, se detallan a continuación:

2.3.1 Secuenciar las columnas.

Las columnas que han permanecido luego de aplicar el criterio de Ley de Corte, deben ser secuenciadas para su extracción.

Los bloques a secuenciar se encuentran en diferentes sistemas coordenados y las alturas de ellos no tienen por qué coincidir.

Objetivo: Asignar a cada columna del Modelo, un número indicando en que lugar será extraída.

Datos de Entrada: El número de secuencia de la columna ingresada por el usuario.

Forma de Ingreso: Se debe presentar una planta de las reservas en coordenadas malla, y manualmente se irán seleccionando las columnas. Existirán herramientas de Zoom para trabajar sobre áreas más detalladas.

Nota: En una segunda etapa, se puede implementar algoritmo que dada un área la secuencia automáticamente.

Método de Secuenciamiento Interactivo.

Para secuenciar las columnas primero se requiere poder mostrar gráficamente la Planta. Para ello se necesita:

1. Obtener coordenadas de la Planta.

Se deberá recorrer todos los sistemas coordenados que componen el modelo y con el origen, número y tamaño de los bloques, y finalmente el ángulo de azimut, se debe ingresar una representación de él.

Nota: Los sistemas coordenados no están completos, por lo tanto no es suficiente avanzar por los números máximos de bloques, se requieren los (i,j) por sistema coordenado.

2. Desplegar coordenadas en pantalla.

La planta se desplegará utilizando coordenadas Malla y la grilla que se presente corresponderá al sistema Norte-Este.

3. Herramienta de numeración interactiva.

Proceso:

Paso 1: Ingresar el número de partida de la secuencia.

Paso 2: Ir seleccionado en pantalla las restantes columnas las que se irán numerando automáticamente.

El número de la secuencia será grabado en el archivo cuando el usuario lo pida explícitamente, de lo contrario se irá almacenando en memoria principal.

2.3.2 Reservas Extraíbles con Costo de Oportunidad

Objetivo : Buscar las alturas de Extracción que maximizan el beneficio:

Método: Se deben buscar aquellas alturas de extracción de las columnas que maximizan el incremento del Valor Presente Neto (VPN). Para encontrarlas, se utilizará el criterio que dice:

$$\text{Incremento } VP = \text{Ingreso} - \text{Costo} - d \times VP \times T$$

donde:

d : Tasa de descuento

VP: Valor Presente del resto del yacimiento al momento de extraer la columna que se está analizando.

T : Fracción del tiempo que necesita para procesar hasta la altura k de la columna.

A través de un proceso iterativo, se irán analizando estos incrementos, hasta obtener el mayor VPN del yacimiento. Este proceso de iteración se puede resumir en los siguientes pasos:

Paso 1. Obtener altura inicial de extracción para cada columna.

Se debe buscar para cada columna, el bloque o altura que maximiza la función del incremento del valor presente, esto es, ingreso menos costo, ya que al inicio se supone VP igual a cero.

La particularidad de esta etapa, es que el "Costo" se calcula utilizando el "Costo de Inversión Unitario" y no con el perfil de inversiones. Se entenderá como Costo de Inversión Unitario, la inversión total distribuída en las toneladas totales que se extraerán , y como Perfil de Inversiones, la inversión del año distribuída en él.

Entonces para cada columna se debe obtener la altura que maximiza:

$$IncVP = Ingreso - Costo$$

$$Costo = fn (+CIU)$$

Paso 2. Calcular Valor Presente del Yacimiento.

Se va acumulando el VP aportado por cada columna, con las alturas obtenidas para ellas. En este caso se debe utilizar el perfil de inversiones, por lo tanto, el "Gasto" será función del Perfil de inversiones. Como perfil de inversiones se entenderá la inversión para el año de análisis, la que sera distribuida en el año como se detallará más adelante:

$$VP = VP_{ant} + \frac{(Ingreso - Gasto)}{(1+d)^t}$$

$$Gasto = fn (+PInv)$$

Paso 3. Sacar del VP del Yacimiento la columna de análisis para obtener "W" del resto de las columnas.

