



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

“PROBLEMATICA OPERACIONAL DE LA MINA
SAN ANTONIO Y SUSTITUCION DEL SISTEMA
DE BOMBEO DE AGUA UNIDAD SANTA
EULALIA CHIHUAHUA, CHIH”

T E S I S
PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO DE MINAS Y METALURGISTA
P R E S E N T A:
RODOLFO TELLEZ TAPIA

ASESOR DE TESIS:
ING. JOSE E. SANTOS JALLATH



MEXICO, D.F.

2001



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-I-1300

SR. RODOLFO TELLEZ TAPIA
Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Ing. José E. Santos Jallath y que aprobó esta Dirección para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de Ingeniero de Minas y Metalurgista:

PROBLEMATICA OPERACIONAL DE LA MINA SAN ANTONIO Y SUSTITUCION DEL SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA, UNIDAD SANTA EULALIA CHIHUAHUA, CHIH.

- I INTRODUCCION
 - II GENERALIDADES
 - III GEOLOGIA
 - IV OPERACIONES MINERAS
 - V PROBLEMAS OPERACIONALES DEBIDO A LAS FILTRACIONES DE AGUA
 - VI PROYECTO DE BOMBEO DE 2,500 A 10,000 g.p.m.
 - VII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
- BIBLIOGRAFIA

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta

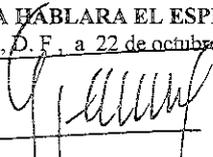
Asimismo, le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que se deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar examen profesional

Atentamente

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cd. Universitaria, D. F., a 22 de octubre de 2001

EL DIRECTOR


ING. GERARDO FERRANDO BRAVO

GFB*RLLR*gtg

P

AGRADECIMIENTOS

A MARIA EUGENIA

POR SER LA ESPOSA Y
COMPAÑERA INCONDICIONAL. QUE
ME HA MOTIVADO PARA SEGUIR
ADELANTE Y ARRIESGARME A
REALIZAR TODOS MIS PROYECTOS

A MI MADRE:

POR TENER LA CONFIANZA
EN MI Y DEMOSTRARME SU
APOYO EN TODO MOMENTO.

A GRACIELA:

POR SU APOYO Y AYUDA EN
LA REALIZACIÓN DE ESTE TRABAJO.

A MIS ASESORES:

POR LA ORIENTACION
RECIBIDA QUE ME SERVIRA PARA
MI REALIZACION PROFESIONAL.

INDICE

PAG

INTRODUCCIÓN

<u>1.- GENERALIDADES</u>	6
1.1. Localización y acceso	
1.2. Clima	
1.3. Hidrografía	
1.4. Flora y fauna de la región	
1.5. Socioeconomía	
<u>2.- GEOLOGÍA</u>	9
2.1. Geología regional	
2.2. Estratigrafía	
2.2.1. Rocas sedimentarias	
2.2.2. Encape volcánico	
2.3. Geología estructural	
2.4. Geohidrología	
2.5. Origen del yacimiento	
2.6. Perspectivas de exploración	
<u>3.- OPERACIONES MINERAS ACTUALES</u>	18
3.1. Instalaciones, maquinaria y equipo	
3.2. Sistema de explotación y producción	
3.3. Presencia de agua en la mina	
3.3.1. Sistema de bombeo actual	
3.3.2. Procedimiento para localizar las zonas de agua	
3.3.3. Relación gasto presión de agua	
3.4. Protección de obras mineras	
3.4.1. Medidas preventivas	
3.4.2. Procedimiento general de protección de obras	
3.4.3. Protección en desarrollos	
3.4.4. Protección en rebajes	
3.4.5. Protección en contrapozos	
3.5. Consideraciones adicionales en las zonas de agua	
3.6. Manejo del agua en la mina	

4.- PROBLEMÁTICA POR LA FILTRACION DE AGUA

31

- 4.1 Problemas de operacion
 - 4.1.1 Tiempo de protección y desarrollo de las obras
 - 4.1.2. Consumo de explosivos
 - 4.1.3. Ambiente en los lugares de trabajo
 - 4.1.4 Desague de las obras
 - 4.1.5 Relleno con jal
 - 4.1.6. Manteo
- 4.2. Problemas de mantenimiento
 - 4.2.1. Mantenimiento de caminos
 - 4.2.2 Mantenimiento de instalaciones eléctricas
 - 4.2.3. Mantenimiento de equipo
 - 4.2.4. Rehabilitación de instalaciones
- 4.3. Control de inundaciones
 - 4.3.1. Consideraciones históricas
 - 4.3.2. Procedimiento para el control de inundaciones

5.- PROYECTO DE BOMBEO DE 157.7 A 631.0 $\frac{1}{seg}$ 41

- 5.1 Instalaciones y capacidad actual de bombeo
- 5.2. Alternativas de solución
 - 5.2.1 Proyectos en el nivel 14
 - 5.2.2. Proyecto seccionado en el nivel 13
- 5.3. Sistema de bombeo propuesto
 - 5.3.1. Criterios de diseño
 - 5.3.2 Obras principales
 - 5.3.3 Ventajas del sistema
 - 5.3.4. Desventajas del sistema
- 5.4. Evaluación financiera
 - 5.4.1 Análisis de costos
 - 5.4.2 Resumen de costos
 - 5.4.3. Justificación financiera
 - 5.4.4. Viabilidad financiera

6.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 66

BIBLIOGRAFÍA 68

ANEXO 1 CALCULOS DEL SISTEMA DE BOMBEO 69

ANEXO 2 PROTECCIÓN DE OBRAS... .. 76

INTRODUCCIÓN

Las minas del distrito minero de Santa Eulalia fueron descubiertas por los españoles en el año de 1591, pero no se les dio importancia sino hasta el año de 1707 cuando la mina San Antonio fue denunciada.

La riqueza del mineral hizo acudir a numerosos buscadores de fortunas, estableciéndose en una angosta cañada a la que se le dio el nombre de “Santa Eulalia de Mérida”. Ante la escasez de agua en el lugar y la inseguridad por los constantes saqueos de las casas, la gente se asentó en las riveras del río Chuvíscar, lugar que recibió el nombre de “San Francisco de Cuellar” Pero en vista del progreso inminente del centro minero se le otorgó el título de villa, con el nombre de “San Felipe del Real de Chihuahua”.

En 1790 se explotaban minerales oxidados y el tumbé resultaba económico a pesar de que los métodos utilizados eran rudimentarios. A finales del siglo XVII, los problemas sociopolíticos, de la guerra de Independencia, y el agotamiento de los minerales cercanos a la superficie, ocasionaron que bajara la producción de plata

En el año de 1880 una empresa norteamericana invirtió en la renovación de las instalaciones mineras y metalúrgicas, que además requería de por lo menos 2,000 hombres. Ante la magnitud del proyecto el gobierno estatal aceptó las condiciones propuestas y con la prosperidad de las actividades mineras, se proyectó instalar una fundición en el lugar conocido actualmente con el nombre de Ávalos a pocos kilómetros de la ciudad de Chihuahua.

La producción de mineral oxidado de plata y plomo, era enviada directamente a la fundición de Ávalos. Y a partir de 1925 se empezó la extracción del mineral de sulfuros de plomo y zinc en las minas San Antonio y Buena Tierra, por lo que fue necesaria la construcción de la primera planta de flotación selectiva, misma que comenzó a operar a partir de 1941 de manera ininterrumpida, excepto el lapso ocasionado por la inundación de 1945 que duró casi un año tratando de desaguarla

En 1928 se empezó a trabajar a mayor escala la mina Buena Tierra, con una producción de 30 a 50 toneladas por día, con una ley de plata que variaba de 10 a 15 kilos de plata por tonelada. Mientras que la mina San Antonio tenía problemas de producción por la escasez de agua en la región y fue que en 1945 con el desarrollo de una frente en el nivel 9 se comunicó con una bolsa de agua que estaba conectada al nivel freático, ocasionando la inundación de la mina en 7 horas. Los trabajos para desaguar la mina San Antonio duraron un año y a partir de ese momento, la mina San Antonio ya no tuvo problemas por la escasez de agua pero comenzó a trabajar con un flujo constante de agua, ya con el desarrollo de la mina a niveles inferiores, se comenzaron a presentar filtraciones de agua en casi todas las obras mineras

En el año de 1969 en acatamiento a la Ley Minera, se realizó la mexicanización de la empresa ASARCO, llamándose Compañía Minera ASARCO S. A. y en el año de 1977 se cambió el nombre por el de Industrial Minera México S. A. de C. V

Actualmente se extraen en promedio 1.200 toneladas diarias de mineral con contenidos de plata, plomo y zinc

En el presente trabajo se expone la problemática en la operación de la mina San Antonio debido a la existencia de un elevado volumen de agua y se analiza la importancia del sistema de bombeo. Actualmente, éste es un problema crítico y en gran medida, de su solución dependerá la producción continua de la mina

El objetivo de la tesis es presentar una alternativa de solución para las operaciones de la mina San Antonio, que consiste en un sistema de bombeo de agua, que permita garantizar la operación continua de la mina, aún durante una emergencia de inundación

Como alternativa de solución al problema, se presenta la sustitución del sistema de bombeo existente, ya que las instalaciones de éste, fueron construidas hace más de veinte años y satisfacían las necesidades de bombeo de esa época que eran $63.1 \text{ l}/\text{seg}$ aproximadamente (1,000 g p m). Con el desarrollo de la mina, los requerimientos actuales del sistema de bombeo son de $157.7 \text{ l}/\text{seg}$ (2,500 g p m). Esta capacidad se ha controlado utilizando más bombas en las instalaciones existentes, pero actualmente el sistema ya no es suficiente para decantar el agua y bombearla, así, se tienen problemas en las piletas por azolve y el contenido de sólidos del agua bombeada ocasiona que los equipos tengan desgastes prematuros en sus partes internas, además de los problemas ocasionados en la producción.

Junto con las necesidades de un nuevo sistema de bombeo, se tiene el riesgo de que alguna obra minera, corte un cuerpo de agua y se rebase la capacidad total de bombeo, ocasionando la inundación de la mina.

Por esta razón se propone el diseño y construcción de una nueva estación de bombeo, con capacidad de $630.8 \text{ l}/\text{seg}$ (10,000 g p m), que sustituirá en su totalidad las instalaciones existentes. Con esto se garantizará el bombeo normal, el control de un afluente extraordinario de agua que pueda causar una inundación parcial o total de la mina y la seguridad para la realización continua de las operaciones de producción

1. GENERALIDADES

1.1 LOCALIZACIÓN Y ACCESO

El Distrito Minero de Santa Eulalia se localiza al oriente de la ciudad de Chihuahua, a 37 kilómetros de distancia por la carretera federal 45, el poblado se llama Francisco Portillo, municipio de Aquiles Serdán, aquí se encuentran las oficinas generales de la unidad y la mina Buena Tierra (ver figura 1)

Del poblado de Francisco Portillo a la mina San Antonio hay una distancia de 13 kilómetros sobre carretera de terracería transitable en todas las épocas del año

El distrito minero de Santa Eulalia abarca una extensión de 500 hectáreas y está dividido en tres campos

CAMPO PONIENTE: En este campo se encuentran las oficinas de la unidad y la mina Buena Tierra (agotada recientemente)

CAMPO CENTRAL: Este campo se encuentra actualmente en estudio y a pesar de no tener obras mineras importantes, las anomalías geofísicas presentes indican un campo geológicamente interesante con posibilidades de mineralización. La mayor parte de este campo está cubierta por derrames volcánicos tipo riolítico con presencia de caliza que en algunos lugares llegan a tener hasta 500 metros de espesor, lo cual dificulta su exploración.

CAMPO ORIENTE: Este campo es el más importante, ya que aquí se encuentra la mina San Antonio que es la base de la producción de la unidad minera

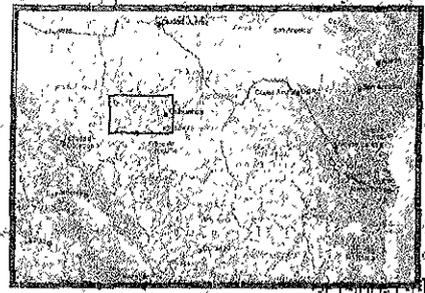
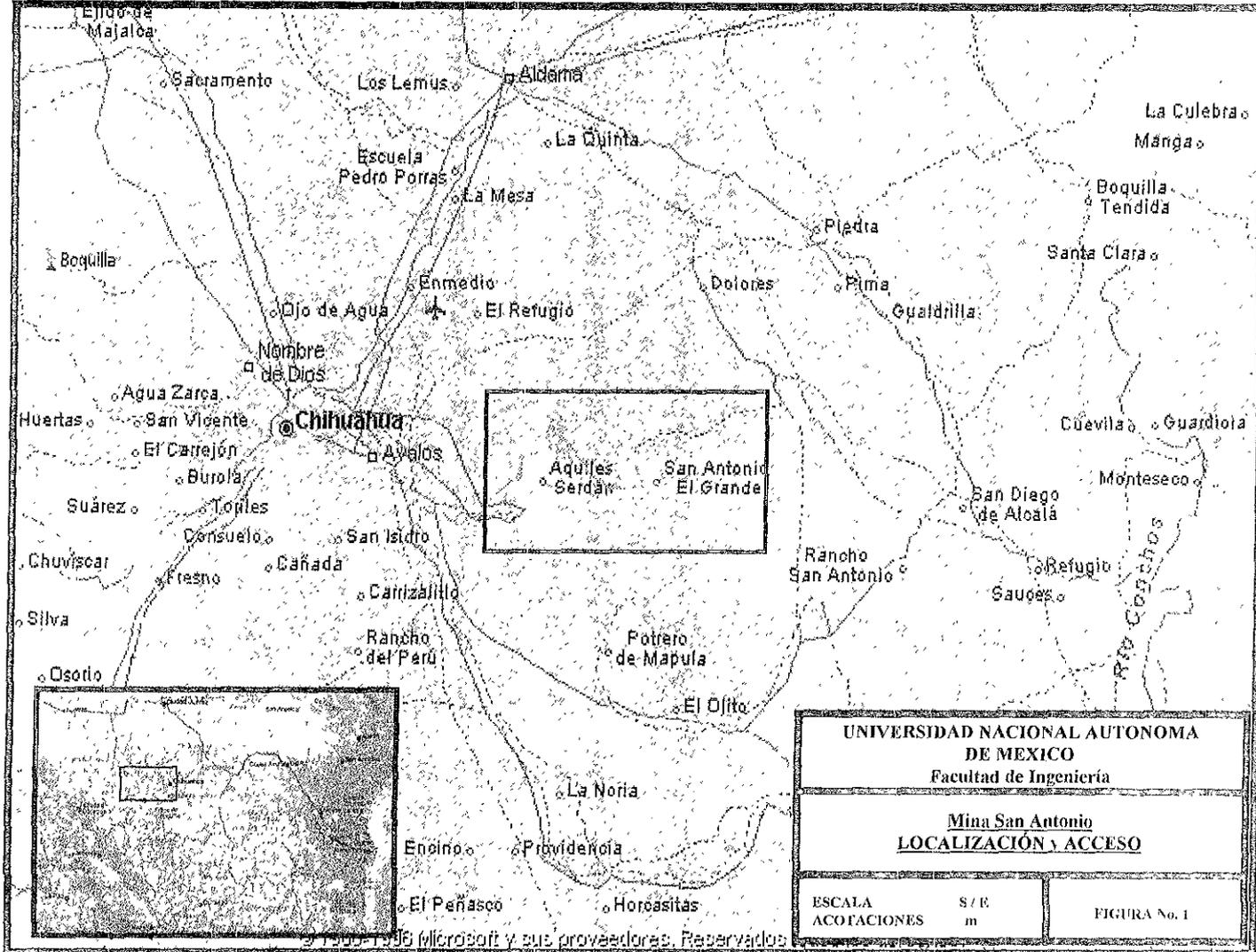
La separación entre los campos poniente y oriente es de seis kilómetros en línea recta y se extiende desde los poblados Aquiles Serdán y Santo Domingo en el oeste, hasta el poblado de San Antonio el Grande en el este

1.2 CLIMA

El clima en esta región está considerado del tipo SEMIÁRIDO

La precipitación media anual en esta región desértica, es menor de 250 mm. los meses con mayor precipitación son septiembre y octubre, y los de menor precipitación son mayo y junio. Debido a una capa de arcilla impermeable situada en el subsuelo, el agua escurre y la infiltración es baja.

Los días en casi todas las temporadas son despejados, teniendo una fuerte radiación solar en el verano, la cual va disminuyendo a medida que se acerca el invierno



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO Facultad de Ingeniería		
<u>Mina San Antonio</u> LOCALIZACIÓN y ACCESO		
ESCALA ACOFACIONES	S / R m	FIGURA No. 1

Las temperaturas en verano pueden alcanzar hasta un máximo de 40 grados y un mínimo de 10 grados. El índice de humedad es muy bajo y hay una alta evaporación, en el invierno se llegan a tener temperaturas mínimas que varían entre los cero y 5 grados bajo cero, con la presencia de nevadas constantes en los meses de diciembre y enero.

1.3 HIDROGRAFÍA

El distrito, está drenado por pequeños arroyos intermitentes que escurren hacia los valles de Dolores y Tabaloapa, estos arroyos son abastecidos por el río Chuvíscar y el río San Pedro.

La red fluvial es del tipo rectangular y dendrítico y los cauces se van disminuyendo conforme llegan a la planicie, estos permanecen secos casi todo el año, salvo en la época de lluvia, formando cursos divagantes que generalmente desaparecen en el terreno por ser de régimen intermitente.

El río San Pedro y el río Chuvíscar son afluentes directos del río Conchos, y se tiene conocimiento de que son el origen del agua subterránea en el distrito minero de Santa Eulalia. Sus aportaciones son intermitentes y dependen de la cantidad de lluvia que se tenga en la región.

1.4 FLORA Y FAUNA DE LA REGIÓN

La flora y fauna de la región es muy limitada debido al clima tan riguroso que se tiene, la vegetación es característica de las zonas áridas de la altiplanicie norte de país, de tipo monte bajo, muy dispersa y raquítica. Siendo como predominantes las especies como el Ocotillo, Sotol, Mezquite, Palomito, Lechuguilla, etc. La fauna también es muy escasa y limitada a algunas especies como correcaminos, víboras del tipo cascabel y aulladoras, zorrillos, coyotes, ratones del desierto, etc.

1.5 SOCIOECONOMÍA

El municipio de Aquiles Serdán cuenta con las siguientes poblaciones: San Guillermo, Francisco Portillo, San Antonio el Grande y Aquiles Serdán. Estas poblaciones cuentan con escuelas primarias y pre-primarias y sólo Aquiles Serdán tiene una escuela secundaria; para niveles de estudios de bachillerato y profesionales la población tiene que trasladarse a la ciudad de Chihuahua.

El municipio cuenta con los servicios de energía eléctrica, agua potable, oficinas de correos, y teléfonos, la agricultura es escasa y el comercio está limitado exclusivamente a los artículos de primera necesidad. La principal fuente de trabajo de la región, es la minería, que se ve desplazada por las grandes maquiladoras que se han establecido en la ciudad de Chihuahua, las cuales acaparan la mano de obra y ocasionan la escasez de trabajadores para la compañía minera.

