



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERIA

**“EVALUACIÓN DEL YACIMIENTO DE YESO DEL
CERRO JOLALPAN, PUEBLA, PARA SU UTILIZACIÓN
EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN”**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO DE
MINAS Y METALURGISTA
PRESENTA:**

CARLA HERNÁNDEZ FLORES

ASESOR: ING.MAURICIO MAZARI HIRIERT



MEXICO, D.F. 2007

DEDICATORIA

Todo mi agradecimiento al creador por concederme talento

y entendimiento a mi ser, a mi madre

Taurina Flores Fores su amor y apoyo.

A María de Jesús Delval por su apoyo

A mi familia, amigos y maestros por su motivación,

comprensión y contribución en mi formación

profesional.

ÍNDICE

RESUMEN

CAPÍTULO I. GENERALIDADES.

- I.1 Introducción.
- I.2 Objetivos.
- I.3 Localización y vías de acceso.
- I.4 Clima y vegetación.
- I.5 Población y servicios.

CAPÍTULO II. DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA.

- II.1 Geología.
- II.2 Litología.
- II.3 Geología Estructural.
- II.4 Geología Económica.
- II.5 Reservas de mineral.
 - II.5.1 Exploración geológica preliminar.
 - II.5.2 Muestreo y ensayos.
 - II.5.3 Cálculo de reservas.
 - II.5.4 Clasificación de reservas.
 - II.5.5 Características del yeso.

CAPÍTULO III. EXPLOTACIÓN MINERA.

- III.1 Producción.
- III.2 Selección del método de minado.
 - III.2.1 Diseño de bancos.
- III.3 Tumbes del mineral.
 - III.3.1 Plantilla de barrenación.
 - III.3.2 Voladura.
- III.4 Selección del equipo.
 - III.4.1 Equipo de barrenación.
 - III.4.2 Equipo de carga y acarreo.

CAPÍTULO IV. SISTEMA DE BENEFICIO.

- IV.1 Descripción del proceso.
 - IV.1.1 Preparación del mineral.
 - IV.1.2 Pulverización- calcinación.
 - IV.1.3 Ensacado.
- IV.2 Alternativas para el producto terminado.
- IV.3 Infraestructura.
- IV.4 Organigrama.

CAPÍTULO V. EVALUACIÓN FINANCIERA.

- V.1 Distribución del capital de inversión.
- V.2 Análisis del crédito.
- V.3 Gastos administrativos y costos de producción.
- V.4 Estimación de la producción y análisis de los ingresos anuales.
- V.5 Depreciación.
- V.6 Análisis financiero.
- V.7 Análisis de sensibilidad
- V.8 Estado de resultados.

CAPÍTULO VI. ASPECTOS SOCIO-ECONÓMICOS.

VI.1 Panorama Internacional de la Minería.

VI.1.1. La minería Mexicana en el año 2002.

VI.1.2. Comportamiento de los minerales no metálicos en el año 2002.

VI.1.3. Comportamiento del yeso en el año 2002.

VI.1.4. Balanza Comercial minero-metalúrgico 2002.

VI.2 Estudio socioeconómico de Jolalpan, Puebla.

CAPÍTULO VII. Conclusiones y Recomendaciones.

VII.1 Conclusiones.

VII.2 Recomendaciones.

BIBLIOGRAFÍA.

RESUMEN

A continuación se presenta un proyecto ambicioso para la explotación de un yacimiento de yeso, localizado al suroeste del estado de Puebla, es un proyecto que tiene sus inicios en el interés de un grupo de ejidatarios por obtener algunos recursos de las tierras en donde habitan; partiendo del cálculo de reservas y el alcance positivo al que nos lleva el resultado, se hace un planteamiento de las condiciones geológicas del yacimiento que nos encaminan a utilizar un método de minado a cielo abierto para su explotación. También se realizaron cálculos para determinar la producción ideal con base en las reservas obtenidas, sin embargo, se hace un ajuste en dicha producción ideal considerando los recursos con los que se cuentan para el inicio de actividades. El equipo que se propone para llevar a cabo la explotación es diseñado utilizando el criterio anterior.

Se propone la infraestructura necesaria y que deberá ser construida para el funcionamiento tanto de la mina como de la planta, caminos, construcción de la nave que albergará la planta, oficinas, y talleres de mantenimiento, tubería para conducción de agua, soportes y cableado para conducción de energía eléctrica, cimentaciones para equipos, etc. Se diseña y calcula el método y equipo para beneficiar el mineral, el método consiste en realizar una calcinación haciendo en general un arreglo sencillo y utilizando equipos cuyo diseño y propuesta para construcción es por parte de la empresa Svedala Industries Inc. representación en México.

La viabilidad del proyecto es otro aspecto importante que se analiza dentro de la evaluación financiera, porque si los fondos disponibles para cubrir las erogaciones requeridas simplemente no se puede emprender la inversión. Por este motivo la viabilidad precede al análisis de la evaluación financiera, es decir, primero se establece si la inversión se puede hacer y luego si se debe hacer.

CAPITULO I. GENERALIDADES

I.1 Introducción.

México se ha caracterizado, por ser un país productor de minerales metálicos, teniendo una minería tradicionalista apoyada en la producción de polimetálicos Zn, Pb, Cu, Ag, etc. Ocupando incluso un lugar importante a nivel mundial en la producción de algunos de ellos; sin embargo, la caída en el precio de estos metales y la sustitución de muchos de ellos por otros materiales en la industria, ha significado una gran baja en los niveles de producción mundial, viéndose nuestro país gravemente afectado, debido a que como ya se mencionó, durante mucho tiempo fueron la base de la minería en México.

En la actualidad la creciente necesidad que tiene el país de acelerar su desarrollo económico, ha llevado a un aprovechamiento mayor de los minerales no metálicos, por lo que cabe mencionar un notable incremento en la explotación de algunos de ellos como la barita, la florita, los agregados pétreos, entre otros y como consecuencia juegan un papel importante en la producción minera nacional.

A continuación se presenta un proyecto para la explotación de un yacimiento de yeso en el estado de Puebla, se incluye un cálculo de reservas, se selecciona el método de explotación más adecuado, propone el método de beneficio que nos permita la calidad del yeso comercial, así como el análisis financiero del mismo. Para el diseño de los equipos, la infraestructura, y todos aquellos factores que hacen factible la explotación y el beneficio del mineral, se tomaron en cuenta los aspectos técnicos, sin embargo, se debe mencionar que se trata de un proyecto totalmente nuevo limitado esencialmente por los recursos financieros disponibles para la inversión inicial, es por eso que el aspecto financiero es también un criterio importante que se toma en cuenta.

I.2 Objetivos.

- a) selección del método de minado más adecuado, considerando los aspectos geológicos, técnicos y financieros.
- b) Diseñar un método de beneficio que nos permita obtener el yeso grado comercial, con mejores resultados que los métodos convencionales, mejorando la tecnología y los costos de producción.
- c) Considerar la infraestructura necesaria, a partir de la ya existente, aprovechando así al máximo los recursos.
- d) Analizar la viabilidad y rentabilidad del proyecto.

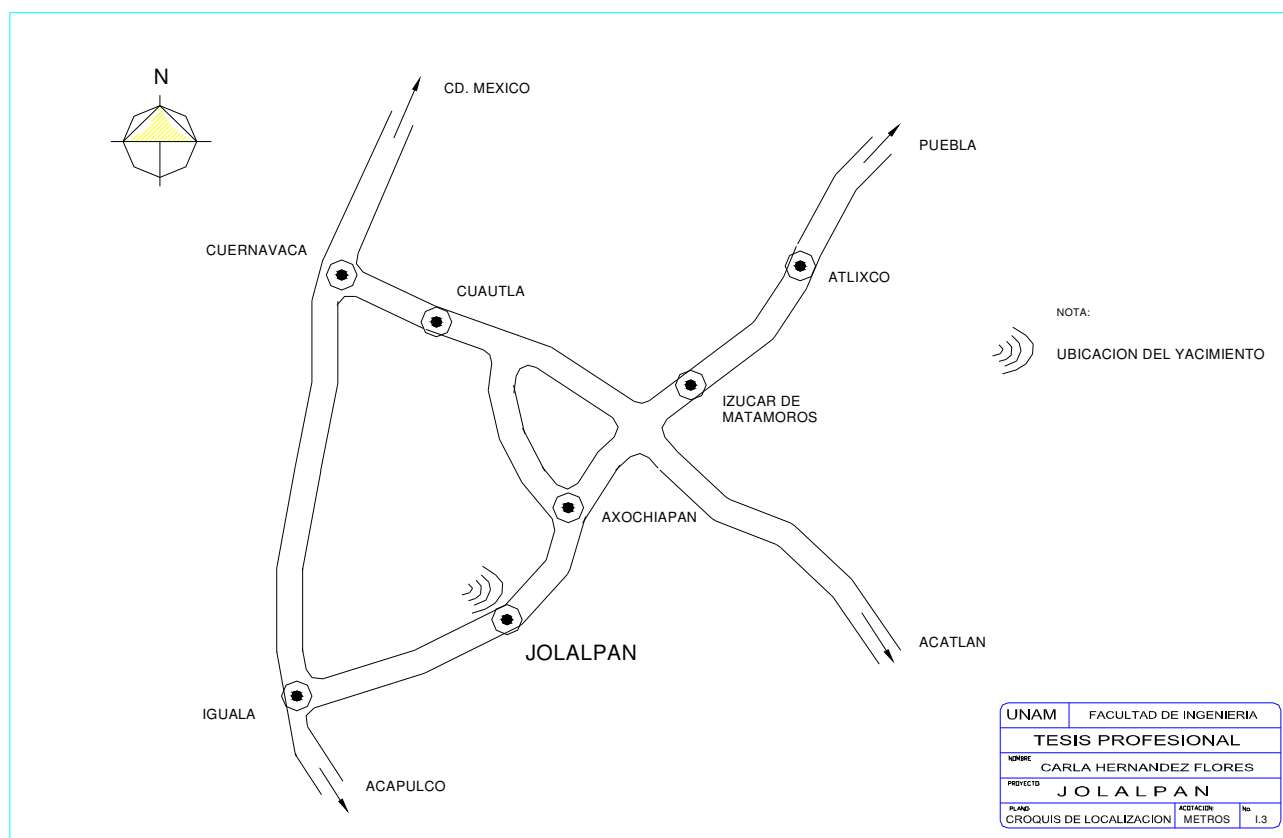
e) Analizar la oferta y la demanda nacional e internacional, para dar expectativas al proyecto.

I.3 localización y vías de acceso.

El yacimiento se localiza en la porción suroeste del estado de Puebla, colindando con el estado de Morelos. Políticamente pertenece al municipio de Axochiapan. Geográficamente se localiza en la intersección del paralelo 18°17' de latitud Norte y del meridiano 98°46' de longitud Oeste de Greenwich. A una elevación de 2,100 m sobre el nivel del mar.

Jolalpan cuenta con buena comunicación terrestre, a través de carretera pavimentada y transitable durante todo el año a 136 kilómetros de la ciudad de Puebla.

El acceso por tierra, tomando como punto de partida la ciudad de México, puede hacerse por la autopista México-Cuernavaca, hasta la desviación a la ciudad de Cuautla; sobre la carretera Cuautla - Izúcar de Matamoros, Jolalpan dista de Cuautla 50 km. Otra alternativa es por la carretera Izúcar de Matamoros- Atelcingo- Axochiapan. Jolalpan dista 32 kilómetros del poblado de Axochiapan por esta carretera (figura 1.3), siendo este el poblado más cercana a Jolalpan, lugar donde se encuentra el yacimiento, cuenta con estación de ferrocarril (Cuautla - Puebla, kilómetro 52).



I.4 Clima y vegetación.

El clima es de tipo templado semi-seco durante la mayor parte del año, variando a semi-frío sub-húmedo en el invierno. La temporada de lluvia se presenta durante el verano, con ocasionales precipitaciones durante el resto del año. La temperatura promedio anual es de 25° C, y la precipitación pluvial media anual es de 930 mm.

La vegetación es de tipo subtropical, constituida principalmente por matorrales de altura baja, monte mohíno y plantas que pertenecen a la familia de las cactáceas.

I.5 Población y servicios.

La superficie territorial de la cabecera Municipal de Jolalpan es de 62,946 hectáreas, de las cuales 3,217 hectáreas comprenden el territorio del pueblo de Jolalpan, poblado al que pertenece el yacimiento mineral en cuestión y que tiene 4,500 habitantes. La construcción de la mayoría de las viviendas es de adobe con techos de palma, tejamanil o madera. El pueblo de Jolalpan cuenta con una escuela a nivel pre-escolar, una a nivel primaria y una de nivel secundaria.

En el sector salud los servicios de IMSS, ISSSTE, ISSSTEP, se prestan en el poblado de Axochiapan, así como los servicios de comunicación (telégrafo, correos, telex, etc). El pueblo de Jolalpan cuenta con una agencia de red telefónica.

El agua es escasa en la mayor parte del área, pero el Río Nexapa que se encuentra en las cercanías conserva un gran caudal permanente durante todo el año. El abastecimiento de agua es en su mayoría por medio de pozos profundos, cárcamos y manantiales.

En el Municipio existe una subestación de energía eléctrica de transmisión y una subestación de distribución con capacidad de dos megawatts, que pasa por las inmediaciones del yacimiento en cuestión.

La principal actividad económica es la agricultura. Las plantas yeseras de Axochiapan generan fuentes de empleo para los pobladores de la región y resulta la única alternativa importante.

CAPITULO II. DESCRIPCION GEOLÓGICA.

II.1 Geología.

