

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra**

**“ OPTIMIZACION EN LA ETAPA DE CONCENTRACIÓN DEL  
TOPACIO IMPERIAL EN LA MINA DE CAPAO-BRASIL”**

**TESIS DE GRADO**

**Previa a la obtención del Título de:**

**INGENIERO EN MINAS**

**Presentada por:**

**ROSA XIMENA ERAS YAGUANA**

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**AÑO**

**2000**

## **AGRADECIMIENTO**

**A LA DRA. ELIZABETH PEÑA Y DR. PAUL CARRION**

Directora de Tesis y Coordinador del área de Ing. en Minas.

## **DEDICATORIA**

A DIOS

A MIS PADRES

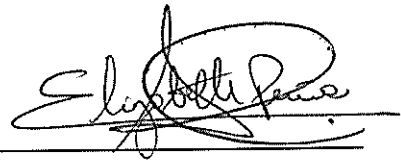
A MIS HERMANOS

A MIS AMIGOS

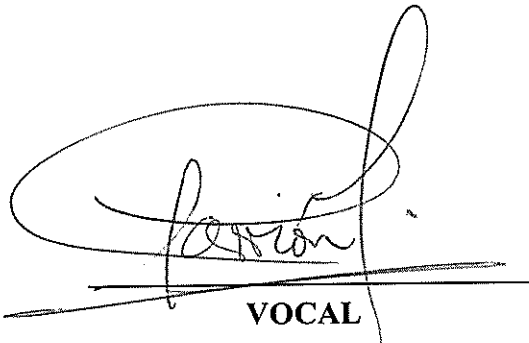
**TRIBUNAL DE GRADUACION**



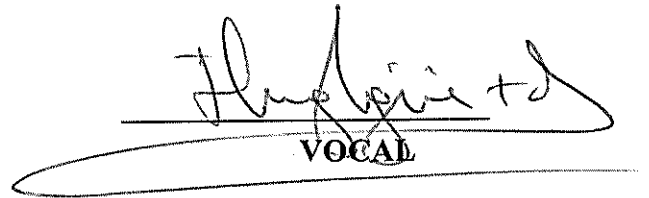
**IÑG. EDISON NAVARRETE CUESTA**  
DECANO DE LA FACULTAD DE ICT



**DRA. ELIZABETH PEÑA**  
DIRECTOR DE TESIS



**VOCAL**



**VOCAL**



**BIBLIOTECA FICT**  
**ESPOL**

## **DECLARACION EXPRESA**

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL”

**(Reglamento de Graduación de la ESPOL)**

**Rosa X. Eras Yaguana**

## **RESUMEN**

El siguiente trabajo expone las modificaciones operativas implementadas al proceso de recuperación que se aplica al topacio imperial, en la mina de Capao de Lana; localizada en la región de Ouro Preto, estado de Minas Gerais, Brasil. Se realizará un análisis de los cambios efectuados en el proceso para lograr una optimización del mismo.

De forma general se presenta todas las características geológicas, mineralógicas, geotécnicas y ambientales que caracterizan a este yacimiento, explotado a cielo abierto.

Igualmente enfoca las labores emprendidas por la empresa, para disminuir los impactos físicos, provocados por los procesos de extracción y recuperación.

## INDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	VI
INDICE GENERAL.....	VII
INDICE DE TABLAS.....	XI
INDICE DE FIGURAS.....	XII
ABREVIATURAS.....	XIII
INTRODUCCIÓN.....	1
I. ANTECEDENTES.....	3
1.1 PREAMBULO.....	3
1.2 JUSTIFICACION.....	5
1.3 OBJETIVOS Y METODOLOGÍA.....	7
II. TOPACIO IMPERIAL.....	8
2.1 ASPECTOS GENERALES.....	8
2.2 DESCRIPCION DEL TOPACIO.....	10
2.3 TIPOS DE INCLUSIONES.....	11
2.4 GENESIS DEL TOPACIO.....	12
2.5 METODOS DE EXTRACCIÓN.....	13
2.5.1 DESMONTE MANUAL.....	13
2.5.2 DESMONTE MECANICO.....	13

2.5.3 DESMONTE HIDRÁULICO.....	13
2.6 YACIMIENTOS.....	14
2.7 EVALUACION DEL TOPACIO.....	14
2.7.1 IDENTIFICACION.....	15
2.7.2 EVALUACION.....	16
III. DESCRIPCIÓN DEL YACIMIENTO.....	19
3.1 LOCALIZACION Y ACCESO.....	19
3.2 INFRAESTRUCTURA.....	19
3.2.1 CARRETERA.....	19
3.2.2 ENERGIA ELECTRICA.....	20
3.2.3 CONSTRUCCIONES.....	21
3.2.4 AGUA.....	21
3.2.4.1 CAPTACION Y ABASTECIMIENTO.....	22
3.3 FISIOGRAFIA.....	25
3.4 CLIMA.....	25
3.5 MARCO GEOLÓGICO.....	26
3.5.1 GEOLOGIA REGIONAL.....	26
3.5.1.1 ASPECTOS GEOLÓGICOS DE LA REGION.....	26
3.5.1.2 CARACTERISTICAS DE LA ZONA MINERALIZADA.....	28
3.5.2 GEOLOGIA LOCAL.....	29
3.5.2.1 UNIDADES LITOLÓGICAS.....	29
3.5.2.2 MINERALIZACION ASOCIADA.....	33



IV. EXPLOTACIÓN Y TRATAMIENTO.....	36
4.1 CONSIDERACIONES GENERALES.....	36
4.2 CARACTERISTICAS DE LA ZONA DE EXCAVACIÓN.....	37
4.3 DESCRIPCION DEL METODO DE EXPLOTACIÓN.....	38
4.3.1 MONITOR HIDRÁULICO.....	40
4.3.2 DISTRIBUCION DEL AGUA.....	44
4.3.3 MATERIAL EMPLEADO EN LAS CANALIZACIONES.....	45
4.3.3.1 TUBERIA.....	45
4.3.3.2 BOMBAS.....	46
4.3.3.3 PIEZAS ACCESORIAS.....	48
4.3.3.4 VALVULAS Y REGISTROS.....	48
4.4 CICLO DE OPERACIÓN.....	49
4.5 MAQUINARIA.....	49
4.5.1 TRACTORES DE ORUGA.....	51
4.5.2. DRAGSCRAPERS.....	51
4.5.3 PALAS CARGADORAS.....	52
4.6 EQUIPO AUXILIAR.....	53
4.7 TRATAMIENTO.....	53
4.7.1 EQUIPO UTILIZADO.....	55
4.7.1.1 CRIBAS FIJAS: PRECONCENTRACIÓN.....	55
4.7.1.2 CRIBAS VIBRATORIAS: CONCENTRACIÓN.....	56
4.8 PRODUCCION.....	57

4.9 CONTROL DE PRODUCCIÓN.....	58
V. OPTIMIZACION.....	61
5.1 MODIFICACIONES IMPLANTADAS.....	61
5.2 ANALISIS DADOS.....	61
5.3 EVALUACION AMBIENTAL.....	63
5.3.1 ASPECTOS GENERALES.....	63
5.3.2 IMPACTOS PRODUCIDOS AL MEDIO AMBIENTE.....	64
5.3.3 MEDIDAS PROGRAMADAS PARA LA RECUPERACIÓN.....	66
5.3.4 PROGRAMA DE REVEGETACION APLICADO.....	68
VI. PERSPECTIVAS PARA ECUADOR EN EL CAMPO DE LAS GEMAS.....	70
VII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	71
ANEXOS.....	73
ANEXO A: FOTOGRAFIAS.....	74
BIBLIOGRAFÍA.....	80

## INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla I	Características mineralógicas del topacio imperial.....10
Tabla II	Muestra de topacio. Composición química.....11
Tabla III	Maquinaria minera.....40
Tabla IV	Características del monitor hidráulico.....44
Tabla V	Tubería utilizada.....46
Tabla VI	Motores eléctricos.....47
Tabla VII	Características de la draga de succión.....55
Tabla VIII	Producción Total del material tratado.....59
Tabla IX	Muestra 1.....63
Tabla X	Muestra 2.....63
Tabla XI	Producción mensual del topacio imperial.....64

## INDICE DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1 Diseño esquemático del ciclo de tratamiento del topacio imperial en la mina de Capao.....	50

## ABREVIATURAS

A	Amperes
A°	Amstrong
Ag	Plata
Au	Oro
Ba	Bario
BT	Brown terrena (definición al filón mineralizado con topacio)
Ca	Calcio
cts.	quilate
Fe	Hierro
gr.	gramo
HP	Caballos de fuerza
Kg.	Kilogramo
Km.	Kilómetro
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
m <sup>2</sup>	Metro cuadrado
m.	Metro
Mn	Manganeso
m.s.n.m.	metros sobre el nivel del mar
Ni	Níquel
PVC	Cloruro de polivinil
pulg.	Pulgada
Sr.	Estroncio
Ti	Titanio
V	Vanadio
Zr	Zirconio
V	Voltaje

## INTRODUCCION

El estado de Minas Gerais es uno de los más importantes productores de gemas del Brasil, siendo el responsable del 70% de la producción a nivel nacional. En este contexto, el Municipio de Ouro Preto se destaca por los depósitos de topacio imperial que posee; cuya calidad y valor en quilates (cts.), es considerada como una de las mejores del mundo. El término topacio “imperial” se le denomina a aquellos topacios que presentan colores que van desde el amarillo hasta el rojo y su modo de ocurrencia sólo se da en esa región del país.

La mina de Capao forma parte de un conjunto de yacimientos de topacio localizado al sudeste de la zona denominada Cuadrilátero Ferrífero, en Ouro Preto, Minas Gerais. Esta mina viene siendo explotada desde tiempos muy antiguos por habitantes de la región que extraen manualmente las gemas.

Actualmente el proceso de tratamiento del topacio imperial es totalmente mecanizado y no se utiliza reactivos químicos, por lo tanto los niveles de impacto ambiental producidos son mínimos.

La mina de Capao produce el 50% de la producción total de la región de Ouro Preto.

La compañía Topacio Imperial es la encargada de la comercialización y venta

de las gemas, a nivel nacional e internacional y casi la totalidad de la producción que genera la mina se la exporta en forma lapidada.

El topacio imperial procedente de la Mina de Capao, es considerada la más bella y misteriosa entre las variedades de esta gema preciosa; se acredita que ella reúne todos los encantos, sortilegios y poderes de seducción.

## CAPITULO I

### ANTECEDENTES

#### 1.1 PREAMBULO

Brasil es uno de los nueve países con potencial gemológico del mundo, entendiéndose como potencial gemológico una región geográfica con excepcional volumen en producción de gemas.

Se producen más de noventa variedades de gemas:

- a) variedades de berilo: **aguamarina** (considerada la gema mas típica del Brasil), **esmeralda, morganita y goethita;**
- b) **turmalinas** (verdes, azules, rosadas, incoloras e bicolors);
- c) minerales de sílice: cuarzo con rutilo, cuarzo azul (**amatista, cristal de roca, citrino, cuarzo rosado, cuarzo con rutilo, cuarzo azul, etc.**), **calcedonia (ágata, crisoprasa), y ópalos;**
- d) **espodumena**, con dos variedades muy raras, la **kuncita y la hiddenita;**
- e) **crisoberilo**, con dos variedades también la **alexandrita** y el **ojo de gato** (este muy raro);



**f) topacio imperial.**

La región de Ouro Preto, perteneciente al estado de Minas Gerais en Brasil, es conocido desde tiempos de la colonia, hace 300 años atrás , como uno de los sectores más favorables a nivel mundial en producción de gemas preciosas y semipreciosas. Esmeralda, diamante, aguamarina, turmalina, topacio, topacio imperial, amatista, que son algunas de las gemas que se obtienen en esta región.

Desde aproximadamente el año 1750, el topacio imperial es conocido y extraído en la región de Ouro Preto. En los tiempos coloniales (1760), ya existían referencias sobre actividades de minería artesanal en las proximidades de Saramenha y Rodrigo Silva, poblaciones pertenecientes al municipio de la región.