"W" representa el VP de todas las columnas que serán extraídas después de la columna de análisis. Este valor se sitúa en el tiempo de extracción de la columna.

Para sacar la columna del VP, se debe restar el beneficio aportado por ella. Para obtener este beneficio, se calcula el ingreso y el gasto, el cual debe ser calculado utilizando el Perfil de Inversiones.

$$B_{columna} = I_{columna} - Gasto_{columna}$$

$$Gasto = fn(P. Inv)$$

Paso 4. Buscar nueva altura de extracción para la columna recién eliminada.

Se comienza a ingresar cada uno de los bloques de la columna eliminada, y se busca aquél que maximiza el Incremento del VP.

Cada vez que se ingresa un bloque, se requiere calcular el beneficio aportado por esa columna. Para el "Gasto " que se utiliza en esta operación, se le descuenta el Costo Unitario de Inversión y se le agrega el perfil de inversiones.

$$B_{columna\ hasta\ bloque\ k} = I_{columna\ hasta\ bloque\ k} - Gasto_{columna\ hasta\ bloque\ k}$$

$$Gasto = fn(-CIU + PInv)$$

Con este beneficio, -que considera el Perfil de Inversiones-, más el VP del resto de las columnas, o sea W, se calcula el VP.

$$V = \frac{(B+W)}{(1+d)^t}$$

$$V = fn(-CIU + PInv)$$

Finalmente, para el cálculo del incremento del VP, se usa el "Costo" que contiene el Costo de Inversión Unitaria, de esta manera el incremento se calcula con el Costo de Inversión unitario, y en el V se refleja el Perfil de Inversiones.

$$Inc\ VP = Ingreso - Costo - d*V*t$$

Obtenidas las nuevas alturas, se vuelve al punto 2 para comenzar la iteración, la que se detendrá cuando el valor Presente del Yacimiento llegue a un equilibrio.

Los cálculos de ingresos y costos requeridos en el procesos de iteración anterior, necesitan un conjunto de parámetros, los cuales se detallaran a continuación:

A) Cálculo del Costo

Se debe calcular el costo en el que se incurre para extraer los bloques hasta una cierta altura k . Este costo se puede dividir en 5 grupos principales:

1. KUS\$ por año (\$/año)

Costo fijo anual, es independiente del sistema coordinado y del sector.

2. KUS\$ por tonelada de mineral (\$ / ton-mineral)

Costo en el que se incurre para extraer una tonelada de mineral.

3. KUS\$ por tonelada de concentrado (\$ / ton-concentrado)

Costo en el que se incurre para procesar una tonelada de concentrado.

4. KUS\$ por tonelada de fino (\$ / ton-fino)

El costo para obtener una tonelada de fino. Se utilizará en el cálculo del ingreso, ya que en ese momento se han calculado las toneladas de fino

5. US\$ por columna. (\$ / m2)

Corresponde al costo de preparación de la columna, y depende del sistema coordinado y del sector.

Los costos 2,3,4 y 5, son variables por año, por sistema coordinado y por sector.

El costo 1, es independiente del sistema coordinado y del sector, pero es un costo fijo anual que puede variar para cada año de proyección.

En general los costos se manejan variables por año, y como se conoce la capacidad del concentrador por año, se puede determinar el período en que el algoritmo se encuentra (toneladas totales / capacidad concentrador), lo que permite ir asignando estos valores a las distintas etapas. (la determinación del período de extracción se detallará en el punto C).

Como se mencionó, para el cálculo del incremento del Valor Presente Inicial, se requiere que al costo se le incluya el costo de inversión unitario, que deberá ser ingresado por el usuario.