En la región central de Oaxaca y las áreas adyacentes del sur de Puebla y oriente de Guerrero, aflora una importante secuencia mesozoica sedimentaria que atestigua el desarrollo de una cuenca a partir del Jurásico Inferior.

La región de Puebla, Oaxaca, Guerrero y Morelos, subyacida por los complejos Acatlán y Oaxaqueño, presenta afloramientos extensos de unidades sedimentarias del Mesozoico que se encuentran dispuestas en pliegues de orientación nor-noreste. Debajo de estas secuencias mesozoicas se han reportado, en afloramientos aislados, algunas unidades sedimentarias paleozoicas descansando en discordancia sobre el basamento metamórfico. Sobre el complejo Acatlán, Corona (1981)¹ y Flores y Buitrón (1982), descubrieron en el área de Olinalá una secuencia de rocas calcáreas con fósiles del Pensilvánico y Pérmico. También han sido reportados sobre este complejo, descubrimientos de rocas sedimentarias del Paleozoico Superior en Mixtepec, Oax. (Flores y Buitrón, 1984) y en Tuxtepeque, Pue. (Enciso de la Vega, 1984). La formación Matzitzi, con plantas fósiles del Pensilvánico (De Cserna, 1970) se encuentra aparentemente cubriendo, tanto el Complejo Acatlán, como el Complejo Oaxaqueño, y sus principales afloramientos se encuentran al sur-oeste de Tehuacan.

El grupo antes descrito está formado por sedimentos dendríticos y carbonatados, tanto continentales como marinos, con presencia de plantas fósiles y amonitas, lo cual atestigua varias invasiones y regresiones marinas. Durante el Jurásico Superior en algunas zonas de la cuenca se depositaron sedimentos francamente marinos como la caliza en el área de Mixtepec-Tlaxiaco y las Formaciones Chimeco y Mapache del sur de Puebla, formadas por calizas, calizas arcillosas y lutitas calcáreas (Pérez, et. al., 1965). La caliza Teposcolula, considerada originalmente como del Jurásico por Salas (1949) y posteriormente por Erben (1956), ha sido recientemente asignada al Albiano Cenomaniano (Ferrusquía, 1970) tomando como base su contenido faunístico; por otro lado la caliza con cidaris ha sido confirmada como perteneciente al Jurásico Superior por su contenido de equinoides del Oxfordiano, Calloviano y Kimeridgiano (Buitrón, 1970) Hay que hacer notar que estas unidades jurásicas se encuentran en la región del Complejo Acatlán y no ha sido reportada la presencia de rocas semejantes sobre el Complejo Oaxaqueño.

¹ Geología de la República Mexicana, Moran Dante.

El Cretácico Inferior también atestigua sedimentación marina; sin embargo, en algunas localidades el Neocomiano y el Aptiano están ausentes. En el área de Tehuacan aflora una secuencia de clásticos calcáreos con bancos de caliza que constituyen la Formación Zapotitlán; sobre esta unidad descansan 1,300 m de clásticos calcáreos, finos y gruesos, de la Formación San Juan Raya, del Aptiano. Las formaciones del Neocomiano y Aptiano, del área de Oaxaca central y sur de Puebla, han sido incluidas dentro del llamado Grupo Puebla. Sin embargo, en varias localidades este grupo está ausente y las calizas del Albiano descansan en discordancia sobre la secuencia jurásica. Bazán (1981) menciona que con los pozos Yacuda No 1 y Teposcolula No 1 se atravesó una secuencia de más de 2,500 m de evaporitas del Jurásico Superior y Cretácico Inferior.

Para el Oligoceno se desarrolló en varias localidades del estado de Oaxaca un periodo de actividad volcánica que originó inicialmente la emisión de tobas silíceas e intermedias, y, posteriormente, derrames lávicos de roca andesítica. La actividad volcánica culminó con algunos derrames basálticos del Terciario Superior.

II.2 Litología.

La litología de la región está representada básicamente por rocas sedimentarias calcáreas cretácicas y evaporíticas, las cuales están cubiertas parcialmente por sedimentos continentales del grupo Balsas y Rocas Volcánicas terciarias e intrusionadas por el tronco granítico de Jolalpan. Las rocas sedimentarias del Cretácico Inferior están constituidas por la Formación Acahuizotla, serie de Calizas y Limonitas calcáreas que subyacen, en concordancia a la Formación Morelos del Cretácico Medio. La zona de estudio se compone de lutitas, areniscas y calizas arcillosas Inter-estratificadas, de estratificación fina (1-5 mm) y con superficie de estratificación angulada, se encuentran subyaciendo concordantemente a las calizas y yeso de la Formación Morelos.

Las rocas sedimentarias del Cretácico Medio están constituidas por la Formación Morelos de acuerdo a su litología dividida en dos miembros que son:

- a) Miembro Evaporítico; constituido por depósitos yesíferos que varían de color, desde blancos hasta grisáceos, estratificados en capas de 50 cm a 1 m de espesor y alto plegamiento. Este miembro se encuentra aflorando en la porción central de la zona inmediata al norte y oeste del poblado de Jolalpan y está intrusionado por el tronco granítico del mismo nombre.
- b) Miembro Calcáreo; está constituido por calizas de color gris, de estratificación muy pobre a masiva, se le ha asignado una edad de Albiano-Cenomaniano.

Sistema Terciario (Grupo Balsas), se encuentra descansando sobre la sección cretácica en discordancia erosional bien marcada; se tiene una sección de rocas clásticas continentales que forman la base del sistema terciario y está constituido por un conglomerado con fragmentos calcáreos medianamente consolidados en capas de espesores variables. Esta unidad se encuentra aflorando en la porción central y suroeste de la zona estudiada, y se le estima un espesor de más 100 m, a esta unidad se le asigna una edad del Eoceno-Oligoceno.

Formación Cuayuca: depósitos evaporíticos constituidos por yeso de color blanco a crema, en bancos gruesos de 20 a 30 metros aproximadamente, inter-estratificados con calizas lacustres de color crema y arcillas de tonalidades variables. Dichos afloramientos forman parte de la denominada cuenca lacustre de Izúcar de Matamoros. Esta formación se encuentra aflorando en la porción norte Jolalpan; se le estima un espesor de más de 100 metros. Por analogía con otras áreas, en que se encuentra cubriendo discordantemente a rocas cretácicas, se le considera una edad correspondiente al Plioceno.

Rocas intrusivas (Tronco de Jolalpan): están constituidas por rocas ácidas que varían de composición granítica a monzonitas, con textura también variante de afanítica a fanerítica y porfídica, con predominio de feldespatos como fenocristales o como matriz.

Afloran en la porción central de la zona, inmediatamente al oeste del poblado de Jolalpan, y se encuentra intrusionando a la sección cretácica antes descrita. Respecto a su edad se le considera como consecuencia de la revolución Laramídica, que tuvo lugar entre el Paleoceno y el Eoceno, Campa y Ramírez (1979).

II.3 Geología Estructural.

Regionalmente se tienen dos trenes estructurales con rumbos norte - noreste, presente en las rocas cretácicas de la Formación Morelos, y Terciarias (conglomerados del Balsas), ocasionalmente estos cambios de posición por efecto del Intrusivo Granítico o por contacto de rocas volcánicas. Presentan fallas con longitudes variables, en las cuales se encuentran alojadas las mineralizaciones. En la Formación Morelos se aprecian fallas considerables con rumbo Norte-Sur (Campa y Coney 1981).²

² Geología de la República Mexicana. Moran Dante.

II.4 Geología Económica.

El estudio detallado de la zona Jolalpan, se inició con el objeto de realizar un aprovechamiento inmediato de algunos recursos naturales.

En los 80's por parte de la empresa Yeso Panamericano, ejecutaron estudios geológicos mineros detallados en materia de estructura litológica, alteración, zonificación, asociación y génesis mineralógica y su distribución de valores, que conduzcan a determinar el o los controles de mineralización económica, para el aprovechamiento óptimo de los recursos minerales existentes en la región.

En la zona Jolalpan, se tienen depósitos de yeso, manifestaciones de manganeso y otros minerales. En la parte norte, sur y este se encuentran afloramientos de yeso, cuyo aprovechamiento económico resulta interesante estudiar por su cercanía al poblado de Axochiapan, lugar que cuenta con numerosas plantas de procesamiento de yeso.

Localmente afloran gruesos conglomerados calcáreos dolomíticos, en parte intraformacionales de fragmentos gruesos muy redondeados con un espesor de varias docenas de metros, del Terciario incipiente, con discordancia angular; estratigráficamente suprayacentes, afloran ampliamente al sureste plegamientos de la sección calcárea marina Cretácica, al norte y oeste aflora una extensa y potente sección volcánica, constituida principalmente de tobas con granulometrías y compactación variadas, todas ellas de composición intermedia.

El yacimiento en cuestión se encuentra situado a pie de carretera lo que facilitará en gran medida la explotación y el beneficio del mineral.

II.5 Reservas de mineral.

II.5.1 Exploración geológica preliminar.

Es importante mencionar que no fue necesaria la utilización de equipos, ni métodos geológicos complicados para delimitar el cuerpo mineral; ya que por observación directa se aprecia un color blanco en toda la extensión del cerro Jolalpan; la poca vegetación existente en el lugar permite hacer un análisis químico sencillo para determinar que efectivamente su constitución es de CaSO_4 (yeso).

II.5.2 Muestreo y ensayos.

Se excavaron catas de 2 m por 1.5 m en las zonas de contacto, y en aquellos lugares en que por acción del intemperismo o por productos de oxidación, pudiera tenerse alteración del mineral. Se tomaron 26 muestras bajo este criterio y 22 más fueron tomadas sistemáticamente en zonas de roca sana cada 25 m, haciendo un total de 48 muestras, las cuales fueron analizadas en los laboratorios de Metalurgia y de Análisis Químico de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.

El análisis cuantitativo de las muestras se llevó a cabo para determinar el contenido de Fe_2O_3 , CaSO_4 , Al_2O_3 , SiO_2 el resultado de dicho análisis se expresa en la tabla siguiente:

RESULTADOS DE MUESTREO			
COMPUESTO	PCMC (%)	PCMRS (%)	CONTENIDO TOTAL (%)
Fe_2O_3	0.44	0.37	0.345
CaSO_4	97.66	97.93	97.925
Al_2O_3	0.33	0.29	0.24
SiO_2	1.35	1.37	1.36
MgO_2	0.22	0.04	0.13

- CMRS Contenido de muestras tomadas en roca sana
- CMC Contenidos de muestras tomadas en contactos.

II.5.3 Cálculo de reservas.

El cálculo de reservas elaborado, está basado en la información tomada de la carta topográfica del lugar, publicada por el Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática. El cálculo se realizó por el método de cimas y bases, que consiste en obtener el volumen que se tienen entre cada segmento litológico comprendido entre cada curva de nivel de la cima a la base de dicha unidad, respecto a un plano de referencia que generalmente es el nivel del mar. Este método nos permite conocer las reservas totales del yacimiento comprendidas en los límites verticales y horizontales a lo largo de la curva de nivel; ya que se tiene un suelo muy delgado, siendo de 50 cm el espesor máximo que se encontró en una pequeña porción del yacimiento; por lo que no será necesario hacer cálculos de encape y como no se tiene un conocimiento exacto respecto de su base, solo se calcularon las reservas comprendidas desde el nivel de la carretera hacia la cima del cerro.

El método utilizado para calcular las reservas de mineral, se basa en la representación del cuerpo mineral en el plano topográfico antes mencionado; este método se describe a continuación:

- a) Se delimita el cuerpo en el plano de la cima a la base, tomando esta última del nivel de la carretera.
- b) Con ayuda de un planímetro, se mide al área encerrada en cada curva de nivel dentro del límite establecido en los planos estructurales.
- c) Se calculan las diferencias de áreas entre cada curva con ayuda del modelo matemático:

$$V = \sum (A_i + A_{i+1}) \times h_i + [(A_i - A_{i+1}) \times h_i]^{1/2}$$

En donde:

A_i = área contenida en la primer curva de nivel,

A_{i+1} = área contenida en la siguiente curva de nivel,

h_i = altura,

V = Volumen,

- d) Lo que nos permite conocer el volumen de los diferentes segmentos, los cuales se van acumulando para obtener un volumen total.
- e) Al volumen obtenido, se le aplica el factor de densidad del mineral, para representar en toneladas dicho volumen.
- f) Esta cantidad de toneladas nos representa las reservas de mineral que se tienen. Las cuales para este caso serán clasificadas como positivas, debido a que se obtuvieron de forma directa.

Siguiendo el método descrito con anterioridad se llegó al siguiente resultado:

Volumen total de yeso: 28'800,000 Toneladas.

II.5.4 Clasificación de reservas.

Si tomamos en cuenta las condiciones geográficas, geológicas y topográficas del yacimiento, y si sabemos que las reservas positivas se consideran a aquellas que técnica y económicamente pueden ser explotadas en el presente, consideramos el volumen de mineral enunciado anteriormente como reservas positivas.

II.5.5 Características del yeso

En seguida se presenta un estudio básico del yeso como mineral, sus propiedades físicas y químicas, así como su ocurrencia en la naturaleza, su génesis y principales usos; con el fin de conocer sobre este mineral base del presente trabajo.

La composición química del yeso (sulfato de calcio hidratado $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$); cada átomo de calcio queda entre seis grupos atómicos complejos, que consisten en cuatro tetraedros de SO_4 y dos moléculas de H_2O . Cristales generalmente de hábito sencillo, su forma común es en superficies planas alabeadas, así como curvadas. También macizo laminado, estrellado laminar, con frecuencia macizo granular, algunas veces casi impalpable.