Fases de intensa actividad minera seguidas por otras de completo descanso, se repitieron por un período que se extiende por más de dos siglos. En la actualidad, los principales yacimientos de topacio imperial poseen nuevas técnicas de explotación, para una producción sistemática y económica.

En este trabajo, se estudiará con mayor énfasis los cambios adoptados recientemente en el proceso de tratamiento del topacio, que se aplica en la mina de Capao; principalmente su aporte a la optimización.

## **1.2 JUSTIFICACION**

A través de un convenio existente entre la Universidad Federal de Ouro Preto, UFOP (Ouro Preto, Brasil), la Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL (Guayaquil, Ecuador) y la Red de Minerales y Rocas Industriales (RIMIN) financiada por la Comunidad Europea, fue posible que realice una pasantía de finalización de curso de Ingeniería de Minas en Brasil por un lapso de seis meses.

La pasantía de finalización de curso, previo a la obtención del título en Ingeniero de Minas, la realicé en el período comprendido del 17 de Noviembre del 99 hasta el 20 de Mayo del 2000. El desarrollo de la misma se la hizo en la Mina de Capao, distrito de Rodrigo Silva, perteneciente al Municipio de Ouro Preto, estado de Minas Gerais.

Se trata de una mina a cielo abierto, dónde el método de explotación a emplear es el desmonte hidráulico-mecánico. Aquí, el agua es un recurso natural esencial, para poder cumplir con las operaciones básicas del proceso.

Para efectuar las labores de arranque, corte y preparación, carga y transporte del material mineralizado hacia la planta de tratamiento, se utilizarán excavadoras, tractores de oruga, dragas de succión, dragscrapers, monitores, los mismos que se encuentran ubicados en la cima de los huecos de excavación.

En la planta de tratamiento , el material procedente de los huecos de explotación será sometido a las acciones de lavado, cribado y clasificación del material. Al final del proceso, se tendrán dos tamaños  $\frac{3}{4}$ " y  $\frac{3}{16}$ " , los cuáles serán depositados en silos. Posteriormente pasarán a un lavado final, y luego sobre cinta transportadora a velocidad lenta, serán escogidos los cristales de topacio imperial mediante el cateo a mano.

En el territorio ecuatoriano no existen condiciones geológicas favorables para la formación de yacimientos relacionados a gemas preciosas, pero se conoce que es un país que tiene yacimientos de minerales metálicos de Au, y Ag., principalmente en forma de filones y vetas en yacimientos primarios, o depósitos de placer; dentro de los cuáles también es posible la formación de gemas; resulta de mucho ayuda y utilidad poder tener un conocimiento relativo, acerca del método de explotación y tratamiento empleado que dan para la recuperación del mineral gema.

### **1.3 OBJETIVOS Y METODOLOGÍA**

- Optimizar el proceso de extracción y beneficio aplicado en la mina de Capao para la recuperación de los cristales de topacio imperial.
- Conocer cuáles son las características geológicas, mineralógicas e hídricas con que dispone el área de explotación para la aplicación de éste método; así como presentar las ventajas y desventajas que tiene.
- Exponer cuáles son los parámetros que determinan la calidad de la gema, y cómo es evaluada.
- Mostrar las medidas de mitigación ambiental tomadas para la recuperación de las áreas degradadas como consecuencia de la aplicación de este método de extracción.

En la metodología de trabajo fué necesario, realizar análisis de muestras tomadas de los sitios de excavación y de preconcentración del material para evaluar la recuperación en los cristales obtenidos. La fuente bibliográfica recabada acerca del topacio imperial de la región de Ouro Preto, así como los estudios hechos a la geología de la mina de Capao, fueron aporte para el trabajo de este tema.

## CAPITULO II

### TOPACIO IMPERIAL

#### 2.1 ASPECTOS GENERALES

El topacio es un fluorosilicato de aluminio, de fórmula general  $Al_2(SiO_4)(FOH)_2$ , presenta cristales del sistema ortorrómbico de hábitos prismáticos terminados por bipirámides.

Su dureza es elevada: 8 que corresponde a la escala de Mohs, densidades de 3.4 a 3.6, brillo vítreo, con colores que varían en azul, verde, amarillo e incoloro. La variedad más valiosa en un topacio imperial, es cuando tiene un color que va de amarillo a rosa naranja, encontrado en filones caolinizados.

El topacio imperial aparece sólo en la región de Ouro Preto, en filones caolinizados o rellenados por arcilla limonítica, localizada en la unidad litológica entre las formaciones Fecho do Funil y Sabará.

Las variedades incoloro, azul, rosado, se encuentran más comúnmente asociadas al cuarzo, feldespato, mica, turmalina, casiterita, berilo y apatita.

**TABLA I**  
**CARACTERISTICAS MINERALOGICAS DEL TOPACIO**

C R I S T A L O G R A F I C A	Simetría:	Ortorrómico, clase mmm, grupo espacial Pbnm
	Hábito:	prismático con terminaciones multifacetadas, muchas veces exhibiendo 8 lados en sección transversal con estriaciones a lo largo del eje C. En la forma de agregados columnares o fibrosos recibe el nombre de picnita.
	Principales (Rx) reflexiones	2.937 A° (100); 3.195 A° (65); 3.693 A° (60)
M I M N I E C R A S	Fórmula:	Al <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> (FOH) <sub>2</sub>
	Enlace:	iónica-covalente
	Solubilidad:	débilmente atacado por H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
	Calcinación:	pasa por silimanita
L F O I G S I C C A A S	Fusibilidad:	infusible
	Tenacidad:	quebradizo
	Fractura:	irregular a concoidal (asimétrica)
	Clivaje:	pinaicodal basal perfecta
	Raya:	blanco
	Dureza relativa:	8.0 (Mohs); 304 (Brinell)
S O P T I C A S	Densidad relativa:	3.4 a 3.6
	Brillo:	vítreo, nacarado en los planos de clivaje.
	Diafanidad:	transparente a translúcido
	Colores/matices:	incoloro, azul claro a medio, verde pálido, amarillo claro a oscuro, naranja a marrón y rosa violeta a rojo.
	Plecroísmo:	amarillo (distinto) - amarillo limón, miel.
		rojo (fuerte) - rojo oscuro, amarillo y rojo lila.
		rosado (distinto) - incoloro, rosado pálido y rosa.
Espéctro de absorción:	azul (débil) - azul claro, rosado e incoloro.	
	6820 A° (topacio rosa tratado térmicamente)	
	Luminiscencia:	incoloro y azul - fluorescencia débil en O.L. (ondas largas)
luz ultravioleta	(amarillo verdoso) naranja y rosa - fluorescencia fuerte en O.L. Y O.C. (ondas cortas)	
Fuente	Betekhtin, Roubault 1963, Rosenberg 1967, Robert 1974, Mauriño 1976, Hurlbut Jr & Switzer 1979, Webster 1980, Deer et al 1982, Shumann 1985, Joffe 1990.	

La tabla I muestra las propiedades mineralógicas del topacio imperial. Por ser una gema preciosa, este mineral tiene su aplicación comercial para la elaboración de joyas y artesanías, en dónde su valor monetario es altamente cotizado.

## 2.2 DESCRIPCION DEL TOPACIO

**1-Hábito cristalino:** prisma ortorrómbico de 1ª orden {110} combinado con una bipirámide {112}. Raramente se presenta las dos formas arriba combinadas con los prismas {560}, {230}, {470} y {120}, la bipirámide {111} y, más raramente, el pinacoide basal {001}.

**2-Composición química:**  $Al_2(SiO_4)(FOH)_2$ . Seguido de los constituyentes esenciales, fueron encontrados los siguientes elementos en la pequeña muestra:

**TABLA II**  
**MUESTRA DE TOPACIO**

Color	%			ppm						
	Fe	Ca	Ti	Mn	Ba	Cr	Ni	Sr	V	Zr
Rojo	0,44	0,02	0,08	40	20	380	10	16	56	25
Amarillo	0,50	0,01	0,08	46	8	160	15	6	60	25

Fuente: Datos de muestra tomada para un ensayo en el difractor de rayos X. Tesis de Masterado de Geología , Diana Ragatky, 1998.

**3-Color:** el más frecuente es el castaño-amarillo, a color naranjada. El color castaño-amarillo (rosado) es una de las gemas de rara belleza, estando relacionado con una mayor o menor concentración de Cr.

La variedad más valiosa en un topacio imperial, es cuando tiene un color que va de amarillo a rosa-naranja, encontrado en filones caolinizados. El topacio imperial aparece sólo en la región de Ouro Preto, en filones caolinizados o rellenos por arcilla limonítica, entre las formaciones Fecho do Funil y Sabará.

Raramente presenta tonalidades lilas y violeta (rosa), o bien como topacio incoloro (blanco) y castaño verdoso (raro). Son frecuentes los cristales con distribución zonal de colores de los tipos castaño-amarillento, castaño-rosado, castaño-amarillento-violeta, castaño-rosado-violeta, incoloro-violeta y castaño amarillento-incoloro.

### **2.3 TIPOS DE INCLUSIONES**

En cuanto a las inclusiones observadas en los cristales, se destacan dos tipos, éstas son:

#### **Inclusiones cristalinas**

Dolomita, rutilo, goethita, especularita, topacio y pirofilita. Normalmente los cristales se presentan sin orientación preferencial, excepto en los carbonatos, que puede estar



dispuesto en capas, en el caso de los cristales de topacio que se desarrollaron como piroblastos en mármol dolomítico, encajante de veta. El topacio ya fue encontrado como inclusión en euclasa, en cuarzo y en la especularita.

### **Inclusiones en cavidades**

Predominan las fracturas parcialmente rellenas orientadas paralelamente al eje C, a veces subordinadas al zonamiento del cristal; habiendo mayor densidad de fracturas en un color dado que en otro, esto es si se trata de un cristal bicolor, también hay que son paralelas al clivage y son muy frecuentes los tubos de crecimiento paralelos al eje C.

## **2.4 GENESIS DEL TOPACIO**

Los estudios realizados en diferentes ocurrencias hasta el momento, en el área del Municipio de Ouro Preto, indican que las vetas de topacio están íntimamente ligadas a las rocas dolomíticas y al último evento de vulcanismo de la región.

Datos preliminares de micro termia indican temperatura de cristalización del topacio de Ouro Preto en torno a los 310°C, que, con un modo de ocurrencia en vetas, y las inclusiones fluidas abundantes, que son una constante en todo los cristales, sugieren un proceso hidrotermal. Una relación de las vetas con sus rocas encajantes indica que un evento hidrotermal que generó al topacio, está ligado a la fase final de la actividad volcánica arriba referida.

## **2.5 METODOS DE EXTRACCIÓN**

Los métodos de extracción comunmente utilizados, para la recuperación del topacio, son el desmonte manual , desmonte mecánico, y desmonte hidráulico.

### **2.5.1 DESMONTE MANUAL**

Es el arranque manual ejecutado por el hombre, mediante el uso de herramientas como la pala, pico que sirven para extraer el material, luego de lo cuál el cascajo removido es transportado por vagones hasta la criba para su lavado, y posterior cateo manual de las gemas. Este tipo de extracción es muy aplicado en los aluviones, y en los cauces de ríos que cortan las áreas mineralizadas.

### **2.5.2 DESMONTE MECÁNICO**

Es el arranque efectuado por maquinaria pesada como tractores de oruga, que cumplen el trabajo de remover la cubierta vegetal, para luego efectuar el corte del mineral. La carga y transporte del material a la planta será por medio de los dragscrapers, que es una modificación en el uso de la dragalina. Las retroexcavadoras y palas cargadoras cumplirán funciones similares.

### **2.5.3 DESMONTE HIDRÁULICO**

Es el arranque efectuado por la acción del chorro de agua a presión, proyectada por la boquilla de un monitor o lanza hidráulica. Valiéndose del método hidráulico mecanizado se pueden realizar en las explotaciones a cielo abierto los siguientes trabajos: desintegración y transporte hidráulico de las rocas y terraplenado.