2. GEOLOGÍA

2.1 GEOLOGÍA REGIONAL

El distrito minero de Santa Eulalia se ubica en el flanco oriente de la sierra de Santa Eulalia a una altura de 1,600 m s n m, esta sierra forma parte de un cordón montañoso orientado N 20° W, que se extiende por varias decenas de kilómetros tanto hacia el norte como hacia el sur, y su ancho varía de 10 a 20 kilómetros. De acuerdo al ciclo geomorfológicos, la sierra de Santa Eulalia se encuentra en etapa de madurez temprana (ver figura 2)

En la mayor parte del área que cubre el distrito minero de Santa Eulalia, aflora la caliza fosilífera, ésta se encuentra en estratos de color gris oscuro y presenta nódulos de pedernal color crema y gris oscuro a lo largo de los planos de estratificación

Cubriendo a estas calizas se tiene una colada de roca volcánica constituida por tobas andesíticas y riolitas. A éstas se sobreponen conglomerados de edad del Oligoceno

En algunas partes afloran diques riolíticos y diabásicos que cortan a las rocas del Cretácico y del Terciario

Las rocas que se encuentran en el centro de la sierra de Santa Eulalia corresponden en su mayor parte a calizas del Cretácico Inferior, cubiertas por rocas volcánicas de diferente composición y textura y en menor parte por depósitos continentales del Terciario Inferior y Medio

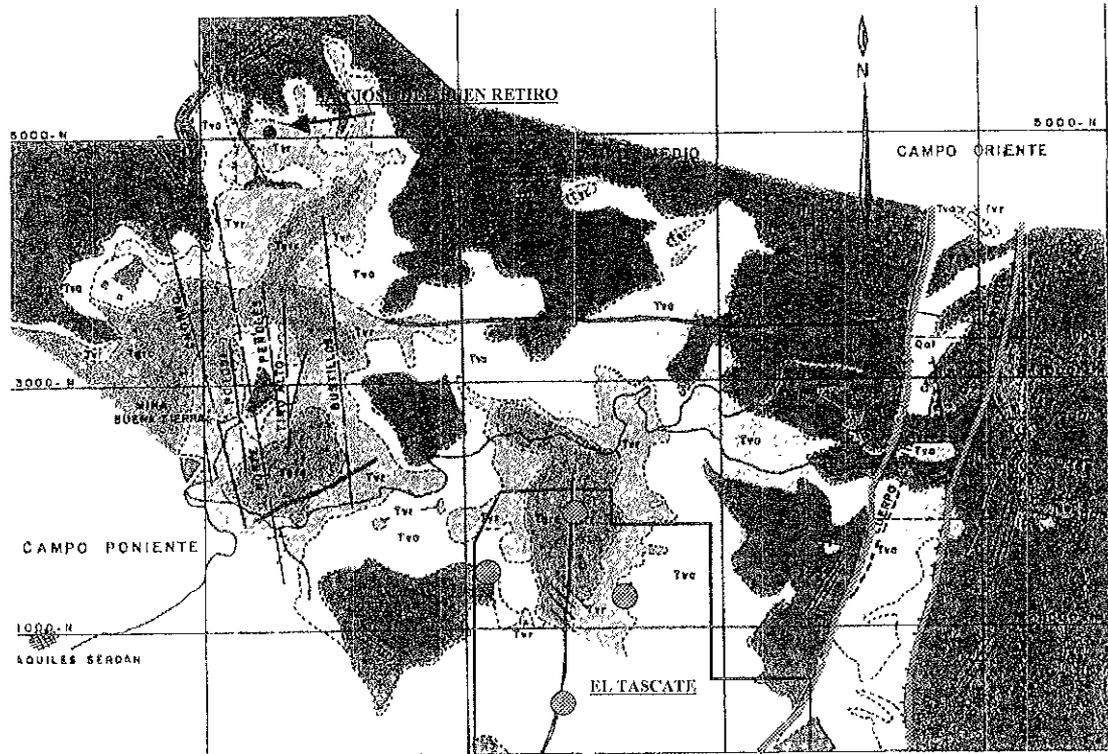
Las rocas cretácicas alcanzan un espesor de aproximadamente 1,500 metros y encasillan minerales de sulfuros de plomo, plata, zinc, cobre y fierro que conforman chimeneas, vetas y mantos de dimensiones variables. Estos yacimientos se asocian íntimamente a intrusivos riolíticos en forma de diques que sirven como fuertes controles de la mineralización

Tanto las rocas cretácicas como las terciarias, están afectadas por sistemas de pliegues y fallas de diferente magnitud

En la mina San Antonio el sistema predominante es el N 20° E, representado por grandes fallas normales que originan una fosa tectónica o graben y que están asociadas a otras fallas normales que forman canales y conductos francos de agua

2.2 ESTRATIGRAFÍA

La columna estratigráfica del distrito se compone de dos grandes unidades litológicas, una potente sección de sedimentos de origen lagunar y marino correspondiente al Cretácico y una secuencia de rocas volcánicas y sedimentarias de origen continental, correspondiente al Terciario



- LEYENDA**
- CUATERNARIO**
- TALUD O ALUVION
 - APOSISIS DE PORFIDO RIOLITICO HIPABASAL
 - SERIE DE TOBAS CONGLOMERADOS Y ARENISCAS INTERSTRATIFICADAS
- TERCIARIO**
- TOBA RIOLITICA
 - TOBA LITICA ANDESITICA
 - CONGLOMERADO BASAL (ENGLUBA CENIZAS FLUJOS RIOLITICOS, ARENISCAS Y SS CONGLOMERADO)
 - F. M. LAGRIMA CALIZAS Y DOLOMITAS CON ABUNDANTE PEDERNAL
- CRETACICO**
- F. M. GLEN ROSE CALIZAS ALOCLASTICAS Y DOLOMITAS
 - DIQUES ANDESITICOS-DIORITA
 - DIQUES DE PORFIDO RIOLITICO
 - DIQUES FELSITICOS
- CONTACTO GEOLOGICO**
- FALLA INDICANDO EL BLOQUE HUNDIDO
 - FALLA O FRACTURA SIN ESPECIFICAR
 - RUMBO Y ECHADO

SIMBOLOGIA

- ANOMALÍAS DETECTADAS POR SATELITE
- ANOMALÍA DETECTADA CON GEOFISICA

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO
Facultad de Ingeniería

Mina San Antonio
GEOLOGÍA DEL DISTRITO MINERO

ESCALA
ACOTACIONES

S/D
m

FIGURA No. 2

2. 2. 1 ROCAS SEDIMENTARIAS

La columna de sedimentos en su sección basal está constituida por una secuencia de lutitas, anhidratos y calizas que por semejanza litológica se han correlacionado con la formación "Cuchillo" del Aptiano que es la formación más antigua que se conoce en el distrito. A estos sedimentos los sobreyace un potente paquete de roca calcárea que se ha correlacionado con la formación "Aurora" y las formaciones "Benigno", "Lágrima" y "Finlay" del Albiano y tiene un espesor aproximado de 1,500 metros. Este grueso paquete calcáreo representa la roca encajonante de los cuerpos minerales del distrito (ver figura 3)

Localmente las calizas se han dividido en cinco grupos, de acuerdo con diferencias físico-químicas bien marcadas.

CALIZA NEGRA Ha sido cortada en los campos poniente y medio y es una caliza bituminosa, compacta de grano fino y concoide; con un espesor máximo de 100 metros. En este tipo de caliza no se han reportado cuerpos económicos de mineral.

CALIZA AZUL Corresponde al más importante grupo del distrito ya que en él se alojan la mayoría de los sulfuros primarios conocidos. Consiste en una sección gris oscura a gris azulosa, homogénea, desprovista de fósiles excepto en su cima; con un espesor máximo de 500 metros. Presenta, además estratos de gruesos a masivos en su sección superior y delgadas a medianas en su sección media apareciendo en su base estratos gruesos de color gris oscuro (micritas y biomicritas). Este grupo de calizas está en las formaciones "Benigno" y "Lágrimas", presenta impermeabilidad en las zonas donde hay poco fracturamiento, lo cual permite la formación de bolsas de agua de diferentes dimensiones.

CALIZA FOSILÍFERA INFERIOR: Presenta color gris claro a blanco y cristalizada; se aprecian estratos medianos a delgados intercalados con mármol. Tiene un espesor que varía de 70 a 150 metros y se sitúan en la parte superior de la formación "Lágrima" en los campos oriente y poniente. Este grupo contiene mineralización en forma de óxidos, silicatos y sulfuros. Es una caliza favorable para el reemplazamiento de minerales, lo que ocasiona un fracturamiento que permite el flujo de agua.

CALIZA FOSILÍFERA INTERMEDIA Corresponde a un material arcilloso y compacto con capas de estratificación mediana donde se observan algunos nódulos de pedernal dispersos. Tiene un espesor aproximado de 170 metros.

CALIZA FOSILÍFERA SUPERIOR Corresponde a una ínterestratificación gris oscura a gris claro recristalizada, con un espesor de 40 metros en la que se pueden observar bandas de pedernal paralelas a la estratificación. En la base se alojan los mantos con mayor extensión longitudinal en el distrito. Las calizas fosilíferas intermedia y superior representan a la formación "Finlay" del grupo Chihuahua.

2. 2. 2 ENCAPE VOLCÁNICO

Discordantemente sobre las calizas descansa un potente conjunto de rocas volcánicas de composición riolítica y andesítica, en forma de tobas interestratificadas con sedimentos continentales del Terciario. Las rocas que componen la base de este encape, presentan mineralización en fracturas y en el contacto de la caliza se presentan mantos y cuerpos irregulares de óxidos.

Las zonas de oxidación de los cuerpos de mineral, tienen una influencia aproximada de 380 metros desde la superficie hasta el nivel freático localizado a 1219 m s n m

2. 3 GEOLOGIA ESTRUCTURAL

Se ha determinado que a escala regional, la provincia de cuencas y sierras se formaron a partir de grandes fallas normales post-orogénicas, asociadas a la revolución Laramidica, formando las estructuras existentes en el distrito tanto superficialmente como en interior mina. La región se encuentra afectada por diversos tipos de estructuras como plegamientos, fallamientos y fracturamientos

PLEGAMIENTOS : El plegamiento de las estructuras está dado por un anticlinal cuyo eje principal tiene un rumbo N-S y el buzamiento de sus flancos es suave, es decir entre 5° y 10° de inclinación, aunque puede llegar hasta los 20°

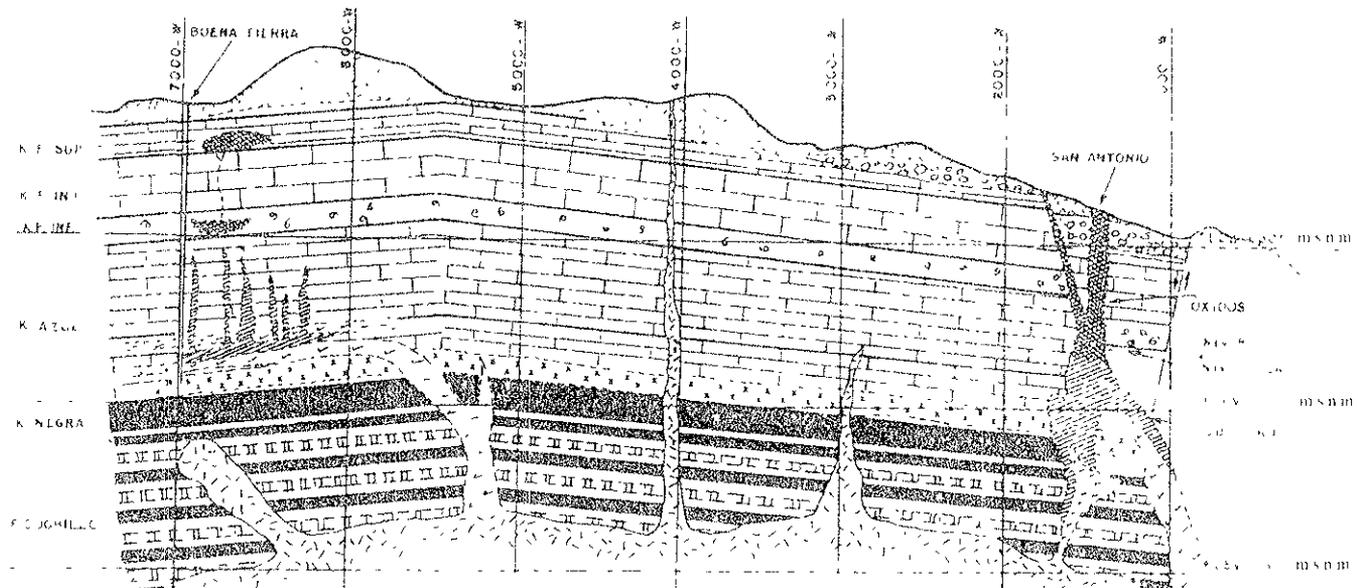
FALLAMIENTO. Existen dos fallas de gran magnitud (falla oriente y poniente), que dan origen al graben San Antonio. El rumbo general de la estructura es N-NE y tiene una extensión de 2 a 3 kilómetros, una anchura promedio de 750 metros y un desplazamiento vertical de 150 metros. Estas dos fallas fueron pre-mineralización, tienden a cerrarse a profundidad y sirven de conductos para el agua meteórica y de las corrientes de agua provenientes de los ríos cercanos

Existe otra falla similar a la anterior, que recibe el nombre de Falla Central, es una falla normal que buza hacia el este y se desplaza hacia el sur, tiene un rumbo N 15° W y se le considera también pre-mineralización

FRACTURAMIENTO: En el distrito minero predominan dos sistemas de fracturamiento con direcciones N 20° E y N 20° W. Estas fracturas se presentan a lo largo de casi todo el yacimiento mineral, en su mayoría presentan mineralización (esfalerita, calcita, galena, pirita) y tienen un espesor que va desde 2 hasta 20 cm o más.

2. 4 GEOHIDROLOGÍA

Los estudios geohidrológicos que se han realizado en la mina San Antonio, han demostrado que a lo largo de todo el cuerpo mineral se tiene una distribución más o menos uniforme de agua, la cual es distribuida por las dos fallas principales la Falla Poniente y la falla 1945 y a su vez, de éstas se desprenden varios sistemas de fracturamiento que conducen el agua a lo largo de todo el yacimiento mineral



SIMBOLOGIA

- COBERTA VOLCANICA
- CONGLOMERADO
- CALIZAS
- RIOLITA
- DIABASA

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO		
Facultad de Ingenieria		
Mina San Antonio		
COLUMNA ESTRATIGRAFICA		
ESCALA	S/E	FIGURA No. 3
ACOTACIONES	m	

Estas fallas conductoras de agua son abastecidas por bolsas de agua que se presentan en forma de cavernas y que se encuentran entre los niveles 8 y 10

Los estudios realizados para encontrar el origen del agua en la mina, han determinado que estas bolsas de agua, cuentan con una comunicación subterránea con los ríos cercanos de la zona y que son el río Chuvíscar y el río San Pedro, pero la aportación de agua no es constante y depende en gran medida de la cantidad de lluvia que se precipite en la zona

Esta aportación de agua intermitente se ha corroborado midiendo la cantidad de lluvia que se ha tenido desde hace más de 25 años y que en conjunto con el agua bombeada de la mina, ha ocasionado que el nivel freático de la mina varíe considerablemente. En la época de sequía el nivel freático ha disminuido hasta diez metros.

2.5 ORIGEN DEL YACIMIENTO

La génesis del yacimiento mineral de San Antonio se asocia, en primera instancia a dos grandes fallas de tipo normal las cuales ocasionaron un graben y múltiples fracturas de la roca a lo largo de éstas.

Posteriormente la presencia de un gran cuerpo intrusivo produjo la formación de una serie de diques que fueron fracturando más las rocas presentes. Todas estas fracturas fueron las que controlaron el flujo de las diferentes series de fluidos mineralizantes y propiciaron la depositación y cristalización

El flujo de agua se desarrolló a lo largo de las fallas y cavernas y ocasionó zonas de oxidación en las paredes del dique; así también, el agua junto con los sistemas de fracturamiento crearon un circuito diseminado, con el cual el agua se extendió en todo el yacimiento mineral

La mineralización en la mina San Antonio es mesotermal de reemplazamiento de caliza, la cual es representada por sulfuros de plomo, zinc y hierro

2.6 PERSPECTIVAS DE EXPLORACIÓN

Las reservas de mineral cuantificadas por la unidad Santa Eulalia al 1° de enero de 1999 ascienden a 3'267,555 toneladas clasificadas de la siguiente manera

CLASIFICACIÓN	TONELADAS	Ag (g/t)	Pb (%)	Cu (%)	Zn (%)	Valor por tonelada (dólares)
<u>EXPLOTABLES:</u>						
<i>PROBADAS</i>	1'633,665	98	1.53	0.17	7.13	77.83
<i>PROBABLES</i>	1'491,835	108	2.36	0.1	7.01	81.13
Sub - Total	3'125,500	103	1.93	0.14	7.07	79.41
<u>INFERIDAS:</u>						
INFERIDAS	142,055	127	1.85	0.37	7.49	86.42
Sub - Total	142,055	127	1.85	0.37	7.49	86.42
GRAN TOTAL	3'267,555	104	1.93	0.15	7.09	79.71

Los valores fueron tomados del cálculo de las reservas de mineral de diciembre del año 1998 realizados por el departamento de planeación de la unidad minera de Santa Eulalia, el precio de los metales es el promedio de los tres meses anteriores al cálculo de las reservas y el tipo de cambio considerado fue \$ 8.74 por dólar, es decir el promedio del año 1998, el valor por tonelada se calculó sumando las cotizaciones de los metales multiplicadas por las leyes de reservas dando un promedio total de 79.71 dólares por tonelada .

Las leyes de mineral que se presentan en la tabla, son las leyes promedio de todos los bloques que se tienen explorados ya sea por obra directa o por barrenación a diamante y están divididos en dos categorías explotables e inferidas, las reservas explotables se subdividen en probadas y probables, con la diferencia de que las probadas son reservas encontradas por barrenación a diamante y que ya están corroboradas por obra directa y las probables son las que se cuantificaron solo por barrenación a diamante. Las reservas inferidas son zonas en las que según la interpretación del departamento de geología existen indicios de posible mineralización pero que no se ha corroborado con barrenación.

Este gran total de reservas de mineral, con una producción anual de 437,000 toneladas, da como resultado la vida de operación de la mina para 7 años. Los estudios de exploración superficial han encontrado un gran potencial en la zona sur de la mina que es la que actualmente se está desarrollando en los niveles 10, 12 y 13 (ver figura 4)

Las expectativas de exploración y la determinación de la vida de la mina, se muestra en la siguiente tabla en la cual las reservas minerales que se esperan ubicar en los próximos 7 años son las que se desarrollen únicamente con obra directa y son las siguientes

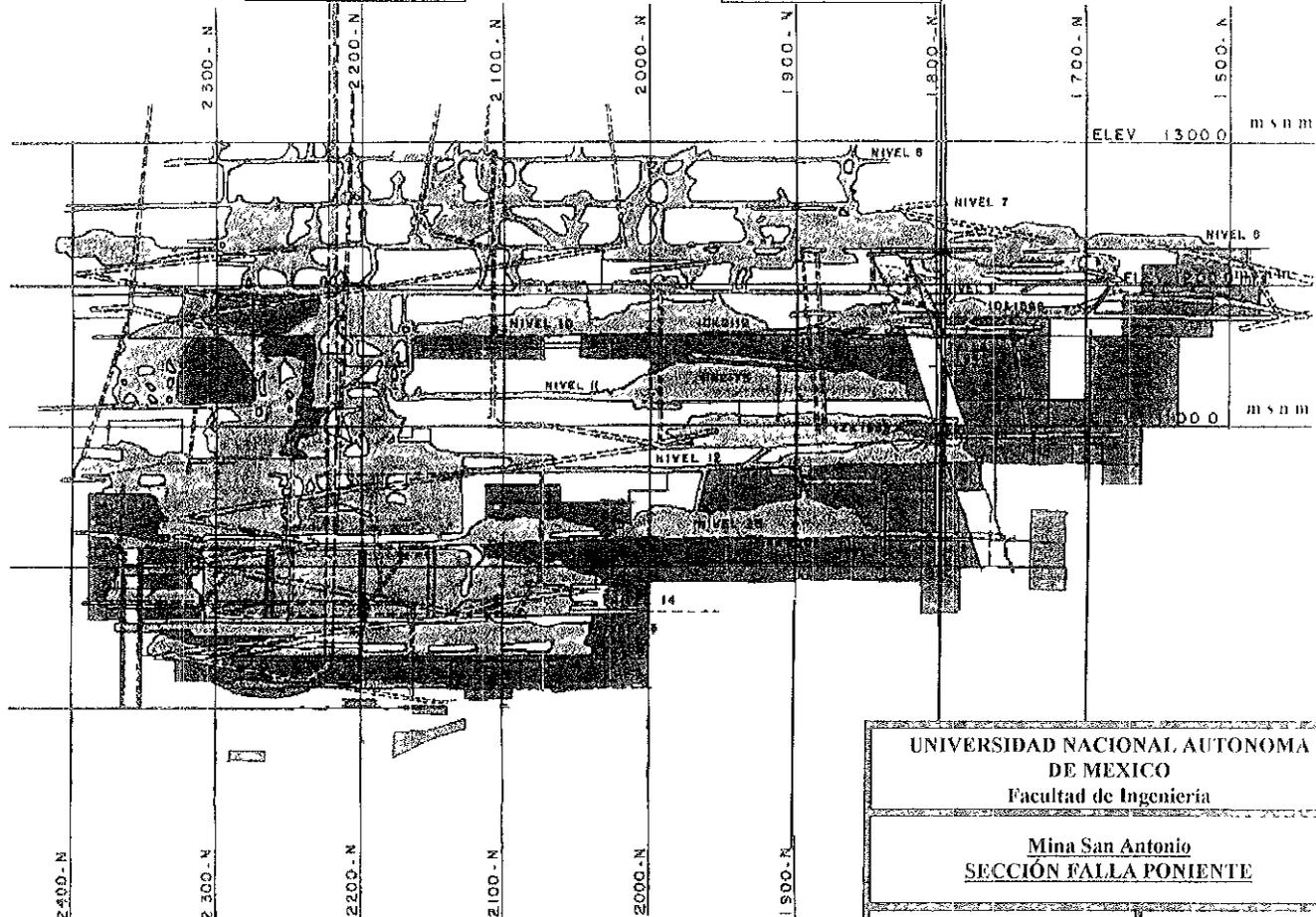
CONCEPTO	RESERVAS	EXPECTATIVAS Y PROYECCION					
	REALES	DE RESERVAS					
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
(MILES DE TONELADAS)							
RESERVAS EXPLOTABLES	3,125						
RESERVAS INFERIDAS	142						
TOTAL	3,267	3,478	3,691	3,909	4,129	4,316	4,355
MINADO	437	437	473	473	473	473	473
SUB - TOTAL	2,830	3,041	3,218	3,436	3,656	3,843	3,882
RESERVAS CUBICADAS	648	650	691	693	660	512	509
GRAN TOTAL	3,478	3,691	3,909	4,129	4,316	4,355	4,391

Con las expectativas de exploración por obra directa en los niveles 10, 12 y 13 para estos 7 años, se espera tener cubicadas al final 4'391,000 toneladas de mineral, que con el mismo ritmo de producción se tendría una vida de la mina de 10 años más

Este total de reservas se incrementará con las reservas generadas por barrenación a diamante y si se pusiera en marcha el nuevo sistema de bombeo se podrá bajar el nivel freático de la mina y así recuperar 332,672 toneladas de mineral que están probadas pero no son explotables por estar en zonas de agua (estas reservas no están incluidas en las tablas anteriores).