Crucero: eminente, dando fácilmente hojas delgadas pulidas; da una superficie con fractura concoidea, con frecuencia fibrosa. Dureza de 1.5 a 2 en la escala de Mohs. Peso específico de 2.314 a 2.328 cuando está en cristales puros. Lustre perlino y brillante en variedades macizas, con frecuencia resplandecientes, a veces terrosas opacas. Color generalmente blanco, algunas veces gris, rojo, carne, amarillo miel a ocre, azul. Raya blanca, transparente a opaca.

Se caracteriza por su suavidad en todas las variedades y por los cruceros en las clases cristalizadas; no hace efervescencia al contacto con ácidos como la calcita, ni se gelatiniza como las zeolitas.

El yeso es el sulfato más común. Con frecuencia forma capas extensas en conexión con varias rocas sedimentarias, especialmente calizas, esquistos, gredas y arcillas. Ocurre en rocas de todas las edades, pero prevalece especialmente en Formaciones Permianas. Ha sido depositado en gran escala de aguas marinas y en cantidades más pequeñas de las aguas de los lagos saladas. A presión ordinaria se forma a temperaturas inferiores a los 90°C . Es generalmente de origen primario, pero a veces ha sido derivado de la anhidrita. Con frecuencia está asociado a cuerpos de halita y otras sales, pero a veces ocurre sin estos minerales más solubles.

El yeso es tan común y está tan extendido en su ocurrencia que sería imposible mencionar en este trabajo todos los yacimientos, sin embargo, se puede mencionar que existe casi en toda la República Mexicana en sus diferentes variedades.

Usos: En la fabricación del yeso mate de París que se emplea para moldes y vaciado, y como cartón de piedra en las construcciones temporales, materia prima del cemento, para enyesados de interiores; como sulfato de cal para fertilizantes; como alabastro y como ornato.

CAPITULO III. EXPLOTACIÓN MINERA.

III.1 Producción.

En función de las reservas calculadas en el capítulo anterior y con ayuda de la fórmula de Taylor para el cálculo de la vida de una mina:

$$\text{Vida media (años)} = 0.2 \times \sqrt[4]{\text{reservas}}$$

$$\text{Vida media (años)} = 14.65$$

aplicando la fórmula a las 28'800,000 toneladas de reservas calculadas tenemos:

$$28'800,000/15 = 1'920,000/300 = 6,400 \text{ TPD}$$

por tanto, se tiene una vida estimada para la mina de 15 años a un ritmo de producción de 6,400 TPD.

Esta primera aproximación nos sirve para tener una idea de la distribución del mineral con producción óptima; sin embargo, es necesario mencionar que en este trabajo se estudia la viabilidad de un proyecto nuevo; que estará respaldado por los recursos de los ejidatarios del lugar; esto nos lleva a pensar en el cuidado que se debe poner en la distribución de los recursos financieros. Para iniciar los trabajos de la mina con una producción de 6,400 TPD como se calculó anteriormente, es notorio en primera instancia un costo de inversión inicial muy alto, por lo que consideramos necesario adecuarnos más a la realidad, haciendo una evaluación financiera preliminar del proyecto con una producción de 3,200 TPD; es decir, tomamos el 50% de la producción óptima que se obtuvo aplicando el principio de Taylor, la razón es que no se tienen los recursos suficientes que permitan una inversión inicial tan alta si se supone la producción resultante de 6,400 TPD, cabe señalar que dicho porcentaje se tomó arbitrariamente para efectos de cálculo.

Ajustando la vida de la mina a partir de una producción de 3,200 TPD y 300 días laborables en un año se tiene:

$$(28,800,000/3,200)/300 = 30$$

de lo anterior se deduce una vida estimada de la mina de 30 años.

En este capítulo se va a seleccionar el método de minado conveniente a partir de factores como son: las condiciones geológicas, estructurales, ambientales, etc. La selección de los equipos se basa en aspectos técnicos y en los recursos disponibles para iniciar el proyecto.

III.2 Selección del método de minado.

Para la selección del método de explotación en la extracción de un mineral se deben tener en cuenta los siguientes factores geomorfológicos del yacimiento: forma y dimensión, espesor del encape, potencia, buzamiento, composición mineralógica, competencia de la roca encajonante, así como del mineral.

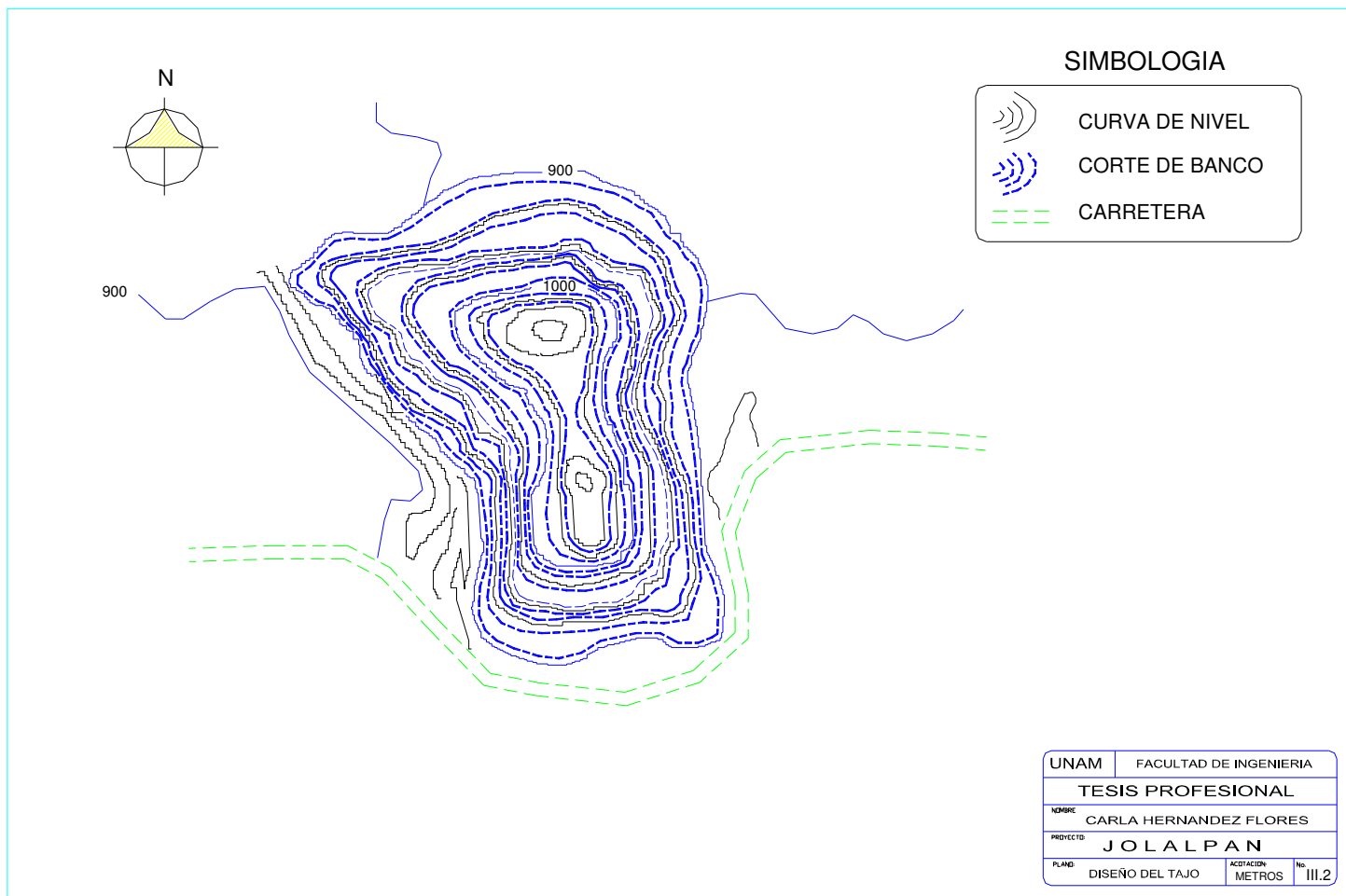
El yacimiento Jolalpan es una formación masiva superficial con características de roca sana y composición de sulfato de calcio, comúnmente conocida como roca de yeso, cuya potencia del cuerpo geológico es apreciable a simple vista por aflorar en superficie, sobre la carretera federal a una altura sobre el nivel del mar de 2,300 m, desarrollando una altura máxima de 100 m y una extensión perimetral de 800 m. Estas características permiten una explotación a cielo abierto, basada en el diseño de un tajo formado por bancos individuales.

La explotación se iniciará en la parte sur del yacimiento, llevando una explotación de los bancos con un rumbo suroeste, lo que facilita los trabajos de explotación en sus inicios, debido a que la carretera federal se encuentra en este rumbo, aprovechando esta ventaja, la construcción del camino principal de acceso de la mina será siguiendo el contorno de esta carretera; permitiendo llevar una explotación del mineral en forma ascendente partiendo desde la orilla del camino hacia la parte posterior del yacimiento, evitando en una primera etapa de explotación la construcción de caminos adicionales, así como algunas otras obras de desarrollo.

El desarrollo de los bancos se llevará a cabo con un equipo de perforación (perforadora hidráulica montada en orugas cuya selección y características se definen en el inciso III.5), aprovechando al máximo su eficiencia de tal forma que la producción requerida pueda ser barrenada en dos turnos, esto con el fin de aminorar los riesgos propios del trabajo en el tercer turno (noche) y evitar con esto la necesidad de más personal que el considerado para operar en dos turnos (supervisor, perforista, ayudante, mecánico, etc.), finalmente detalles que se reflejan en los costos. Siendo esto posible si consideramos una velocidad de perforación de 39 m/h (dato proporcionado por el proveedor), y como se verá en su momento son, necesarios 241 m de barrenación para producir las 3,200 toneladas requeridas en el proyecto.

Una vez terminada la plantilla de barrenación, la máquina procederá a iniciar el trabajo de la siguiente voladura en un banco diferente, por lo que tendremos dos bancos de trabajo. La voladura terminada se cargará con explosivo y se procederá a detonar; una vez tumbado el mineral entrará el equipo de carga y acarreo.

De lo anterior se desprende que el ciclo de trabajo en la cantera, se llevará a cabo en dos turnos, comprendiendo las tareas de barrenación en un banco de trabajo y en otro los trabajos de cargado y acarreo simultáneamente, es decir, se obtendrá la producción requerida en una sola secuencia de barrenación, terminando estas tareas se procede a la detonación y enseguida comienza trabajar el equipo de cargado y acarreo, mientras el equipo de perforación comenzará la preparación de la siguiente voladura.



III.2.1 Diseño de bancos.

El diseño de los bancos está en función de las características físicas y mecánicas del mineral. Para conocer estas características se hicieron las siguientes pruebas en el laboratorio de mecánica de rocas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México:

Prueba a la compresión simple.

- a) Prueba de resistencia a la compresión simple: esta prueba consiste en determinar el valor del esfuerzo máximo bajo el cual el material falla, a continuación se detalla la prueba, así como los resultados obtenidos.

Se obtuvieron 6 núcleos; en el inciso b se analiza solo uno para hacer la descripción litológica ya que las características físicas de la roca son las mismas en todos los núcleos por tratarse de la misma formación, en el inciso d se someten a prueba 3 núcleos más y se conservan dos como testigos.

El análisis del núcleo consiste en la descripción litológica, se midieron los diámetros superior, medio e inferior y sus longitudes perpendiculares, obteniendo los valores medios. Enseguida se obtiene el volumen y peso del núcleo con objeto de calcular el peso específico de la muestra. Posteriormente se calcula el incremento de carga por tiempo para el tipo de roca ensayado, esto se hace estimando un R_c (valor de la resistencia a la compresión) con base a información consignada en tablas y dividiendo este valor entre el tiempo de prueba estimado dentro del rango especificado (5-15 minutos), lo que nos da el valor de incremento de carga por minuto (esta prueba se realizó en cuatro de los seis núcleos). Se tabuló la información de carga calculada por intervalo y su conversión de psi a kg/cm^2 , se montó la muestra en la prensa y se procedió a efectuar la prueba.

- b) Descripción litológica: núcleo de roca de apariencia blanca, afectado por un bandeo de mineral oscuro, con capas muy delgadas inclinadas 5 grados respecto de la base del núcleo; presenta una pequeña grieta la cual debido a la falta de continuidad se asume que se generó al momento del corte, por lo que no considera para los efectos de esta prueba, en los últimos extremos se observa una discontinuidad objeto de una falla que presenta la muestra probablemente una falla que afecta el terreno. La textura que presenta la roca es fanerítica, apreciándose perfectamente cristales de calcio y algunos piroxenos. El origen de la roca es sedimentario y su clasificación es yeso.

a) Características del núcleo:

- Diámetro promedio 4.483 cm
- Altura promedio 7.375 cm
- Área transversal 15.780 cm²
- Peso 254.3 g
- Volumen 116.3 cm³
- Peso volumétrico 2.185 g/cm³

b) Incremento de carga por tiempo: este valor es estimado consultando en tablas el valor de la resistencia a la compresión simple del yeso el cual resulta 100 kg/cm². Este valor multiplicado por la sección transversal del núcleo nos da el esfuerzo máximo.

$$\text{Esfuerzo máx. (estimado)} = 1,578 \text{ kg}$$

considerando el valor anterior y un tiempo de prueba de 10 minutos se obtiene:

$$\text{Incremento de carga} = 157.8 \text{ kg/min}$$

La roca falló totalmente a una carga de esfuerzo máximo de 791.63 kg, al cabo de 5 minutos. Este valor de esfuerzo máximo dividido entre el área transversal del núcleo da lugar a la resistencia a la compresión simple buscada:

$$R_c (\text{real}) = 50 \text{ Kg/cm}^2$$

Cálculo de la altura óptima del talud.