## **2.6 YACIMIENTOS**

Brasil produce y exporta mas de 90 gemas diferentes. Es el único productor mundial de topacio imperial . También se destacan: aguamarina (considerada la gema más típica), esmeralda, diamante, amatista, ágata y ópalo, siendo el estado de Minas Gerais el mayor productor brasileño.

Los yacimientos de topacio imperial se hallan en el Municipio de Ouro Preto, estado de Minas Gerais, en la parte norte del estado de Bahía. Entre los depósitos más importantes se encuentran los de Saramenha, Boa Vista, Capao de Lana, Fundao, Caxambu, Trino, Bela Vista, Morro de Gabriel y Antonio Pereira.

Otro yacimiento de igual importancia pero de menor extensión es aquel que se encuentra en Pakistán en el continente asiático.

## **2.7 EVALUACION DEL TOPACIO**

Las propiedades físicas que hacen de un mineral una gema son el color, el brillo, la dispersión y la dureza. El valor de ciertos minerales pueden atribuirse solamente a una de estas propiedades, como el caso de la turquesa, por su color.

En cambio, el diamante, el rubí, el zafiro, esmeralda, y el topacio imperial combinan todas las propiedades, y los precios a que se cotizan son superiores a las demás gemas, siendo conocidos con el nombre de piedras preciosas. Además de las propiedades físicas mencionadas, las gemas deben ser relativamente escasas, aunque al mismo tiempo lo suficientemente abundantes como para que alrededor de ellas pueda crearse un mercado.

### **2.7.1 IDENTIFICACION**

La identificación se inicia con la observación de la gema (bruta o lapidada) a simple vista. De aquello se puede obtener la definición del color de la gema, siendo la intensidad de los colores un factor de valorización de la gema. El color de la raya también es factor importante en la determinación, en especial de los óxidos.

Otras propiedades físicas como el hábito del mineral, la fractura y el clivaje pueden ser observadas macroscópicamente, principalmente en la gema bruta. La densidad de la gema es obtenida a través de la inmersión de la piedra en líquidos de densidad conocida para que, por comparación, sea posible determinar su densidad.

La dureza de la gema puede ser obtenida utilizando las puntas de dureza conocida. Esta prueba puede ser hecha en la gema bruta, ya que en la gema lapidada causaría gran daño.

### **2.7.2 EVALUACION**

La evaluación de una gema en su estado natural (bruto) o lapidada, consiste en una tarea relativamente difícil, pues envuelve determinados factores que trascienden al campo de las ciencias exactas, tales como: belleza, rareza, tradición, moda, etc.; aparte de las características físicas propias del cristal como son: tamaño, color, transparencia y lapidación.

Considerando que las transacciones comerciales de gemas son efectuadas normalmente en “lotes”, se procede a la evaluación de un determinado “lote”, en función de las “cabeceras” (piedras de calidad superior) del referido. Un análisis a lupa 10X permitirá definir un talle que ofrezca mejor o mayor aprovechamiento del mineral. Calculando el peso, se recurre a la cotización del precio del mercado, dónde se estima el valor final de la gema lapidada.

Se debe enfatizar algunas peculiaridades de mercado que atañe al tamaño de la gema. Un topacio imperial rojo, con 100 cts. de peso, es raro, siendo fácilmente comercializado. En tanto que un similar en peso, pero de color castaño, ciertamente, tendrá poca aceptabilidad en el mercado, obteniendo una baja cotización del precio.

Para evaluar al topacio se tendrá en cuenta cuatro factores: tamaño, color, inclusiones y lapidación.

- 1 Tamaño** En general cuánto mayor sea la gema, mayor es su valor. En el caso de piedras inferiores a 0,01 cts., el costo de la lapidación hace que piedras similares sean más valorizadas de que aquellas entre 0,1 y 0,2 cts.

Las gemas arriba de los 15 cts. Poseen valor creciente con el aumento del peso cuando se trata de gema rara. En el caso en que la gema no sea rara, el valor decrece con el aumento de tamaño.

- 2 Color** Es el criterio más importante, el cuál es responsable de casi el 50% del valor de la gema . Esta debe ser observada en luz del día, luz fluorescente y luz incandescente, observándose también las eventuales mudanzas de color.

Los colores son descritos en términos de matiz (color dominante y cualquier otro color visible), intensidad (profundidad del color) y saturación (cantidad de matiz presente).

- 3 Transparencia** Es el segundo criterio en importancia, correspondiendo casi al 30% del valor total de la gema . Esta cualidad es definido en primer lugar macrocópicamente, en segundo lugar con lupa de 10 aumentos, para determinar la presencia de inclusiones.

Para algunas gemas, la presencia de inclusiones es aceptable, para otras no. El tamaño, la localización en la gema lapidada y la cantidad de inclusiones influyen en su precio.

Las gemas en términos de inclusiones, se dividen en tres clases, definidas por la G.I.A (Asociación Gemológica Internacional).

Gemas del tipo I, son aquellas en que las pequeñas inclusiones deprecian mucho su valor. Entonces las gemas deben ser libres de inclusiones visibles para que puedan alcanzar buenos precios. Un claro ejemplo: el topacio.

Gemas del tipo II, son aquellas en que las gemas pueden presentar pequeñas cantidades de inclusiones, sin que esto deprecie su valor. Es el caso del granate, el rubí, zafiro.

Gemas del tipo III es el caso de la esmeralda, en la cuál estas gemas siempre presentan inclusiones.

- 4 Lapidación** o corte de la gema, dentro de todos es el de menor importancia. La calidad de la lapidación influye en el precio de la gema. Para hacer una evaluación de la lapidación se debe considerar el tipo de lapidación y las proporciones geométricas de la piedra lapidada. Una lapidación mala puede depreciar su valor hasta en un 30% , y una buena lapidación en cambio puede aumentar su valor hasta un 20%

## CAPITULO III

### **DESCRIPCION DEL YACIMIENTO**

#### **3.1 LOCALIZACION Y ACCESO**

La región de la Mina de Capao comprende un área aproximada de 351 km<sup>2</sup> , se encuentra situada al sudeste del distrito de Rodrigo Silva, Municipio de Ouro Preto. La principal vía de acceso lo constituye una carretera pavimentada de primer orden designada MG-356 que une Belo Horizonte a Ouro Preto. A la altura del viaducto de Funil (Ferrovia de Azo) y la cantera de Bernil, se sigue por un camino de tierra conservado hasta Rodrigo Silva, la cuál abarca una extensión de 8 km. aproximadamente, de ahí , hasta la mina de Capao ,comprende una distancia de 5 km.

#### **3.2 INFRAESTRUCTURA**

##### **3.2.1 CARRETERA**

La carretera que une a la Mina de Capao con el distrito de Rodrigo Silva, está catalogada como una carretera de segundo orden. La compañía Topacio Imperial es la encargada del mantenimiento de la misma.



En Rodrigo Silva, la empresa tiene su oficina para la evaluación y selección de los cristales. Al final de la jornada de trabajo, el personal de la compañía entrega el material gema obtenido del día en la mina, que luego será evaluado para su posterior venta y comercialización, que se realiza en Belo Horizonte, en donde la Topacio Imperial Comercio e Industria Ltda. tiene sus oficinas principales.

### **3.2.2 ENERGIA ELECTRICA**

La red eléctrica principal se encuentra ubicada en la población de Rodrigo Silva aproximadamente a unos 5 km. de la Mina. Su distribución se realiza mediante cables y tendido de postes. Para fines de control, la CEMIG (Compañía de Energía de Minas Gerais), ha instalado una sub-estación, la cual recibe 13,8 kV de potencia.

Para el consumo de energía en la planta se emplean tres transformadores de baja tensión y conexión trifásica. Un transformador de 150 kV-A servirá para trabajar con las dos bombas que distribuyen el agua a la planta de tratamiento. El de 225 kV-A que trabajará con las bombas ubicadas en las catas (sitio en donde se catea a mano el topacio), la draga de guincho y las bombas eléctricas que se ubican en la excavación menor. Y finalmente el transformador de 115 kV-A que servirá para el alumbrado de la mina, oficinas principales, talleres de mantenimiento mecánico y de lubricación.

El mayor consumo de energía está dado por la draga de guincho, y las dos bombas de distribución de agua.

### **3.2.3 CONSTRUCCIONES**

La Mina de Capao entre su infraestructura cuenta con los siguientes locales: oficina principal , comedor, bodega de repuestos, instalaciones sanitarias, taller mecánico de soldadura y aparcamiento de máquinas; en otro bloque ubicado en un nivel inferior, está la oficina de abastecimiento de combustibles, cuarto de cocina y taller de lubricación de maquinarias

### **3.2.4 AGUA**

Por ser un método hidráulico, la cantidad de agua necesaria para las operaciones de disgregación ,transporte hidráulico, y lavado del material, dependerá de la cantidad diaria de material tratado en la planta.

Estimando los volúmenes de material que mensualmente se traten, y previniendo las temporadas de estiaje, la Mina de Capao ha dispuesto la construcción de dos reservorios de agua.

Mensualmente la mina, requiere aproximadamente de 20000 a 40000m<sup>3</sup> de agua, trabajando diariamente con un caudal de 333 m<sup>3</sup>/h a 501,24 m<sup>3</sup>/h

### **3.2.4.1 CAPTACION Y ABASTECIMIENTO**

En la distribución y abastecimiento de agua a la Mina de Capao, se ha requerido la construcción de reservorios de acumulación y diques, a través de vertedores y tuberías para su canalización.

Todas estas obras de captación están proyectadas y constituidas de forma tal que para cualquier época del año, sean aseguradas condiciones de fácil entrada del agua a la mina, considerando siempre las facilidades de operación y manutención a lo largo del tiempo.

Para lograr la captación de las aguas provenientes de los reservorios de acumulación construidos, ha sido necesario emplear:

- a) Vertedores, para la manutención del nivel o para la regularización del caudal.
- b) Organos de toma de agua con dispositivos para impedir la entrada de materiales, fluctuantes o en suspensión en el agua.
- c) Dispositivos para controlar la entrada de agua.
- d) Canales y tubería de conexión.
- e) Casa de bombas

#### **Dispositivos retenedores de materiales extraños**

Entre los materiales extraños presentes en el agua y que no deben entrar el sistema, tenemos:

1. sólidos decantables, particularmente arena,
2. materiales en suspensión, como hojas, raíces de árboles, plantas acuáticas;
3. peces, reptiles, moluscos.

Para impedir la entrada de materiales fluctuantes y en suspensión, sobre todo la presencia de peces, y reptiles se utilizan cribas y telas de diversos tipos.

Las telas son piezas con aberturas menores, confeccionados con hilos metálicos, resistentes a la corrosión. Las aberturas de las telas son suficientemente reducidas para permitir la retención de la mayor parte de los cuerpos extraños de pequeño tamaño.

### **Dispositivos para controlar la entrada de agua**

Se regula o se impide la entrada del agua al sistema, cuando se desea efectuar reparos de limpieza en tuberías y válvulas. En la mina se utilizan las compuertas.

Las compuertas son dispositivos de vedación constituidos esencialmente de una placa movediza, que se desliza en canaletes verticales. Son instalados en canales y a la entrada de la tubería de distribución del reservorio de aguas industriales.

Por ser una instalación pequeña, se construye del tipo más simple, esto es formado de tablones de madera con encajes sobrepuestos unos de otros.

### **Canales y tubería de conexión**

La mina de Capao, emplea una conexión directa por medio de tubería entre el reservorio de acumulación de mayor capacidad , ubicada en la cota 1215 m.s.n.m y el reservorio de menor capacidad, ubicada a una cota alrededor de los 1210 m.s.n.m.

La distancia que existe entre el reservorio menor, y la casa de bombas es de 400 m, dónde se realiza una canalización abierta de forma trapezoidal para el traslado del agua.

### **Reservorios de acumulación y diques**

Los reservorios de acumulación que se han construido en la mina de Capao, están destinados a ser elementos reguladores entre los caudales disponibles a pleamar y los caudales necesarios o permisibles a bajamar, con la única finalidad de poder abastecer los requerimientos diarios que exige trabajar en una mina donde se utiliza desmonte hidráulico. El reservorio mayor tiene un volumen de 180000 m<sup>3</sup>, mientras que el más pequeño es de alrededor de unos 80000m<sup>3</sup>.