TIRO SAN ANTONIO

TIRO LA ESPERANZA



- RESERVAS EXPLOTABLES
- RESERVAS INFERIDAS
- OBRA MINERA

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO Facultad de Ingenieria		
Mina San Antonio SECCION FALLA PONIENTE		
ESCALA ACOTACIONES	S/E m	FIGURA No. 4

3. OPERACIONES MINERAS ACTUALES

3.1 INSTALACIONES, MAQUINARIA Y EQUIPO

La mina de San Antonio cuenta con dos tiros, el tiro San Antonio que es para producción y servicios y el tiro La Esperanza que es para producción exclusivamente. Esta mina consta de 16 niveles (incluyendo un nivel cero) y la distancia entre niveles es variable; de superficie al nivel 10 es de 30 metros y del nivel 10 al 15 es de 50 metros (ver figura 5)

El tiro San Antonio que es el más antiguo tiene una profundidad de 636 metros y consta de 5 naveas, dos para manto, dos para calesa y contrapeso y una para servicios. El manto se realiza del nivel 14 a superficie y el tiro está provisto de guías de madera y marcos de acero, los botes tienen una capacidad de 3 toneladas cada uno, los dos malacates son de doble tambor y la capacidad de manto es de 1,200 toneladas por día (T P D)

En el tiro San Antonio se tienen instaladas puertas contra inundación en todas las ventanillas del tiro, las cuales en caso de una emergencia se cierran y el tiro queda completamente aislado. Las instalaciones de bombeo están dentro con comunicaciones hacia fuera para seguir bombeando aún con el nivel inundado

El tiro La Esperanza es exclusivo para producción, el manto se realiza del nivel 12 a superficie. El tiro tiene una sección de 4 x 2 metros y una longitud de 536 metros, cuenta con 8 guías de cable, cuatro para cada bote y la capacidad de cada bote es de 4 toneladas. El malacate es de doble tambor con una capacidad de 1,500 T P D. En este tiro, las puertas contra inundación se instalarán a corto plazo

La mina San Antonio cuenta con una rampa de acceso desde superficie hasta el nivel 15, la cual tiene una sección de 7 x 5 metros de la superficie al nivel 8 y de 4 x 3.5 metros del nivel 8 al 15.

En el tiro San Antonio, se tiene instalado el sistema de bombeo, el cual consta de 7 estaciones ubicadas en las ventanillas de los niveles cero, 10, 10½, 11, 12, 13 y 14 con una capacidad total de $157.7 \frac{1}{\text{seg}}$ (2,500 g p m). Los niveles 12, 13 y 14 mandan el agua al nivel 10 y 10½. del nivel 10½ el agua se bombea a superficie y del nivel 10 se bombea a una caverna en el nivel 8. Debido a que las instalaciones de bombeo tienen más de 20 años, actualmente se requiere un sistema más eficiente, que cubra las necesidades y respalde una posible inundación.

El circuito de ventilación está construido por los 2 tiros, la rampa de superficie y 12 contrapozos tipo Robbins, además de contrapozos tradicionales y 3 extractores de aire de $3,682 \text{ m}^3 / \text{min}$ ($130,000 \text{ ft}^3 / \text{min}$).

Se cuenta con una sala de compresores con cuatro compresores instalados, que dan una capacidad total de $192.5 \text{ m}^3 / \text{min}$ ($6,800 \text{ ft}^3 / \text{min}$)

Para el relleno con jal. se utilizan barrenos de diamante y tubera de "struck pac", por donde se introduce el relleno a los rebajes de los niveles 12, 13, y 14

En cuanto a la maquinaria y equipo, se cuenta con lo siguiente

BARRENACIÓN La barrenación de tumba y desarrollo se realiza con maquinas de pierna neumática barrenando a 1 8, 2 4, y 3 3 metros, y con un jumbo con una longitud de barrenación a 4.3 metros (14 ft). Estos equipos se utilizan indistintamente para tumba o desarrollo según las necesidades de la mina, además se cuenta también con 5 maquinas de barrenación a diamante y 2 máquinas boart tipo seco, para exploración y protección contra inundación en las obras de tumba y desarrollo

ACARREO Y REZAGADO: Para el rezagado de rebajes y frentes se tienen 9 scoop tram, 2 de 2 7 m³ (3 1/2 yd³), 5 de 4 6 m³ (6 yd³), uno de 3 8 m³ (5 yd³) y uno de 1 6 m³ (2 yd³), estos dos últimos están en proceso de sustitución, así también para el acarreo se tienen 4 camiones mineros marca Jarvis Clark con capacidad de 10 toneladas cada uno, los cuales también están en proceso de ser sustituidos

TRITURACIÓN: En el tiro San Antonio se tiene una quebradora "Petibone" de 61 x 92 cm (24" x 36"), y para el tiro La Esperanza se tiene un martillo "Teledine" y una quebradora "Kueken" 61 x 92 cm (24" x 36").

BOMBEO. Para el sistema de bombeo y las obras que necesitan desagüe se tienen 21 bombas, las cuales por las condiciones de trabajo y para mantener la capacidad máxima de bombeo se les da mantenimiento continuo. Con el fin de aumentar la eficiencia del sistema de bombeo, se han construido varias piletas de decantación fuera del área del tiro y la conducción del agua se realiza por medio de acequias para disminuir al máximo el contenido de sólidos

3.2 SISTEMA DE EXPLOTACIÓN Y PRODUCCIÓN

El sistema de explotación en la mina San Antonio ha cambiado a lo largo del tiempo, como consecuencia de las necesidades de producción, de la maquinaria y equipo con que se dispone

La mina San Antonio inició su explotación con el sistema antiguo de Glory Hole, que después fue sustituido por el sistema de Cuartos y Pilares. Estos dos métodos de explotación se llevaron desde superficie hasta lo que fue parte del nivel 12; posteriormente con la introducción de mejor maquinaria de acarreo se comenzó la explotación de los siguientes niveles, así como de los antiguos rebajes, con el sistema de corte y relleno

Actualmente el sistema de mayor aplicación en la mina es el de corte y relleno el cual se tiene en los niveles 10 al 15 con sus dos variantes de relleno.

Relleno con tepetate.- Este sistema se ha adoptado ya que con las obras de desarrollo y de ampliación de la mina, la producción de tepetate se ha incrementado y se ha sustituido

parcialmente el relleno con jal. Los rebajes que se explotan con este método de relleno se localizan en los niveles 10, 11 y 12.

Relleno hidráulico - Este sistema se usa actualmente solo en el nivel 13, que es el nivel en donde se tiene canalizado el circuito de jal. Este circuito distribuye el relleno a los rebajes 13J 2358, 13J 1942 y 13J 2053, y se planea rellenar a futuro los rebajes 13L 2202 y los rebajes nuevos del manto Burbujas (ver figura 6)

El sistema de relleno con jal se ha dejado de utilizar en algún tiempo debido a los problemas con el agua y con el sistema de bombeo tan limitado. El relleno hidráulico se tiene que suspender, ya que adiciona una cantidad de agua que va del 10 % al 30 % de la capacidad actual del bombeo y esto implica un riesgo de inundación y retrasos en los ciclos de explotación de los rebajes.

Un sistema de explotación que está tomando importancia debido a su alta productividad es el de Bancos Descendentes. Este sistema es de uso reciente ya que en el nivel 10 y en el área de ampliación de la mina, se han delimitado rebajes que permiten su aplicación. Además, en estos rebajes se está utilizando un jumbo electro-hidráulico con el cual se ha aumentado la producción notablemente. Aunque este método es descendente, el agua no representa problemas, ya que se realizan varios barrenos comunicados al nivel inferior para desaguar el rebaje y no utilizar bombas.

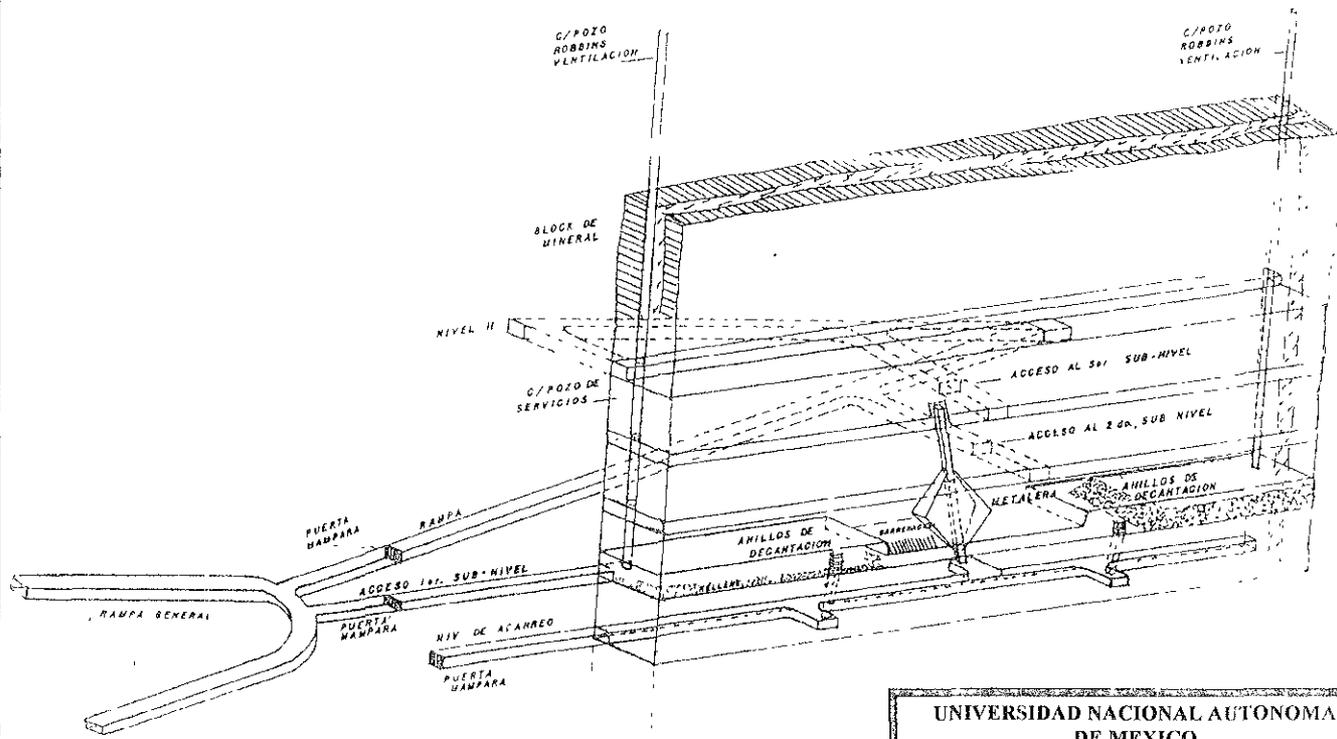
La producción en la mina San Antonio, se ha incrementando en los últimos 3 años de 760 a 1,200 T P D. Se planea alcanzar una producción de 1,500 T P D que es la capacidad total de la nueva planta de concentración.

La producción de 1,500 T P D no se ha alcanzado por diferentes problemas operativos que se relacionan con la presencia de agua en la mina. El principal problema, es que el desarrollo de los nuevos rebajes se tiene que frenar debido a los altos volúmenes de agua que se infiltran y a la insuficiente capacidad del sistema de bombeo.

Además del lento desarrollo de las obras, se presenta el problema de la saturación del sistema de bombeo. Cuando hay un problema mecánico en las bombas o aumenta la cantidad de agua que llega a las piletas, ésta se derrama y se va al fondo del tiro San Antonio y detiene el manto.

Otro problema que ha afectado para alcanzar la producción planeada es la disminución de personal de la mina (20 % aproximadamente) Con esta falta de personal no se pueden realizar todas las actividades planeadas y se hacen más difíciles las tareas de mantenimiento del sistema de bombeo.

Para 1999 se tiene planeado llegar a la producción de 1,500 T P D con la puesta en marcha de los nuevos rebajes en los niveles 10 y 13. Estos rebajes presentan buena mineralización y en su mayoría están libres de agua. Además se planea hacer mejoras en el sistema de bombeo.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
 DE MEXICO**
 Facultad de Ingenieria

**Mina San Antonio
 REBAJE 13J 2358**

ESCALA ACOLACIONES	S/E m
FIGURA No 6	

3.3 PRESENCIA DE AGUA EN LA MINA

La mina San Antonio se localiza en una zona donde existe un importante acuífero regional, por lo que en ella se presentan constantes infiltraciones de agua a lo largo de todas las obras mineras. Ocasionalmente cuando las obras alcanzan alguna fractura o caverna que aporte agua, se presenta un flujo descontrolado. La gravedad de la posible inundación depende del volumen de agua que se aporta y de la carga estática. El problema se puede controlar con inyección de cemento o con el aislamiento de la obra mediante un muro de concreto.

El comportamiento del agua en el interior de la mina, se relaciona directamente con un sistema de fallas, fracturas y cavernas, el cual es irregular y tiene una dirección predominante N 20° E, cercano a las fallas Poniente y 1945.

El nivel freático está a 1,219 m s n m, esto es 5 metros abajo del nivel 8, aunque ha tenido variaciones que dependen de la precipitación pluvial en la región y de la cantidad de agua bombeada a superficie.

Históricamente en la mina San Antonio se han tenido 5 emergencias graves de aportación de agua, de las cuales en 3 de ellas se ha suspendido la operación de manera total por la inundación, la última de ellas ocurrió en marzo de 1997 y se suspendió la operación de la mina durante 3 meses por la inundación de los niveles 15, 14, y parte del 13.

La infiltración de agua promedio que se tiene en toda la mina es de $1577 \frac{1}{\text{seg}}$ (2,500 g p m) pero ésta aumenta conforme se desarrollan nuevas obras.

3.3.1 SISTEMA DE BOMBEO ACTUAL

El sistema de bombeo actual en la mina San Antonio, consta de ocho estaciones de bombeo ubicadas en los niveles 0, 10, 10½, 11, 12, 13, 14 y 15 (ver figura 7).

La línea principal de bombeo junta el agua de los niveles 12, 13, 14 y la descarga al nivel 10; de aquí el agua recibida se divide a dos estaciones de bombeo N -10 y N- 10½. La estación del N - 10 bombea el agua al nivel 8 y de allí es canalizada a una caverna natural; la estación del N - 10½ bombea el agua hasta el nivel 0, de aquí se envía hasta el tanque de almacenamiento en superficie para su uso en la planta de beneficio.

La estación del nivel 15 y la bomba ubicada en el fondo del tiro, envían el agua a la piletta del nivel 14 para ser integrada al circuito principal.

En el nivel 11, la estación de bombeo recibe agua limpia de unos barrenos, esta agua tiene las características para ser potabilizada y usarse para el consumo humano. Este circuito es independiente y el agua se bombea directamente a superficie a la planta potabilizadora.

Las instalaciones de todas las estaciones de bombeo, fueron construidas hace más de 20 años y las necesidades de bombeo eran en promedio de $63 \text{ l } \frac{1}{\text{seg}}$ ($1\,000 \text{ g p m}$) Las instalaciones se encuentran muy cercanas al tiro, entre 15 y 20 metros

Al desarrollarse la mina, las necesidades de bombeo se incrementaron en un 150 % y se ha colocado equipo adicional sobre las instalaciones que se tenían Actualmente las piletas cuentan con muy poca capacidad de retención y asentamiento de sólidos, en su gran mayoría están saturadas de lodos, lo cual disminuye aún más su capacidad útil. Además se están generando altos costos por el mantenimiento del equipo

Los equipos de bombeo, en su gran mayoría presentan deterioro en el exterior debido a las condiciones del ambiente y en algunos de ellos se aprecian evidencias del desgaste de partes internas debido a lo abrasivo del fluido manejado. Esto ha ocasionado que el sistema tenga una eficiencia de 55 % de la capacidad instalada, dando un gasto total de $157.7 \frac{1}{\text{seg}}$ ($2,500 \text{ g p m}$)

3.3.2 PROCEDIMIENTO PARA LOCALIZAR LAS ZONAS DE AGUA

Debido a que los sistemas de fallas y fracturas que conducen el agua son muy irregulares y se extienden a lo largo de todo el yacimiento mineral, la localización de las zonas de agua que se consideran de alto riesgo, se realiza mediante barrenación a diamante en el interior de la mina De esta manera se van obteniendo los datos de los flujos de agua para las distintas zonas de la mina y su relación con las tres fallas principales

Con los datos obtenidos se delimitan las zonas donde la protección con inyección de cemento es funcional. Cuando los datos muestran que los flujos de agua no podrán ser controlados con la protección, se tiene que dejar la zona sin explotar marcándola como una zona de alto riesgo de inundación

Por tal motivo, todos los planos y secciones geológicas llevan dibujados los barrenos a diamante que se han realizado, especificando los volúmenes de agua aportados y las presiones obtenidas, llevando así un control de las zonas de agua en la mina.