Esta altura a su vez está en función a la cohesión de la roca, y al mismo tiempo, de un factor de seguridad, cuyo valor en minería debe considerarse mayor a 1.2; este factor se obtiene de la siguiente expresión.¹

$$F_s = C/C_d \quad \text{donde:}$$

F_s = factor de seguridad.

C = cohesión de la roca.

La cohesión de un material está en función de su resistencia a la compresión simple, y se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$C = q_u/4 \quad \text{donde:}$$

C = cohesión.

q_u = resistencia a la compresión simple.

se tiene: $C = 50 \text{ Kg/cm}^2 / 4;$ $C = 12.5 \text{ Kg/cm}^2$

Cd = cohesión de la roca considerando esfuerzos actuantes.

$$Cd = dH/4(1-\cos\beta/\sin\beta) \quad \text{donde:}$$

d = densidad del mineral.

H = altura del talud.

β = inclinación del talud.

Se dieron diferentes valores para H; y se tomó un valor de β de 72°, este valor será el ángulo de inclinación del talud, ya que es el ángulo de buzamiento de las capas que forman la mineralización, lo que facilitará la barrenación, sin dar lugar a espacios que provoquen escape de gases al momento de la ignición por tratarse de una roca sana, y por otro lado proporcionará mayor estabilidad al talud.

Los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla:

RELACION ALTURA – FACTOR DE SEGURIDAD		
Altura del banco m	Cohesión de la roca kg/cm²	Factor de seguridad
9	3.61	3.46
12	5	2.5
20	8	1.56
25	10	1.25
30	13	0.96

Al analizar los resultados anteriores, se observa que el límite del factor de seguridad se da a una altura de 25 metros, es decir, es la altura máxima que puede tener el banco. Para cualquier valor de H menor a 12 el factor de seguridad es mayor, por tanto la estabilidad es mayor.

Considerando lo anterior, se propone que la altura final de los bancos sea de 24 metros, la cual se alcanzará banqueando cada 12 metros para evitar problemas con el equipo de barrenación y asegurar la eficiencia de la voladura.

¹ Juárez Badillo “Estabilidad de taludes”

Cálculo de la berma.

Se utilizará la siguiente formula propuesta por Juárez Badillo¹ para determinar una berma óptima en el diseño de un banco.

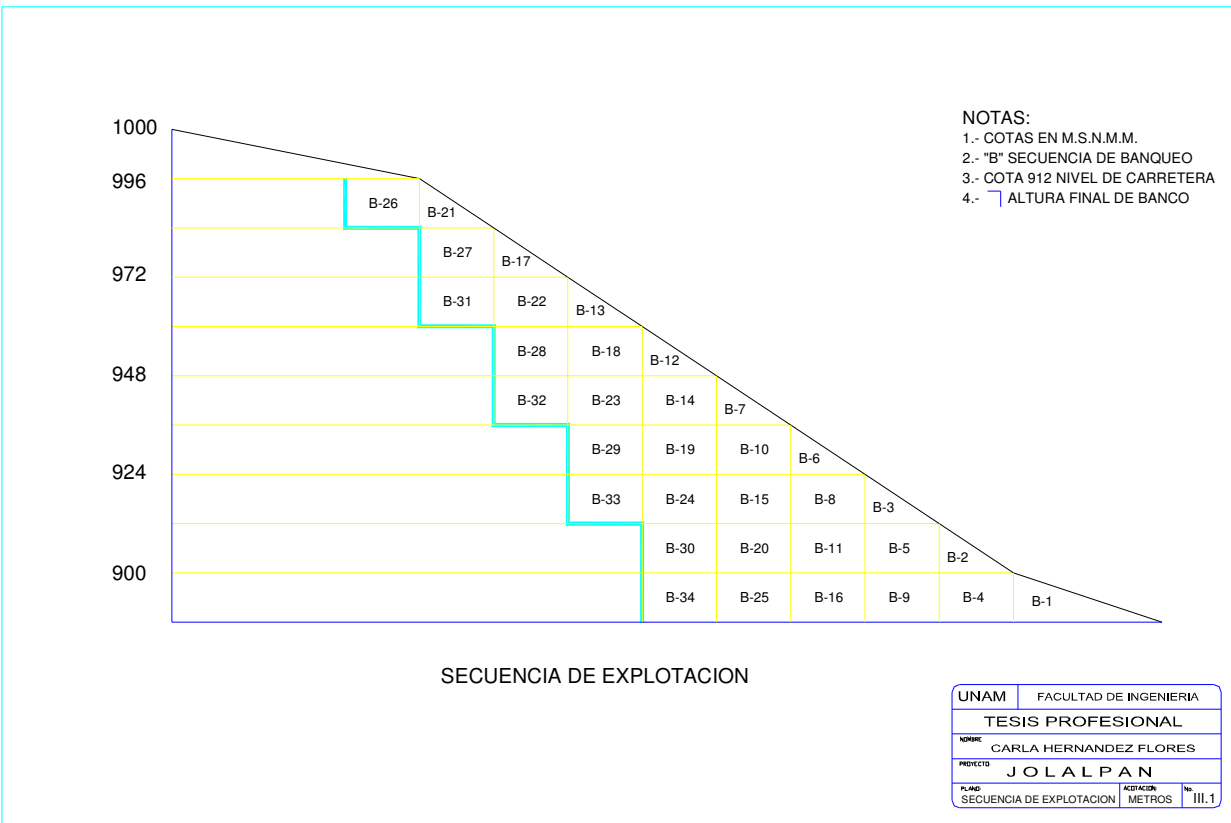
$$B = 1/2H$$
 donde:

B = berma,

H = altura de banco,

Con esta formula se obtiene una primer idea del tamaño de la berma, la cual en caso de ser necesario deberá ajustarse a las necesidades; el resultado en este caso es una berma de 6 m, para el caso particular de este proyecto se considera funcional.

Con lo anterior se deduce el diseño de bancos con altura de 12 m, con berma de 6 m, la secuencia de banqueo se presenta en la figura III.1, el diseño final del tajo se aprecia en la figura III.2.



III.3 Tumbe del mineral.

La barrenación, en los trabajos mineros, es muy importante. Una correcta barrenación (paralelismo, distancia a la cara libre, etc.) asegura una adecuada fragmentación del mineral, lo que trae como consecuencia una mayor eficiencia del equipo, facilitando las tareas de cargado y acarreo del mismo. Por otro lado los problemas en la fragmentación del mineral son el resultado de una deficiente plantilla de barrenación, una mala supervisión en el cargado de los barrenos, falla en el explosivo o iniciadores, problemas de cebado, etc., por lo que se debe poner especial cuidado en estos aspectos ya que pueden repercutir en problemas financieros muy severos como son los costos del explosivo y los costos extras que generan las operaciones de moneo.

En el presente proyecto se considera el tumbado del mineral en una etapa, es decir, la preparación de la voladura se llevará a cabo en un turno de trabajo, el equipo de barrenación preparará la frente hacia el final del turno, para que al siguiente turno este mismo equipo prepare otra frente.

Una voladura estará diseñada para dar la producción diaria requerida, así que en un turno se tumbarán las 3,200 toneladas programadas. Como se plantea anteriormente se pretende iniciar el tumbado del mineral por la parte SE del yacimiento.

III.3.1 Cálculo de la plantilla de barrenación.

Utilizando el criterio de Calvin J. Konya a continuación se presenta el cálculo de la plantilla de barrenación.

Explosivo a utilizar ANFO (compuesto de nitrato de amonio y diesel) de densidad (de) 0.85 gr/cc, diámetro de barrenación 76 mm (ϕ), densidad del yeso (dm) 2.3 g/cc, altura de banco (H) 12 m, producción de mineral requerida 3,200 toneladas.

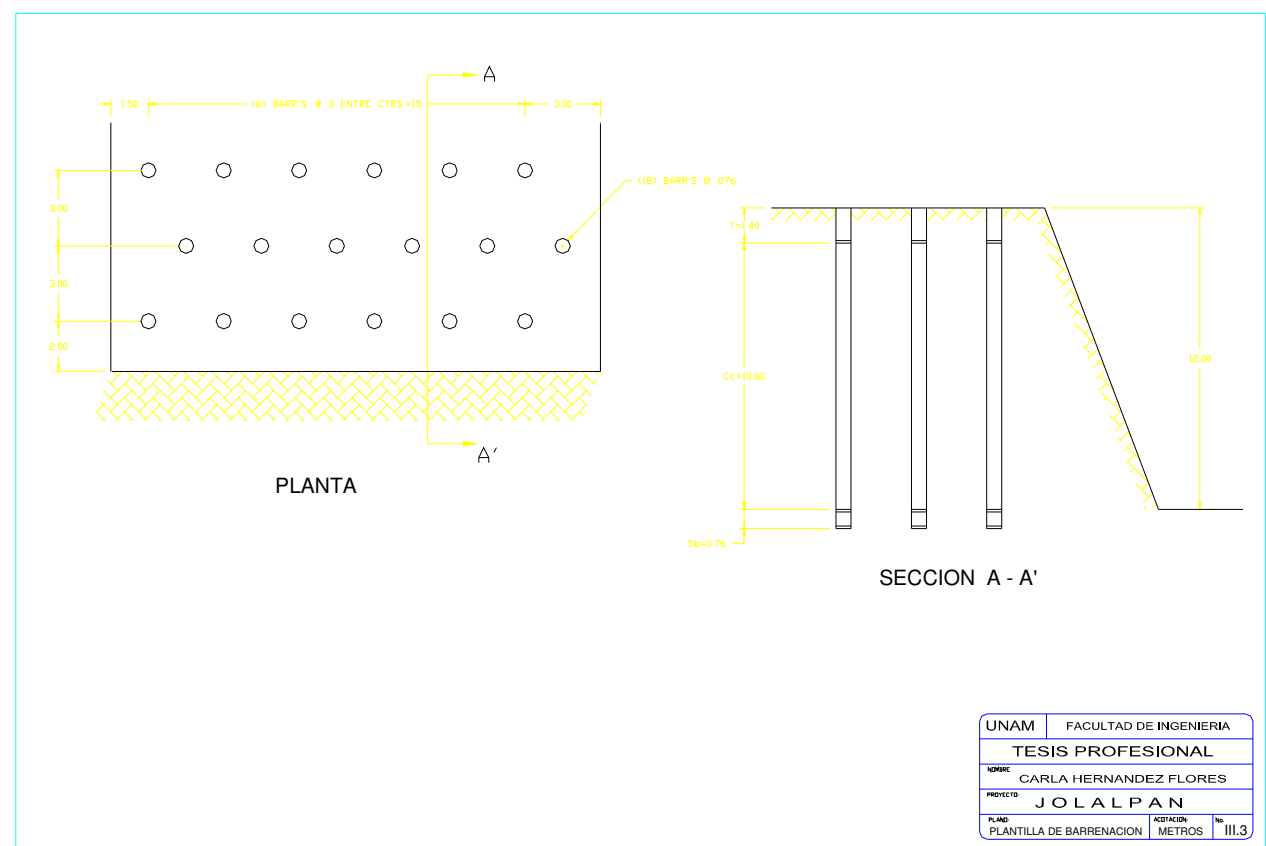
Cálculo del bordo	$B = 0.012[(2Xde/dm)+1.5]\phi = 2 \text{ m}$
Cálculo del espaciamiento	$S = 1.5B = 3 \text{ m}$
Cálculo del taco	$T = 1.2B = 2.4 \text{ m}$
Cálculo del tamaño de partícula del taco	$Q = \phi \times 0.5 = 38 \text{ mm}$
Cálculo de la sub- barrenación	$S_b = 0.33B = 0.66 \text{ m}$
Volumen por barreno	$V = B \times S \times H = 72 \text{ m}^3 \times 2.3 = 166 \text{ ton.}$
Número de barrenos necesarios para tumbar 3,200 ton	$n = 3,200/166 = 19$

La plantilla de barrenación será a tres bolillo debido a las ventajas que proporciona (mayor área de influencia de cada barreno, mejor control de pisos en bancos, etc.) y salida en V provocando el choque del material; al detonar simultáneamente dos barrenos al centro de la voladura se produce primero una mayor fragmentación y segundo un mejor desplazamiento en aquellas voladuras en las que se tiene una sola cara; esto puede variar para cada voladura de acuerdo a las condiciones que se presenten , por lo que deberán ser diseñadas en campo y en su momento.

La plantilla tendrá las siguientes características figura III.3:

Altura del banco	12.0 m
Diámetro del barreno	0.076 m
Bordo	2.0 m
Espaciamiento	3.0 m
Profundidad total del barreno	12.70 m
Sub-barrenación	0.70 m
Carga de columna	10.50 m
Taco	2.4 m
Tamaño de partícula del taco	3.8 mm
No. de barrenos	19

Para obtener el tonelaje de mineral requerido, se necesitan barrenar 242 m/día, lo cual se puede realizar en un sólo turno de trabajo. La velocidad de barrenación del equipo que se utilizará es de 39 m/h (dato proporcionado por el proveedor) por lo que los 19 barrenos que forman la plantilla se efectuarán en 6.2 horas efectivas de trabajo.



III.3.2 Voladura.

Las propiedades físicas y químicas del explosivo, así como las de la roca, son factores esenciales en el cálculo de la voladura.

A continuación vamos a calcular la cantidad de explosivo requerido para el tumbe de 3200 toneladas objetivo de este proyecto, considerando para el diseño la plantilla de barrenación antes calculada, tabla III.1.

Cálculo de la Voladura.