El agua disponible en los cursos de agua será acumulada durante los períodos lluviosos, para que pueda haber una reserva suficiente que cubra el déficit entre la demanda y los caudales mínimos durante los períodos de estiaje.

**Diques**

Son elementos estructurales contruidos en los cursos de agua transversalmente a la dirección de escurrimiento de sus aguas; destinados a la creación de reservorios artificiales.

**Vertedores**

Los vertedores que se han construido en la mina, básicamente cumplen la función de regularizar los caudales, que son necesarios en el procesamiento diario del material. Este dispositivo permite también liberar los excesos de caudales que se acumulan en los reservorios, especialmente cuando llega la época de invierno, que es de diciembre a marzo.

**3.3 FISIOGRAFIA**

El relieve de la zona se desarrolla entre los niveles 2000 y 1160 m.s.n.m., con una topografía moderada.

**3.4 CLIMA**

Esta zona se caracteriza por poseer un clima que oscila entre continental cálido y templado húmedo, cuyas temperaturas medias varían de acuerdo a la estación en que se encuentre, sean éstas verano e invierno las cuales van desde el mes de Nov-May y Jun-Oct respectivamente.

Las precipitaciones pluviométricas alcanzan los 200 mm. en la época de verano, mientras que en invierno se reducen a 50-70 mm.

### **3.5 MARCO GEOLOGICO**

#### **3.5.1 GEOLOGIA REGIONAL**

La región de ocurrencia del Topacio Imperial está localizado en la parte central del estado de Minas Gerais, 80 Km. al sudeste de Belo Horizonte, en la parte sur y sudeste del Cuadrilátero Ferrífero, entre las localidades de Miguel Burnier y Saramenha, en el municipio de Ouro Preto.

Las ocurrencias primarias se sitúan al sureste del sinclinal Don Bosco en una falla E-W de aproximadamente 28 Km. de extensión por cerca de 6 Km. de largo; con excepción de la mina de Antonio Pereira que se presenta como una ocurrencia aislada al norte de la extremidad este de la referida falla.

##### **3.5.1.1 ASPECTOS GEOLOGICOS DE LA REGION**

Todas las ocurrencias de topacio primario de la región de Ouro Preto están relacionadas con rocas del supergrupo Minas, y están subordinadas a estructuras y litologías características y determinantes en el contexto geológico local.

Alkmim (1988) y Marshak y Alkmim (1989) caracterizaron una secuencia de eventos tectónicos que deformaron al supergrupo Minas, dónde, después de los cuatro eventos

mayores en secuencia D1-contracción, D2-contracción, DE-extensión y D4-contracción, un quinto evento D5, más reciente, del cretáceo o del inicio del terciario, reactivó algunas estructuras resultantes de los eventos anteriores, principalmente del DE, que en la región sur del Cuadrilátero Ferrífero generó fallamientos normales con dirección predominante N60°W. Relacionado con el evento D5, surgieron varios focos de vulcanismo sintectónico que dieron origen a rocas saturadas en sílice no metamorizadas.

Las rocas metamórficas del área de la región topazífera son filitas, cuarcitas y dolomitas del Grupo Piracicaba, distribuidos estratigráficamente de la siguiente manera:

- nivel I: clorita-filita, sericita-filita-hematítico, grafito-filita;
- nivel II: cuarcita-sericítico, filita-hematítico;
- nivel III: dolomita-filita, dolomita-mármol, hematita-cuarzo-dolomita-mármol;
- nivel IV: cuarcita-sericítico, filita-hematítico.

Cortando las rocas volcánicas y dolomíticas (filitas o mármoles) hay una zona brechada por un fallamiento normal donde ocurren vetas dispersas, que contienen topacio, donde la zona mineralizada se denominará BT (Brown Terrena), con dirección regional de aproximadamente N60°W, e inclinación con tendencia vertical.



El espesor de la zona mineralizada varía de pocos metros a algunas decenas. Todas las rocas metamórficas, volcánicas y vetas mineralizadas se encuentran intensamente descompuestas, preservando algunas estructuras y alguno de sus minerales primarios como: cuarzo, hematita, topacio, pirofilita, rutilo, euclásio y, más raramente, florencita y xenotima.

### **3.5.1.2 CARACTERISTICAS DE LA ZONA MINERALIZADA**

La zona mineralizada presenta vetas generalmente centimétricas y muchas veces decimétricas con topacio, sin haber sido posible todavía definir una orientación preferencial de las mismas.

En las rocas dolomíticas, la zona mineralizada está constituida por una brecha, que es el resultado de un fuerte tectonismo y, a veces, por vetas encajadas en roca volcánica, como en Saramenha.

El topacio es encontrado en masas de caolín y en productos de descomposición de carbonatos ya sea en vetas o en bultos y, muy rara vez asociado a vetas o con inclusiones de dolomita dispuestas en capas, indicando crecimiento porfiroblástico en mármol.

Las vetas y bultos con topacio tienen preferencia por dos tipos específicos de litología, que pueden ser como una ocurrencia en las rocas metamórficas con carbonato o en rocas volcánicas; son más raros en cuerpos arenosos.

En la Mina de Capao, el yacimiento presenta una extensión del orden de los 400m de longitud, de faja mineralizada, con un espesor media de 30m. La excavación de esta franja se presenta bien diferenciada, en forma circular, al nivel de la topografía original, con una profundidad de aproximadamente 60m.

### **3.5.2 GEOLOGIA LOCAL**

La mina de Capao forma parte de un conjunto de depósitos de topacio imperial que abarcan las minas de Vermelho, Boa Vista, Brocotó, Adao, Capao do Lana, Bora, Ze Leite, Trino y Vira-Saia, entre otras.

#### **3.5.2.1 UNIDADES LITOLÓGICAS**

En el área de explotación, ocurren básicamente tres litotipos, con variaciones en cada una de ellos: cuarcitas, aflorando en los sectores norte y oeste del área; esquistos y filitas, al sur y este de la región; y el horizonte mineralizado donde existe la presencia de topacio, está localizado con mayor frecuencia, entre los dos litotipos anteriormente citados.

### **Paquete de cuarcitas**

Los afloramientos de cuarcitas son continuos, localizándose en los sectores oeste y norte, predominando las cuarcitas oscuras o negras, también se incluyen los bancos conglomeráticos y las cuarcitas blancas friables.

La cuarcita oscura debe su color a la presencia de hematita. La granulometría es muy variada, que van desde los finos hasta los gruesos, con presencia de guijarros formando así los bancos conglomeráticos. También se encuentran intercalaciones cuyos espesores varían desde los milímetros a metros de filitas de color ceniza, presentando una laminación o estratificación plana paralela.

Generalmente las cuarcitas son friables, por esta razón, cuando están intercalados con filitas, forman una superficie de afloramiento, fácilmente distinguible por el color ceniza plateado. Localmente, aparecen laminaciones cruzadas de pequeño corte, cuyas dimensiones pueden variar desde metros hasta centímetros.

La laminación de las cuarcitas es debido a la alternancia de niveles de cuarzo y niveles ricos en moscovita y hematita. El cuarzo se encuentra recristalizado, sus granos de mayor tamaño tienen formas subredondeadas ; en otros casos los granos de cuarzo presentan fracturas rellenas, a veces por moscovita. La hematita se presenta en forma de cristal tabular o anhédrica.

La cuarcita oscura puede presentar una estructura maciza a bandeada. En estos casos, la hematita se encuentra dispersa, formando una matriz, o en concentraciones irregulares junto a la moscovita.

Se pudo detectar en el sitio de explotación, un afloramiento pequeño de cuarcita de color blanco, que se presenta totalmente friable, y localmente tiene un color marrón, debido probablemente, a la presencia de óxidos de Fe y Mn que rellenan las fracturas.

Otra ocurrencia muestra cuarcitas de granulometría muy fina, donde los granos de cuarzo y sericita ocurren juntos, y el bandeamiento está dado solamente por la variación de contenido de minerales opacos.

### **Metassiltito**

En el contacto de la veta mineralizada o BT (no siempre, se presenta) asociado al paquete cuarcítico, ocurren niveles de metassiltito, que no sobrepasan el metro de espesor. Estos niveles presentan una laminación o estratificación fina, con alternancia de colores ceniza oscuro y claro. Esta coloración es debido a la presencia de bandas ricas en sericita y bandas ricas en sericita y hematita; siendo la sericita de grano muy fino.

### **Material negro**

Entre el metassiltito y el BT ocurre a veces, material negro, friable, que presenta concentraciones de moscovita verdosa y cuarzo; de centímetros de espesor. Análisis mineralógicos por difracción de rayos X revelan presencia de cuarzo, mica, caolinita y esmectita y químicamente se caracteriza por presentar alta concentración de manganeso.

### **Paquete de esquistos y filitas**

En este paquete ocurren, esencialmente 2 litotipos: esquisto sericítico y filita ceniza-plateada, con predominancia del primero. El contacto entre ellos vá de transicional a brusco. Cuando es transicional, el cambio mineralógico se refleja en la variación debido a la cantidad de hematita presente; en el segundo caso la diferencia es muy evidente en el afloramiento, ya que aparecen formando lentes de color ceniza plateado a esquisto sericítico de color violeta.

### **Esquisto cericítico**

Roca de grano fino, cuyo color varía desde el ceniza cuando ésta se encuentra fresca, al color amarillo o rosado, cuando está intemperizado. A nivel regional presenta cristales diseminados de hematita. Localmente, el esquisto sericítico presenta cristales prismáticos de mineral oxidado, posiblemente por la presencia de cloritoide.

También se ha observado la presencia de otros minerales, teniendo la composición como la moscovita, hematita, cuarzo y minerales accesorios (turmalina).

### **Filita ceniza plateado**

Su apariencia varía entre la de una filita maciza de coloración ceniza a la de una filita plateada, con intercalaciones centimétricas de filita de color verdosa o blanco. En otros casos, se intercala con el horizonte mineralizado BT, o con esquisto marrón, micáceo, cuyo espesor varía de centímetros a metros.

En general la filita se halla en avanzado estado de alteración; en contacto con la cuarcita es difícil decidir si corresponde a las intercalaciones de la cuarcita, o forma parte del paquete de esquistos y filitas identificados como de la Formación Gandarela. Macroscópicamente la filita está constituida por sericita y hematita en mayor proporción, seguido de cuarzo y minerales accesorios (turmalina y rutilo).

### **3.5.2.2 MINERALIZACIÓN ASOCIADA**

En la mina de Capao, los cristales de topacio aparecen en lentes de caolinita y en el contacto de la veta mineralizada, BT. El filón mineralizado, presenta colores característicos que es el amarillo ocre, con intercalaciones menores de BT de color castaño negro, tiene un brillo sedoso debido a la presencia de moscovita y/o sericita

El BT presenta una estructura bandeada o de brecha. El bandeamiento (laminación o estratificación) es debido a la variación mineralógica y a la composición de los óxidos reflejada en el color. El aspecto es untuoso y, en agua, produce manchas superficiales de óxidos de Fe y Mn, fácilmente confundibles con óleo. Se halla totalmente alterado y friable, incluso hasta profundidades de 50-60 metros.

Las bandas oscuras del BT están constituidas por granos de cuarzo y moscovita, en una matriz de óxidos de Fe y Mn. En estos niveles, el cuarzo, está en la mayor parte en forma monocristalina, presentando formas subangulosas a subredondeadas y dimensiones de 1 cm a 0.5 mm

El bandeamiento del BT se debe a la diferente coloración de los óxidos componentes y a la variación en la cantidad de cuarzo. Los sectores más oscuros son constituidos por óxidos e hidróxidos de Mn y Fe, con escasos granos de cuarzo y las bandas claras (color ocre), contienen mica y cuarzo, llegando el cuarzo a constituir más del 60% de la roca.