En este caso, el cálculo del costo para la columna se efectúa como:

$$\begin{aligned} \text{Costo Altura}_k &= (KUS\$/\text{año}) \times T + \\ & (US\$/K\text{ton-concentrado})_{\text{año}k} \times K\text{Ton-Con} + \\ & (US\$/\text{ton-mineral})_{\text{año}k} \times K\text{ToneladasAcumuladas} \\ & \text{CostoPreparación}_{\text{año}k} + \\ & CIU \times K\text{tonAcumuladas} \end{aligned}$$

$$K\text{Ton-Con} = \frac{K\text{ToneladasAcumuladas} \times \text{Rec Concentrado} \times \text{Ley Media}_k}{\text{Ley de Concentrado}}$$

donde:

T : Período de tiempo necesario para extraer hasta la altura k, desde el primer bloque de la columna.

Toneladas

Acumuladas : Son las toneladas que se deben remover para extraer hasta la columna k, desde el primer bloque de la columna.

Ton-Con : Corresponde a las toneladas de concentrado.

Rec.Concentrado: % de Recuperación del concentrado.

Ley Media k : Se refiere a la ley del concentrador, que deberá ser seleccionada por el usuario.

Ley Concentrado: Valor de la ley de concentrado. Será constante para todos los años.

El "Gasto" que ya se ha mencionado, utiliza el Perfil de Inversiones, donde la inversión se distribuye durante todo el año.

$$Inversión_{año k} = \frac{KUS\$}{año}$$

De esta manera, el gasto se calcula como:

$$\begin{aligned} Costo\ Altura_k &= (US\$/año) \times T + \\ & (US\$/ton-concentrado)_{año k} \times Ton-Con + \\ & (US\$/ton-mineral)_{año k} \times ToneladasAcumuladas \\ & CostoPreparación_{año k} + \\ & Inversión_{año k} \end{aligned}$$

Si se desea ser más riguroso y no considerar 2 veces el CIU, este se resta del "Gasto"

$$\begin{aligned} Costo\ Altura_k &= (US\$/año) \times T + \\ & (US\$/ton-concentrado)_{año k} \times Ton-Con + \\ & (US\$/ton-mineral)_{año k} \times ToneladasAcumuladas \\ & CostoPreparación_{año k} + \\ & -CIU + Inversión_{año k} \end{aligned}$$

Las variables que se utilizan, fueron descritas en el cálculo del "Costo".

B) Cálculo del Ingreso

Para la determinación del ingreso aportado por cada columna, se utiliza:

- Precio del ó los metales involucradas, que será variable por año.
- Recuperación del ó los metales involucradas que será variable por año.
- Valor de la ó las leyes en el bloque analizado.
- Unidades de ley para conocer que factor de conversión debe ser aplicado, por ejemplo:

Si la ley es % deben dividirse los valores por 100, como ocurre en el caso del Cobre.

Con la información anterior, el ingreso de la columna a una cierta altura k se define como:

$$Ing_k = \sum_{i=1}^{i=leyN} \frac{(\text{PrecioLey}_{i,\text{año}} - \text{CostoFino}_{i,\text{año}}) \times \text{RecuperaciónConc}_i \times \text{RecuperaciónFund}_i \times \text{ValorLey}_k \times \text{TonelajeAcumulado}_k}{\text{factor conversión}}$$

donde:

Precio Ley i , año : Corresponde al precio de la ley (US\$/ton) en el año de extracción.

Costo Fino i , año : Costo por tonelada de fino, para cada ley.

Recuperación Conc i : Recuperación del Concentrador para ley i

Recuperación Fund i : Recuperación de la Fundición para la ley i

Valor Ley ik : Valor de la Ley Media acumulada hasta el bloque k

Tonelaje Acumulado k : Corresponde al tonelaje acumulado hasta la altura k

factor conversión: Como se señaló anteriormente.

El Tonelaje acumulado corresponderá a las toneladas de material removidos para extraer hasta la altura k , o sea, desde el primer bloque de la columna hasta el que se está analizando.

C) Cálculo del período de Extracción.

Una de las dificultades con las que se encuentra el algoritmo al momento de calcular los costos, es determinar en que período de tiempo se está trabajando con la columna, de manera de encontrar los valores de costos e inversiones con los cuales efectuar los cálculos.