3.3.3 RELACIÓN GASTO - PRESIÓN DE AGUA

En la mina San Antonio, se han realizado muchos estudios acerca del origen y tipo de aguas que se encuentran en el yacimiento, y la conclusión es que las aguas dinámicas que se tienen en la mina se relacionan estrechamente con las tres grandes fallas que predominan en la mina. Así también se ha determinado que las aguas dinámicas se presentan a lo largo de toda la mina y las presiones son difíciles de manejar ya que por lo general son mayores que la carga estática que se tiene en el lugar del problema. La carga estática de agua, es la que se ejerce desde la altura del nivel freático hasta un punto determinado, siendo la máxima de 25 kg/cm^2 en la parte más profunda de la mina

SUPERFICIE

PILA DE AGUA
PARA POTABILIZAR

TANQUE DE AGUA
PARALELO

ELEV. 1.599.7 msnm

NIV 0

ELEV. 1.582 msnm

PILETA

CAP. INSTALADA - 202.0 l/seg
BOMBEO - 75.7 l/seg

NIV 8

ELEV. 1.224.1 msnm

RAMPA 8J1894

NIV 10

ELEV. 1.163.0 msnm

PILETA

CAP. INSTALADA - 239.81 l/seg
BOMBEO - 128.11 l/seg

NIV 10 1/2

CAP. INSTALADA - 126.21 l/seg
BOMBEO - 26.5 l/seg

NIV 11

ELEV. 1.112.9 msnm

PILETA

CAP. INSTALADA - 28.4 l/seg
BOMBEO - 15.8 l/seg

NIV. 12

ELEV. 1.063.1 msnm

PILETA

CAP. INSTALADA - 53.6 l/seg
BOMBEO - 31.6 l/seg

NIV 13

ELEV. 1.013.1 msnm

PILETA

CAP. INSTALADA - 100.9 l/seg
BOMBEO - 88.3 l/seg

NIV. 14

PILETA

CAP. INSTALADA - 126.2 l/seg
BOMBEO - 34.7 l/seg

NIV 15

CAP. INSTALADA - 15.8 l/seg
BOMBEO - 15.8 l/seg

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO
Facultad de Ingeniería

Mina San Antonio
SISTEMA DE BOMBEO ACTUAL

ESCALA
ACOTACIONES

S/E
m

FIGURA 7

El otro riesgo que existe es el gasto que se pueda generar de una infiltración de agua, ya que la presencia de bolsas de agua que se alojan en cavernas, puede generar un gasto incontrolable

De esta manera no se tiene una relación proporcional entre el gasto y la presión de los flujos de agua en la mina. La gravedad de un problema ocasionado por el agua esta en función del tiempo necesario para detener el flujo de agua. Así independientemente de la presión o el gasto, el tiempo lo da la capacidad del bombeo y la de almacenamiento de agua en los niveles inferiores al sitio donde se genera el problema

3.4 PROTECCIÓN DE OBRAS MINERAS

El objetivo principal de proteger las obras mineras, es garantizar la continuidad de los trabajos de explotación del mineral y disminuir el riesgo de una inundación total o parcial de la mina

Esta protección de las obras, se hace con barrenación e inyección de cemento, tratando de sellar las fracturas y posibles oquedades que conducen el agua. En las obras donde no se pueden sellar todas las fracturas, el agua se canaliza por acequias en cada nivel hacia las estaciones de bombeo (ver figura 8)

3.4.1 MEDIDAS PREVENTIVAS

En la mina se aplican medidas preventivas para evitar problemas por el aporte de agua. Primero se hace una protección de la obra con inyección de cemento y después la "barrenación preventiva"

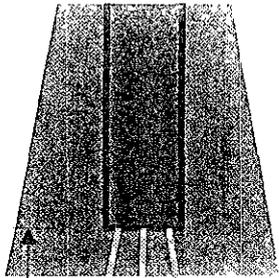
La barrenación preventiva se realiza durante el desarrollo de las obras mineras. Consiste en hacer varios barrenos de una longitud mayor a la de los barrenos de la voladura, esto con el fin de asegurar que el terreno está libre de agua.

En ocasiones al desarrollar la obra minera, comienza a infiltrarse agua aunque la obra esté protegida. Dependiendo de la cantidad de agua, se analiza si es necesario volver a proteger, ya que en ocasiones se cortan fracturas que no se pudieron impermeabilizar con la protección inicial

Para el área de tumba según el corte que se tenga, se hace un barreno por cada 2 m² de área de tumba, la protección se realiza a 3.30 m y la barrenación de tumba es a 2.40 m.

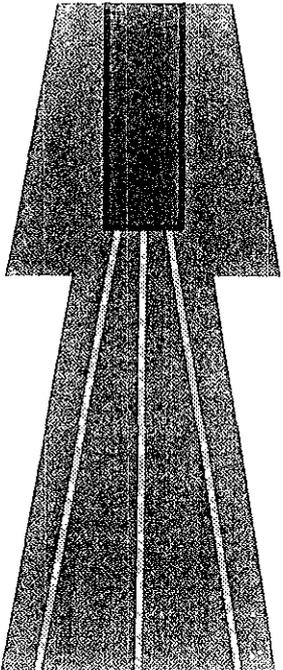
Para el desarrollo se tienen que hacer 7 barrenos de 3.30 m en el contorno y centro de la obra. Los barrenos para la voladura tienen una longitud de 1.80 m (ver figura A anexo 2)

1.-BARRENACIÓN DE PROTECCIÓN



30 METROS

2.-INYECCIÓN DE CEMENTO



15 METROS

3.-AVANCE DE LA OBRA



15 METROS

25 METROS

BARRENO DE
EXPLORACIÓN



ÁREA PROTEGIDA

ETAPAS DE LA PROTECCIÓN

Mina San Antonio

Facultad de Ingeniería

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

ESCALA
ACOTACIONES

S/E
m

FIGURA 8

3. 4. 2 PROCEDIMIENTO GENERAL DE PROTECCIÓN DE OBRAS

La protección se hace antes de iniciar el desarrollo de cualquier obra minera, y el objetivo es evitar la presencia de agua en lo que será la obra minera

Antes de iniciar los trabajos de protección, el geólogo tiene que diseñar una plantilla de barrenación según el objetivo de la obra, tratando de impermeabilizar la mayor área posible. Después de tener el proyecto de protección se realizan los trabajos de barrenación e inyección de cemento (ver figura B anexo 2).

El procedimiento usado para la impermeabilización es el siguiente:

1 - En el plano proyecto de la obra se trazan los barrenos a realizar, se calcula su rumbo e inclinación a la que deberán desarrollarse y la longitud, que generalmente es de 30 0 m

2 - Estos barrenos son marcados en el terreno, teniendo puntos de apoyo atrás y adelante para las diferentes líneas

3 - Se instala el equipo de barrenación y se barrena 1.5 metros con diámetro AQ (48 mm), después se rima este tramo a diámetro BQ (60 mm) para colocar un casquillo de tubo galvanizado de 50.8 mm (2") de diámetro Ced-40 por 2 0 metros de longitud, quedando empotrado dentro del barreno. La parte exterior del casquillo lleva rosca para colocar una reducción de 76.2 mm (3") a 50 8 m (2") y en ésta una válvula de 76.2 mm (3"), el tubo queda sujeto por una abrazadera al tope de la obra (ver figura C anexo 2)

Una vez que se ha realizado esta instalación, se continúa el barreno en diámetro AQ (48 mm)

Se hace la descripción litológica del barreno, poniendo énfasis en las fracturas y zonas de alteración por flujo de agua, se anota esta información en las secciones horizontales y transversales, así mismo los datos de presión y gasto de agua que aporta la perforación.

4 - Una vez concluida la barrenación se desmantela y retira el equipo y posteriormente se instala el equipo de inyección, que consta de

- a - Bomba de inyección marca "Peroni" serie "Sempione" Capacidad 100 kg/cm²
- b - Tarima de madera
- c - Tanques mezcladores
- d - Embudo
- e - Manguera de alta presión.

El procedimiento de inyección se basa en la información obtenida por los barrenos. Esto es: fracturamiento continuo, fracturas delgadas, fracturas cerradas, fracturas abiertas, zonas kársticas, etc (ver figura D anexo 2)

La mezcla utilizada para la lechada es agua-cemento-acelerante y en ocasiones otros materiales como arcilla, aserrín, unicel en partículas y papel

La presión inicial de inyectado es un 30 % mas de la presión que tiene el barreno a inyectar y la presión final varía entre 80 y 100 kg / cm²

Al término de la inyección, en ocasiones se dan otros barrenos de diamante que sirven para comprobar la efectividad del inyectado, sobre todo en zonas de permeabilidad alta

5. - Se retira el equipo de inyección, se recuperan válvulas, “flanges” (herramienta que sirve para evitar que el agua salga por un barreno, consta de un tubo interior y uno exterior adaptados con tuercas de bronce, manguera de hule y válvulas)

Así se está en condiciones para continuar el avance de la obra minera

3. 4. 3 PROTECCIÓN EN DESARROLLOS

El sistema de protección para el desarrollo se realiza con una plantilla de 9 barrenos con una longitud de 30 metros. Estos barrenos se impermeabilizan y solo se podrán avanzar 25 metros en la obra, quedando 5 metros de protección después del tope para realizar la siguiente protección (ver figura 8)

La plantilla de barrenación en ocasiones varía dependiendo del rumbo o uso que se le da a la obra.

3. 4. 4 PROTECCIÓN EN REBAJES

La protección de rebajes se realiza de manera simultánea a la protección del desarrollo de preparación. Además de los barrenos de protección se dan algunos barrenos en forma de abanico, de tal forma que protejan varios cortes de lo que será el área de tumble (ver figura E anexo 2).

Cuando es necesario desbordar tablas dentro del rebaje por extensiones de mineral, se verifica en los planos si este desborde está dentro de la protección o si es necesario dar una barrenación adicional para proteger

3. 4. 5 PROTECCIÓN EN CONTRAPOZOS

Para la protección de los contrapozos tradicionales, se realiza la barrenación de acuerdo con el proyecto y los barrenos no deben tener una distancia mayor a 4 metros de separación entre sí, abarcando toda la extensión del contrapozo

Para proteger un contrapozo Robbins, se hacen 9 barrenos a diamante paralelos, uno al centro del contrapozo y 8 alrededor del mismo creando el área de impermeabilización a toda la extensión del contrapozo (ver figura F anexo 2)

3.5 CONSIDERACIONES ADICIONALES EN LAS ZONAS DE AGUA

Durante el desarrollo de la mina, se han tenido varias emergencias ocasionadas por el agua en diferentes sitios. Esto ha permitido identificar ciertas áreas en las que la afluencia de agua puede ser incontrolable. Esto permite evaluar la situación en estas zonas y delimitar la explotación, dejando cierta parte del mineral como pilares, los cuales se identifican en los planos para que se respete el límite de explotación, además de no permitir avance sin la protección necesaria.

Estas medidas, en ciertas áreas de la mina, han ocasionado una ligera disminución en las reservas explotables, ya que algunas reservas se tienen que cambiar a la categoría de inaccesibles por la presencia de agua.

3.6 MANEJO DEL AGUA EN LA MINA

Debido a que las filtraciones de agua existen en todas las obras de la mina, y en especial en los contactos mineral-caliza, la canalización del agua resulta un trabajo diario y constante. Cuando se controla el agua por acequias, el arrastre de sólidos disminuye y se tienen menos problemas en el sistema de bombeo.

En los rebajes, el agua se canaliza por medio de torres de decantación y acequias hacia los cañones. En los rebajes que llevan su explotación hacia abajo, se hacen barrenos de desagüe hacia el nivel inferior. En los niveles se localizan piletas de decantación para disminuir la cantidad de sólidos antes de llegar a las piletas de bombeo.

El sistema de bombeo se encuentra en el área del tiro San Antonio. Las piletas de decantación y de succión, se encuentran en muy malas condiciones de operación; cualquier problema mecánico por leve que sea, repercute en el nivel de agua que se tiene en el fondo del tiro.

El nivel 15 está fuera de operación desde la inundación de marzo de 1997, debido a que el nivel de agua no se ha podido abatir. Aunque estos rebajes actualmente no afectan la producción es necesario recuperarlos para terminar su explotación y seguir desarrollando las áreas de exploración en ese nivel.

4. PROBLEMÁTICA POR LA FILTRACIÓN DE AGUA

4.1 PROBLEMAS DE OPERACIÓN

En la operación general de la mina, en comparación con la explotación de una mina seca, la presencia de agua ocasiona diversos problemas, por lo que todos los trabajos que se realizan, deben cumplir con las medidas de prevención para evitar la infiltración de agua

4.1.1 TIEMPO DE PROTECCIÓN Y DESARROLLO DE LAS OBRAS

Uno de los principales problemas en la operación de la mina, es el tiempo disponible para el desarrollo de cualquier obra. El tiempo que se detiene una obra para su protección es considerable y dependiendo de la zona en donde se encuentre, puede tardarse en proteger desde 4 días (cuando no es necesaria la inyección de cemento) hasta 14 días. El tiempo depende directamente de la cantidad de agua que se obtiene durante la protección y de la cantidad de cemento que se tiene que inyectar

En muchas ocasiones, en los lugares donde se tiene gran cantidad de agua, después de realizar la inyección de cemento y se empieza con el avance de la obra, en la primera barrenación se vuelve a presentar una aportación considerable de agua, lo que obliga a detener el avance y volver a proteger la obra, retrasando el desarrollo de la misma

En una frente de desarrollo la protección de la obra es de 30 metros lineales, de los cuales solo se avanzan 25 metros, dejando 5 metros de protección como medida de seguridad, para volver a proteger el siguiente avance. El tiempo de desarrollo de los 25 metros se realiza mediante 16 pegadas en promedio, con una longitud de barrenación de 1.80 m.

En la mayoría de las frentes de desarrollo, debido a las condiciones del ambiente de trabajo, no es posible que la obra se avance a más de un turno por día; la principal causa es la ventilación y temperatura, por lo que casi todas las obras de desarrollo se pueblan a un turno por día

El tiempo de protección de las obras, depende directamente de dos factores

a- La plantilla de barrenación planteada. Esta depende del número de líneas de barrenación que se proyectan para el objetivo de la obra, por lo general son 3 líneas de barrenación con 3 barrenos de 30 metros cada uno (270 0 metros de barrenación total) y considerando que el promedio de avance por turno es de 35 metros (este tiempo incluye el movimiento del equipo de trabajo)

b.- La cantidad de agua que se obtiene durante la barrenación, ya que en muchas ocasiones, al estar barrenando, la presión del agua no deja terminar la barrenación y hace necesaria la inyección de cemento para volver a barrenar, lo que implica aumentar el tiempo de protección planeado

La cantidad de cemento inyectada es muy variable ya que depende de la cantidad de fracturas que se tienen a lo largo del barreno y de la cantidad y presión de agua. La cantidad puede alcanzar hasta 1,204 bultos de cemento (50 kg c/u) para un solo barreno (cifra máxima en la historia de la mina)

En los lugares con filtraciones moderadas se inyectan de 15 a 20 bultos de cemento por barreno y la cuadrilla de inyección vacía en promedio 40 sacos por turno.

TIEMPO DEL CICLO DE TRABAJO EN UNA FRETE DE DESARROLLO
(Con filtraciones de agua moderadas y poco fracturamiento)

TIEMPO DE TRABAJO por día	PROTECCIÓN	INYECCIÓN	DESARROLLO con barrenación de 1.8 m	TOTAL
1 TURNO	8 DÍAS	* 6 DÍAS	* 16 DÍAS	30 DÍAS
2 TURNOS	* 4 DÍAS	3 DÍAS	8 DÍAS	15 DÍAS
3 TURNOS	2 DÍAS	2 DÍAS	4 DÍAS	8 DÍAS

* Tiempo de trabajo promedio que se le asigna a una obra

El tiempo de duración de cada una de las tres actividades, permite estimar un promedio de tiempo para planear el desarrollo de las obras. El tiempo normal es de 26 días para que una obra avance 25 metros lineales, pero dependiendo de la urgencia, ésta se puede realizar en un lapso mínimo de 8 días y máximo de 30 días

4. 1. 2 CONSUMO DE EXPLOSIVOS

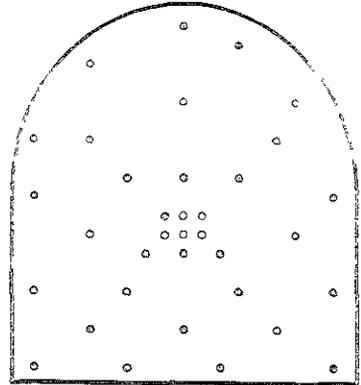
El consumo de explosivo en este tipo de mina es más alto, comparado con el consumo que se tiene en una mina sin problemas de agua en la barrenación. En ocasiones el uso de un agente explosivo de baja intensidad, no funciona, debido a que las filtraciones de agua dentro de los barrenos ocasionan que se descarguen y dan como resultado una mala pegada.

En los rebajes y desarrollos de la mina, la cantidad de agua es variable, por lo que el consumo de explosivo de alta intensidad (que puede trabajar en presencia de agua) es muy elevado, teniendo repercusión en los costos de operación

A continuación se presenta la comparación del costo de operación en el desarrollo de una frente con dimensiones de 40 metros de ancho y 35 metros de altura realizando el cargado sin agua y con agua

PARÁMETROS

Sección 4 x 3 5 metros
 No de barrenos = 35
 No de barrenos cargados = 31
 Diámetro de barrenación = 3 81 cm (1 5")
 Profundidad de barrenación = 1 83 m (6 pies)



CARGADO CON EXPLOSIVO DE BAJA DENSIDAD

Carga del barreno = (densidad) (volumen)
 = (0 85 g/ cm³) (2,084 cm³) =1,771.4 g
 = 1 77 kg / barreno

Factor de carga = 0 97 kg / metro

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	TOTAL
AGENTE EXPLOSIVO	kg	54.87	\$ 3 63	\$ 199.18
CAÑUELA	Pieza de 2 4 m	31	\$ 6 55	\$ 203 05
EMULSIÓN	Pieza de 2.5x 20 cm	31	\$ 3.08	\$ 95.48
THERMALLITE	ROLLO	0 33	\$ 126.20	\$ 41 65
TOTAL				\$ 539.36

CARGADO CON EXPLOSIVO DE ALTA DENSIDAD

Carga del barreno = (densidad) (volumen)
 = (1 10 g/ cm³) (2,084 cm³) =2,292 4 g
 = 2 29 kg / barreno

Factor de carga = 1 25 kg / metro

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	TOTAL
EMULSION	kg	70 91	\$ 24 61	\$ 1,745 10
NONEL LP	Pieza	31	\$ 19 13	\$ 593 03
CORDÓN	m	15	\$ 7 40	\$ 111 00
CAÑUELA	Pieza de 2 4 m	2	\$ 6 55	\$ 13 10
TOTAL				\$ 2,462.23

De las tablas anteriores se observa que el cargado de una frente utilizando solo explosivo de alta densidad, aumenta en un 356 % del costo que se tiene en condiciones normales sin agua y con un agente explosivo de baja densidad

Así, con el fin de disminuir el consumo de explosivo de alta densidad y los costos de operación en el desarrollo y timbe, se han probado dos diferentes técnicas en el cargado para utilizar el agente explosivo de baja densidad en barrenos que tienen escurrimientos de agua.

Estas técnicas son

a.- **CARGADO CON BOLSAS DE HULE:** En esta técnica se introduce una bolsa de hule del largo y grosor del barreno, la cual lleva en el fondo el cebo con el iniciador, ya sea cañuela o nonel y posteriormente se rellena del agente explosivo. Al final se amarra la bolsa y queda listo el barreno para el disparo

b.- **CARGADO CON BOMBILLOS HECHOS DE AGENTE EXPLOSIVO** Con esta técnica se hacen bombillos de mexamón en el polvorin, con bolsas de hule de 30 cm de largo aproximadamente para que el perforista los utilice como si fueran bombillos de alto explosivo.

Estas técnicas no han resultado eficientes y sólo han funcionado cuando el flujo de agua en los barrenos es bajo. Pero en la mayoría de los casos los barrenos presentan un flujo elevado de agua y las bolsas son expulsadas del barreno con todo y el explosivo, además, en muchas ocasiones la rugosidad de las paredes del barreno rompen las bolsas y el barreno se descarga. Por esta razón se ha preferido usar el alto explosivo para asegurar la voladura aunque es más costoso

4. 1. 3 AMBIENTE EN LOS LUGARES DE TRABAJO

Los principales factores que determinan el ambiente en los lugares de trabajo son la ventilación, la temperatura y la humedad

Estos factores se revisan continuamente en todas las obras de la mina, con el fin de tener un ambiente de trabajo agradable, ya que el rendimiento del personal en la operación depende en gran medida de las condiciones del ambiente laboral

En los rebajes de la mina se controla en forma satisfactoria el problema del ambiente, ya que los contrapozos de ventilación contribuyen a bajar la temperatura

El problema del ambiente se presenta generalmente en los desarrollos de la mina, ya que la mayoría son topes ciegos (con una sola entrada de aire) y la ventilación tiene que ser forzada. Además la presencia de agua caliente en los topes hace que la temperatura del lugar se incremente llegando en ocasiones hasta 45° con un 100 % de humedad, estas condiciones no son permanentes y duran hasta que se completa el circuito de ventilación con los contrapozos y contra cañones

4. 1. 4 DESAGÜE DE LAS OBRAS

Debido a que los escurrimientos de agua se presentan en la mayoría de las obras, es muy importante la conducción del agua hacia las estaciones de bombeo. Por esto es necesaria la limpieza de los rieles que desvían el agua hacia las acequias de las obras principales y la limpieza de las mismas acequias. Otro problema es la cantidad de lamas que llegan por estos conductos a las piletas de bombeo, por ello se hacen trabajos diarios para desazolvar las acequias y disminuir en la medida de lo posible los problemas en el sistema de bombeo.

El desagüe se realiza por gravedad hasta las estaciones de bombeo y sólo cuando es necesario se utilizan bombas.