Cuando el BT presenta estructura de brecha está constituida de fragmentos de cuarcita, filitas y cuarzo de vetas inmerso en una matriz constituida por óxidos de hierro y manganeso. En la mayoría de los casos, los fragmentos tienen formas redondeadas.

En el BT ocurren lentes constituidos, principalmente, por caolinita; las dimensiones de la misma varían desde centímetros a metros. En los lentes de caolinita, el cuarzo se presenta en forma de cristales incoloros, limpios, conteniendo a veces finas agujas de rutilo, seguido de moscovita, topacio y hematita especular. Se pudo observar también que el cuarzo puede presentarse en forma irregular, lechoso, depositado sobre la superficie de la hematita especular, en estructura “sándwich”.

Tanto los cristales de topacio como los de cuarzo son indeterminados, indicando crecimiento en cavidades a partir de una pared. Ambos se distribuyen aleatoriamente dentro de los lentes de caolinita, formando un ángulo cualquiera con las paredes.

Los cristales de topacio pueden alcanzar tamaños de hasta 30 cm, pero los más frecuentes son de pequeñas dimensiones, son incoloros, amarillos, violetas, rojos, anaranjados o rosados, siendo estos dos últimos los de mayor valor económico. Esa tornación del color es atribuida a la presencia de Cr en la estructura del topacio. Generalmente estos cristales presentan fracturas las mismas que están rellenas por caolinita.



## CAPITULO IV

### **EXPLOTACION Y TRATAMIENTO**

#### **4.1 CONSIDERACIONES GENERALES**

El sistema de explotación empleado en la mina de Capao trae consigo la utilización de agua. Este recurso es usado como fuente de alimentación , en las operaciones que intervienen en el proceso de recuperación del mineral.

Dos reservorios de captación de aguas fueron construidos; del cuál el más grande está fuera de la mina, conectada a través de tubería, y la que abastece de ser necesario, al reservorio más pequeño que se encuentra dentro del área de excavación. El drenaje de sus aguas es conducida por gravedad a través de un canal hasta el sitio de bombeo, a una distancia aproximada de 460 metros.

Actualmente se trabaja en dos grandes excavaciones. La mayor cuenta con unas dimensiones de 60 m de profundidad, 350 m de largo y 160 m de ancho; mientras que el menor tiene 40 m de profundidad, 200 m de largo y 60 m de ancho aproximadamente. Ambas excavaciones comprenden un área de 70 Ha. Estas dos excavaciones se encuentran separadas por una estrecha franja de tierra mineralizada, la cuál a futuro también será removida para su tratamiento.

La mina cuenta con una pista de acceso principal que une las oficinas de mantenimiento y lubricación de maquinarias a la planta de beneficio; el acceso al sitio de extracción se lo hace a través de trincheras conectadas a la pista principal. Cada excavación tiene dos trincheras de entrada que también están conectadas a la pista de acceso principal.

#### **4.2 CARACTERISTICAS DE LA ZONA DE EXCAVACION**

Para la aplicación del método mixto desmonte mecánico-hidráulico, el depósito de topacio presenta las características geotécnicas para el desarrollo del mismo, las cuales son:

Ancho de berma: 3 – 4 m.

Altura de bancos: 8 -10 m

Angulo de talud: 40°-45°

Pendiente del terreno: 5-6%

Potencia del depósito: 30 m

Largo del depósito: 300 m

Ancho del depósito: 15 m

Altura de la berma: 2 m

### **4.3 DESCRIPCION DEL METODO DE EXPLOTACION**

Para el desmonte del material estéril, constituido esencialmente de metasedimentos de limos y arcillas, la técnica aplicada es mediante el empleo de monitores hidráulicos. Es de mencionar que el desmonte del material estéril a través de su disgregación por medio de monitores, está considerada como una preparación previa, a la fase de arranque y corte del mineral útil. (Foto 2)

Después que el material de recubrimiento de la franja mineralizada BT ya ha sido removido, el arranque y corte del material lo realiza el tractor de orugas. Esta máquina a través de la hoja de empuje realiza el corte del material mineralizado en forma transversal a la extensión del filón. Cuando el mineral junto con el estéril está suelto, es empujado y trasladado hasta la rampa del dragscraper para su carga y transporte hasta la planta de tratamiento. El desempeño de los tres dragscrapers, que trabajan en las dos excavaciones, dependerá mucho de que el sitio a excavar no se encuentre inundado.

Cuando se trabaja en época de verano, comprendido entre los meses de Diciembre a Mayo, se torna muy difícil explotar el filón mineralizado. Las constantes lluvias, que caen sobre la zona, impiden que los equipos mineros trabajen en el fondo de las excavaciones.

La presencia de las dragas de succión, es importante porque permiten que el sitio a explotar se mantenga seco. Actualmente existen dos dragas trabajando respectivamente en cada hueco de excavación. Son empleados como maquinaria auxiliar en el desmonte mecánico-hidráulico que se aplica en la mina . La tabla III muestra el equipo de producción y maquinaria auxiliar empleada en las excavaciones.

**TABLA III**  
**MAQUINARIA MINERA**

<b>Máquina</b>	<b>Unidad</b>	<b>Marca/Modelo</b>	<b>Especificación</b>
Tractor de orugas	4	KOMATSU D65E-6B	
Tractor de orugas	1	FIAT AD7B	
Tractor de orugas	1	FIAT TURBO 14C	
Tractor de orugas	1	CATERPILLAR D4E	
Pala cargadora	2	MICHIGAN MX 75III	Capacidad : 2m <sup>3</sup>
Pala cargadora	1	MICHIGAN MX 45C	Capacidad : 1m <sup>3</sup>
Retroexcavadora	2	RETROCASE 580H	
Retroexcavadora	1	FIAT-ALLIS S90	
Volquete	1	MERCEDES M1519	Capacidad: 8 – 10 m <sup>3</sup>
Dragas de succión	3	WARMAN	Motor Mercedes OM 352
Draga de guincho	1		Capacidad : 1,8 m <sup>3</sup>
Dragalinas	2	BUCYRUS ERIE 22B	Capacidad : 1,0 m <sup>3</sup>
Monitor hidráulico	2		Portátil, accionamiento manual

**Fuente:** Inventario de bodega de la compañía Topacio Imperial en la Mina de Capao.

#### **4.3.1 MONITOR HIDRAULICO**

Es el desmonte hidráulico que debido al impacto del chorro de agua, a fuerte presión desintegra los terrenos o bancos. El chorro de agua mueve el cargamento total o parcial del material disgregándolo hacia locales adecuados para la deposición.

El empleo y uso de los monitores depende de la función que realicen en el sitio de aplicación. Los 2 monitores que se encuentran en el fondo de cada hueco de explotación cumplen el papel de disgregar el material arcilloso, contaminado, y dejar sólo el material mineralizado, libre; para que los tractores de oruga se encarguen de empujarlo hacia la zona de carga y transporte del dragscraper.

A la altura del nivel donde se encuentra ubicada la planta de tratamiento, se ubicarán tres monitores hidráulicos, que tendrán como función trasladar el material procedente del fondo de las dos excavaciones, en forma de pulpa, hasta la siguiente fase de preconcentración que es el lavado del material, y proseguir luego con la fase última de cribamiento que es la concentración del mineral.

La efectividad que tenga el chorro de agua en su aplicación y uso, dependerá de la presión precisa en ese momento. Uno de los parámetros que determina la presión efectiva lo constituye la velocidad del agua y el caudal. La velocidad con que el chorro salga de la boquilla es fundamental en la excavación, y la cantidad de agua adecuada será primordial en el transporte del mineral extraído. El traslado del material en forma de pulpa desde el sitio de depósito, hasta el lugar de lavado y preconcentración del material, se lo realiza a través de canaletas de acero, resistentes a la corrosión. La pendiente del terreno aporta también con el traslado del mineral.

El consumo de agua gastado por los monitores en las dos excavaciones, y en la planta, se la calcula en base a la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{\pi d^2}{4} v \alpha$$

Donde:

Q = caudal de agua, m<sup>3</sup>/s;

$\alpha$  = coeficiente de compresión del chorro de agua;

d = diámetro de la boquilla,

La velocidad v se puede calcular mediante mediante la expresión:

$$v = \varphi \sqrt{2gH}$$

v = velocidad de salida del agua. m/s

$\varphi$  = coeficiente de velocidad del chorro de agua,

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

H = presión en la boquilla del monitor (m.c.a)

$$\phi\alpha = 0.95 \text{ (valor adimensional)}$$

Se pudo apreciar que las presiones mas comunes empleadas en los monitores para las labores de desmonte son de 70-80 psi, o lo que equivale a 4,9 kgf/cm<sup>2</sup> a 5,6 kgf/cm<sup>2</sup>.

Teniendo como datos las presiones, y con ellos los valores en m.c.a; conociendo el diámetro de la boquilla del monitor que es 1" (2,54cm) aproximadamente, tenemos que los caudales van de 56 a 58 m<sup>3</sup>/h. Como se trabajan con dos, el caudal total consumido alcanzaría de 115,2 m<sup>3</sup>/h a 86,4 m<sup>3</sup>/h.

En la planta de beneficio, ubicado encima del nivel de explotación, el consumo de agua que gastan los 6 monitores para efectuar las labores de transporte hidráulico y lavado están determinados por la presión a la que trabajan normalmente.

$$\text{Presión} = 50 \text{ psi} = 3,5 \text{ kgf/cm}^2 = 35 \text{ m.}$$

$$v = 26,19 \text{ m/s}$$

$$A = 0,0005064 \text{ m}^2$$

$$Q = 43,2 \text{ m}^3/\text{h} = 0,012 \text{ m}^3/\text{s}$$

Si sumamos todos los caudales tenemos que aproximadamente la planta consume en 375 m<sup>3</sup>/h a 450 m<sup>3</sup>/h .

A continuación se detallan en la siguiente tabla, las características y parámetros de trabajo usualmente empleados en los monitores para las labores de desmonte, transporte hidráulico y lavado del mineral.

**TABLA IV**  
**CARACTERÍSTICAS DEL MONITOR**

Tipo:	Portátil, montado sobre un soporte cuadrangular.
Accionamiento:	Manual, mediante mando de sujeción.
Presión de carga (psi) :	50-100
Diámetro de salida de la boquilla (pulg.) :	1"-1 3/8"
Velocidad de salida del chorro de agua (m/s) :	26-40
Volumen del flujo (l/s) :	30-60
Angulo de giro en el plano horizontal:	360°
Angulo de giro en el plano vertical (hacia abajo):	15°
Diámetro de la tubería de alimentación (pulg):	5

Fuente: Valores sacados del Manual de Hidráulica de Pérez y Neto, Ed 1998.



#### **4.3.2 DISTRIBUCION DEL AGUA**

La distribución de los monitores se realiza a través de tuberías que se conectan a la red de suministro de agua.

La fuente de alimentación lo constituye un reservorio construido en el interior de la mina; éste a su vez es abastecido por otro reservorio de mayor capacidad mediante la conexión de una tubería subterránea.

La captación de agua del reservorio menor que servirá para el bombeo, se logra mediante una distribución abierta, a través de la cuál el agua escurrirá por gravedad. Su caudal será regulado por vertedores que se instalarán al inicio y término de la canalización; la extensión del mismo abarca unos 450 m.

Al final del canal, una tubería de 15" será instalada en el interior de él para trasladar el agua al pozo de toma de la bomba a una distancia de 36 m. Aproximadamente. En la estación de bombeo, 2 bombas de accionamiento eléctrico, mediante succión, serán las encargadas de la distribución del agua, tanto a la planta de tratamiento como a la mina.

En casos de reserva, una bomba de accionamiento a diesel también se encuentra disponible para su abastecimiento.

### 4.3.3 MATERIAL EMPLEADO EN LAS CANALIZACIONES

La distribución y abastecimiento , a la planta de tratamiento y mina; ha contado con el siguiente material de :

- Tubería
- Bombas
- Válvulas
- Piezas accesorias

#### 4.3.3.1 TUBERIA

En la siguiente tabla se van a detallar los diferentes tipos de tuberías empleadas en la Mina de Capao.