Para solucionar este problema, se deben ir almacenando los tiempos requeridos para el procesos de cada uno de los bloques, y acumulandolos a su vez, será posible identificar el año de extracción para cada bloque. Este cálculo se puede efectuar como lo muestra la siguiente tabla:

Ejemplo:

Tonelaje de cada bloque = 1 000 Ton

Capacidad Concentrador año 1 = 4 000 Ton

Capacidad Concentrador año 2 = 8 000 Ton

El algoritmo comienza con la columna 1, por lo tanto ésta se explota en el año 1.

K columna	año explotación	ΔT	ΔT Acumulado
1	1	0.25	0.25
2	1	0.25	0.5
3	1	0.25	0.75
4	1	0.25	1
5	2	0.125	1.125

El proceso de cada bloque se realiza en un cierto año, por lo tanto se requiere ΔT para ejecutarlo. Cuando el ΔT acumulado, sobrepasa el año, entonces se cambia de año, y por lo tanto de capacidad del concentrador.

Con la tabla anterior se puede obtener el año de inicio y de término de una columna, para posteriormente sacar el VP de ella.

Columna	Año Inicio	Año Término
1	0	1.125

A continuación se entrega un desglose más detallado del algoritmo Costo Oportunidad. Se utilizaran los nombre "Costo","Gasto" e "Ingreso" que fueron descritos anteriormente.

Paso 1:

Determinar una altura de extracción, "k inicial", para cada columna.

En este primer paso, no se impone ninguna restricción a la búsqueda del k inicial. No se considera capacidad, año, etc.

Método:

Para cada columna de la secuenciación extraer el k que maximiza:

$$\text{Incremento VP} = \text{Ingreso} - \text{Costo} - d \times \text{VP} \times T$$

por ser la primera iteración, el VP es 0 , por lo tanto se debe maximizar:

$$\text{Incremento VP} = \text{Ingreso} - \text{Costo}$$

La obtención del máximo incremento del VP se logra a través de un proceso iterativo. Este parte extrayendo y acumulando los bloques para los cálculos. La altura con el máximo VP corresponde a la altura de extracción inicial.

Columna j	
Nivel k	VP
k	VP_k
..	..
..	..
3	VP_3
2	VP_2
1	VP_1

Por lo tanto, la altura inicial de la Columna j, corresponde al máximo valor presente:

$$K_j = \max(VP_1, VP_2, \dots, VP_n)$$

Este paso se repite para cada columna del yacimiento para así obtener su altura inicial.

Paso 2:

Objetivo: Utilizando como entrada las alturas de extracción de cada columna, se busca el VPN del Yacimiento.

Método:

Para cada columna se obtienen los gastos y el ingreso que participan en su extracción. Se calcula el aporte al VPN de cada una de ellas tomando en cuenta el tiempo en que la columna será extraída. Para el cálculo del gasto, se utilizará el Perfil de Inversiones Real del Proyecto.

Entonces se calcula el VPN considerando el aporte de la columna que se está extrayendo:

$$VPN\ Total = VPN\ Anterior + \frac{Beneficio_{jk}}{(1+d)^{T^*}}$$

dónde:

Beneficio: Corresponde al beneficio de la columna j a la altura k.

d : Tasa de descuento

T* : Corresponde al período en que se extraerá la columna ingresada.
Desde la columna 1 a la j

$$T^* = \sum_1^j \frac{Tonelaje_j}{Capacidad\ Concentrador\ (T_j)}$$

donde:

Capacidad Concentrador: Corresponde a la capacidad existente en el año de explotación de la columna j.

Nota: Si la altura de extracción es 0, el Beneficio es Nulo.

Ya se tiene una primera altura de extracción y el VPN que ellas aportan. Con esta información es posible comenzar a iterar con el algoritmo.

Paso 3:

Si el VPN actual es diferente en un cierto porcentaje al VPN calculado anteriormente, entonces se vuelve a ejecutar este proceso.