En las obras que están por debajo de los niveles principales (bancos descendentes), se realizan barrenos a diamante para que sirvan como tuberías de desagüe hacia el siguiente nivel principal y de allí se canaliza el agua al circuito de acequias.

4. 1. 5 RELLENO CON JAL.

El relleno con jal es una de las actividades en la que se debe tener mayor cuidado, ya que con las infiltraciones de agua en los rebajes, el sistema de decantación debe ser lo más eficiente posible. La cantidad de agua decantada en estos rebajes acarrea alrededor de un 10 % a un 15 % de lamas, además de los sólidos que se arrastran en todo el trayecto; esto ocasiona que aumente el azolve en las piletas del sistema de bombeo.

Con el propósito de disminuir la cantidad de sólidos que llegan a las estaciones de bombeo, se han construido varias piletas de decantación a lo largo del trayecto, lo que ha ayudado a disminuir en un 40 % la cantidad de sólidos.

Debido a las limitantes en el sistema de bombeo, en repetidas ocasiones se ha detenido el relleno de jal, esto es principalmente cuando hay emergencias de agua en la mina. Si a la emergencia se aumenta la cantidad de agua que lleva el jal, se disminuye aún más la capacidad de bombeo. Además la cantidad de agua contenida en el jal es un 20 % de la capacidad de sistema de bombeo.

4. 1. 6 MANTEO

El problema del manteo con presencia de agua comienza en la quebradora, que al manejar una carga mojada, el mineral fluye muy rápido y el personal que está a cargo del área, no puede dosificar la cantidad necesaria en las tolvas. Esto ocasiona que la tolva de finos se mantenga llena y derrame el mineral en la base de la quebradora. Además se mantea agua en la carga.

Esta situación ocasiona que se derrame mineral de los botes al fondo del tiro. En ocasiones se tiene que detener la producción para realizar actividades de limpieza en el fondo del tiro San Antonio. Además en los transportadores de banda que se tienen en superficie no se puede transportar la carga mojada.

Para evitar estos problemas en las actividades de manteo, se trata de evitar en la medida de lo posible que el agua fluya por los contrapozos donde se chorrea la carga. Pero cuando se tiene un problema de agua, el excedente que no se puede bombear cae al fondo del tiro y a la tolva de finos ocasionando problemas para el manteo.

4. 2 PROBLEMAS DE MANTENIMIENTO

4. 2. 1 MANTENIMIENTO DE CAMINOS

El mantenimiento de los caminos es una actividad que se tiene que realizar continuamente, ya que la presencia de agua repercute principalmente en el consumo de llantas del equipo diesel. El mantenimiento se realiza cada turno con los mismos operadores, y cuando es necesario se utiliza un tractor D-4 para trabajos especiales.

El mantenimiento de caminos, se realiza de manera conjunta con el mantenimiento de las acequias y se tiene destinado cierto tiempo de trabajo por día. A pesar de los trabajos de mantenimiento que se realizan, en los niveles con mayor afluencia de agua, se llegan a inundar los caminos. Esto es notorio en el nivel 13 donde el aforo de agua es de $85.2 \frac{l}{seg}$ (1,350 g p m). El agua arrastra rocas a los caminos y estas afectan las llantas de los equipos.

4. 2. 2 MANTENIMIENTO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS

El mantenimiento de las instalaciones eléctricas es diario en todas las estaciones de bombeo, ya que la humedad en el ambiente daña los sistemas eléctricos. Las fallas que se pueden evitar disminuyen en un 80 % el riesgo de que las bombas de alguna pileta puedan quedar fuera de servicio y se ocasionen derrames de agua en el fondo del tiro.

Los cables del circuito de energía actual, se encuentran en una de las naves del tiro, con la humedad y con el flujo de agua, se tiene un elevado riesgo de corto circuito.

4. 2. 3 MANTENIMIENTO DE EQUIPO

En todos los rebajes la humedad relativa es de un 80 % a 100 %. Esto ocasiona que los equipos de acarreo y perforación, tengan deterioro en sus partes mecánicas y eléctricas, esto a su vez hace que el tiempo de mantenimiento preventivo aumente y la disponibilidad de los equipos disminuya

Este tipo de fallas repercute en el tiempo de trabajo efectivo de los equipos, ya que los problemas por el deterioro de sus partes, se solucionan poco a poco. En ocasiones se ha tenido que detener la operación por mal funcionamiento del equipo

Otro de los problemas que más afecta la operación de los equipos de acarreo, es el desgaste excesivo de las llantas. En los lugares donde no es fácil canalizar el agua a las acequias, las rocas son arrastradas por el agua a los caminos y a veces el operador no las ve por estar en el agua, ocasionando que las llantas sufran cortes que reducen su vida útil

4. 2. 4 REHABILITACIÓN DE INSTALACIONES

Cuando ocurre una inundación parcial o total en la mina, el tiempo de rehabilitación de las instalaciones mineras es largo y costoso, ya que no siempre se puede recuperar al 100 % el equipo que se tiene trabajando. Además el daño que sufre la infraestructura de la zona afectada hace difícil la rehabilitación total y se tienen que realizar modificaciones parciales para volver a trabajar en las condiciones existentes antes de la inundación

Cabe mencionar que durante la emergencia, existe el riesgo de que el personal sufra algún tipo de accidente, esto debido a la rapidez con que se realizan las maniobras para controlar el problema.

4. 3 CONTROL DE INUNDACIONES

4. 3. 1 CONSIDERACIONES HISTÓRICAS

La mina San Antonio, localizada dentro de un gran acuífero regional, está sujeta a infiltraciones de agua constantes. Cuando alguna obra minera cruza una fractura que tiene comunicación directa con una bolsa llena de agua, se presenta un flujo descontrolado. La gravedad de la inundación depende del volumen almacenado de agua, la carga estática y del tamaño de la perforación

Históricamente en la mina San Antonio se han tenido diversas emergencias por problemas de agua, las cuales en su gran mayoría se han podido controlar con la barrenación e inyección de cemento, pero aún así se han tenido 6 emergencias graves y en 3 de ellas se ha tenido que suspender la operación total de la mina por inundación (ver figura 9)

El primer problema de inundación del que se tiene conocimiento ocurrió el 10 de noviembre de 1945, cuando al desarrollar una frente de exploración en el nivel 9 se comunicó a una caverna de agua. Se calcula que el aporte de agua fue de $6.732,6 \frac{l}{seg}$ (106.725 g p m). Esta afluencia causó la inundación de la mina hasta 5 metros antes de llegar al nivel 8 y el suceso ocurrió en un lapso de 7 horas.

En 1982 se presentó la segunda inundación de la mina, en una rampa que se llevaba del nivel 8 al nivel 10. Cuando se presentó un aporte de agua considerable en la barrenación, se paró el avance para inyectar cemento y aunque la obra se protegió bien, con la primera voladura se comunicó a una fractura que aportó $757,0 \frac{l}{seg}$ ($12,000 \text{ g p m}$). Con esta inundación se detuvo la operación de la mina por seis meses ya que el nivel de agua llegó hasta el nivel 10.

El siguiente problema de inundación se tuvo en septiembre de 1991 en el nivel 15. Aquí no se detuvo la operación de la mina, ya que el gasto fue de $56,8 \frac{l}{seg}$ (900 g p m), pero el costo fue elevado debido a que se presentó en un rebaje de sección muy alta y se tuvo que poner una estructura metálica para que ayudara a soportar el muro de concreto y la presión de agua.

En septiembre de 1995, al desarrollar la frente 13L 2202 se cortó la falla poniente y se tuvo una aportación de agua de $50,5 \frac{l}{seg}$ (800 g p m). En esta inundación, y en la de 1991, el sistema de bombeo trabajó a su máxima capacidad y no hubo necesidad de parar la producción de la mina.

La última inundación, se presentó el 5 de marzo de 1997, la cual aportó un gasto de $164,0 \frac{l}{seg}$ ($2,600 \text{ g p m}$). Se inundaron los niveles 15, 14 y parte del 13, por lo que se tuvo que detener la operación de la mina durante tres meses. Esto sucedió al desarrollar una frente de exploración dentro del rebaje 12K 1983 que comunicó a una falla; como solución se construyó un muro de concreto para detener la afluencia de agua.

Cabe mencionar que el desarrollo de la exploración geológica y de la inyección de cemento en toda la mina, han reducido el riesgo de inundación, ya que las zonas de agua se detectan con anticipación y las obras mineras se proyectan en las zonas libres de agua.

4.3.2 PROCEDIMIENTO PARA EL CONTROL DE INUNDACIONES.

En la mina se tienen dos alternativas para el control de inundaciones, barrenación e inyección de cemento y aislamiento con un tapón de concreto. La selección de una u otra depende de la magnitud de la emergencia.

La elección de la alternativa de control se hace en una junta de operación con la presencia de todos los jefes de departamento para tomar la mejor opción.

La barrenación e inyección de cemento se selecciona cuando el problema se encuentra en lugares donde no se tiene acceso fácilmente, como lo son rebajes rellenos o contrapozos. En este caso se planea la barrenación a realizar con el fin de cortar el agua y por medio de la inyección de cemento, disminuir lo más posible su afluencia.

Cuando se opta por aislar la zona con la construcción de un tapón de concreto, el procedimiento general consta de varias etapas. Algunas de ellas se realizan al mismo tiempo con el fin de controlar rápidamente el problema y son las siguientes:

1.- *LIMPIEZA DEL LUGAR*: En esta etapa se trata de rezagar el lugar y en caso de necesitarse, se dan los desbordes necesarios para realizar las maniobras para el colado del tapón.

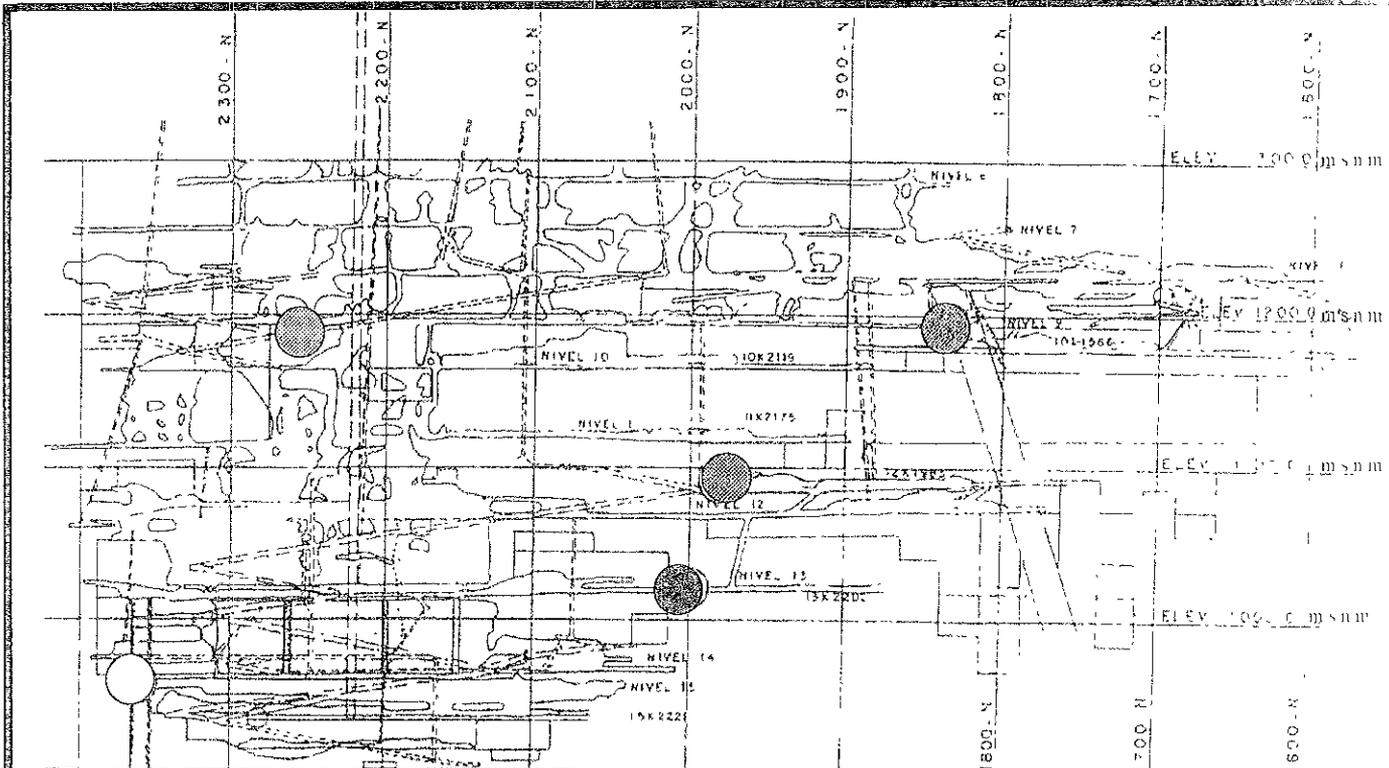
2. - *CANALIZACIÓN DEL AGUA*: Después de tener libre el área de trabajo, el agua tiene que ser dirigida fuera del lugar, para que no interfiera en las maniobras. La canalización se refiere, a la acción de conducir el agua que sale de la abertura del terreno a través de uno o varios tubos y tener mayor control sobre su flujo. En ocasiones es necesario dar algunos barrenos directos a la fractura, para que sirvan de desfogue de presión y el agua pueda canalizarse más fácilmente.

3. - *CARCELEO*: Después de canalizar el agua, se realiza una ranura alrededor de toda la sección de la obra donde quedará empotrado el muro de concreto, este carceleo tiene una profundidad de 30 a 50 centímetros que depende de la presión de agua.

4. - *CIMBRA y ARMADO*: Después de que se tiene el carceleo completo, se realiza el montaje de la cimbra que quedará en la parte interior del tapón, para después continuar con el armado de varilla de lo que será el muro. La cimbra de la parte exterior se realiza conforme se cuele el muro, con el fin de verificar que en el cemento no queden burbujas de aire que puedan hacer que falle el muro, además de facilitar el vaciado del concreto.

5. - *COLADO*: El colado del muro se realiza en forma continua de tal manera que no queden fisuras por donde puedan presentarse filtraciones de agua. El tiempo de fraguado del muro se determina dependiendo de sus dimensiones. En la parte superior siempre se dejan unos tubos para desfogue del aire durante el sellado del muro.

6. - *SELLADO DEL MURO*: Durante el tiempo de fraguado, se instalan válvulas en los tubos de canalización de agua y en los de desfogue. Al término del fraguado se cierran las válvulas principales de canalización de agua y después de que se terminó de cargar el muro, se cierran las válvulas de desfogue, verificando que éstas estén libres de aire y se pueda crear una presión mayor en la parte trasera del muro. Ya cerradas todas las válvulas, en caso de escurrimientos en las paredes del macizo o alrededor del muro se procede a calafatearlas y terminar de sellar las fisuras.



	10 NOV 1945	1,778.7 l/seg	(106,725 gpm)
	9 DIC 1982	75.6 l/seg	(12,000 gpm)
	26 SEP 1991	56.7 l/seg	(900 gpm)
	2 SEP 1995	50.4 l/seg	(800 gpm)
	5 MAR 1997	157.5 l/seg	(2,500 gpm)

LEYENDA
LABRADO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO Facultad de Ingeniería	
Mina San Antonio HISTORIA DE INUNDACIONES	
ESCALA ACOTACIONES	S/l. m
FIGURA No. 9	

5. PROYECTO DE BOMBEO DE 157.7 A 631.0 $\frac{1}{\text{seg}}$

5.1 INSTALACIONES Y CAPACIDAD ACTUAL DE BOMBEO

La capacidad instalada del sistema actual de bombeo es de 280 $7 \frac{1}{\text{seg}}$ (4,450 g p m) pero por las condiciones en que se encuentran las estaciones de bombeo, la capacidad operativa es de 154 $6 \frac{1}{\text{seg}}$ (2,450 g p m), esto representa el 55 % de eficiencia en el sistema.

Los aforos realizados en todas las estaciones de bombeo, indican que la cantidad de agua que llega a las piletas es de 151 4 a 157 $7 \frac{1}{\text{seg}}$ y ésta es producto de las filtraciones normales en la mina (ver figura 10)

En estas condiciones y con la capacidad de bombeo limitada, cualquier aumento en el flujo normal de agua ocasiona que el sistema de bombeo sea insuficiente y como consecuencia el agua se derrama a la parte más baja de la mina que es el nivel 15 y al fondo del tiro En este nivel el agua comienza a subir y ocasiona problemas con el manteo del tiro San Antonio

Cuando el nivel de agua comienza a interferir en las operaciones de manteo, se realizan los cambios necesarios en el sistema de bombeo para aumentar su eficiencia y disminuir el nivel en el fondo del tiro, tratando de regresar a la normalidad la operación

Aunque los trabajos de mantenimiento mecánico que se realizan a diario tienen como propósito mantener el sistema de bombeo en buenas condiciones, las bolsas de agua que cortan los exploradores, los sólidos arrastrados por el flujo de agua y el relleno de jal principalmente, hacen que el trabajo de mantenimiento sea de carácter correctivo, teniendo como principal riesgo el paro del manteo

Aunado a los problemas mecánicos, la red de distribución eléctrica para el sistema de bombeo, está conectada a la misma subestación que alimenta en superficie a compresores, ventiladores y malacates Así que cualquier falla eléctrica que se tenga en superficie afecta el bombeo de la mina

5.2 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

Por varios años y debido a los problemas de inundación ocurridos, se han propuesto diversas alternativas para solucionar el problema del sistema de bombeo Pero estos proyectos, al ser controladas las emergencias de agua y debido a la gran inversión que se requiere, se habían dejado en segundo término y es hasta ahora cuando el problema repercute directamente en la producción de la mina, que se le da importancia para solucionarlo

Los criterios de diseño de todos los proyectos realizados, han dependido de la capacidad financiera de la empresa Estos proyectos se han enfocado a bombear toda el agua fuera de la mina y abatir el nivel freático o bombear al nivel 8 recirculando el agua y solo bombear a superficie lo necesario para la operación de la planta de beneficio

AFORO EN LA MINA SAN ANTONIO

NIVEL 10 ← 12.6 ¹/_{seg}
(1,163.0 m s n m)

NIVEL 11 ← AGUA POTABLE
(1,112.9 m s n m)

NIVEL 12 ← 25.2 ¹/_{seg}
(1,063.1 m s n m)

NIVEL 13 ← 85.2 ¹/_{seg}
(1,013.1 m s n m)

NIVEL 14 ← 15.8 ¹/_{seg}
(963.1 m s n m)

NIVEL 15 ← 12.6 ¹/_{seg}
(913.4 m s n m)

TOTAL : 151.4 ¹/_{seg}

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO
Facultad de Ingeniería

Mina San Antonio
AFORO DE AGUA

ESCALA S/E
ACOTACIONES m

FIGURA 10

Así entonces, se han realizado varios proyectos con diferentes criterios de diseño

5. 2. 1 PROYECTOS EN EL NIVEL 14

A los proyectos desarrollados para el nivel 14, se les ha puesto mayor interés y todos se han realizado considerando una estación principal de bombeo detrás de la que se tiene actualmente. De aquí se pretende bombear el agua ya sea a la caverna del nivel 8 para que nuevamente se filtre ó bombear hasta el nivel cero tratando de abatir el nivel freático. Estos proyectos han propuesto que la capacidad de bombeo necesaria debe ser entre 504.7 y 757.0 $\frac{1}{seg}$ (8,000 y 12,000 g p m)

Estos proyectos se han tratado de realizar, ya sea con un criterio u otro, así se tienen hechas dos rampas negativas principales para el proyecto, una como acceso a la estación de bombeo y la otra para usarse como pileta de decantación para que la limpieza de los lodos pueda hacerse con un "scoop tram"

Por la gran inversión requerida, estos proyectos no se han podido llevar a cabo a pesar de tener algunas obras realizadas

5. 2. 2 PROYECTO SECCIONADO EN EL NIVEL 13

Otro de los proyectos en los que se ha puesto mucho interés, es el de instalar la estación principal de bombeo en el nivel 13 y mantener las antiguas estaciones de bombeo trabajando, con lo que se aumenta la capacidad de bombeo de 157.7 a 378.5 $\frac{1}{seg}$ (2,500 a 6,000 g p m). Este proyecto se basa en que el nivel 13 es el que aporta más agua en la mina y no tiene caso conducirla hasta el nivel 14 y gastar más energía al bombear el agua desde un nivel más abajo

Este proyecto considera mejorar las instalaciones actuales en el nivel 13 que posteriormente serían parte del nuevo sistema de bombeo. Estas mejoras consisten en realizar una rampa ubicada a unos 50 metros de la estación principal que sirva como pileta de asentamiento y la construcción de una nueva pileta de bombeo para sustituir la anterior. Se analizaron las opciones de bombear al nivel 8 ó al nivel cero

En este proyecto, se construyó una pileta de decantación para la estación de bombeo existente, la cual sería parte del proyecto. Quedó pendiente la construcción de la nueva pileta de succión y la instalación de la nueva tubería para independizar este sistema del antiguo

5. 3 SISTEMA DE BOMBEO PROPUESTO

En busca de una solución para el problema que representa el sistema de bombeo actual, la unidad Santa Eulalia decidió realizar un proyecto para un sistema de bombeo que garantice la operación continua de la mina, aún con una emergencia de inundación

Para definir los criterios de diseño, se utilizaron como referencia los proyectos realizados con anterioridad y los nuevos cálculos realizados para este proyecto (Anexo No 1) y se determinó que el nuevo sistema tiene que ser independiente del actual y tratar de abatir el nivel freático

Con base en estudios preliminares que se han realizado y con los flujos de agua obtenidos en condiciones críticas a lo largo de la vida de la mina, se ha estimado que la capacidad del sistema debe ser de $630.8 \text{ l}_{\text{seg}}$ ($10,000 \text{ g p m}$) Esta cifra se calculó con los datos de los últimos 16 años y con ello se asegura cubrir cualquier eventualidad.