**TABLA V**  
**TUBERIA UTILIZADA**

<b>Material</b>	<b>Diámetro (pulg.)</b>	<b>Uso</b>
Acero galvanizado de enganche rápido.	2" - 5" - 8"	Instalación predial de agua fría, redes de distribución.
Aluminio galvanizado de enganche rápido.	2" - 5" - 8"	
Hierro fundido de enganche rápido.	5" - 6" - 8" - 14"	Líneas conductoras, redes de distribución, líneas de recalque
Hierro fundido de flange.	6" - 12" - 15"	
PVC	8"	Línea conductora, instalación industrial

Fuente: Técnica de abastecimiento y tratamiento del agua, de José Azebedo Netto, 1990.

### 4.3.3.2 BOMBAS

Las bombas que se utilizan para el trabajo de distribución y suministro de agua son del tipo centrífugo, de succión simple, radial, rotor cerrado y eje horizontal accionadas por motores eléctricos. Trabajan dos bombas y se encuentran instaladas en forma paralela, de tal manera que la presión manométrica no varía, y el caudal resultante que suministrará a la red será la suma de los caudales de cada bomba. La presión a la que trabajan es de 1,5 kg./cm<sup>2</sup>, recibiendo un caudal de 17 m<sup>3</sup>/s respectivamente.

En la tabla 8.4 se detallan algunas especificaciones de los motores eléctricos que accionan a las 2 bombas centrífugas

**TABLA VI**  
**MOTORES ELECTRICOS**

<b>Marca</b>	Búfalo Ind. E Com. Ltda	<b>Carc.</b>	T - 404T
<b>Tipo</b>	De inducción	<b>FS:</b>	1.0
<b>Número de fases</b>	Trifásico	<b>T:</b>	80 C
<b>Potencia máxima</b>	100 HP		
<b>Tensión (Voltaje)</b>	220-380 V		
<b>Corriente (Amperes)</b>	252-146 A		
<b>Frecuencia</b>	60 ciclos = 1770 r.p.m.		

Fuente: Catálogo de los motores eléctricos, marca Búfalo Ind. E Com. Ltda.

Solamente los motores de pequeña potencia (hasta 5 HP) pueden ser accionados por llaves simples, directamente a la línea de energía. Los motores mayores exigen de un equipamiento especial de partida para la demanda inicial.

En este caso, la partida de estos motores de inducción será hecha por medio de una llave compensadora manual. De igual forma esta llave compensadora manual trabajará bajo los mismos parámetros del motor eléctrico de inducción Trifásico.

Existen alrededor de 17 motores eléctricos que trabajan con bombas de menor potencia, de las cuáles 6 trabajan en la excavación menor, ayudando a succionar el agua pulpa, y a extraer el agua procedente de un manantial que existe en el fondo de la mina.

Para la instalación de las bombas, se ha provisto de una edificación propia, de manera que se cuente con una ventilación e iluminación adecuada, y tener el suficiente espacio para poder mover los grupos elevatorios, incluyendo el espacio para la parte eléctrica (llaves compensadoras, cuadros, etc.).

Los dos sistemas de bombeo que se encuentran en la estación, están instalados a una cota superior a la del nivel de las aguas. El pozo de succión construido es rectangular y tiene las siguientes dimensiones: 1m de ancho, 6m de largo y 1.5 m de profundidad de tal manera que facilita el acceso, asentamiento de las piezas, y evite las grandes velocidades y agitación de las aguas.

Según datos teóricos, la velocidad de agua en la entrada del tubo de succión debe ser inferior a 0.90 m/s.

#### **4.3.3.3 PIEZAS ACCESORIAS**

En la extremidad de la tubería de succión , se encuentra instalado una criba con área libre superior a dos veces la sección del tubo de succión, con la finalidad de impedir que ingresen al sistema impurezas orgánicas que dificulten el rendimiento del suministro. Las piezas de reducción de diámetro en la entrada de las bombas son del tipo excéntrico, y se las coloca para evitar las bolsas de aire en el conducto de succión.

En las canalizaciones de recalque, están instaladas válvulas de retención o válvulas de vedación, para impedir el retorno del líquido a través de las bombas. También se instalarán registros después de esas válvulas .

#### **4.3.3.4 VALVULAS Y REGISTROS**

Estos dispositivos servirán para el control del caudal del agua, o suspensión del mismo. Hay diferentes tipos de dispositivos. Entre ellos tenemos a la válvula de pié, que sirve para escorvar la bomba; registro de parada, no permite el flujo de agua; válvulas o registros unidireccionales, que suprimen el flujo en una sola dirección.

Los registros y válvulas instaladas, a lo largo de los conductos de distribución a los distintos puntos de la planta, en dónde se precisa agua, permiten un mejor control y mantenimiento de la red, pudiéndose efectuar labores de reparación sin tener que parar el proceso en la planta.

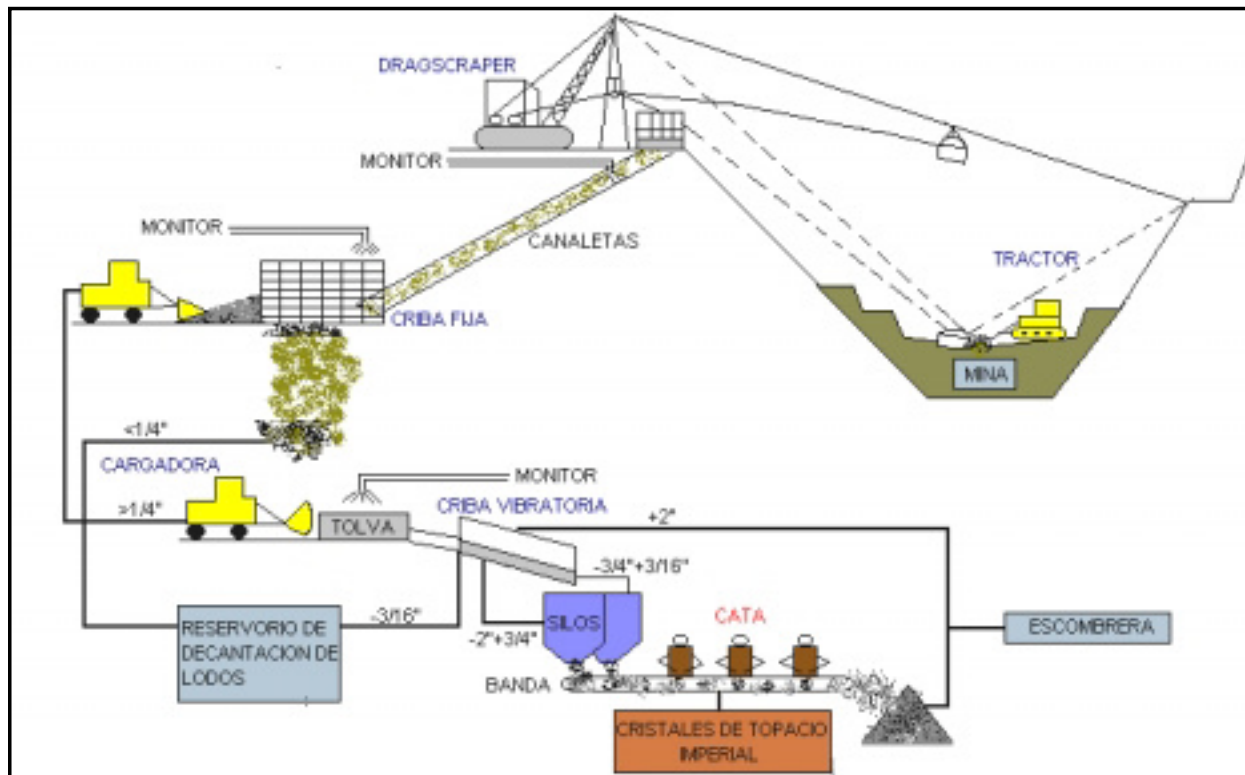
La foto 3, muestra la instalación de una estación de bombeo, para la distribución del agua a la planta de tratamiento y mina.

#### **4.4 CICLO DE OPERACION**

El ciclo de operación del topacio imperial en la mina de Capao es prácticamente mecánico. En la planta de beneficio, el tratamiento es por vía húmeda; el uso y acción del chorro de agua servirá para la disgregación, lavado y clasificación del mineral. La figura 1 muestra las fases de tratamiento aplicadas al topacio imperial.

#### **4.5 MAQUINARIA**

La maquinaria utilizada para la explotación del topacio imperial es la siguiente: 2 tractores de oruga, 3 dragas de arrastre, 1 pala cargadora de ruedas, y un volquete.



#### **4.5.1 TRACTORES DE ORUGA**

Este tipo de maquinaria va a ser empleado durante las excavaciones de la Mina. Participa en las labores de arranque y transporte del mineral, ayudándose con la hoja de empuje.

Estas máquinas también son utilizadas para realizar labores de restauración de terrenos, restablecimiento y compactación de escombreras, entre otras actividades más.

#### **4.5.2 DRAGSCRAPERS**

Este equipo lo constituyen 2 dragalinas modificadas en su aplicación y una dragalina de zancos, denominada también draga de guincho. Sus partes principales lo constituyen los cables de elevación y arrastre; una cuchara o cazo.

Su cambio está dado en que para poder proceder a la carga del material del fondo de la excavación, el cable de elevación de las dragas estará sostenida del otro lado de un cabestrante o anclaje ubicado a un nivel más bajo, con respecto a la posición de las dragas. Esto se lo hace con el fin de que la cuchara se traslade sobre el cable, mediante gravedad, hasta el sitio de carga.



Una vez en el sitio, el operador de la draga deja caer el cable con la cuchara hasta el fondo de la excavación que queda a unos 60 m. de altura. Cuando la cuchara está cargada, el cable de arrastre es tirado hacia arriba, procediendo al transporte del material, hasta la planta de tratamiento. El accionamiento de todas estas máquinas es a diesel, a excepción de la draga de guincho que precisa de un accionamiento eléctrico. La única fuerza ejercida será la de arrastre del material.

En la mina disponen de cuatro cazos o cucharas cuyas capacidades son entre 2 y 1 m<sup>3</sup>, están fabricadas de acero resistente al desgaste e impactos y el peso de una cuchara puede alcanzar los 800 Kg.

#### **4.5.3 PALAS CARGADORAS**

Efectúan las operaciones de carga y transporte, eliminando en cortas distancias el empleo de volquetes. Esta operación se realiza desde el sitio de la criba fija, hasta el sitio de concentración, en la criba vibratoria con la cata a unos 80 m. de distancia.

De igual manera realiza la misma operación hasta el lugar de apilamiento de las reservas de mineral a una distancia de 150 a 200m. y como maquinaria auxiliar efectúa la limpieza de tajos, rampas, y limpieza de pistas de transportes conjuntamente con el tractor de orugas.

#### **4.6 EQUIPO AUXILIAR**

##### **DRAGAS DE SUCCION**

Este tipo de draga tiene un conducto de succión que es colocado sobre la superficie del agua para efectuar el trabajo donde una potente bomba aspira el material mezclado con agua y lo descarga a través de una línea de conductos. Son utilizados para el dragado de materiales suaves y sueltos. En la tabla VII se puede apreciar algunas de las características principales de las dragas de succión.

##### **4.7 TRATAMIENTO**

Para lograr la recuperación de los cristales de topacio, del material que se obtiene de las dos excavaciones, se procede a una selección previa del material para su posterior etapa de clasificación.

Cuando el material es depositado por la draga de arrastre en la tolva de lavado, éste recibe agua a presión a través del monitor. Formando una pulpa; se procede a transportar el material por gravedad a través de canaletes de acero hasta la criba fija de deslamado y preclasificación, para posteriormente seguir con la etapa de clasificación del material, empleando un cribado vibratorio como método de concentración.