Objetivo: Se buscan las nuevas alturas de extracción para las columnas, utilizando como base las alturas del ciclo anterior y el último VP calculado para el Yacimiento.

Se analiza cada una de las columnas involucradas.

Método:

El proceso consiste en calcular el costo de oportunidad que representa extraer la columna j, postergando el resto del yacimiento durante ese período de extracción.

Se requiere calcular el VPN de las columnas que quedan por explotar, o sea, sin considerar las columnas ya revisadas. Este valor se ubica en el tiempo de la explotación de la columna.

W: Corresponde al VPN de todas las columnas posteriores, menos la que se está analizando, llevado al tiempo que corresponde a la alternativa de no explotar la columna en análisis.

El Beneficio corresponde al mismo utilizada para calcular el VPN, o sea, utilizando el perfil de inversiones.

$$W_j = (W_{j-1} - \frac{\text{Beneficio}_{jk}}{(1+d)^T}) \times (1+d)^T$$

donde:

W_j : Corresponde al VPN del resto del yacimiento después de la columna j , o sea, sin considerar la columna j .

d : Tasa de descuento.

T : Fracción del tiempo necesario para extraer sólo la columna j hasta la altura k .

Nota: En el caso de la primera columna ($j = 1$), se utiliza el VPN del Yacimiento

Paso 4:

A continuación, se comienzan a incorporar uno a uno los bloques de la columna que se está analizando, y se calcula el aporte que van entregando. A través de un proceso iterativo se vuelve a obtener la altura de la columna que maximiza el Incremento del Valor Presente Neto, pues a estas alturas el VPN del Yacimiento ya se conoce.

Entonces, usando W más el beneficio aportado por los bloques de la columna, se obtiene un nuevo Valor Presente, que debe ser actualizado al período donde parte la explotación:

$$V = \frac{\text{Beneficio}_{jk} + W_j}{(1+d)^T}$$

donde:

Beneficio : Corresponde al Beneficio de la columna j hasta la altura k
Wj : VPN del Yacimiento sin la columna j.
T : Período de tiempo necesario para extraer hasta la altura k de la
 columna j
d : Tasa de descuento

Finalmente para el incremento se debe calcular el "costo". Con estos valores de Ingresos, Costos y v, se calcula el incremento del VP.

$$Inc\ V = Ingreso_j - Costo_j - d \times v \times T$$

donde:

d : Tasa de descuento
T: fracción del Tiempo que se demora en extraer y procesar la columna.

Se busca el bloque que entregue el máximo incremento, lo que determina el °nuevo k*. Con esta información se vuelve al paso 2.

Notas sobre el algoritmo:

1. Todas las columnas que quedaron con un número en la etapa de secuenciación, participan.

2. En cada ciclo se debe ir determinando cual es la altura de extracción que maximiza el incremento del VP en cada iteración.
3. Para cada ciclo, se utilizará el VP del ciclo anterior.