El proyecto contempla la construcción de una pileta de bombeo, utilizando el espacio de tres rebajes que se tienen actualmente en el nivel 15 y que dan la capacidad suficiente para almacenar el agua de un día en condiciones normales (ver figura 11). Con esto se pretende realizar el bombeo de las 0:00 a 6 00 hrs que es el horario en el consumo de energía eléctrica tiene la tarifa base y que es la más baja \$ 0 25 por Kwh (ver Anexo 1)

La infiltración promedio de agua actualmente es de $157.7 \text{ l}_{\text{seg}}$ ($2,500 \text{ g p m}$) que durante 24 horas equivale a $13,620 \text{ m}^3$ por día. Esta agua será conducida por gravedad de los distintos niveles hasta las piletas de decantación y de allí a la pileta principal

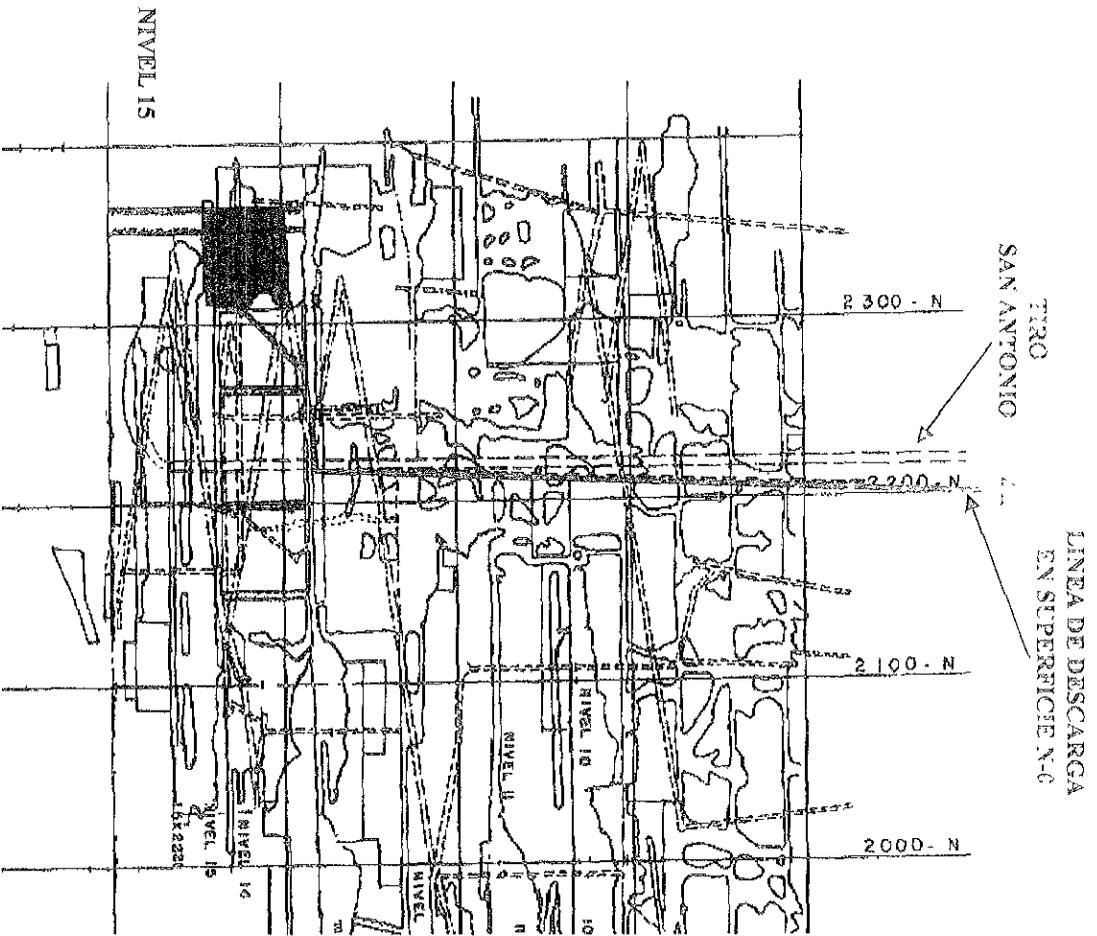
En virtud del mal estado en que se encuentra el sistema eléctrico del tiro San Antonio, donde una falla eléctrica es de graves consecuencias para el sistema de bombeo, se contempla la rehabilitación del sistema de distribución eléctrica para dar confiabilidad a las operaciones en el interior de la mina. Esta rehabilitación consiste en sustituir los transformadores y tableros de control para la alimentación de los equipos de servicios en el interior de la mina También la sustitución de los cables del sistema eléctrico, ya que muchas de estas instalaciones están deterioradas por el tiempo y las condiciones ambientales en la mina, por lo que ya no cumplen con las medidas mínimas de seguridad. Además se considera incorporar al sistema actual, elementos de control y protección adecuados para una operación confiable, eficiente y segura.

Independientemente de la construcción del nuevo sistema de bombeo, el departamento de mina realizará la construcción de las piletas de asentamiento necesarias en cada uno de los niveles por donde se tendrá el flujo de agua hasta la estación principal de bombeo.

5. 3. 1 CRITERIOS DE DISEÑO

El objetivo de este proyecto, es tener un sistema de bombeo con la capacidad suficiente para abatir una afluencia de agua que pueda provocar la inundación parcial o total de la mina San Antonio y que garantice la operación continua de la misma.

De acuerdo con la información de los aforos de las infiltraciones de agua en la mina, realizados en el año de 1996, 1997, 1998 y 1999, se obtuvo un valor que vario de 145 l a $176.6 \text{ l}_{\text{seg}}$, con un promedio de $157.7 \text{ l}_{\text{seg}}$ ($2,500 \text{ g p m}$) para fines de diseño en condiciones normales y de $630.8 \text{ l}_{\text{seg}}$ ($10,000 \text{ g p m}$) en condiciones de emergencia.



ESTACION DE BOMBEO N-15

RUTA DE LA TUBERIA

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO		
Facultad de Ingenieria		
Mina San Antonio		
SISTEMA DE BOMBEO PROPUESTO		
ESCALA	S/E	FIGURA 11
ACOTACIONES	m	

También se requiere el sistema de bombeo de agua limpia. El sistema instalado en el nivel 11 maneja un volumen de $17.7 \frac{1}{\text{seg}}$, operando un promedio de 1^4 hrs/día y el volumen requerido para las necesidades actuales de la unidad es del orden de $37.9 \frac{1}{\text{seg}}$.

El agua infiltrada debe ser conducida por gravedad, desde los rebajes y por los distintos niveles, siguiendo la trayectoria de las rampas existentes hasta la nueva estación de bombeo. Durante el trayecto se deben tener varias piletas de decantación, para disminuir la cantidad de sólidos antes de que lleguen a las piletas principales del nuevo sistema.

Con anterioridad se han realizado estudios para revisar el comportamiento del nivel freático, en función del volumen bombeado y de la precipitación pluvial. Estos estudios han determinado que con un bombeo constante es posible abatir el nivel freático en la mina San Antonio; para esto, es necesario que el sistema descargue el agua a superficie y fuera del área del graben y no tener recirculación de agua por infiltración en la mina. En el nivel cero se bombeará el agua necesaria para la planta de beneficio.

Es conveniente utilizar como pileta de almacenamiento y bombeo, los 3 rebajes que ya se minaron y no se rellenaron en el nivel 15, con el fin de tener mayor capacidad de almacenamiento durante el día, de tal manera que el agua se pueda almacenar para bombearla durante 6 horas en el turno de tercera y así bajar el costo por consumo de energía eléctrica.

Se considera necesario instalar 4 bombas con capacidad de $157.7 \frac{1}{\text{seg}}$ (2,500 g p m) cada una; para que trabajen juntas y tener una capacidad total de $630.8 \frac{1}{\text{seg}}$ (10,000 g p m). Además es conveniente instalar una bomba extra. (ver Anexo I)

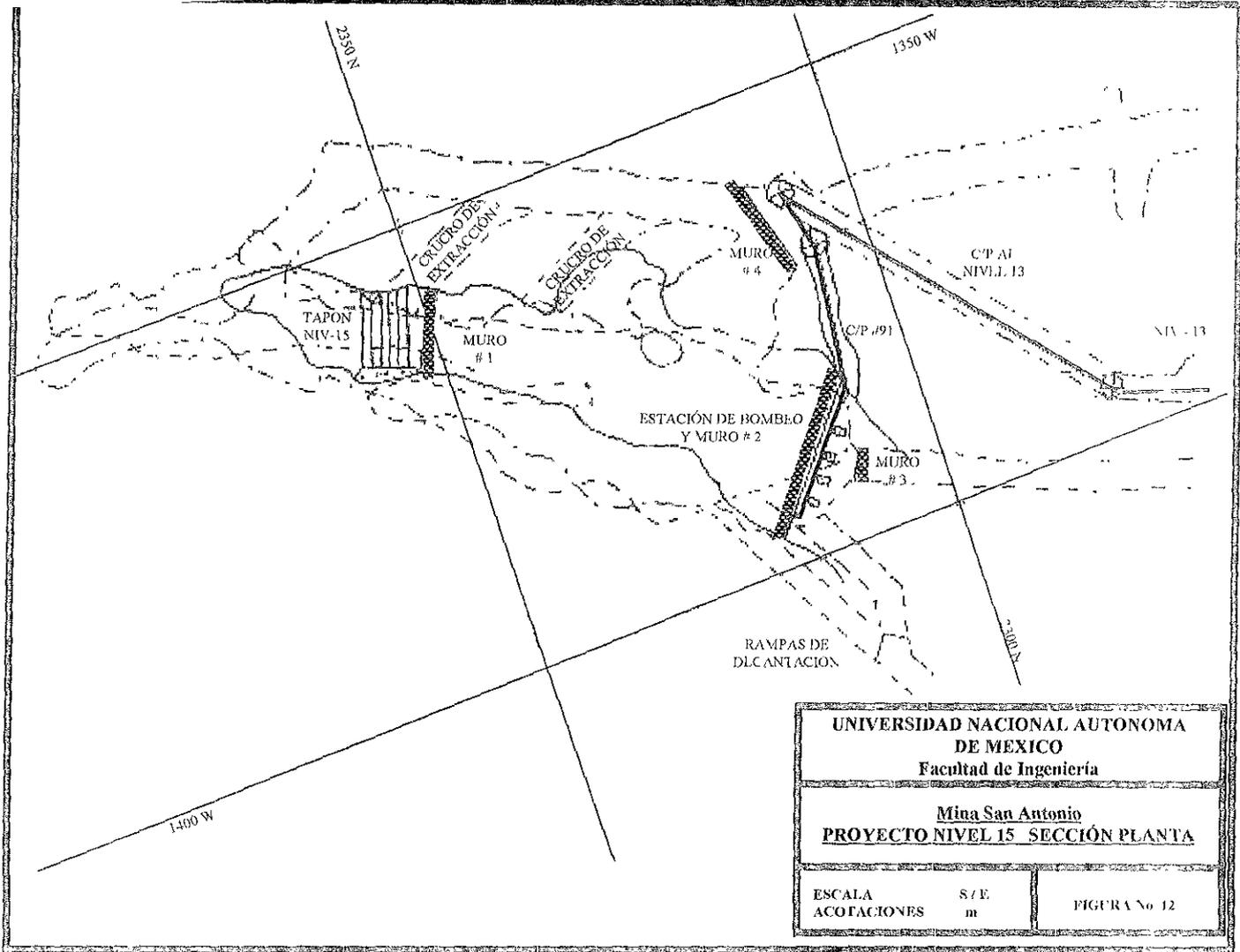
La tubería e instalación eléctrica se ubicará por un contrapozo tradicional que existe de la estación de bombeo al nivel 13 y del nivel 13 hasta el nivel 0 por un contrapozo Robbins que también ya existe, cabe mencionar que la ruta que tendrá la tubería estará independiente de las instalaciones de la mina, ya que los contrapozos se utilizan como parte de la ventilación del nivel 13 sin afectar el flujo de aire necesario.

5. 3. 2 OBRAS PRINCIPALES PARA EL PROYECTO

La obra principal del proyecto es la pileta de succión, para ésta es necesario tumbar los pilares que se tienen entre los tres rebajes que formarán la pileta de bombeo (la roca es muy consistente lo que permite la estabilidad del cielo de la pileta). El tonelaje a tumbar asciende a 18,684.0 toneladas de mineral ($6,228 \text{ m}^3$), que sumado al volumen que se tiene abierto da un total de $24,828.0 \text{ m}^3$. Esta sería la capacidad de almacenamiento de la pileta.

Para que el área abierta de los tres rebajes funcione como una pileta, se necesita la construcción de 4 muros de concreto que tapen los accesos al rebaje. Dos muros se harán en el nivel 14, y dos a la altura del piso del rebaje (ver figura 12 y 13)

Se propone impermeabilizar lo que será el piso de la pileta de succión, con concreto de 30 centímetros de espesor y aunque la roca donde se va a construir la pileta es muy

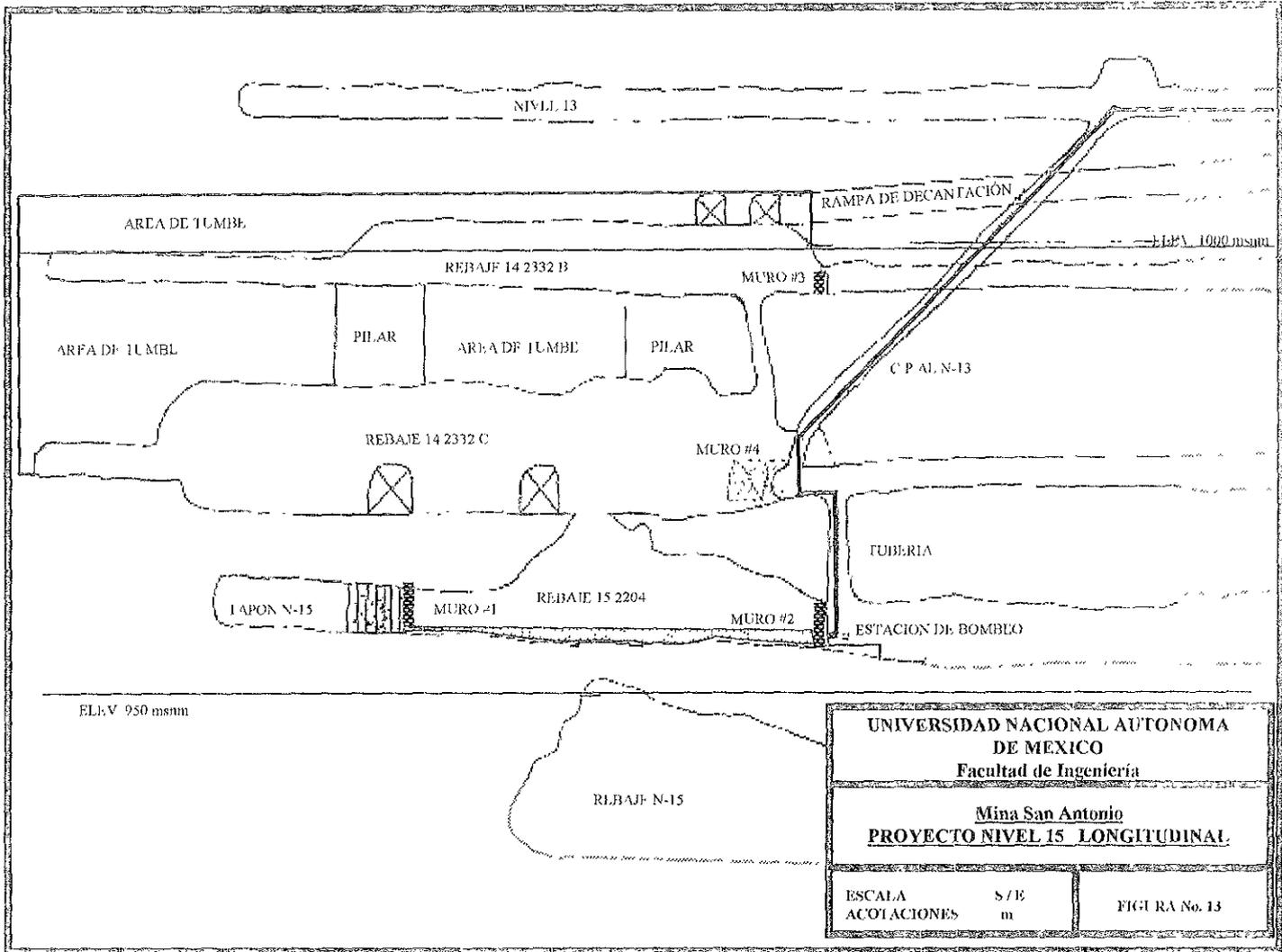


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO
Facultad de Ingeniería

Mina San Antonio
PROYECTO NIVEL 15 SECCIÓN PLANTA

ESCALA S/E
ACOFACIONES m

FIGURA No. 12



consistente si es necesario se realizará durante el último corte un anclaje en el cielo de la pileta para evitar caídas

Se deben desarrollar 40 metros de rampa negativa, para hacer una pileta de asentamiento adicional a la que ya existe. Esta rampa tendrá 10 % de pendiente y con las condiciones necesarias para obtener un tiempo de asentamiento adecuado a los sólidos a decantar (ver figura 14)

Se requiere la instalación de 2 líneas de tubería de 61 cm de diámetro (24 pulgadas), con una longitud de 682.0 metros cada una (ver Anexo 1) Esta instalación será de la estación de bombeo al nivel 13 por un contrapozo tradicional, y del nivel 13 al nivel cero por un contrapozo Robbins. Además de la tubería se instalará la línea eléctrica por este mismo lugar y escaleras que sirvan como camino de emergencia (ver figura 15)

Se tendrá que desarrollar un crucero de 12.4 metros de largo con una sección de 4 x 3.5 metros para comunicar el nivel 0 con el contrapozo Robbins y tener la descarga de la tubería a superficie

La construcción e instalación de la subestación eléctrica se hará en el nivel 15 cerca de la estación de bombeo y la alimentación eléctrica se instalará por los contrapozos junto a la tubería

5.3.3 VENTAJAS DEL SISTEMA

Para determinar las ventajas que ofrecerá este nuevo sistema de bombeo, se realizó una comparación del consumo de energía eléctrica que se tiene actualmente en el bombeo contra el que se tendrá con nuevo sistema, el consumo actual se tomó de las lecturas de los medidores de la línea de los circuitos de bombeo y el costo de los recibos de la comisión federal de electricidad, para el nuevo sistema se calculó el consumo de los kwh con base en los hp de los motores de las bombas que van a trabajar y el costo se calculó dependiendo del horario y del tiempo en el que se realizará el bombeo ya que las tarifas de consumo varían dependiendo del horario. (ver Anexo 1)

Con la nueva estación de bombeo de $630.8 \frac{1}{seg}$ (10,000 g p m) y con la capacidad de almacenamiento de $24,828 \text{ m}^3$ en la pileta de succión, el agua almacenada durante todo el día se podrá bombear en 6 horas, y el bombeo se realizará en el horario de 12 de la noche a 6 de la mañana, que es el horario de consumo de energía eléctrica de demanda base que tiene el menor costo. (ver Anexo 1)

En la siguiente tabla comparativa se muestra en primer término, el consumo que se tendría con el nuevo sistema pero bombeando con sólo una bomba de $157.7 \frac{1}{seg}$ (2,500 g p m) y trabajando constante las 24 horas del día. Esto está afectado por los horarios de consumo base, intermedio y punta. En segundo término se muestra la opción de bombear con las 4 bombas $630.8 \frac{1}{seg}$ (10,000 g p m) durante 6 horas en el horario de consumo base que tiene el menor costo. Y en tercer término, se presenta el consumo que tiene con el sistema de bombeo actual.