**TABLA VII**  
**CARACTERISTICAS DE LA DRAGA DE SUCCION**

1. ESPECIFICACIONES	
1.1 Bomba de pulpa para succión	
Marca:	WARMAN
Modelo:	6/6 EG
Tipo:	vuelta simple
Rotación:	1750 rpm
Eficiencia	55%
NPSH requerido:	2.0m
Agua de selagem:	
Caudal: 2.5 m <sup>3</sup> /h	
Presión: 1,5 Kg/cm <sup>2</sup>	
1.2 Accionamiento	
Motor 20 HP - 04 polos	
Poleas y correas en "V"	
1.3 Cantidad:01 (uma)	
2. MATERIAL A SER BOMBEADO	
1. Cascajo de un depósito mineralizado con cristales de topacio	
2. Caudal de sólidos:	38 m <sup>3</sup> /h
3. Caudal de pulpa	180 m <sup>3</sup> /h
4. Concentración de sólidos:	20% (en volumen)
5. Altura manométrica:	7.5 m
6. Granulometría máxima:	45 mm
7 .Peso específico:	1.2

Fuente: Datos de la marca WARMAN-SAVERMAN, Belo Horizonte, Brasil/88

El cribado tiene como objetivo principal la selección de partículas por tamaño. En el cribado se tiene apenas una separación según el tamaño geométrico de las partículas. Los equipos utilizados en la mina para el cribado por vía húmeda son: 2 cribas fijas horizontales destinadas para el deslamado del material y 2 cribas vibratorias inclinadas para la concentración del topacio.

#### **4.7.1 EQUIPO UTILIZADO**

##### **4.7.1.1 CRIBAS FIJAS: PRECONCENTRACION**

La utilización de las cribas fijas tiene como objetivo la separación de las partículas finas, del mineral a recuperar. Se disponen en forma ligeramente horizontal, comprenden un área de 17,5 m<sup>2</sup> con abertura de malla de ¼”, cómo se muestra en la foto 5. El material pasante menor a la abertura de malla de ¼” constituirá el estéril, que será conducido por un canal, hasta el reservorio de decantación de sólidos.

El material retenido sobre la base de la criba es sometido a la acción del monitor hidráulico a un lavado, para luego ser depositado al fondo del mismo. Luego, con ayuda de una pala cargadora, el material es trasladado hasta una tolva de lavado, y de ahí conducido hasta la criba vibratoria para su clasificación y posterior concentración.

El almacenamiento es necesario para aquellas épocas en que resulte casi imposible extraer material, principalmente en invierno, (Enero, Febrero y Marzo).

#### **4.7.1.2 CRIBAS VIBRATORIAS: CONCENTRACION**

Estas se encuentran constituidas por una estructura de base, la estructura portante, las suspensiones y el motor que incluye el mecanismo vibratorio. Cuando son cribadas partículas de tamaño grande, es necesario revestir las paredes internas de la estructura portante con placas de material resistente a la abrasión. Las dos cribas vibratorias que se encuentran en la planta trabajan con tres superficies de cribado.

Mallas de abertura pequeña generalmente son leves y poco resistentes exigiendo siempre una estructura de apoyo en la tela. Cuando se criban poblaciones que contienen tamaños variados desde grandes hasta pequeños en una malla de abertura pequeña, como en el caso de este yacimiento, es muy conveniente colocar arriba de ella una tela de alivio o protección con una tela gruesa y fuerte.

Esta tela gruesa recibe todo el impacto y esfuerzo mecánico de las partículas mayores, protegiendo y aliviando la tela de cribado. Se la ubica con la finalidad de eliminar los bloques grandes que interrumpen el proceso de cribamiento a las otras mallas.

Las cribas vibratorias inclinadas tienen un movimiento vibratorio circular o elíptico. Este movimiento hace que las partículas sean lanzadas para arriba y para el frente, de modo que puedan presentarse a la tela varias veces, siempre sobre aberturas sucesivas. Este movimiento vibratorio causa también la estratificación del conjunto de partículas sobre la tela, de modo que las partículas mayores queden arriba y las partículas menores abajo.

El material que ha sido seleccionado nuevamente es lavado en la tolva, y es sometido a un cribamiento en húmedo. Las telas o mallas que se utilizaban para la clasificación del material eran: 1 1/2", 1/4", 3/4". Actualmente las nuevas telas utilizadas para la criba vibratoria son de 2", 3/4" y 3/16" en la nueva ubicación de la cata.

#### **4.7 PRODUCCION**

Entre los meses de Noviembre del 99 y Abril del 2000, la producción de topacio, está considerada de media a baja, principalmente en los meses de Enero y Febrero, en que prácticamente la producción de topacio no superó ni los 1,5 kg de topacio lapidable, dando como media de 0,3 cts/m<sup>3</sup> de material explotado.

A excepción de los meses de Enero y Febrero, en que es el período más crítico en la producción de topacio, en el resto de los meses aproximadamente se tratan de 10.500 a 11.000 m<sup>3</sup>, de los cuáles sólo el 0.8% será útil para la recuperación de las gemas y el 99,2% restante lo constituye el material de cascajo con lama. Este cálculo se lo obtuvo mediante el análisis granulométrico realizado al material que contiene las gemas.

Una de las formas en que la producción y el rendimiento pudo incrementarse es a través del cateo manual, que se realiza en el área de mineralización. Cabe mencionar que no sólo el porcentaje en peso de los cristales de topacios imperial obtenidos al día son los que van a definir el valor económico del mineral sino que también influirá la calidad del topacio en su forma física.

El quilataje definirá la calidad de la gema, tomando como parámetros la características propias del cristal así como también otros parámetros impuestos por el hombre.

**TABLA VIII**

**PRODUCCIÓN TOTAL DEL MATERIAL TRATADO**

<b>Mes</b>	<b>m<sup>3</sup></b>	<b>Ton.</b>	<b>m<sup>3</sup>/h</b>	<b>Ton/h</b>
<b>Noviembre</b>	9492	28163	85,7	254
<b>Diciembre</b>	10100	29896	87,9	260
<b>Enero</b>	3964	11173	45,6	135
<b>Febrero</b>	4075	12102	33,4	99
<b>Marzo</b>	10395	30858	78,9	235
<b>Abril</b>	12404	36782	94,3	277

Fuente: Datos obtenidos de la empresa Topacio Imperial, 1999

#### **4.9 CONTROL DE PRODUCCION**

El conocimiento y control de los rendimientos es muy importante, pues con ellos se determina, la capacidad , efectividad, potencial productivo y rendimiento económico que genere la mina.

En la mina de Capao de Lana, actualmente trabajan 45 funcionarios, los cuáles se distribuyen en las siguientes áreas:

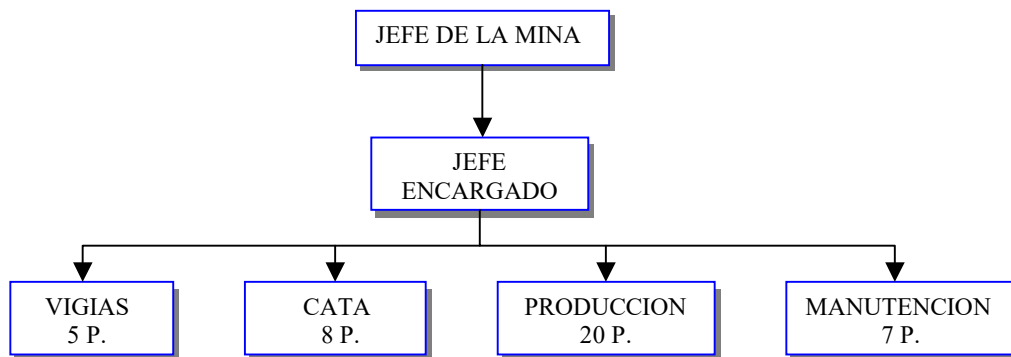


Figura 2. Diagrama de flechas donde se muestra el planeamiento de control de producción de la Mina de Capao

Los turnos de trabajo serán de 8 horas / día y el equipo de trabajo disponible en la mina, influirá en el rendimiento de la producción. Para su evaluación se han determinados los siguientes parámetros:

**Disponibilidad mecánica:** define la disponibilidad mecánica del equipo y representa el tiempo en que está mecánicamente apto para el trabajo; se define por

$$DM = (HP-HM)/HP$$

siendo:

HP = Horas programadas para el trabajo, y

HM = Horas en que aquel equipo está en manutención mecánica

**Utilización:** define la utilización del equipo y representa el porcentaje de horas mecánicamente disponibles que es realmente utilizado; su definición es



$$U = HT/(HP-HM)$$

siendo:

HT = Horas efectivamente trabajadas.

**Rendimiento:** define el porcentaje de horas programadas realmente utilizados; y por definición es:

$$R = HT/HP$$

En las tablas se muestra el rendimiento, disponibilidad mecánica y utilización que ha tenido el equipo en la producción mensual de la mina.

## **CAPITULO V**

# **OPTIMIZACION**

### **5.1 MODIFICACIONES IMPLANTADAS**

Para optimizar la recuperación del topacio imperial, en el mes de Marzo se procedió a trasladar el equipo de concentración.

La carga y transporte del material procedente de la criba fija hasta la criba vibratoria para su clasificación era por medio de bandas transportadoras. Actualmente una pala cargadora es la que ejecuta estas dos fases, con un radio de trabajo de 50 m.

El montaje e instalación de la nueva criba con la modificación en el número de malla, abarca una mayor superficie de cribamiento, la misma que tiene dos telas para clasificación del material.

### **5.2 ANALISIS DE LOS CAMBIOS DADOS**

Se realizó un análisis granulométrico para dos muestras, cuyos resultados se muestran a continuación en la siguientes tablas. La muestra 1 se la obtuvo de la excavación, previo al tratamiento del mineral. La muestra 2 es obtenida de la etapa de preconcentración del material.

**TABLA IX****MUESTRA 1**

<b>Malla</b>	<b>1"</b>	<b>3/4"</b>	<b>3/8"</b>	<b>5/16"</b>	<b>1/4"</b>	<b>- 1/4"</b>	<b>TOTAL</b>
% Retenido	0	0	0,4	0,11	0,27	99,22	100
% Re. Acum.	0	0	0,4	0,51	0,78	100	

**TABLA X****MUESTRA 2**

<b>Malla</b>	<b>1"</b>	<b>3/4"</b>	<b>3/8"</b>	<b>5/16"</b>	<b>1/4"</b>	<b>- 1/4"</b>	<b>TOTAL</b>
% Retenido	24,3	3,35	19,62	4,64	7,37	40,72	100
% Pasante	75,7	72,35	52,73	48,09	40,72	0	

En las mallas usadas anteriormente de 1 1/2", 3/4" y 1/4", la recuperación de los cristales no alcanza un porcentaje satisfactorio, que es obtener una media de 0,5 cts/m<sup>3</sup> que se propone la empresa.

Actualmente las mallas de 2", 3/4", y 3/16" son las que trabajan en la criba vibratoria, obteniéndose una mayor concentración en la recuperación de los cristales. Prueba de ello es la producción obtenida a partir del mes de marzo, fecha en la cuál entró a funcionar la nueva planta de concentración. La siguiente tabla nos muestra los resultados obtenidos.

TABLA XI

## PRODUCCION MENSUAL DEL TOPACIO IMPERIAL

Mes	Cascajo (gr.)	Lapidable (gr.)	Total (gr.)	Quilates (cts.)	m <sup>3</sup>	cts./m <sup>3</sup>
Nov.	15900	600	16500	3700	9492	0,4
Dic.	16450	550	17000	4200	10100	0,4
Ene.	15600	400	16000	400	3964	0,1
Feb.	16630	370	17000	820	4075	0,2
Mar.	17390	610	18000	5500	10400	0,5
Abr.	19355	645	20000	6450	12400	0,5

Fuente: Datos de la compañía Topacio Imperial, 1999

### 5.3 EVALUACION AMBIENTAL

#### 5.3.1 ASPECTOS GENERALES

Enmarcándose dentro de la Legislación Ambiental Brasileña, la mina de Capao desarrolla un plan de manejo ambiental destinado para la recuperación y aprovechamiento de las zonas degradadas por la acción erosiva ,como consecuencia de las labores de extracción que se desarrolla en los huecos de excavación, y en la recuperación de la gema, en la planta de beneficio.