Calculando el explosivo por barreno, suponemos una carga de fondo de 4 Kg de alto explosivo por barreno (emulsión en presentación de salchichas de 2" X 16" distribuido por ASA Explosivos S.A. de C.V.), la carga de columna agente explosivo (nitrato de amonio de densidad 0.85 gr/cc, distribuido por ASA Explosivos S.A. de C.V.) de acuerdo al manual de explosivos (ver anexos, manual de explosivos de ASA) para barrenos de 3" se requieren 3.64 Kg de nitrato de amonio (ANFO) por metro de altura de la carga de columna; si nuestra carga de columna 10.5 (considerando 1.20m de columna que ocupa el alto explosivo) la carga de columna real es de 9.1m , por tanto se requieren 33.1 Kg. de anfo por barreno.

Calculando el total de explosivo en la voladura, se tiene que para 19 barrenos se requieren 629 Kg. de agente explosivo y 76 Kg de alto explosivo como carga de fondo.

De acuerdo al manual de explosivos de ASA (ver anexos) la relación del alto explosivo con el agente explosivo es de 20% - 80%, en este diseño utilizando 705 Kg. de explosivo total en la voladura esta relación es 11% - 89% por lo que estamos dentro de parámetros.

De lo anterior se deriva:

- Total de alto explosivo por barreno es de 4 Kg; de emulsión 2" X 16" de ASA; total de alto explosivo para la voladura 76 Kg.
- Total de agente explosivo por barreno es de 33.1 Kg. con densidad de 0.85 gr/cc; (considerando una carga de columna de 9.1m, por el espacio que ocupa el alto explosivo en el barreno); total de agente explosivo para la voladura 629 Kg.

Cálculo del Factor de Carga.

El factor de carga (fc) en una voladura se define como la cantidad de explosivo utilizado por cada metro cúbico o tonelada de mineral tumbado.

La cantidad total de explosivo a utilizar en la voladura es de 705 Kg. (suma del alto explosivo y el agente explosivo); y el tonelaje a tumbar es de 3200 toneladas, tenemos un $F_c = 220$ gr/ton.

El factor de carga recomendado para la roca de yeso es de 230 – 475 gr/ton (ver anexos, factores de carga recomendados para diferentes rocas), el factor de carga obtenido en esta voladura se encuentra dentro de parámetros recomendados.

Explosivo e iniciadores a utilizar.

- Agente explosivo ANFO (nitrato de amonio).
- Alto explosivo Emulsión salchichas de 2" X 16".
- Iniciadores tipo nonel, cuyo nombre comercial es Izdet con 25 ms de retardo, de 20m de longitud.
- Retardos de tipo nonel, cuyo nombre comercial es Ezel con 67 ms de retardo, de 12m de longitud.
- Mecha.
- Fulminantes del # 6.

III.4 SELECCIÓN DE EQUIPO.

III.4.1 Equipo de barrenación.

En la explotación de una mina o cantera donde la actividad es continua, la extracción del mineral al costo más bajo posible es un objetivo primordial, además de los factores de seguridad y de medio ambiente. En tales explotaciones se utiliza, casi de manera exclusiva, aire comprimido como energético para la perforación; en parte porque ya existen compresores y redes de aire. Pero cuando se inician explotaciones de este tipo, es posible planificar y desarrollar la perforación hidráulica que proporciona las siguientes ventajas:

- Rendimiento de perforación mucho más elevado, 50-100% más
- Menor nivel de ruido, 10-15 db menos
- Nada de nieblas de aceite en el frente de trabajo
- Menor consumo de energía, alrededor de un 30% menos
- Bajo costo de operación.

Se ha considerado este sistema de perforación el adecuado, utilizando una perforadora hidráulica COP 1036-HB, montada en un vagón de orugas ROC 712H-00 Atlas Copco, cuyas características de operación se proporcionan en la tabla III.1.

III.4.2 Equipo de carga y acarreo.

Para el acarreo del mineral se construirá un camino a partir del punto donde se propone el inicio de la explotación, es decir, a partir de la parte SE del yacimiento, la distancia de dicho punto a la tolva de almacenamiento en la planta de beneficio es de 600 m y se pretende que siga el contorno de la carretera, este camino se realizará fuera del área mineralizada, ya que será el camino principal de acceso a los lugares de trabajo, y que deberá permanecer abierto durante todo el tiempo de la explotación.

La topografía del terreno facilitará los trabajos de construcción del camino, ya que el terreno no presenta accidentes importantes; solamente deberá removerse el suelo con la ayuda de un tractor, permitiendo un camino uniforme.

En el trazo y diseño del camino se busca la funcionalidad del mismo, tanto en las maniobras del equipo de acarreo, como en los trabajos de preparación de los bancos que, como ya se mencionó la explotación será a partir del borde de la carretera hacia la parte posterior del yacimiento, el ancho del camino será de 7 m, suficiente dado las dimensiones de los equipos.

Para la selección del equipo de acarreo más adecuado, se tomaran en cuenta dos alternativas utilizadas en la minería de superficie; el transporte del mineral a través de un sistema de bandas, y el transporte del mineral con camiones desde banco de trabajo a la tolva de almacenamiento en la planta.

Analizando la primera alternativa (sistema de bandas) técnicamente es un equipo de fácil operación, es versátil, adaptable a las diferentes condiciones de operación, proporciona una producción instantánea con el 100% de eficiencia una vez finalizada la correcta instalación. Con base en las ventajas mencionadas se diseñó un transportador portátil de celosía de acero de 60cm (24") y estructura tipo tijera para instalar una banda de 75cm (30") de peralte, unidades de carga y de retorno con rodillos de 12.5cm (5") de diámetro, motor de 20 HP 1,800 rpm, eje con dos llantas para permitir su transporte a las frentes de trabajo, este módulo tiene una longitud total de 24.5m. Se solicitó a la empresa Construmac, la cotización de este equipo, mismo que entraría en operación con tres módulos similares, posteriormente se deberán modificar en función del avance de la explotación.

El costo proporcionado para cada módulo es de \$ 329,956.00 (pesos del año 2004), adicionalmente se debe agregar el costo por los conceptos de cimentación, anclaje, montaje, aceite y lubricantes de equipos, instalación eléctrica, equipos de control de contaminantes.

La segunda alternativa consiste en transportar el mineral con camiones; para determinar la capacidad conveniente de los camiones se consideraron tres capacidades comerciales, para efectuar dichos cálculos (10, 12 y 18 toneladas), se consideró una pala neumática cuya capacidad de cucharón es de 2.8 m^3 (3.7 yd^3), ya que comercialmente el equipo que le sigue en capacidad de cucharón es de 5 yd^3 con un incremento en costo considerable.

Se calcula el ciclo de trabajo para cada capacidad de camión, es decir, el tiempo que tarda en ser cargado, en trayecto y en descarga en la tolva de almacenamiento en la planta de beneficio y el regreso al banco.

Utilizando la velocidad de un camión cargado de 20 km/h , y descargado nuestra referencia será de 40 km/h , por tanto un camión cargado tardará en recorrer 600m (distancia del banco a la tolva de almacenamiento) 1.8 minutos, mientras que descargado tardará 0.9 minutos. El cargador tarda en cargar un cucharón de material al camión 1.5 minutos.

Para un camión de 10 toneladas que requiere 1.5 cucharones para ser llenado su ciclo de trabajo será de 5.7 minutos; para el de 12 toneladas el ciclo de trabajo se llevará a cabo en los mismos 5.7 minutos, esto es porque el tiempo de cargado será el mismo para 1.5 o para 2 cucharones; en el caso del camión de 18 toneladas este requerirá de 3 cucharones terminando el ciclo de trabajo en 7.2 minutos.

Considerando 6 horas efectivas de trabajo, se tendrán 63 viajes tanto del camión de 10 como el de 12 toneladas con la diferencia de que con el primero se moverán 630 toneladas, y con el segundo 756 toneladas en el turno, por tanto se requieren cinco camiones de 10 toneladas y cuatro camiones de 12 toneladas para mover la producción de $3,200$ toneladas en el turno, mientras que para el de 18 toneladas el cual dará 50 viajes por turno moviendo 900 toneladas, serán necesarios cuatro camiones para satisfacer la producción.

De lo anterior se deduce que la capacidad más conveniente para este proyecto es el camión de 12 toneladas; todo está en función del ciclo de trabajo y en la capacidad del cargador quizá con una capacidad del cargador mayor el resultado sería que convendría el de 18 toneladas porque se reduciría a tres el número de camiones que moverían la producción, de lo contrario requieren cuatro carros quedando el último sobrado ya que la producción se da matemáticamente con 3.5 carros lo que nos lleva a un forzoso cuarto camión.

Regresando a la comparación de las alternativas, se resume que aunque el transporte de mineral a través de bandas mecaniza y automatiza los trabajos de acarreo, el costo de inversión es de \$ $989,868.00$ (pesos del año 2004) muy alto comparado con la renta de cuatro camiones de 12 toneladas requeridos, que al mes suma \$ $208,000$ (pesos del año 2004). Por esta razón se utilizarán estos últimos para el transporte del mineral. Y se hace la recomendación para que en un futuro se considere utilizar un transportador de banda ya que como se mencionó presenta muchas ventajas.

En la siguiente tabla se muestran las características de operación de los equipos que se utilizarán para la explotación del mineral en la cantera de yeso.

Tabla III.1

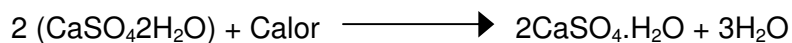
EQUIPO OPERACIÓN MINA		
EQUIPO	CARACTERÍSTICAS	UNIDAD
Perforadora hidráulica COP 1036-HB, Atlas Copco	Rotación independiente, emplea varillaje extensible de 48 a 89 mm, (1 7/8" a 3 1/2") montada sobre vagón de orugas.	1
Cargador frontal 966F	Motor cat 3306 de 220 HP, cilindros 6V, capacidad del cucharón 3 m ³	1
Camión Dina modelo 552-275	Capacidad de 12 toneladas, Motor Nawstar modelo D7 410 turbo-cargado de 175 HP a 2,600 rpm, motor ecológico, ancho 2,438 mm.	4
Tractor D9	Motor cat 34081D de 370 HP	1

CAPITULO IV. SISTEMA DE BENEFICIO.

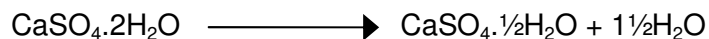
En este capitulo se plantea un sistema de beneficio encaminado a la obtención de yeso grado comercial, a partir del mineral de yeso obtenido en la mina.

En la planta se lleva a cabo el siguiente proceso termodinámico:

En el sulfato de calcio bihidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) o roca de yeso, una y media molécula de agua están combinadas débilmente y media molécula fuertemente. La expulsión de agua del bihidrato se hace mediante el desprendimiento de molécula y media débilmente combinada a los 170°C , según Van T' Hoff, se produce una transformación rápida de la roca de yeso en semihidrato y agua es decir,



Si se aumenta la temperatura hasta lograr el desprendimiento total del agua fuertemente combinada, se obtienen durante el proceso diferentes yesos de construcción. La temperatura de calcinación que se utilizará en este proyecto varía desde 155°C en la descarga del calcinador hasta 250°C que es la temperatura del aire que se inyecta al pulverizador y que permanece constante durante el tiempo de calcinación del mineral, donde obtendremos un yeso grado comercial objeto de este trabajo,



En México se utiliza el método convencional para el beneficio del yeso que consiste en un proceso de calcinación que se realiza en hornos horizontales fabricados de material refractario, a través del cual se hace pasar el material previamente triturado. En este trabajo se presenta un sistema basado en el mismo principio, utilizando equipos modernos con tecnología avanzada, lo que permite eficientar el sistema y ahorros significativos en los costos de producción.

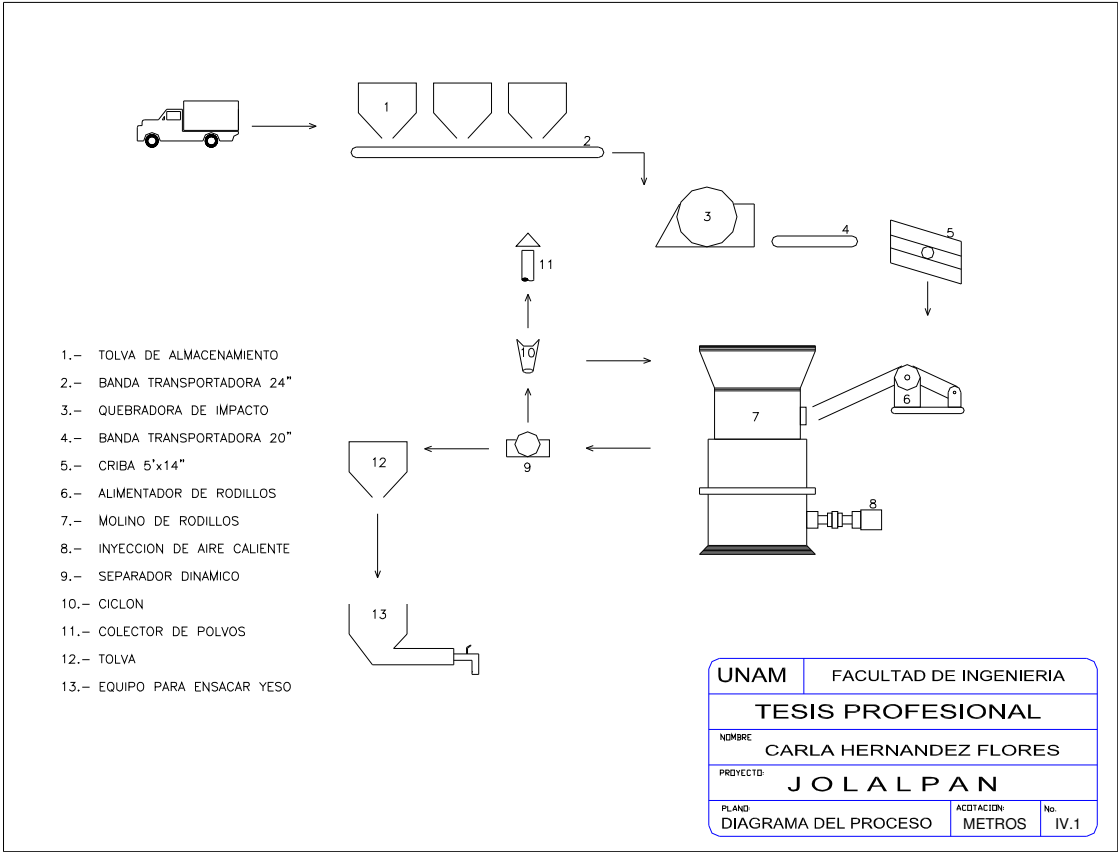
Para el diseño de los equipos se consultó a la empresa Svedala Industrias Inc., división piró metalurgia. Bajo las condiciones del proyecto se llegó al arreglo que a continuación se describe.