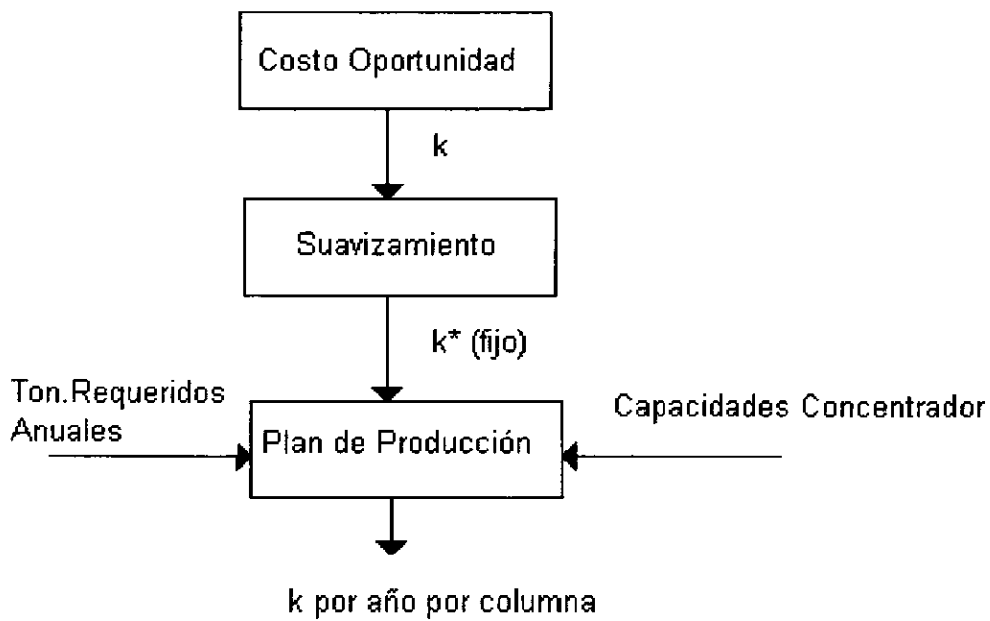
2.3.3 Generar el Plan de Producción.

Objetivo: Cumplir restricción de Tonelaje anual, sujeto a restricciones técnicas operacionales.

Se desea obtener la velocidad de extracción para cada columna, de manera que se cumplan las restricciones de:

- Tonelaje Anual Requerido.
- Capacidad de Hundimiento (está en metros cuadrados)

Plan de Producción



Utilizando estas alturas de extracción se obtiene la siguiente información:

1. Para cada sector en forma anual:

- Ley media por sector por año.
- Ley Media agotada por sector por año.
- Altura media de columna agotada por sector por año.

2. Anualmente:

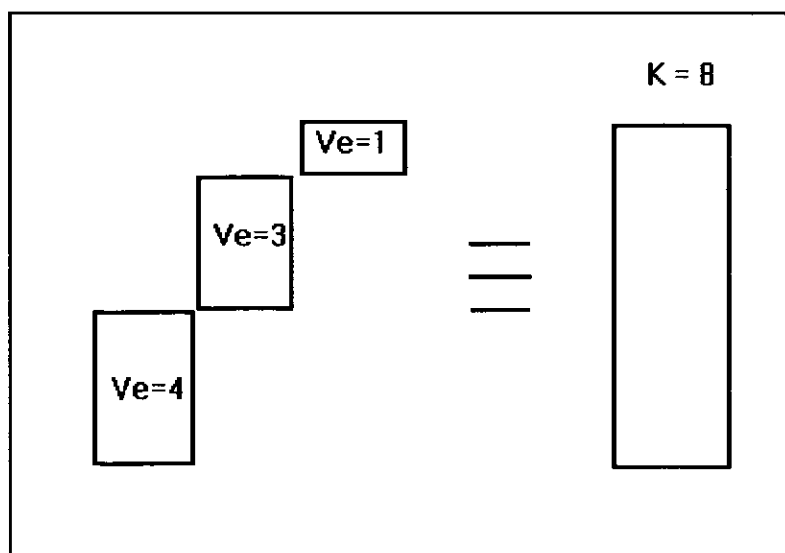
- Ley media anual
- Ley media anual de primario
- Ley media agotada anual

Para obtener las estadísticas anteriores, se ejecutará un proceso de ajuste interactivo, que permitirá revisar si las restricciones impuestas se cumplen, de no ser así, se permitirá modificar las velocidades de extracción para alcanzar un punto que se aproxime al óptimo.

El algoritmo del Plan de Producción consiste en tratar de obtener las velocidades de extracción anuales, tales que cumplan el Tonelaje Anual Requerido, sin sobrepasar la capacidad de hundimiento anual.

Se entenderá por velocidad de extracción de la columna, el número de bloques que deben ser extraídos de ella para el año en análisis.

Como una medida de validez, hay que cuidar que la suma de las velocidades de extracción para los diferentes años, no sobrepase la altura máxima de la columna. Este último valor fue obtenido por medio del algoritmo de Costo Oportunidad y puede haber sido suavizado para corregir "islas".