BOMBEO	HORAS DE BOMBEO	CONSUMO DE KWH/DÍA	COSTO DEL CONSUMO DE ENERGÍA		
			DÍA	MES	AÑO
157.7 ¹ / _{seg} (2,500 g p m)	24	28.800	\$ 10.176 00	\$ 309.520 00	\$ 3'714.240.00
630.8 ¹ / _{seg} (10,000 g p m)	6	28.800	\$ 7.200 00	\$ 219.000 00	\$ 2'628.000.00
<i>ACTUAL</i>	24	41.628	\$ 13.808 00	\$ 420.000 00	\$ 5'040.000 00

(Ver cálculo en el Anexo I)

De la tabla anterior se observa que el bombeo actual representa un consumo de energía eléctrica de 44.5 % más de lo que se requiere con el sistema propuesto. Además el ahorro de dinero sería de \$ 2'412,000.00 al año.

Cabe mencionar que en los proyectos anteriores el bombeo ha sido continuo durante todo el día, en función de la capacidad de las piletas.

Con el nuevo sistema de bombeo se tiene un menor costo de mantenimiento por tener solo una estación de bombeo. Actualmente los costos de mantenimiento ascienden a \$ 268,300 00 por mes, de los cuales \$ 130,000 00 son de materiales para bombas y \$ 74,000 00 son de pago a terceros por reparaciones.

Además, la nueva estación de bombeo contará con un sistema de decantación para que a la pileta de bombeo llegue el agua con un mínimo de sólidos en suspensión. Con esto se reducen daños en el equipo y se abaten costos en refacciones para bombas.

Los trabajos de tumba para la pileta, contribuirán en la producción de la mina ya que el área es de mineral.

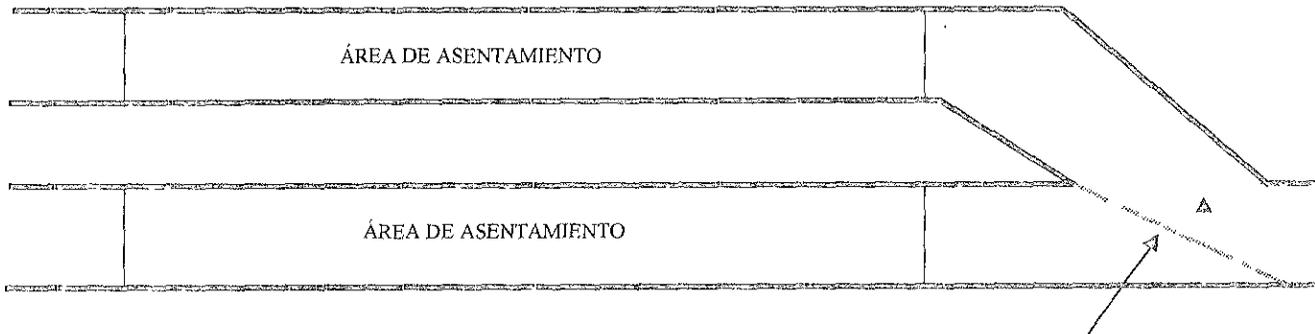
El circuito de energía eléctrica para el bombeo, se independizará de los equipos de ventilación y malacates, evitando fallas no relacionadas con el bombeo.

Se estima que con el bombeo de agua a superficie, se comenzará a abatir el nivel freático y se espera recuperar varios bloques de reservas de mineral probado, que no se pueden explotar por estar en zonas de agua.

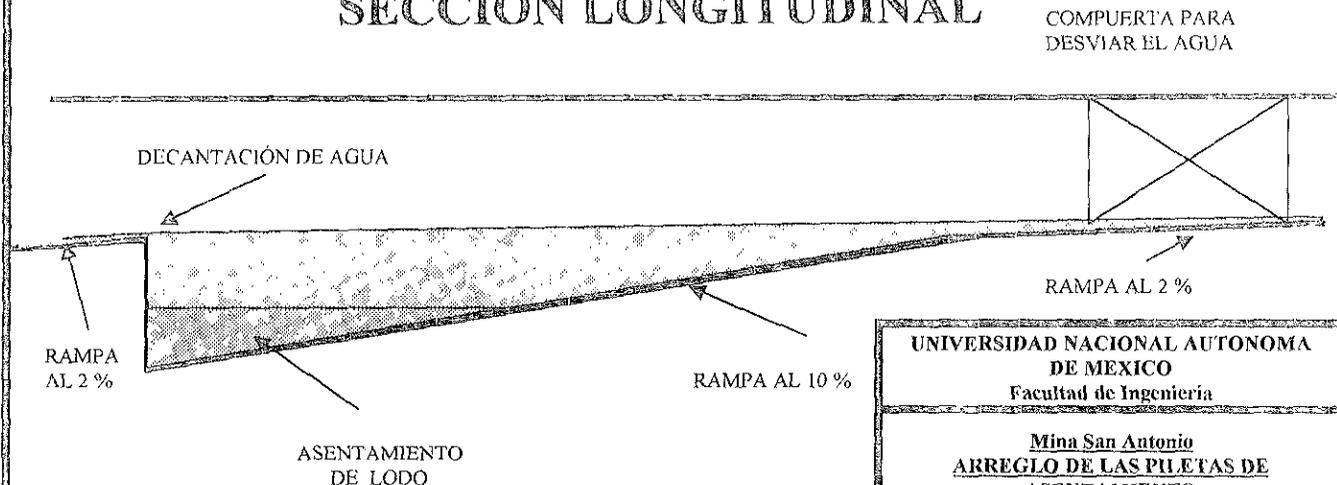
5. 3. 4 DESVENTAJAS DEL SISTEMA

Enviar el agua hasta la estación de bombeo, ubicada en el fondo de la mina, hace necesaria una supervisión constante de los trabajos de conducción de agua, para evitar al máximo el arrastre de sólidos hacia la estación de bombeo.

SECCIÓN PLANTA



SECCIÓN LONGITUDINAL



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO
Facultad de Ingeniería

Mina San Antonio
ARREGLO DE LAS PILETAS DE
ASENTAMIENTO

ESCALA
ACOTACIONES

S/E
m

FIGURA No 14

Es necesario contar con piletas de asentamiento, a lo largo del recorrido del agua, en las cuales se deberán realizar trabajos para desazolver y mantenerlas en buen estado

La inversión total para este proyecto es de \$ 9'874,094 64 (los detalles se presentan más adelante en el análisis de costos)

La inversión se tendrá que realizar en un lapso corto ya que las diferentes obras se tienen que realizar al mismo tiempo, y además el sistema actual de bombeo solo está manteniendo el flujo normal de agua y en caso de que se presente una emergencia de inundación, podría ocasionar la inundación parcial de la mina

5. 4 EVALUACIÓN FINANCIERA

Para la evaluación financiera, se tomo como base la cotización de los costos de un contratista que va a realizar todas las obras mineras y de pailería de la estación de bombeo

Los costos de los materiales se obtuvieron del catalogo de la construcción de 1999 y de cotizaciones hechas en la ciudad de Chihuahua

El contratista es . Tiros y Desarrollos S A de C V.

Cotización: marzo de 1999

Tipo de moneda: Pesos

5. 4. 1 ANÁLISIS DE COSTOS

OBRA MINERA

PILETA PRINCIPAL:

<i>Rebaje</i>	<i>Volumen Minado</i>	<i>Volumen por Tumar</i>	<i>Volumen Total</i>	<i>Tonelaje a Tumar</i>
<i>14L 2332 (B)</i>	2,940 m ³	1,820 m ³	4,760 m ³	5,460 Ton
<i>14L 2332 (C)</i>	12,600 m ³	3,220 m ³	15,820 m ³	9,660 Ton
<i>15X 2254</i>	3,060 m ³	1,188 m ³	4,248 m ³	3,564 Ton
<i>TOTAL</i>	18,600 m³	6,228 m³	24,828 m³	18,684 Ton

Capacidad total de la pileta = 24,828 m³

Costo del tumbé

Costo unitario \$180 00 / m³
(6,228 00 m³) (\$180.00/ m³) = \$1'121,040 00

RAMPA PARA PILETA DE DECANTACIÓN:

Costo por metro lineal = \$ 4,448 00
(40 m) (\$ 4,448 00/ m) = \$ 177,920 00

CRUCERO EN EL NIVEL CERO

Costo por metro lineal = \$ 4,237.00
(12 m) (\$ 4,237 00/ m) = \$ 50,844 00

Total de la obra minera = \$ 1'349,804 00

INSTALACIÓN DE TUBERÍA, CAMINOS Y HERRAJES

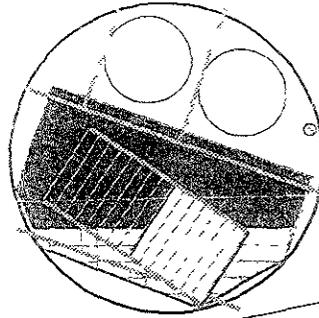
La tubería, caminos, cable eléctrico y herrajes, se instalarán desde la estación principal de bombeo hasta el nivel cero, a través de tres contrapozos, en los que se instalarán descansos a cada seis metros según el arreglo del proyecto

LONGITUD DE LA TUBERÍA NECESARIA

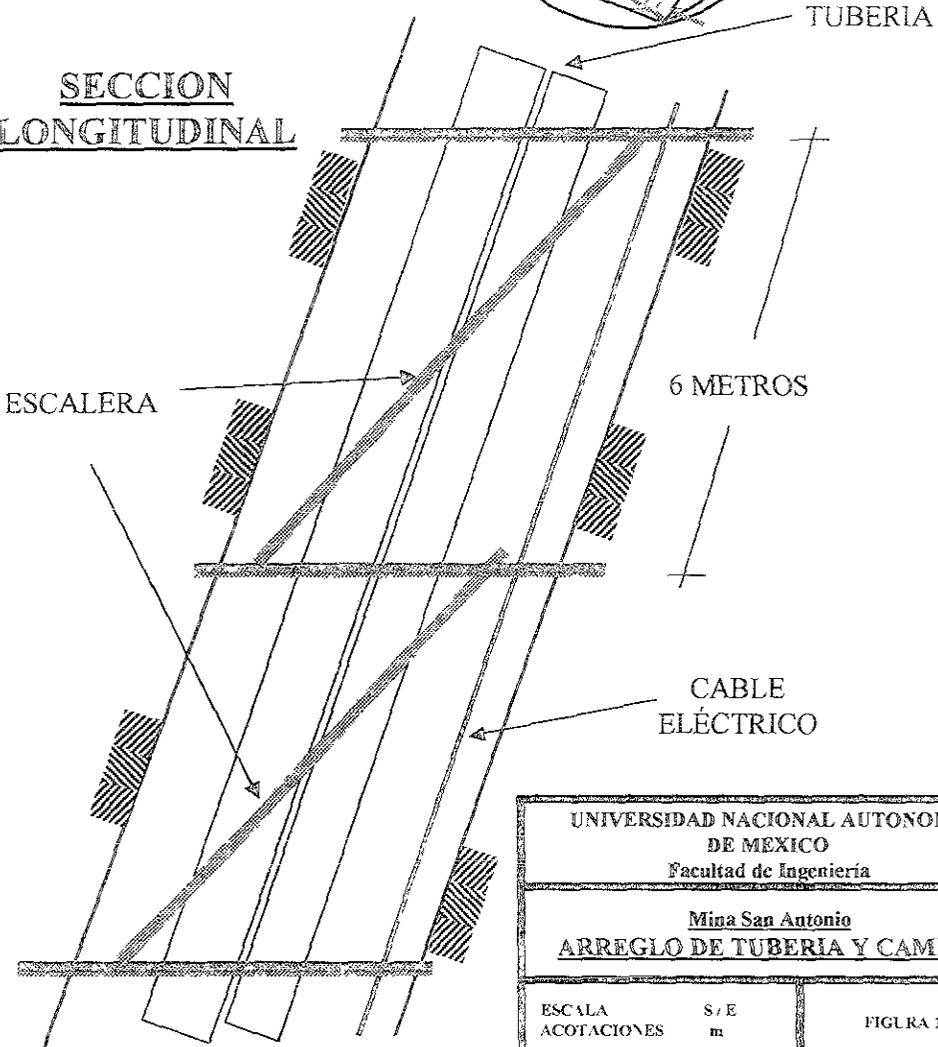
<i>INICIO</i>	<i>TERMINO</i>	<i>LONGITUD</i>
<i>Est de bombeo</i>	<i>C/p 91</i>	70 m
<i>C/p 91</i>	<i>Nivel de acarreo</i>	160 m
<i>Nivel de acarreo</i>	<i>C/p al nivel 13</i>	7.0 m
<i>C/p al nivel 13</i>	<i>Nivel 13</i>	570 m
<i>Nivel 13</i>	<i>C/p robbins</i>	90.0 m
<i>C/p robbins</i>	<i>Nivel cero</i>	505.2 m
<i>Longitud total</i>		682.2 m

CONTRAPOZO
ROBBINS

SECCIÓN
PLANTA



SECCION
LONGITUDINAL



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO Facultad de Ingeniería	
Mina San Antonio <u>ARREGLO DE TUBERIA Y CAMINO</u>	
ESCALA ACOTACIONES	S / E m
FIGURA 15	

INSTALACION DE UN TRAMO DE 6 METROS

Materiales

CONCEPTO	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	TOTAL
REJILLA IRVIN	14 m ²	\$ 265.00	\$ 371 00
CARCELES	4	\$ 484 25	\$ 1.937.00
VIGUETAS	5 m	\$ 81 68	\$ 408 40
ANCLAS	2 piczas	\$ 20 48	\$ 40 96
ESCALERAS	1	\$ 215 20	\$ 215 20
TOTAL			\$ 2.972 56

682 20 m / 6 m por tramo = 114 tramos de 6 m cada uno

Total de materiales = (114 tramos) (\$ 2,972 56) = \$ 338,871 84

Costo de la mano de obra por tramo de 6 m = \$ 13,136 17

Total de mano de obra = (114 tramos) (\$ 13,136 17) = \$ 1'497,523 38

Total de la instalación de tuberías \$ 1'836,395 22

ESTACIÓN DE BOMBEO

EQUIPO DE BOMBEO

5 Bombas Sulzer MC-150 7ST = \$ 3'250,000 00

Tubería de 61 cm (24"), conexiones y accesorios = ya se tienen

Cilindros tanques amortiguadores para golpe de ariete = ya se tienen

Instalación del equipo = \$ 650,000 0

Total del equipo = \$ 3'900,000 00

Las características y especificaciones de los equipos que ya se tienen, se compararon con los cálculos realizados para las condiciones del proyecto (ver cálculo anexo I) y se verificó que cumplen con las necesidades del proyecto

OBRA CIVIL

IMPERMEABILIZACIÓN DEL PISO DE LA PILETA PRINCIPAL

Área del piso de la pileta principal = (14 m) (45 m) (0.3 m) = 189 0 m³

Costo unitario = \$ 52 12 / m² (Fc = 150 Kg / cm²)

Costo Total = (189 0 m²) (\$ 52 12 7 m²) = \$ 9,850 68

MURO # 1 EN EL NIVEL 15 AL FONDO DEL REBAJAL 15K 2254

$$\begin{aligned} \text{SECCIÓN} &= (\text{longitud}) (\text{altura}) (\text{espesor}) \\ &= (8.5 + 1) (5 - 1) (1) = 57 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

ACERO

Armado de varilla de 31.4 mm (1^{1/4}") a cada 30 cm con un peso de 7 kg/m

$$\text{Ancho} = (9.5 \text{ m}) / (0.3 \text{ m}) (6 \text{ m}) = 190 \text{ m}$$

$$\text{Alto} = (6 \text{ m}) / (0.3 \text{ m}) (9.5 \text{ m}) = 190 \text{ m}$$

$$\text{Total} = 380 \text{ m de varilla}$$

$$\text{Peso total} = (380 \text{ m}) (7 \text{ kg/m}) = 2,660 \text{ Kg de varilla de 31.4 mm (1}^{1/4}\text{")}$$

$$\text{Costo unitario } \$ 23,660.00 / \text{ton}$$

$$\text{Costo total} = (2.66 \text{ ton}) (\$ 23,660.00 / \text{ton}) = \$ 62,935.60$$

CIMBRA

$$\text{Costo unitario} = \$ 533.00 / \text{m}^2$$

$$\text{Sección} = (8.5 \text{ m}) (5 \text{ m}) = 42.5 \text{ m}^2 (2 \text{ lados}) = 85 \text{ m}^2$$

$$\text{Costo total} = (85 \text{ m}^2) (\$ 533.0 / \text{m}^2) = \$ 45,305.00$$

CONCRETO

$$\text{Costo unitario } \$ 3,181.00 / \text{m}^3$$

$$\text{Costo} = (57 \text{ m}^3) (\$ 3,181.00 / \text{m}^3) = \$ 181,317.00$$

$$\text{Total del muro \# 1} = \underline{\$ 289,557.60}$$

MURO # 2 EN LA ESTACIÓN DE BOMBEO

$$\begin{aligned} \text{SECCIÓN} &= (\text{longitud}) (\text{altura}) (\text{espesor}) \\ &= (19 + 1) (5.5 + 1) (1) = 130 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

ACERO

Armado de varilla de 31.4 mm (1^{1/4}") a cada 30 cm con un peso de 7 kg/m

$$\text{Ancho} = (20 \text{ m}) / (0.3 \text{ m}) (6.5 \text{ m}) = 433.33 \text{ m}$$

$$\text{Alto} = (6.5 \text{ m}) / (0.3 \text{ m}) (20 \text{ m}) = 433.33 \text{ m}$$

$$\text{Total} = 866.67 \text{ m de varilla}$$

$$\text{Peso total} = (866.67 \text{ m}) (7 \text{ kg/m}) = 6,066.67 \text{ Kg de varilla de 31.4 mm (1}^{1/4}\text{")}$$

$$\text{Costo unitario } \$ 23,660.00 / \text{ton}$$

$$\text{Costo total} = (6.06667 \text{ ton}) (\$ 23,660.00 / \text{ton}) = \$ 143,537.33$$

CIMBRA

$$\text{Costo unitario} = \$ 533.00 / \text{m}^2$$

$$\text{Sección} = (19 \text{ m}) (5.5 \text{ m}) = 104.5 \text{ m}^2 (2 \text{ lados}) = 209 \text{ m}^2$$

$$\text{Costo total} = (209 \text{ m}^2) (\$ 533.00 / \text{m}^2) = \$ 111,397.00$$

CONCRETO

$$\text{Costo unitario} \$ 3,181.00 / \text{m}^3$$

$$\text{Costo} = (130 \text{ m}^3) (\$ 3,181.00 / \text{m}^3) = \$ 413,530.00$$

Total del muro # 2 = $\$ 668,464.33$

MURO # 3 ENTRADA AL REBAJE 14L 2332 (B)

$$\text{SECCIÓN} = (\text{longitud}) (\text{altura}) (\text{espesor})$$

$$= (3+1) (3+1) (1) = 16 \text{ m}^2$$

ACERO

Armado de varilla de 31.4 mm (1¹/₄") a cada 30 cm con un peso de 7 kg/m

$$\text{Ancho} = (4 \text{ m}) / (0.3 \text{ m}) (4 \text{ m}) = 53.33 \text{ m}$$

$$\text{Alto} = (4 \text{ m}) / (0.3 \text{ m}) (4 \text{ m}) = 53.33 \text{ m}$$

$$\text{Total} = 106.67 \text{ m de varilla}$$

$$\text{Peso total} = (106.67 \text{ m}) (7 \text{ kg/m}) = 746.67 \text{ Kg de varilla de } 31.4 \text{ mm (1}^1\text{/}_4\text{")}$$

$$\text{Costo unitario} \$ 23,660.00 / \text{ton}$$

$$\text{Costo total} = (0.74676 \text{ ton}) (\$ 23,660.00 / \text{ton}) = \$ 17,666.14$$