IV.1 Descripción del proceso.

A continuación se presenta la descripción de un sistema pulverización-calcinación, para la obtención de yeso grado comercial, diseñado bajo las siguientes bases.

• Material:	Yeso
• Alimentación:	
Tamaño:	Hasta 30 cm
Humedad:	8%
• Análisis químico:	mínimo 96% CaSO_4
• Producto:	
Granulometría:	85% < de 150 micras
Producción:	180 ton/h

Para contar con mayor versatilidad en cuanto a la elaboración de diferentes calidades de producto, se ha considerado un sistema de tres módulos idénticos de pulverización-calcinación de yeso cada módulo está conformado de acuerdo a la siguiente descripción.



IV.1.1 Preparación del mineral.

El mineral se recibe en una tolva de acero con capacidad de 8 m^3 forrada en el interior con una capa de poliuretano de 38mm, para protección contra la abrasión que alimentará por medio de una banda de 90cm (36") de ancho a la quebradora de impacto (Impac Master modelo 130/115) donde se realizará la trituración del mineral, el producto de la quebradora pasará a una criba de dimensiones 1.50m X 4.26m y abertura de la malla de 12.7cm (5"), el material clasificado pasará a un alimentador de rodillos mismo que controlará la alimentación y el tamaño del material al molino.

IV.1.2 Pulverización- calcinación.

Este proceso de pulverización y calcinación se realiza en un solo equipo, el material clasificado es alimentado al pulverizador (Lopulco) donde se lleva a cabo la reducción del material por medio de rodillos de acero forrados de cerámica para evitar la contaminación con hierro y al mismo tiempo la transferencia de calor por medio de la inyección de aire caliente al interior del molino. La clasificación final se lleva a cabo con un clasificador dinámico de aspas ajustables; el equipo cuenta con un sistema de lubricación enfriado por aire. Este pulverizador se instala montado en un bastidor. El proceso se ilustra en la figura IV.1.

Para efectos de control de la calcinación se utiliza un termopar en la salida del material, si este alcanza cualquiera de las temperaturas de control, se modifica la velocidad de alimentación, es decir, si el material alcanza en la descarga del pulverizador una temperatura superior o inferior al rango planeado (155° C a 250° C) automáticamente se modifica la velocidad de alimentación. El equipo cuenta con un PLC que registra las condiciones de operación del sistema, si una de estas condiciones se altera automáticamente se detecta la falla y las posibles causas que la originaron, si se restaura inmediatamente el sistema, este continuará la operación, de lo contrario la alimentación se detendrá, y deberá reanudar manualmente el sistema una vez reparada la falla. El PLC trabaja mediante el registro de señales enviadas a una computadora desde los diferentes instrumentos instalados en el molino mismos que controlan la velocidad de alimentación, temperatura dentro del molino y en la descarga, manómetros en los ductos de alta y baja presión de aceite del equipo, etc.

Para proveer de aire caliente para el secado y calcinación del yeso se requiere un calentador de aire, mismo que se diseñó con un sistema automático de encendido y control de falla de flama.

Adicionalmente a la instrumentación y control integral del calentador de aire, se incluye una válvula actuada hidráulicamente con interruptores límite para prevenir el sobrecalentamiento, También se incluyen indicadores de presión en la entrada y salida del molino.

Para el adecuado funcionamiento del módulo pulverización-calcinación están considerados en diseño los siguientes equipos:

- Arrancador de motores.
- Cableado eléctrico de interconexión.
- Separador magnético.
- Tolvas y silos.
- Equipo supresor de ruido.
- Colector tipo ciclón.
- Tubería y de interconexión,
- Equipo para ensacado.
- Aislamiento térmico.

IV.1.3 Ensacado.

El producto del molino es enviado a una tolva de 16 toneladas de capacidad a través de una tubería de poliuretano de 30cm (12") de diámetro, el material depositado en la tolva pasa al equipo de ensacado, donde es empacado en sacos de 25 Kg. y enviados al patio de producto terminado.

IV.2 Alternativas para el producto terminado.

Como se ha mencionado con este sistema obtenemos el yeso grado comercial alcance de este proyecto; este yeso es de uso industrial, sin embargo existe la alternativa de elaborar tabla roca y otro tipo de prefabricados para el uso en la industria de la construcción. Aunque esta alternativa está fuera de los alcances del proyecto es importante mencionarla, es un proceso sencillo y de fácil operación.

Obtenido el yeso comercial se pasa a una mezcladora en donde se agrega agua, azúcar, lumina, almidón, jabón aditivos, entre otros, la pasta resultante se extiende en moldes que forman paneles cuyos espesores y longitudes varían en función de las necesidades de la demanda. Estos moldes están montados en un sistema de banda que conduce los paneles hasta el horno de secado, pasan a través del horno a una temperatura que oscila entre los 360° C y 400° C; el proceso termina con la conducción de las estructuras resultantes al patio de producto terminado.

Todo el equipo es montado en un sistema de banda, la mezcladora a la descarga tiene un juego de rodillos que extienden la pasta, y la abertura de ellos determina el espesor del panel. Enseguida se tiene una cortadora que se ocupa de la longitud, sobre la misma banda se encuentra el horno horizontal construido con paredes de material refractario y quemadores que proporcionan el calor en el interior, la estancia del panel es breve y está en función del espesor del mismo, esto se controla con la velocidad de la banda; finalmente los paneles se acomodan en un montacargas para su traslado.

Esta alternativa se debe considerar en un futuro para este proyecto, una vez que los recursos lo permitan, ya que el valor del yeso se incrementa considerablemente, y por consecuencia las utilidades.

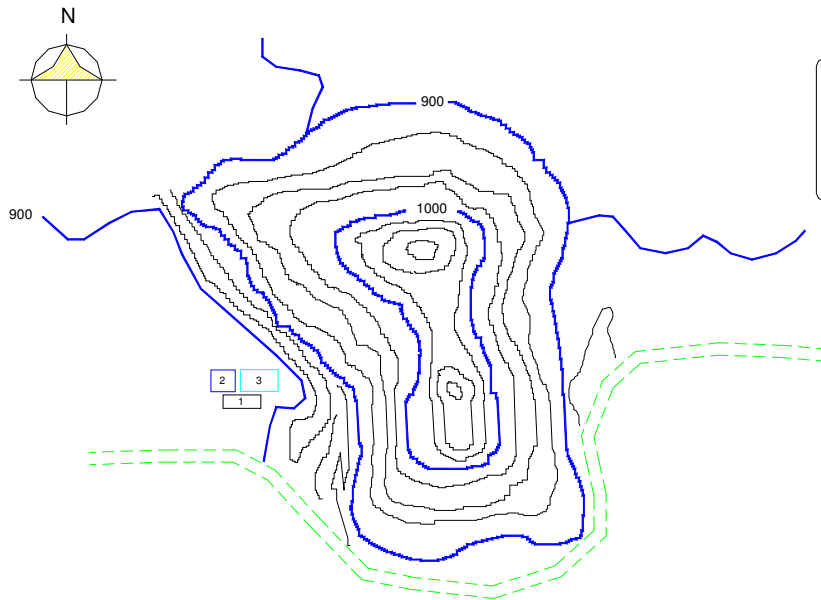
IV.3 Infraestructura.

La planta de beneficio será instalada en la zona este del yacimiento (figura IV.3), en este lugar existe una subsidencia natural del terreno misma que será aprovechada para colocar la tolva de recepción, y la alimentación de esta quedará a la altura del camino por donde se desplazan los camiones que llevan el mineral a la planta, esto con el fin de manejar el material por gravedad de la tolva a la alimentación del equipo principal el cual se instalará a nivel de la descarga de la tolva. Se deberá rellenar para nivelar el piso, este relleno se hará con el material producto de la construcción del camino de la mina, se compactará y se harán las cimentaciones necesarias.

La construcción de la nave que albergará los equipos de la planta será de 180 m² necesarios para el tamaño del equipo, estará hecha de estructura de acero y lámina galvanizada que formarán el techo y las paredes de la galería. Se considera para la cimentación utilizar concreto con resistencia de 250 kg/cm² considerado para estructura de acero con sus respectivas anclas cuyas características las proporcionará el proveedor de los equipos y estructura. En esta misma zona se construirán tres módulos que serán uno para dos oficinas una de operación y una administrativa con un área de 40 m², 120 m² para talleres de mantenimiento y 10 m² servicios sanitarios, en total el área a construir es de 170 m² construidos de mampostería y losas de piso y techo de concreto.

Para el suministro de energía eléctrica, esta se tomará de la línea de alta tensión de 15,000 volts que pasa cerca de las instalaciones de la planta, y se conducirá a una subestación que será instalada a 100 m de la planta por existir en este lugar cuchillas instaladas por CFE, en donde se aterrizará a un transformador de 13,000 volts que distribuirá la energía a las diferentes instalaciones; a un costado de la planta se tendrá un transformador de 440 volts que recibirá la alta tensión con los respectivos interruptores que alimentarán a los diferentes equipos.

El abastecimiento de agua será del río Nexapa a través de una tubería de struk pac (recomendada para conducir agua por su bajo costo de operación), de 25cm (10") de diámetro con una longitud de 750m, bombeada desde el lecho del río a un tanque cisterna con capacidad de 30,000 litros, construida de mampostería. Se utilizará una bomba denver de 25 X 35cm (10" X 14") con motor de 25 HP.



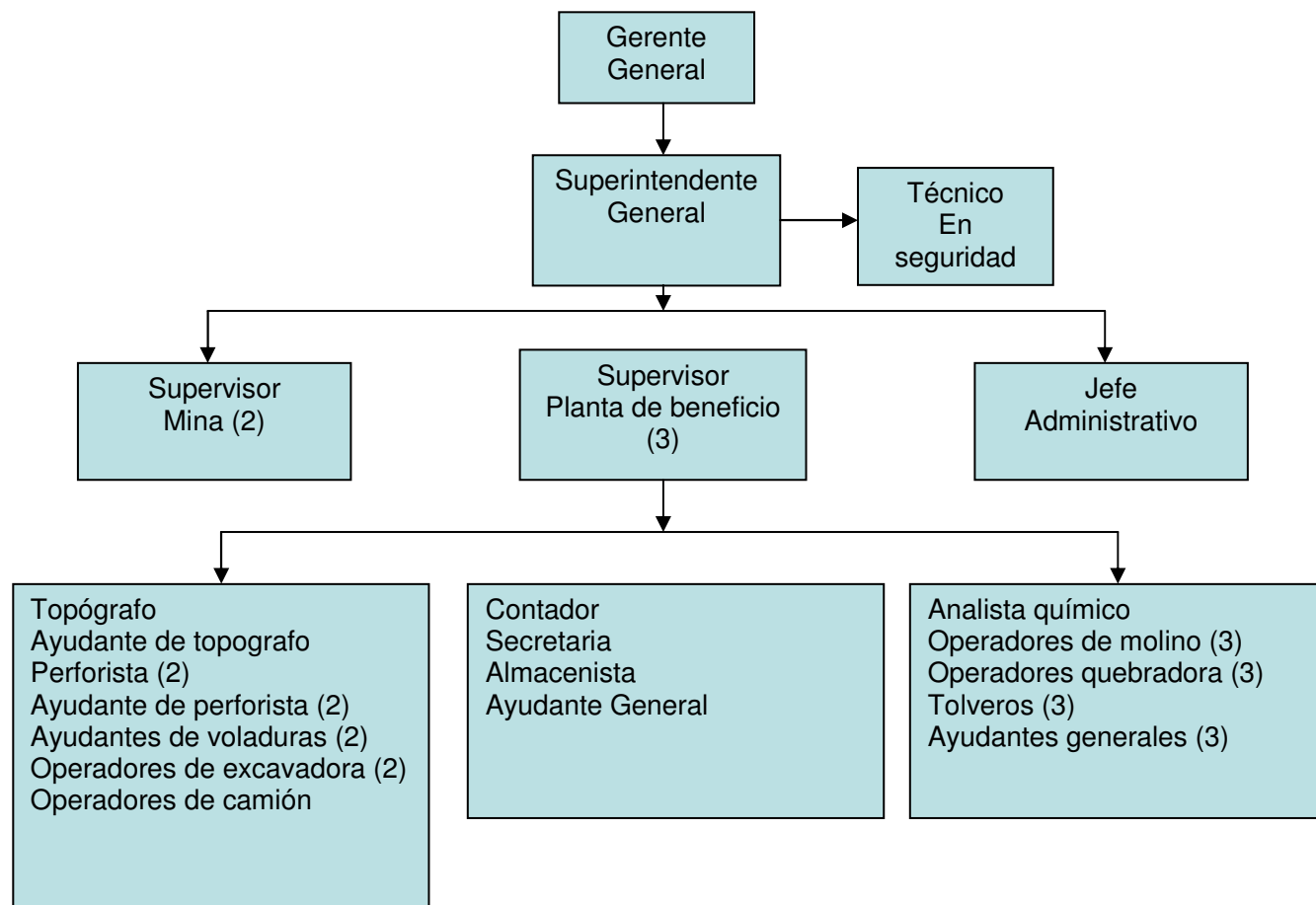
SIMBOLOGIA

1	AREA DE OFICINAS
2	TALLER DE MANTENIMIENTO
3	PLANTA DE BENEFICIO
---	CARRETERA FEDERAL

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL	
NOMBRE	CARLA HERNANDEZ FLORES
PROYECTO	JOLALPAN
PLANO	UBICACION DE PLANTA DE BENEFICIO
ACERCA DE	METROS
Nº	IV.3

IV.4 Organigrama.