Para lograr lo anterior el procedimiento es :

Etapas 1:

Se debe analizar cada uno de los años de planificación. Para el año en estudio de deben identificar las columnas factibles de ser extraídas, y además los bloques de cada una de ellas que pueden ser explotados. Para esto, se requiere la siguiente información:

Columna	Sector	K extraído	K máxima	Año Extracción	Trimestre
				1	1

donde:

Dato	Descripción
Columna	Corresponde a la primera columna de la secuencia que tiene bloques para extraer
Id. Sistema Coordinado	Identificador del Sistema Coordinado al que pertenece la columna.
Sector	Identificador del Sector al que pertenece la columna
K extraído	K hasta donde ha sido extraída la columna. este valor puede ser distinto de 1
K Máximo	K hasta donde puede ser explotada la columna. Se obtiene del Costo Oportunidad y del suavizamiento
Año Extracción	*Año en el cual la columna será explotada.
Trimestre	Trimestre dentro del año donde se extrae la columna.

- * Si un año una columna no puede ser explotada completamente, por límites de capacidad, lo que queda de ella será extraída en otro año.

Para saber en que trimestre del año se está explotando la columna, se requiere conocer los metros cuadrados hundidos durante el año, además de la capacidad de hundimiento. Con ambos datos es posible calcular el trimestre de explotación de la columna.

$$\text{Mes Extracción} = \left[\frac{\text{Área hundida (mt}^2\text{)}}{\text{Capacidad Hundimiento (mt}^2\text{)}} \times 12 + 1 \right]$$

Una vez seleccionada la (las) columna (s), se deben buscar los bloques a explotar. Estos corresponden a :

Bloques a explotar = K Máximo - K extraído.

Todos los bloques desde el último extraído, hasta el máximo deben ser analizados.

Etapas 2:

Se requiere determinar la velocidad de extracción inicial para la columna.

Existen 2 posibles estados para cada columna: Régimen, Intacta.

Si la columna está intacta, quiere decir, que es la primera vez que entra en producción, por lo tanto su velocidad de extracción inicial dependerá del trimestre donde se encuentra.

Si la columna está en régimen, ya ha sido explotada anteriormente, luego su velocidad de extracción será constante.

Cada sistema coordinado y cada sector dentro de él, tendrán diferentes velocidades de extracción, por lo tanto, existen 4 factores que se deben analizar para obtener la velocidad de extracción inicial de una columna:

- Sistema Coordinado
- Sector
- Estado
- Período.

Etapas 3:

Con la columna y los bloques identificados, además de la velocidad de extracción inicial, se comienzan a sacar los bloques validando que no se supere la restricción de Tonelaje Anual. Existe 2 casos que validar:

- a. Si N° Bloques a explotar $\leq$ Velocidad de Extracción
Se deben sacar bloques mientras Tonelaje Anual Acumulado $\leq$ Tonelaje Anual Requerido.
- b. Si N° Bloques a explotar $>$ Velocidad de Extracción
Se deben sacar sólo hasta la velocidad de extracción, mientras Tonelaje Anual Acumulado $\leq$ Tonelaje Anual Requerido.

Nota 1: Si la extracción de un bloque hace que se sobrepase el Tonelaje Anual Requerido, entonces ese bloque no será extraído.

Si al terminar con la columna, no se ha cumplido el Tonelaje Anual, entonces se deben repetir las Etapas 2 y 3 para las próximas columnas.

Si se revisaron todas las columnas y no se completó el Tonelaje Anual Requerido, entonces se comienzan a recorrer todas las columnas que aún pueden ser explotadas, sacando un bloque a la vez, hasta completar la restricción de Tonelaje. Lo anterior es para no alterar de sobremanera las velocidades de extracción iniciales.

Con las etapas 1, 2 y 3, ha sido posible construir una planta con las velocidades de extracción para el año en estudio.