Este plan de manejo ambiental tendrá como objetivo minimizar los impactos producidos, además, de implantar mecanismos y actividades empresariales de alcance social, en el sentido de establecer relaciones positivas y transparentes con la comunidad.

Los principales factores considerados en la planificación de la gestión ambiental y que es de aplicación obligatoria para cualquier empresa interesada en la explotación de los recursos minerales son:

- Evaluación del impacto : caracterización ambiental anterior a la implantación del emprendimiento, por medio de (EIA), Evaluación de Impacto Ambiental.
- Monitoreo: acompañamiento de todos los parámetros de calidad ambiental, envolviendo , el agua, el suelo y la biota; este instrumento es esencial para alertar sobre variaciones significativas en los indicadores de calidad ambiental.
- Análisis y gestión de riesgos: en el día a día de las operaciones mineras son depositados residuos sólidos en presas y operaciones de alta complejidad y potencial de riesgos en las minas; los riesgos deben ser identificados previamente, cuando quedan determinados las responsabilidades en términos de siniestros y organizados los equipos de emergencia.

### **5.3.2 IMPACTOS PRODUCIDOS AL MEDIO AMBIENTE**

#### **ATMOSFERA**

- Contaminación fundamentalmente por gases y polvo, derivados del tráfico y funcionamiento de maquinaria (tractores de oruga, dragas de succión, draga de guincho, dragas de arrastre). Efecto temporal asociado con el período funcional de las operaciones, y para época de verano.

#### **AGUAS SUPERFICIALES Y MANANTIALES**

- Modificación permanente de los drenajes superficiales , severa en la construcción de escombreras y moderada en el de la implantación de caminos viales e infraestructura.

## FLORA Y FAUNA

- Eliminación o alteración de hábitat vegetales para la fauna por la ocupación del área.
- Cambios en las pautas de comportamiento de la fauna por perturbaciones provocadas por los sonidos emitidos de las maquinarias que se utilizan en la mina y planta de concentración.
- Dificultad para la regeneración de la cubierta vegetal, principalmente en las áreas de depositación de estériles, presa de residuos sólidos y en la presa de aguas industriales.

## PROCESOS GEOFISICOS

- Aumento del riesgo de desprendimientos, deslizamientos o hundimiento de tierras, motivados por la creación y depositación de estériles, por la creación de una presa de residuos sólidos, de una presa de aguas industriales, por la excavación de los huecos de explotación y por la acción principal de las aguas lluvias.
- Aumento de la carga de sedimentación aguas abajo, producido por la adición de material sólido, derivado de la creación de escombreras, de pistas y vías de acceso.
- Aumento de la erosión, debido a las operaciones necesarias durante el proceso so de explotación, así como también la acción derivada de las aguas lluvias y la escorrentía superficial.

## MORFOLOGIA Y PAISAJE

- Las perturbaciones al paisaje son de carácter global, es grave en el caso de la acumulación de estériles, y es severa en los huecos donde se realiza la explotación y en la construcción de vías de acceso e infraestructura.

### **5.3.3 MEDIDAS PROGRAMADAS PARA LA RECUPERACIÓN**

#### ATMOSFERA

- Riego periódico a las vías de acceso y pistas para evitar la emisión de polvo.
- Revegetación en aquellos terrenos descubiertos, los mismos que van a estar propensos a la acción del viento.

#### AGUAS SUPERFICIALES Y MANANTIALES

- Realizar un control y limpieza de los sistemas de drenaje: generales para la recolección de las aguas externas a la zona y particulares para cada talud importante y escombreras.
- Disminuir las pendientes de los taludes de vertedores y canales para disminuir la velocidad y favorecer la implantación de la cubierta vegetal disminuyendo la erosión.
- Construcción de obras auxiliares de canalización para la protección de canales, escombreras, taludes de seguridad y para el mantenimiento de las presas de aguas industriales y de residuos sólidos.

- Recogida y canalización de las aguas contaminadas procedentes de la mina y de la planta de tratamiento a la presa de residuos sólidos.
- Establecer un sistema de análisis periódico que detecten las anomalías en la calidad de las aguas.
- Recolección de los aceites usados tras el mantenimiento de la maquinaria, si éste se realiza en la zona de explotación, para no contaminar las aguas del canal de distribución.
- Revegetación de las áreas restituidas y reducción de la superficie afectada por las labores mineras, ambas acciones servirán para reducir la erosión.

#### SUELO

- Revegetación de las zonas más propensas a la erosión, y así disminuir los desprendimientos y deslizamientos.
- Preparación del suelo a ser revegetado con especies nativas del área de aquellos ecosistemas afectados.
- Diseño de un modelado en la recuperación que permita la utilización productiva y ecológica del terreno una vez explotado, a través de mudas que serán implantadas.

#### RIESGOS GEOFISICOS

- Implantación y mantenimiento de los sistemas de drenaje generales y particulares.
- Revegetación rápida tras los movimientos finales de tierra en cada zona.



- Disminuir las pendientes y longitudes de declive en taludes de pistas y escombreras, situándose en los límites inferiores que permitan una adecuada explotación.

#### MORFOLOGIA Y PAISAJE

- Remodelar la topografía alterada de modo que se ajuste lo más posible a la forma natural.
- Plantación de árboles y arbustos que actúen como pantallas visuales.
- Plantaciones de tipo ornamental, y frutales, no necesariamente nativas, dirigidas a mejorar la apariencia general de las instalaciones en la mina.
- Revegetación general con las especies nativas de la zona, además disponer de un esquema de plantación adecuado para que la zona afectada por la explotación se adapte al paisaje circundante.
- Medidas protectoras de la vegetación existente: cerrar los árboles grandes que ya existan, cuidar que no se corten las raíces principales, fertilizar y regar.

#### **5.3.3 PROGRAMA DE REVEGETACION APLICADO**

Dentro del programa de revegetación para aquellas áreas mas propensas a sufrir los efectos erosivos, se tuvo previsto ejecutar acciones a corto plazo en tres áreas específicas: zona de explotación, reservorio de aguas industriales, y de residuos sólidos, siendo el objetivo de éstas actividades obtener en un tiempo corto, la implantación de las especies nativas propias de la región.

La mata natural degradada deberá ser nuevamente vegetación natural con el plantío de especies nativas y colocación de serapilheira en la superficie del suelo. De este tipo de especie nacerá una gran diversidad de especies nativas herbáceos hasta arbustivas y arboráceas, conforme la composición del suelo en cada región.

La implantación de especies arboráceas nativas y las plantas nacidas de la seraphileira pueden no dar el impacto visual rápido que las especies exóticas dan. Debido a ello es necesario la creación de un vivero, para el cultivo y siembra de las plantas a sembrar en la región.

## CAPITULO VI

# **PERSPECTIVAS PARA ECUADOR EN EL CAMPO DE** **LAS GEMAS**

Ecuador no posee yacimientos de este tipo, su ausencia es notoria en especial para la búsqueda de gemas preciosas. Sin embargo la posibilidad de búsqueda de otros minerales semipreciosos en la región es muy grande. Principalmente si se habla que el Ecuador posee yacimientos auríferos de origen hidrotermal, en la cuál el oro puede estar asociado a otros minerales como el cuarzo, pirita, hematita, casiterita, calcopirita.

En el distrito minero aurífero de Portovelo, ubicado en la región sur del país, se ha detectado la presencia de ópalo, que está catalogada como una variedad de gema semipreciosa. Las variedades del cuarzo son las piedras semipreciosas que comúnmente pueden encontrarse en los yacimientos poli metálicos auríferos de la región; entre ellos tenemos al cuarzo o cristal de roca, la amatista, cuarzo rosado, cuarzo ahumado, citrino, cuarzo lechoso, ojo de gato, entre otras más.

Son aprovechadas principalmente para el área de la joyería, y artesanía manual en la confección de aretes, anillos, pulseras, collares muy bien elaboradas. Su aprovechamiento económico puede incrementarse, con la explotación técnica de yacimientos con reservas suficientes para la obtención de la materia prima.

## CAPITULO VII

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Cuando se habla de la explotación de yacimientos de gemas preciosas como el diamante, esmeralda y topacio, no existe hasta el momento, un método de extracción patrón a seguir.

En relación al proceso de extracción aplicado en la mina de Capao, para el tratamiento del topacio, se puede señalar lo siguiente:

- No existe un control específico con respecto a la cantidad de agua, que se utiliza para las operaciones de desmonte del estéril en las dos excavaciones. Las estimaciones dadas fueron determinadas teóricamente.
- Para lograr un mayor aprovechamiento en la temporada de invierno dónde la producción disminuye, resulta mas ventajoso realizar un desmonte manual en las excavaciones, disminuyendo el fracturamiento del cristal, aumentando así considerablemente el quilataje y costo.
- Los resultados sobre producción de esta- gema son estimaciones aproximadas del valor real, ya que no hay un control específico en las minas del sector sobre la

producción neta de las gemas en bruto, debido que hasta el momento, existe un porcentaje considerable de personas que se dedican a la explotación manual.

- El control de la turbidez del agua es controlada cada mes para su evaluación, y posterior análisis al laboratorio.
- Existe un mayor control en el área de mantenimiento del equipo minero, en lo que respecta al control de los contaminantes líquidos que puedan ir al agua.
- La presencia de manantiales de origen subterráneo, en las excavaciones, obliga a pensar en el aprovechamiento de su fuente que serviría para la alimentación en las operaciones de lavado y clasificación del mineral útil. Su aprovechamiento será viable con ayuda de bombas eléctricas, y pozos de descarga.

**ANEXO A**  
**FOTOGRAFIAS**



FOTOGRAFIA A1 RESERVORIO DE CAPTACION "CAPAO"



FOTOGRAFIA A2 EXPLOTACION HIDRAULICA



FOTOGRAFIA A3 ESTACION DE BOMBEO DE LA MINA "CAPAO"



FOTOGRAFIA A4 DESLAMADO DEL MATERIAL MINERALIZADO





FOTOGRAFIA A5 PRECONCENTRACION (CRIBA FIJA, MALLA ¼")



FOTOGRAFIA A6 CONCENTRACION (MALLA ¾" Y MALLA 3/16")



FOTOGRAFIA A7 RESERVORIO DE RESIDUOS SÓLIDOS



FOTOGRAFIA A8 VISTA PANORAMICA DE LA MINA DE CAPAO



FOTOGRAFIA A9 MUESTRA DE UN CRISTAL DE TOPACIO

## **BIBLIOGRAFIA**

- GEMS & GEMOLOGY, Volúmen XXXII N°4, Winter 1996. Feature Articles

- TESIS: Geología de la Mina de Capao: una contribución al conocimiento de génesis del topacio en la región de Ouro Preto, Minas Geras, por Ragatky Diana. Masterado en Ciencias, Universidad Federal de Río de Janeiro-Brasil.
  
- Artículo: El topacio de Ouro Preto, región de Minas Gerais; por Cesar Mendoza, profesor de Gemología de la UFOP.
  
- Teoría y Práctica del Tratamiento de Minerales /Trituración, Cribamiento y Molienda, Vol 3 de Arthur Pinto Chaves y Peres, Antonio Eduardo Clark; 1ra. Edición, São Paulo: Signus Editora, 1999
  
- Técnica de Abastecimiento y Tratamiento del Agua/ Abastecimiento del Agua, Vol. 1 de José María de Azevedo Netto; - 2da edición- São Paulo: CETESB/ASCETESB, Compañía de Tecnología de Saneamiento Ambiental/ Asociación de los Funcionarios de la CETESB
  
- Manual de Recuperación de áreas degradadas por la minería: técnicas de revegetación/IBAMA, Instituto Brasileño del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, Brasilia: IBAMA, 1990 96 p.

- Economía Mineral del Brasil/ Coordinación : Federico López Meira Barbosa y Alfredo C. Gurmendi; Brasilia: DNPM, 1995; Departamento Nacional de Producción Mineral 280 p.
  
- Manual de Restauración de Terrenos y Evaluación de Impactos Ambientales en Minería/ Instituto Tecnológico Geominero de España ; 2da Edición, 1990.