El siguiente organigrama presenta el personal necesario para el arranque de la planta, este incluye la gente para trabajar en la cantera dos turnos, en la planta de beneficio tres turnos y el personal administrativo.



CAPITULO V. EVALUACIÓN FINANCIERA.

Introducción.

El análisis financiero es el proceso por medio del cual se comprueba la rentabilidad del estudio y sus beneficios a corto, mediano y largo plazo.

En este proyecto el análisis se hará en pesos del año 2004 y se llevará a cabo para los primeros 5 años de vida de la planta que corresponden al pago del préstamo efectuado, manteniendo constantes los ingresos y los costos de operación durante el período por analizar.

El objetivo es demostrar la rentabilidad del proyecto de acuerdo a la inversión total y al período de recuperación de la inversión.

Dentro de este análisis se contempla la estimación del capital de inversión, del crédito, de los costos de operación (que son un reflejo del costo total de los insumos necesarios para la producción y del tonelaje producido) y costos de administración.

Los ingresos se calcularán tomando en cuenta el costo de venta y el tonelaje producido anualmente.

Posteriormente se calculará la depreciación, flujo neto de efectivo, la tasa interna de retorno y el período de recuperación de la inversión.

Finalmente se realizará el análisis de sensibilidad.

V.1 Distribución del capital de inversión.

Origen de los recursos Financiamiento \$9, 072,262.00

Costo en pesos del año 2004.

Inversión inicial	
Concepto	Costo (pesos 2004)
Perforadora hidráulica	350,000.00
Cargador frontal 966	470,000.00
Módulo pulverización-calcinación	6,249,342.00
Renta de tractor D9 (mensualidad)	120,000.00
Renta de 3 camiones (mensualidad)	144,000.00
Infraestructura	1,300,000.00
Energía eléctrica	205,920.00
Administración	233,000.00
Total	9,072,262.00

V.2.1. Capital Social y Financiero.

Condiciones del crédito.

Principal	9,072,262
Tasa de interés anual	15%
Tiempo de duración del préstamo	5 años
Períodos de pago del principal	Trimestral
Pago de interés	Mensual

V.2 Análisis del crédito.

Análisis del crédito

Pago años	Saldo Capital	Pago Intères	Pago Principal	Pago
1	9,072,262	1,360,839	1,814,452	3,175,292
2	7,257,810	1,088,671	1,814,452	2,903,124
3	5,443,357	816,504	1,814,452	2,630,956
4	3,628,905	544,336	1,814,452	2,358,788
5	1,814,452	272,168	1,814,452	2,086,620

	total	
Inversión	9,072,262	
Seguro	1,360,839	3%
Total	10,433,101	

Capital	\$	10,433,101	
Enganche		40%	\$ 3,628,905
Principal	\$	6,804,197	

	Anual	Mensual
Tasa de Interés Ef	15.0000%	1.2500%
Plazo años	5	60
No. Periodos al Añ	12	

	Total
Amortización	\$13,154,780
Intereses	\$4,082,518
Abono a Principal	\$9,072,262

V.3 Gastos administrativos y costos de producción (\$).

Costos de producción (Pesos de 2004)		
Concepto	Mensual	Anual
Combustible y lubricantes	71,910.00	862,920.00
Acero de barrenación	36,823.00	441,876.00
Mantenimiento	50,000.00	600,000.00
Energía eléctrica	205,920.00	2,471,040.00
Explosivos	198,400.00	2,380,800.00
Administración	233,000.00	2,796,000.00
Renta de 3 camiones	144,000.00	1,728,000.00
Renta de tractor D9	120,000.00	1,440,000.00
Total	1,060,053.00	12,720,636.00

Resumen de costos de operación para los primeros 5 años de vida de la planta.

Toneladas por día 3,200
Días al mes 25
Días al año 300
Meses 12

Resumen de costos de operación		
Año	Costo/ton	Costo Total
1	13.25	12,720,000.00
2	13.25	12,720,000.00
3	13.25	12,720,000.00
4	13.25	12,720,000.00
5	13.25	12,720,000.00

V.4 Estimación de la producción anual y análisis de los ingresos anuales.

Año	Produce Ton	Egresos Adm	\$/Produce 13.25	Inv \$	Egresos Tot
0				9,072,262	
1	960,000	2,796,000	12,720,000		15,516,000
2	960,000	2,796,000	12,720,000		15,516,000
3	960,000	2,796,000	12,720,000		15,516,000
4	960,000	2,796,000	12,720,000		15,516,000
5	960,000	2,796,000	12,720,000		15,516,000

Precio anual en toneladas.

Producción anual	
Año	Producción
1	960,000
2	960,000
3	960,000
4	960,000
5	960,000

Costo de producción/Tonelada = \$13.25

Estimación de los ingresos anuales	
Año	Ingresos
1	77,637,600.00
2	77,637,600.00
3	77,637,600.00
4	77,637,600.00
5	77,637,600.00

precio venta \$82.00

V.5 Depreciación.

Es la declinación en el valor de los bienes de capital con el transcurso del tiempo.

La depreciación de los equipos se estimará por el método de línea recta sin considerar el valor de rescate.

Depreciación (Pesos de 2004)		
Concepto	Valor a depreciar	Depreciación
Perforadora hidráulica	350,000.00	70,000.00
Cargador frontal 966	470,000.00	94,000.00
Módulo pulverización-calcinación	6,249,342.00	1,249,868.00
Total depreciación		1,413,868.00

V.6 Análisis Financiero.

Flujo Neto de Efectivo.

Año	1	2	3	4	5
Ingresos por ventas	77,637,600	77,637,600	77,637,600	77,637,600	77,637,600
Costos de operación	12,720,000	12,720,000	12,720,000	12,720,000	12,720,000
Utilidad bruta	64,917,600	64,917,600	64,917,600	64,917,600	64,917,600
Gastos de administración	2,796,000	2,796,000	2,796,000	2,796,000	2,796,000
Gastos financieros	3,175,292	2,903,124	2,630,956	2,358,788	2,086,620
Depreciación	1,413,868	1,413,868	1,413,868	1,413,868	1,413,868
Utilidad de operación	57,532,440	57,804,608	58,076,776	58,348,944	58,621,112
ISR 31%	17,835,056	17,919,429	18,003,801	18,088,173	18,172,545
RTU en 10%	5,753,244	5,780,461	5,807,678	5,834,894	5,862,111
Utilidad neta	33,944,140	34,104,719	34,265,298	34,425,877	34,586,456

Cálculo de la tasa interna de retorno.

Valor presente.

Se calculará utilizando la siguiente expresión:

Donde:

C = Capital de inversión

I = Utilidad neta

I = Tasa de rentabilidad

n = Número de años

k = Constante

Año	Utilidad neta	Valor presente
1	33,944,140	6,970,049
2	34,104,719	1,437,992
3	34,265,298	296,666
4	34,425,877	61,203
5	34,586,456	12,626
	171,326,490	8,778,536

INVERSION	9,072,262	9,072,262
VAN	171,326,490	8,778,536
	162,254,228	293,726

Período de recuperación de la inversión.

Es el número de años que debe transcurrir antes de recuperar la inversión.

Año	INV	Flujo Neto Efec	Diferencia
0	9,072,262		-9,072,262
1	9,072,262	33,944,140	24,871,878
2	9,072,262	34,104,719	58,976,597
3	9,072,262	34,265,298	93,241,894
4	9,072,262	34,425,877	127,667,771
5	9,072,262	34,586,456	162,254,227

El período de recuperación de la inversión es de 1 año.

TIR 15%

V.7 Análisis de sensibilidad por el método de costos nivelados.

Análisis con variación en los costos.

15%	10%	0%	-10%	-15%
21.83	20.88	18.98	17.08	16.13

Análisis con variación en la producción.

15%	10%	0%	-10%	-15%
16.51	17.26	18.98	21.09	22.33

Como se ve, si se varían los costos y se mantiene constante la producción, el costo por tonelada permanece proporcional; en cambio si disminuye la producción y se mantienen constantes los costos, el proyecto presenta un marcado efecto negativo.

Para concluir el capítulo se hará una breve sinopsis de los resultados obtenidos.

El análisis se hizo para los primeros 5 años de vida del proyecto que corresponden al pago de préstamo efectuado.

La inversión total del proyecto fue de \$9, 072,262.00, misma que se recuperará en el primer año.

V.8 Estado de resultados.

Estado de resultados						
Concepto	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingresos por venta		77,637,600	77,637,600	77,637,600	77,637,600	77,637,600
Costos de producción		12,720,000	12,720,000	12,720,000	12,720,000	12,720,000
Utilidad de la operación		64,917,600	64,917,600	64,917,600	64,917,600	64,917,600
Administración		2,796,000	2,796,000	2,796,000	2,796,000	2,796,000
Depreciación		1,413,868	1,413,868	1,413,868	1,413,868	1,413,868
Interés del financiamiento		1,360,839	1,088,671	816,504	544,336	272,168
Utilidad bruta		59,346,893	59,619,061	59,891,228	60,163,396	60,435,564
ISR 31%		18,397,537	18,481,909	18,566,281	18,650,653	18,735,025
PTU (10%)		5,934,689	5,961,906	5,989,123	6,016,340	6,043,556
Utilidad Neta		35,014,667	35,175,246	35,335,825	35,496,404	35,656,983
Pago principal		1,814,452	1,814,452	1,814,452	1,814,452	1,814,452
Utilidad del ejercicio		33,200,215	33,360,794	33,521,373	33,681,952	33,842,531

CAPITULO VI. ASPECTOS SOCIO-ECONÓMICOS.

VI.1 Panorama internacional de la minería.

Después del crecimiento que experimentó durante la década de los 90's, y como resultado de las contradicciones propias de la expansión, la economía mundial está en una etapa prolongada de estacionamiento, con problemas de sobreproducción, deterioro de la rentabilidad, ahorro deprimido, riesgo de deflación y déficit presupuestarios.

Si bien es cierto que, de acuerdo a las cifras del Fondo Monetario Internacional, el PIB mundial creció 3% durante el año 2002, el índice de la producción industrial descendió 114.6 a 113.4 en los siete países más industrializados.

En este contexto de deterioro mundial de la producción industrial, el consumo de materias primas fue nuevamente afectado, llevando al estacionamiento del índice de precios de las materias primas en un nivel de 76.7 en 2002. Este fenómeno, que afecta los términos de intercambio de las economías de los países en desarrollo, fue particularmente desfavorable para los productos minerales. Durante el año 2002 el índice de precios de las materias primas de la minería metálica se ubicó en 71.9, cifra que representó un decremento de 2.7% con respecto del año 2001, y 12% por debajo del nivel alcanzado en el año 2000.

El mercado mundial de la industria minera, en consecuencia, experimentó otro año de crisis, caracterizado por sobreoferta, alto nivel de inventarios, deterioro de la demanda, depresión de los precios y bajos montos de inversión, a pesar del recorte de los volúmenes de producción realizados por algunas empresas. La producción minera mundial decreció, en términos generales, durante el año 2002, destacando la menor producción de oro, plomo y cobre.

La minería de no metálicos no fue excepción, la producción mundial de yeso alcanzó las 100 millones de toneladas en el año 2002, 3.6% inferior a lo observado en el año anterior. EUA e Irán fueron los principales productores al contribuir con 15.6% y 10.7% del total respectivamente. México participó con el 3.5% de la producción mundial. El decremento de la producción se debió sobre todo a la debilidad de la demanda en Estados Unidos y Europa, y en particular a las dificultades de la industria de la construcción a nivel mundial.

En el año 2002 el precio del yeso se mantuvo en los niveles del año 2001, de 7.3 dólares por tonelada sin calcinar, mercado americano, y de 18.3 dólares por tonelada calcinada, mercado americano.¹

¹ Fuente: Mineral Commodity Summaries, abril 2003, para México Dirección General de Minas, Secretaría de Economía.