Etapa 4:

Calcular las estadísticas para la planta recién generada.

Dadas las velocidades de extracción, es posible obtener los estadígrafos de interés.

Para encontrar los estadígrafos, se deben tomar las columnas que conforman el área activa del año recién obtenido. Se toma la información de cada una de ellas, identificando :

- a. Las columnas que recién se incorporan en el año, ya que pertenecen al área hundida.

Para ellas acumular área hundida.

Número de Columnas hundidas

- b. Las columnas que se terminaron de explotar, que pertenecen al área agotada. Para ellas acumular área agotada, acumular ley media del bloque, ley media de cierre, número de columnas agotadas, acumular las alturas agotadas, tonelaje

- c. También se debe acumular el área activa, que se obtiene a través de la siguiente fórmula:

$$\text{Área Activa}_{\text{año } k} = \text{Área Activa}_{\text{año } k-1} + \text{Área Hundida}_{\text{año } k} - \text{Área Agotada}_{k-1}$$

Para ello, estos deben ser separados por año, por sistema coordinado y por sector, como lo muestra la siguiente tabla:

Año	Sistema Coord.	Sector	Ley Media	Tonelaje Total	Ley Media Cierre	Altura Agotada	N° Columnas Agotadas	Ley Media por Atributo	Área Extraída	Área Agotada
1	SC1	S1								
		S2								
	SC2	S1								
		S2								
		S3								
	SC3	S1								
	SC4	S1								
		S2								
		S3								
		S4								

Como resultado de estas etapas se obtienen los estadígrafos mostrados en la tabla anterior que son:

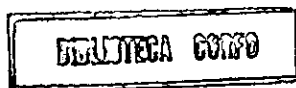
Ley Media:

Se acumula la ley del bloque por el tonelaje del bloque que será extraído en el año de planificación.

Tonelaje:

Se acumula el tonelaje de los bloques extraídos en el año de planificación.

Ley Media de Cierre:



Si el bloque que se analiza es el último bloque de la columna, osea, k es igual al k^* de la columna, se acumula la ley del bloque por el tonelaje del bloque.

Tonelaje de Cierre:

Se acumula el tonelaje de los bloques que son de cierre.

Columnas Agotadas:

Igual que el caso anterior, si es el último bloque de una columna, se incrementa el contador de columnas agotadas.

Altura Acumulada:

Corresponde a la suma de las alturas en que se cierra la columna. Esto nuevamente ocurre si el k bloque, es igual al k óptimo.

Área extraída:

Es la suma de metros cuadrados, de aquellas columnas que comenzaron a extraerse este año, es decir, k desde es igual a 1.

Área Agotada:

Es la suma de metros cuadrados, de aquellas columnas que se terminaron de extraer, es decir, k hasta es igual al k óptimo.

Área Activa :

Corresponde a una relación entre el área extraída y el área agotada, la que se señala a continuación:

$$\text{Área Activa}_{a\text{ñok}} = \text{Área Activa}_{a\text{ñok}-1} + \text{Área Hundida}_{a\text{ñok}} - \text{Área Agotada}_{a\text{ñok}-1}$$

Entonces como resultado de este plan de producción se obtendrá:

A. Para cada sector:

- Ley Media por sector por año.
- Ley Media agotada por sector por año ó ley de cierre.
- Altura media de las columnas agotadas por sector por año.

Área extraída por sector por año.

Área agotada por sector por año.

B. Para cada año:

- Ley Media Anual.
- Ley Media Anual de Primario.
- Ley Media Agotada anual.

Área extraída por sector por año.

Área agotada por sector por año

Los resultados de los estadígrafos serán presentados al usuario. Si éste está conforme con ellos, podrá pasar a la planificación del siguiente año. Si no es así, debe tener la posibilidad de modificar las velocidades de extracción de la planta resultante para ese año. Una vez modificada, nuevamente los estadígrafos serán calculados. Este proceso podrá repetirse tantas veces como el usuario lo estime necesario.