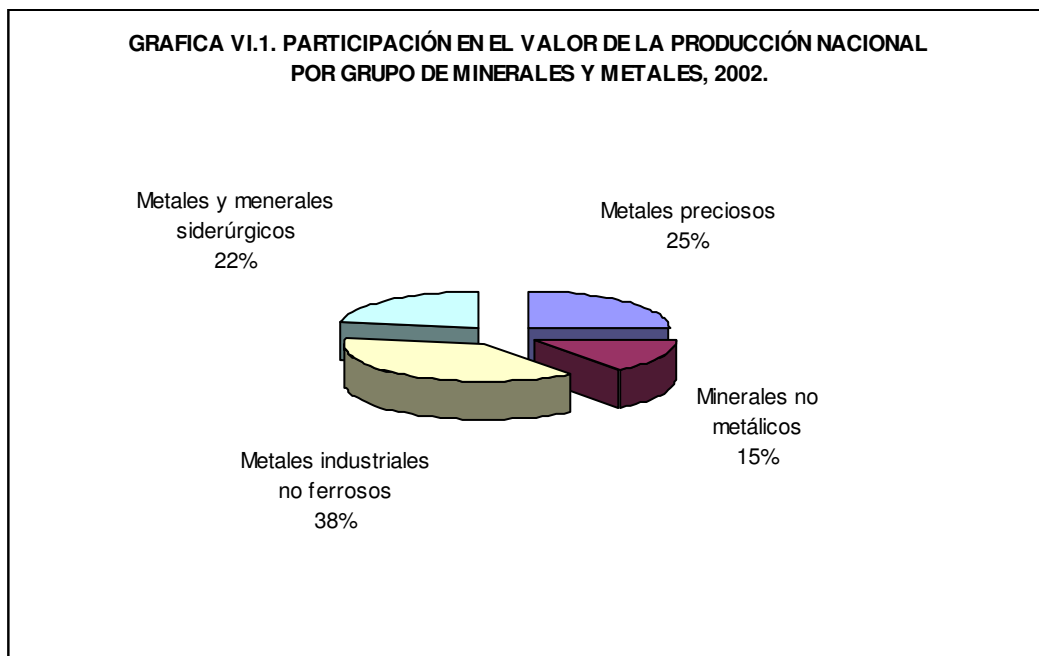
VI.1.1 La minería mexicana en el 2002.

El sector industrial nacional se mantuvo en una fase depresiva con un estacionamiento de nulo crecimiento de su producto interno bruto (PIB), y un comportamiento heterogéneo. Por una parte, la industria de electricidad, gas y agua creció 3.8% y la construcción en 1.7% durante el año 2002; estos resultados, sin embargo, fueron contrarrestados por la caída del PIB manufacturero en 0.6% y del PIB minero de 0.3%; dentro de este último la minería determinó el resultado negativo con un decremento del 1.9%.

De acuerdo al índice de volumen físico (IVF), la producción del sector minero mexicano sufrió una caída del 0.3% anual en términos reales durante 2002; marcando así el segundo año consecutivo de resultados negativos en el sector, que delinean ya una prolongada crisis, caracterizada no solamente por la depresión productiva, sino también por el deterioro de los intercambios comerciales y la pérdida de empleos.

La rama 8, de minerales no ferrosos, terminó el año con un decremento de 10.9% anual y el índice más bajo de los últimos ocho años. La rama 10, de minerales no metálicos, también tuvo el nivel más bajo desde 1995 con un índice de 112.1 y un decremento de 10.5% con respecto a 2001.

En el contexto de la crisis global, la minería mexicana conservó su sitio entre los doce principales productores mundiales en 18 minerales, ocupando el noveno lugar en producción de yeso.



VI.1.2 Comportamiento de los minerales no metálicos en el año 2002.

En el grupo de los minerales no metálicos, más de la mitad de los productos terminaron con resultados negativos durante el 2002. Cayó la producción de fosforita (99.4%), celestita (35.5%), grafito (35.2%), dolomita (31.8%), caolín (27%), diatomita (10.3%), sal (8.2%) y yeso (4.6%). El comportamiento negativo de estos minerales se debió principalmente a la contracción del mercado interno, como resultado de la caída de la demanda en las industrias manufactureras.

Entre los minerales que experimentaron incremento destacan la barita (15.2%) y la wollastonita (7.3%); también crecieron la producción de sílice (3.4%), azufre (1.0%), feldespato (0.8%) y fluorita (0.5%). La producción de azufre y de la barita continua siendo impulsada por el buen desempeño de la industria petrolera y los mayores volúmenes en la producción de petróleo crudo por parte de Petróleos Mexicanos.

VI.1.3 Comportamiento del yeso en el año 2002.

La producción mundial de yeso en el año 2002 fue de 100, 250,000 toneladas, de las cuales México participo con 3, 549,550 toneladas, es decir tuvo una participación mundial del 3.5% de la producción de yeso, y ocupó el décimo lugar mundial en la producción de este mineral.

La producción minera de yeso en México de 1992 a 1997 se caracterizó por incremento notorio año tras año, sin embargo de 1997 al 2000 se registraron decrementos importantes en la producción anual, es en el año 2002 donde se registra nuevamente un decremento en la producción anual de 4.6% respecto al año 2001, contrario a lo sucedido en 2001 donde se vio una ligera recuperación respecto al año 2000.

VI.1.4 Balanza comercial minero-metalúrgica 2002.

Durante el 2002, el comercio exterior total de productos minero-metalúrgicos de nuestro país registró por segundo año consecutivo una evolución negativa; su valor fue de 3,172 millones de dólares (mdd), monto que representó un decremento de 3.8% comparado con el año anterior. El rubro que determinó este resultado fue el de las exportaciones, cuyo comportamiento también explica en forma significativa la tendencia decreciente del superávit comercial, el cual durante el 2002 decreció 67% en relación al año anterior al totalizar 111 mdd.

Exportaciones.

Las exportaciones minero-metalúrgicas experimentaron un decremento de 9.8% en el año 2002, sumando 1,641 mdd, cifra que representó el 1% del total de las exportaciones del país.

Los minerales no metálicos rompieron con una tendencia de seis años continuos de exportaciones decrecientes, al alcanzar un incremento de 1.6%, equivalente a 155 mdd, este resultado se debió principalmente a las exportaciones de azufre (57%), yeso (82.2%), que contrarrestaron las caídas en las ventas externas de fluorita (-1%), sal (-11%) y barita (-47%).

Importaciones.

Las importaciones minero-metalúrgicas crecieron 3.5% en el año 2002, alcanzando 1,531 mdd, cantidad que contribuyó con el 0.9% de las importaciones totales de México. Los metales industriales no ferrosos participaron con 54% del total, los minerales no metálicos representaron el 27%, y las compras de metales y minerales siderúrgicos contribuyeron con el 19% restante.

Las compras al exterior de minerales no metálicos crecieron 6.5%, con un valor de 410 mdd. Destacó el incremento en las importaciones de piedras minerales y diamantes industriales (84.5%), y silicio y caolín (8.1%).

La crisis del sector ha agudizado una tendencia manifiesta en los últimos años, caracterizada por el descenso constante del saldo positivo de la balanza comercial de productos minero-metalúrgicos, debido tanto a un incremento de las importaciones como a un decremento de las exportaciones.

De lo anterior se deduce, que continua un incremento en la importación de minerales no metálicos, aún cuando se cuente con suficientes reservas en el país de algunos de ellos, tal es el caso concreto del yeso. Con lo que se deberán poner acciones correctivas como mayor promoción a programas de exploración y explotación de estos recursos; así como mayores facilidades gubernamentales y fiscales a las empresas encaminadas a esta actividad.

De acuerdo a los datos aportados por la balanza comercial, el proyecto Jolalpan tiene futuro en el mercado nacional, así como en el contexto internacional; también beneficiado con la apertura creciente de la industria del cemento en nuestro país, siendo el yeso una de las principales materias primas de esta industria; sin despreciar la industria de la construcción un pilar importante en el consumo de este mineral.

VI.2 Estudio Socioeconómico de Jolalpan, Puebla.

Jolalpan uno de los 211 municipios que conforman el Estado de Puebla, cuenta con una población de 4,500 habitantes; es un pueblo que se caracteriza por casas de adobe en su mayoría y calles sin pavimento, que denotan el bajo nivel de vida de sus habitantes; quienes recorren de 3 a 5 kilómetros de distancia hasta el Río Nexapa para abastecerse de agua.

Entre la población predomina el analfabetismo, pues aunque cuentan con escuela hasta el nivel de secundaria son las últimas generaciones las que en su mayoría están recibiendo educación. Esto tiene otras consecuencias como la insalubridad entre los habitantes, quienes siguen un patrón de vida de generaciones como son las visitas a curanderos para aliviar sus males; sin embargo uno de los principales problemas de salud que se presentan entre la población son de origen gastrointestinal debido a su mala alimentación e ingerir agua no potabilizada, es por esto que aunque se tenga un alto índice de natalidad entre la población también se tiene un alto índice de mortalidad, la cual se presenta más frecuentemente en niños.

La principal actividad entre los pobladores de Jolalpan es la agricultura, la cual desarrollan exclusivamente para auto consumo; ya que por falta de tierra fértil, así como de recursos económicos esta actividad la realizan para satisfacer su necesidad, se siembra maíz en dos épocas del año esperando no tener problemas con la cosecha, ya que esta la tienen destinada para el almacenaje de donde se abastecen todo el año. También siembran algunas hortalizas y otros granos que al igual que el maíz satisface únicamente sus necesidades. La cría de animales de granja también es común entre la comunidad, que aunque se realiza para su propio consumo esto genera problemas sanitarios debido a la mala atención y a que en su mayoría no se le destina la animal un lugar preciso durante su crianza.

El abastecimiento de energía eléctrica es en la comunidad muy irregular, ya que aunque muy cerca del poblado pasa una red de distribución de energía, esta tiene escasos meses de haber llegado a las calles de Jolalpan.

En Jolalpan no existe una fuente de trabajo que de empleo a la población económicamente activa, por esta razón es muy difícil para esta gente la captación de ingresos económicos, por lo que viven generalmente de la agricultura y de trabajos eventuales como la recolección del copal, para cuya actividad además de ser desgastante y poco remunerable deben trasladarse al Estado de Guerrero para realizarla.

La población más cercana a Jolalpan que cuenta con algunas fuentes de trabajo es Axochiapan. Esta población esta a 32 kilómetros, cuenta con algunas plantas de procesamiento de yeso que proviene de las poblaciones aledañas en donde se explota este mineral, cabe señalar que tanto el beneficio como la producción de yeso es en baja escala, por lo que esta fuente de trabajo abastece únicamente a los pobladores de Axochiapan, por lo que queda fuera de contexto.

Es importante mencionar que la gente de Jolalpan acude a Axochiapan para realizar compras o hacer uso de algún servicio público como los de salud, de telégrafo o cualquier otra cosa con la que no cuentan en su comunidad.

Todo lo anterior trae como consecuencia problemas sociales muy fuertes y conocidos como son la emigración del campesino a ciudades, problemas de drogadicción y delincuencia entre los jóvenes que no tienen en que emplearse y no precisamente porque no quieran trabajar ni porque no tengan necesidad, simplemente porque no existe la fuente de trabajo.

Es evidente la falta de atención que se tiene a poblaciones como Jolalpan que se encuentra entre ciudades tan importantes como Puebla y Cuernavaca y cuya situación geográfica y su riqueza mineral no la han beneficiado. Es una población que vive en un atraso muy pronunciado.

CAPITULO VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

VII.1 Conclusiones.

- Se tienen 28'800,000 toneladas de reservas positivas de mineral, lo que proporciona seguridad a la inversión.
- El método de explotación es a cielo abierto, con una producción de 3,200 toneladas por día trabajando dos turnos, el acarreo de mineral se hará con camiones de 12 toneladas.
- Se presenta un método de beneficio, diseñado con alta tecnología, que nos proporciona alto rendimiento y productividad, así mismo disminuye los costos de producción.
- La planta de beneficio trabajará tres turnos por día, y se tendrán paros de planta programados para el mantenimiento de los equipos una vez al mes.
- Para el suministro de energía se construirá una subestación en la parte este del yacimiento a 100 m de la planta, desde donde se distribuirá la energía a las diferentes áreas de la unidad.
- El suministro de agua será del Río Nexapa, para lo cual se extenderá una tubería con longitud de 750 m, y se instalará una bomba de 25 HP, para conducir el agua.
- De acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis financiero, se presenta un proyecto de inversión cuya viabilidad es positiva.

VII.2 Recomendaciones.

- Para la puesta en marcha del proyecto, la mayor parte del equipo es nuevo por lo que deberán programar periódicamente tiempos de mantenimiento, para garantizar la durabilidad y eficiencia de los mismos.
- Por las necesidades económicas del proyecto, inicialmente para el transporte del mineral se rentarán camiones. Se presenta la alternativa de transporte por banda, es un sistema que implica un mayor costo de inversión, por lo que se desecha para el inicio de los trabajos, sin embargo es recomendable considerarlo para el crecimiento de la unidad
- Para dar mayor valor agregado al producto se presenta la alternativa de fabricar tabla roca, el crecimiento económico será considerablemente mayor durante los primeros años de trabajo, por lo que se recomienda implantar el sistema en cuanto los recursos económicos lo permitan.
- Es un proyecto viable por lo que se recomienda la puesta en marcha.

BIBLIOGRAFÍA.

- **Geología de la República Mexicana.** Ing. Dante J. Moran, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, Facultad de Ingeniería, UNAM 1984.
- **Mecánica de suelos.** Juárez Badillo Rico Rodríguez, Fondo de Cultura Económica, segunda edición, 1980.
- **Evaluación de proyectos de inversión.** Arturo Villa real, Grupo Editorial Norma, Barcelona 1993.
- **Fundamentos de finanzas.** Richard A. Stevenson, Mcgraw-Hill, primera edición, 1996
- **Subsurface geologic methods.** L.W. Leroy and Harry M. Crain, Published by Department of publications, Colorado school of mine 1979.
- **Open pit mine planing&desing.** William Hustrulid, A. Balkema/Rotterdam, brookfield/1995.
- **Surface Blast Design.** Calvin J. Konya, Edward J. Walter; prentice Hall Inc. New Jersey 1990.
- **Características y correcta aplicación de los diversos tipos de cemento.** Julián Rezola Izaguirre, Editores Técnicos 1986.
- **Cemento: fabricación, propiedades, aplicación.** Fritz Keil, Editores Técnicos 1983.
- **Informe de la Minería Mexicana 2002.** Secretaría de Economía mayo 2004.