CIMBRA

$$\text{Costo unitario} = \$ 533.00 / \text{m}^2$$

$$\text{Sección} = (3 \text{ m}) (3 \text{ m}) = 9 \text{ m}^2 (2 \text{ lados}) = 18 \text{ m}^2$$

$$\text{Costo total} = (18 \text{ m}^2) (\$ 533.00 / \text{m}^2) = \$ 9,594.00$$

CONCRETO

$$\text{Costo unitario} \$ 3,181.00 / \text{m}^3$$

$$\text{Costo} = (16 \text{ m}^3) (\$ 3,181.00 / \text{m}^3) = \$ 50,896.00$$

Total del muro # 3 = $\$ 78,156.14$

MURO # 4 EN EL NIVEL DE ACARREO JUNTO A LOS 2 CONTRAPOZOS

$$\begin{aligned} \text{SECCIÓN} &= (\text{longitud}) (\text{altura}) (\text{espesor}) \\ &= (12+1) (4-1) (1) = 65 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

ACERO

Armado de varilla de 31.4 mm (1¹/₄") a cada 30 cm con un peso de 7^{kg}/m

$$\text{Ancho} = (13 \text{ m}) / (0.3 \text{ m}) (5 \text{ m}) = 216.67 \text{ m}$$

$$\text{Alto} = (5 \text{ m}) / (0.3 \text{ m}) (13 \text{ m}) = 216.67 \text{ m}$$

Total = 433.33 m de varilla

$$\text{Peso total} = (433.33 \text{ m}) (7 \text{ kg/m}) = 3,033.33 \text{ Kg de varilla de } 31.4 \text{ mm (1}^1\text{/}_4\text{")}$$

Costo unitario \$ 23,660.00/ ton

$$\text{Costo total} = (3.03333 \text{ ton}) (\$ 23,660.00/ \text{ton}) = \$ 71,768.67$$

CIMBRA

$$\text{Costo unitario} = \$ 533.00 / \text{m}^2$$

$$\text{Sección} = (12 \text{ m}) (4 \text{ m}) = 48 \text{ m}^2 (2 \text{ lados}) = 96 \text{ m}^2$$

$$\text{Costo total} = (96 \text{ m}^2) (\$ 533.00 / \text{m}^2) = \$ 51,168.00$$

CONCRETO

$$\text{Costo unitario} \$ 3,181.00/ \text{m}^3$$

$$\text{Costo} = (65 \text{ m}^3) (\$ 3,181.00 / \text{m}^3) = \$ 206,765.00$$

Total del muro # 4 = \$ 329,701.67

Total de la obra civil = \$ 1'375,730.42

TOTAL DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO = \$ 5'275,730.42

CONSTRUCCIÓN DE LA SUBESTACIÓN ELECTRICA

SUMINISTRO DE EQUIPO \$ 1'086,280.77

Tablero de distribución de 25 Kv

2 tableros de distribución en 4 16 Kv para servicio interior mina

1 transformador de corriente

5 arrancadores de 4,16 Kv

682.20 mts de cable eléctrico tipo MP-GC 3 conductores para

5 Kv y armado para mina

Sistema de instrumentación para operación automática

INSTALACIÓN \$ 325,884.23

La instalación comprende la transportación del equipo hasta el lugar donde se va a instalar y la instalación de los equipos hasta la puesta en marcha de la pileta

TOTAL DE LA SUBESTACION ELÉCTRICA - \$ 1'412.165,00

5. 4. 2 RESUMEN DE COSTOS

Obra minera	
Pileta principal	\$ 1'121,040.00
Rampa para decantación de sólidos	\$ 177,920.00
Crucero en el nivel cero	\$ 50,844.00
Subtotal	\$ 1'349,804.00
Instalación de tubería caminos y herrajes	
Materiales	\$ 338,871.84
Mano de obra	\$ 1'497,523.38
Subtotal	\$ 1'836,395.22
Estación de bombeo	
Obra civil	\$ 1'375,730.42
Suministro del equipo de bombeo	\$ 3'900,000.00
Subtotal	\$ 5'275,730.42
Subestación eléctrica	
Suministro de equipo	\$ 1'086,280.77
Instalación	\$ 325,884.23
Subtotal	\$ 1'412,165.00

Gran total del proyecto \$ 9'874,094.64

5. 4. 3 JUSTIFICACIÓN FINANCIERA

Para justificar el financiamiento del proyecto de bombeo propuesto, se realizó un análisis comparativo entre el costo anual de la inversión requerida y el costo anual que implica un problema de inundación como el que ocurrió en 1997

COSTO ANUAL DEL PROYECTO DE BOMBEO

- P = El costo total de la inversión que es de \$ 9'874,094.64
- i = Tasa de interés, la empresa considera una tasa del 9 % anual para este tipo de inversiones
- n = Número de periodos, 15 años para amortizar la inversión

$$\text{Anualidad} = \frac{(P) i (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} = \frac{(9'874,094.64) (0.09) (1+0.09)^{15}}{(1+0.09)^{15} - 1}$$

$$\text{Anualidad} = \frac{3'236,959\ 49}{2\ 64} = S\ 1'224,969\ 15$$

PROBABILIDAD DE UNA INUNDACIÓN

Actualmente todos los desarrollo de la mina San Antonio están situados en zonas donde la filtración de agua puede ocasionar una inundación, ya que están relativamente cerca de las fallas conductoras de agua. La posibilidad de que se corte una fractura con agua y pueda ocasionar una inundación esta latente

El no contar con un sistema de bombeo para controlar el aumento del volumen de agua sin detener la producción, puede ocasionar perdidas considerables en la unidad minera. Así, se presenta un análisis para determinar, con base en las estadísticas de inundaciones en la mina, la probabilidad de que ocurra una inundación y el costo por la suspensión de la producción

Para determinar la probabilidad, se utilizó la distribución de Poisson

La distribución de probabilidad de Poisson se usa para describir la distribución del número de ocurrencias por unidad de volumen, área o tiempo, en casos donde el número promedio de ocurrencias es pequeño.

La distribución de probabilidad de Poisson es

$$P(x) = \frac{e^{-L} L^x}{x!}$$

- Donde:
- x = Número de inundaciones
 - $P(x)$ = Probabilidad de ocurrencias de x
 - e = Una constante igual a 2.71828
 - L = Número promedio de inundaciones por año

Si se considera que en los últimos 9 años se han tenido 3 emergencias por inundación, se puede decir que el problema ocurre una vez cada 3 años

El volumen L sería de $L = \frac{1}{3} = 0.33$

$$\text{Sustituyendo } P(1) = \frac{(e^{-0.33})(0.33)}{1} = \frac{0.33}{(2.71828)^{0.33}} = \frac{0.33}{1.39097}$$

$$P(1) = 0.23725$$

Así entonces la probabilidad estadística de que ocurra una inundación en un año será de 23.725 %

COSTO ANUAL OCASIONADO POR UNA INUNDACION

En 1992, ocurrió una emergencia de agua que sobrepasó la capacidad normal de bombeo. este excedente de agua no detuvo las operaciones de producción pues se inundó solo el nivel 15 que aún no estaba en producción

En 1997, volvió a ocurrir un problema similar y en esta ocasión se excedió la capacidad de bombeo en un 100 % Se inundaron los niveles 15, 14 y 13, por lo que se suspendieron las operaciones por dos meses, con una pérdida en la producción de aproximadamente 40,000 toneladas, con las cuales se dejaron de generar recursos por \$ 4'717,601 99. (Valor de la producción - Costos de operación)

Costo de una inundación = Recursos no generados +35 % de los costos de operación
(Se aumenta un 35 % de los costos de operación porque aunque no hay producción se están generando costos en mano de obra y materiales para solucionar el problema)

$$\text{Costo de una inundación} = \$ 4'717,601 99 + \$ 3'987 900.00 = \$ 8'705,501 99$$

$$\begin{aligned} \text{Costo por año de una inundación} &= \\ &= (\text{Probabilidad de inundación por año}) (\text{Costo de una inundación}) \\ &= (23 725) (8'705,501 99) \\ &= \$ 2'065,380 35 \end{aligned}$$

ANÁLISIS COMPATIVO DE RESULTADOS

$$\begin{aligned} \text{Costo por año ocasionado por una inundación} &= \$ 2'065,380.35 \\ \text{Anualidad de la nueva estación de bombeo} &= \$ 1'224,969 15 \\ \text{Diferencia} &= \$ 840,411.20 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Consumo anual de energía eléctrica actualmente} &= \$ 5'040,000 00 \\ \text{Consumo anual de energía eléctrica con el nuevo sistema} & \\ \text{con 6 horas de bombeo} &= \$ 2'628,000 00 \\ \text{con 24 horas de bombeo} &= \$ 3'714,240 00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Diferencias} & \\ \text{con 6 horas de bombeo} &= \$ 2'412,000 00 \\ \text{con 24 horas de bombeo} &= \$ 1'325,760 00 \end{aligned}$$

La alternativa con el menor costo anual es la mejor opción, y en este caso la mejor opción corresponde a la inversión en la nueva estación de bombeo, ya que la diferencia entre los costos de inversión y los de una posible inundación es del orden de \$ 840,411 20

Además al comparar el costo anual por el consumo de energía eléctrica con el sistema actual y el propuesto, se tiene una diferencia de \$ 2'412,000 00 que se ahorrarían al poner en marcha el nuevo sistema bombeando durante 6 horas por día y de \$ 1'325,760 00

si se bombea las 24 horas. Estas diferencias se pueden utilizar para la amortización del nuevo sistema de bombeo.

La justificación financiera a favor de una nueva estación de bombeo es clara desde los puntos de vista de inversión y de consumo de energía eléctrica y demuestra que es mejor invertir en el proyecto de bombeo lo antes posible para evitar pérdidas que se pudieran presentar por las condiciones en las que se encuentra el sistema de bombeo actualmente.

5. 4. 4 VIABILIDAD FINANCIERA

Costo estimado del proyecto \$ 9'874,094 64

Tiempo estimado de ejecución 10 meses

Tiempo estimado de amortización 15 años (Políticas de la empresa I M M S A)

Anualidad = \$ 1'224,969 15

Ahorro en consumo de electricidad con 24 hrs de bombeo = \$ 1'325,760 00 por año

Ahorro en consumo de electricidad con 6 hrs de bombeo = \$ 2'412,000 00 por año

Costo anual de una posible emergencia = \$ 2'065,380 35

CALCULO DE LA TASA INTERNA DE RETORNO

Para el cálculo de la tasa interna de retorno, se realizaron dos análisis financieros:

El primer análisis se presenta utilizando como amortización total el ahorro en el consumo de la energía eléctrica con un bombeo de 24 horas con el nuevo sistema, este análisis es muy semejante si se utilizará la anualidad calculada como total de la amortización, debido a que las dos cantidades de estos dos conceptos son muy semejantes, la tasa interna de retorno no tiene una variación significativa por eso solo se presenta una de estas dos alternativas.

El segundo análisis presenta como amortización total el ahorro en el consumo de la energía eléctrica con un bombeo de 6 horas, Este análisis es muy semejante si se utilizará la anualidad calculada más el ahorro de electricidad con un bombeo de 24 horas y en los dos casos la tasa interna de retorno no tiene una variación significativa.

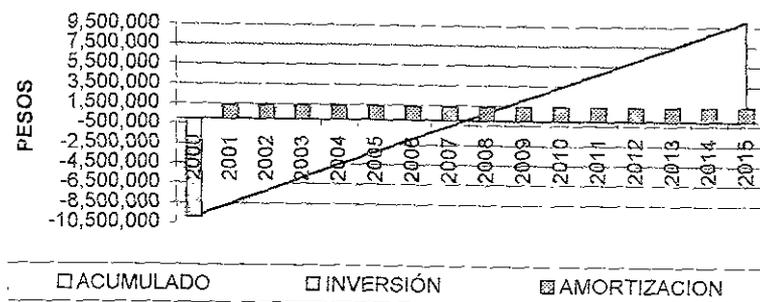
Para los dos análisis se muestra la tasa interna de retorno en las siguientes tablas exponiendo su variación con respecto al tiempo de amortización.

ALTERNATIVA A

Aquí se muestra la variación de la tasa interna de retorno utilizando sólo el ahorro de energía eléctrica con un bombeo de 24 horas.

PERIODO	AÑO	AMORTIZACIÓN TOTAL	TIR
0	2000	\$ (9'874,094 64)	
1	2001	\$ 1'325,760 00	
2	2002	\$ 1'325,760 00	
3	2003	\$ 1'325,760 00	
4	2004	\$ 1'325,760 00	-20 94 %
5	2005	\$ 1'325,760 00	-11 97 %
6	2006	\$ 1'325,760 00	-5 85 %
7	2007	\$ 1'325,760 00	-1.53 %
8	2008	\$ 1'325,780 00	1.62 %
9	2009	\$ 1'325,760 00	3 96 %
10	2010	\$ 1'325,760 00	5 75 %
11	2011	\$ 1'325,760 00	7 14 %
12	2012	\$ 1'325,760 00	8 23 %
13	2013	\$ 1'325,760 00	9 10 %
14	2014	\$ 1'325,760 00	9 80 %
15	2015	\$ 1'325,760 00	10 37 %

AMORTIZACIÓN DEL PROYECTO



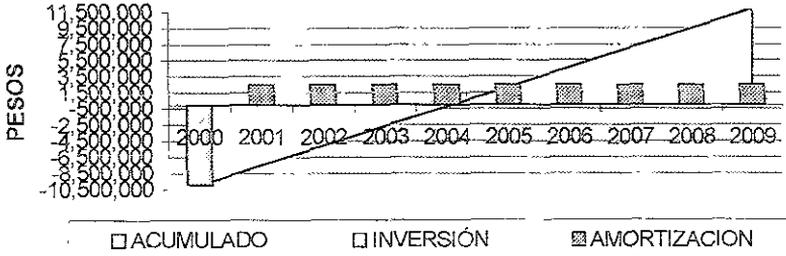
De la tabla y la gráfica anterior se concluye que la inversión del proyecto se paga en el séptimo año y la tasa interna de retorno al final del periodo de 15 años es de 10 37 %. La empresa por políticas establecidas para este tipo de inversiones puede aceptar esta tasa interna de retorno que esta por arriba del 10 % que establece como mínimo, haciendo la aclaración que el ahorro que se tiene en dinero por el consumo de energía eléctrica con un bombeo de 24 horas por día, es de un 8 23 % más del costo de la anualidad de se tiene que pagar por el proyecto

ALTERNATIVA B

Aquí se muestra la variación de la tasa interna de retorno utilizando como amortización total el ahorro por el consumo de energía eléctrica con un bombeo de 6 horas por día en el nuevo sistema

PERIODO	AÑO	AMORTIZACIÓN TOTAL	T.I.R
0	2000	\$ (9'874.094.64)	
1	2001	\$ 2'412,000.00	
2	2002	\$ 2'412 000.00	-36.88 %
3	2003	\$ 2'412,000.00	-14.07 %
4	2004	\$ 2'412,000.00	-0.92 %
5	2005	\$ 2'412.000.00	7.06 %
6	2006	\$ 2'412,000.00	12.15 %
7	2007	\$ 2'412,000 00	15.54 %
8	2008	\$ 2'412,000 00	17.87 %
9	2009	\$ 2'412,000 00	19.52 %

AMORTIZACIÓN DEL PROYECTO



De la tabla y la gráfica anterior se concluye que al tomar el ahorro en el consumo de energía eléctrica con un bombeo de 6 horas por día como amortización total, la inversión del proyecto se paga en el cuarto año y el periodo de recuperación se disminuye a 9 años, así mismo la tasa interna de retorno al final de este periodo es de 19.52 %, la cual es muy atractiva para que se realice la inversión

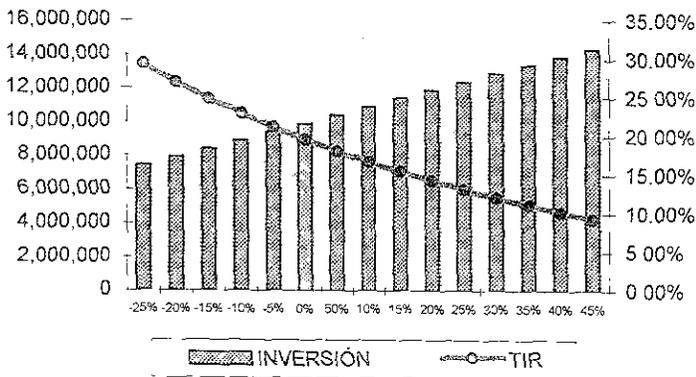
ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Se realizó un análisis de sensibilidad para analizar la rentabilidad del proyecto en el caso que la inversión tuviera alguna variación ya fuera por el tiempo que se tarde en realizar el proyecto, o por el incremento en los materiales del mismo

La variación se realizó manteniendo la amortización de la alternativa "B" del análisis financiero, de esta manera se varió el monto de la inversión desde un 25 % menos y hasta un 45 % más del monto original obteniéndose lo siguiente

RANGO DE VARIACIÓN	INVERSIÓN	TIR
- 25 %	\$ 7'405,571.00	29.36 %
- 20 %	\$ 7'899,276.00	26.98 %
- 15 %	\$ 8'392,980.00	24.83 %
- 10 %	\$ 8'886,685.00	22.90 %
- 5 %	\$ 9'380,390.00	21.13 %
0 %	\$ 9'874,095.00	19.52 %
5 %	\$ 10'367,799.00	18.03 %
10 %	\$ 10'861,504.00	16.66 %
15 %	\$ 11'355,209.00	15.38 %
20 %	\$ 11'848,914.00	14.19 %
25 %	\$ 12'342,618.00	13.08 %
30 %	\$ 12'836,323.00	12.03 %
35 %	\$ 13'330,028.00	11.05 %
40 %	\$ 13'823,732.00	10.12 %
45 %	\$ 14'317,437.00	9.25 %

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD



De la tabla anterior se muestra que la tasa interna de retorno es muy estable y que la inversión puede aumentar hasta un 40 % y el proyecto es rentable con una tasa de 10.12 %, así se aprecia la viabilidad del proyecto

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- a) Para poder cumplir con la meta de producción planeada de 1,500 Ton / día, es necesario el respaldo de un sistema de bombeo que permita la operación continua de la mina, aún durante un problema de inundación
- b) El sistema de bombeo actual es insuficiente para las necesidades actuales de la mina. Por lo cual es necesario sustituirlo en su totalidad
- c) Se ha determinado con base en los aforos y datos históricos, que la capacidad necesaria para el sistema de bombeo es de $630.8 \frac{1}{seg}$ (10,000 g p m), con lo cual se cubrirán las necesidades de la mina
- d) El proyecto propuesto de $630.8 \frac{1}{seg}$ (10,000 g p m), es el que ha presentado mayores ventajas en comparación con los proyectos desarrollados con anterioridad, destacando la capacidad de la pileta de succión con 24,828 m³ realizada en tres rebajes de la mina y que permitirá el almacenamiento de agua de un día normal y que podrá ser bombeada en un lapso de 6 horas
- e) La justificación económica presentada, hace que el proyecto tenga una mayor viabilidad que los anteriores, resultando que las anualidades de la inversión son de \$ 1'224,969.15 y se pueden pagar con el ahorro en el consumo de energía eléctrica que se tendrá con el nuevo sistema de bombeo y que ascienden a \$ 2'412,000.00 al año si el bombeo se realiza en 6 horas por día y de \$ 1'325,760.00 si se realiza en 24 horas por día
- f) Con la realización de este nuevo proyecto de bombeo, el riesgo de una inundación disminuirá a lo mínimo, ya que se tendrá la capacidad de abatir el excedente de agua durante el tiempo que se necesite para solucionar el problema, además de evitar los costos generados por una inundación.

RECOMENDACIONES

- g) La mina San Antonio necesita bombear la mayor cantidad de agua a superficie para abatir el nivel freático y disminuir la cantidad de filtraciones en las obras mineras. Además de la recuperación de las reservas de mineral que no se pueden explotar por estar en zonas de agua

- h) Se necesita incluir en los planes de operación un sistema de mantenimiento detallado y constante para el nuevo sistema de bombeo y de las piletas de decantación a lo largo del recorrido del agua
- i) Es necesario que el proyecto de bombeo se inicie lo más pronto posible, para continuar con el desarrollo de la mina, ya que se tiene una probabilidad de 23 % en un año de que ocurra una inundación
- j) Instalado el proyecto se recomienda que el bombeo se realice en 6 horas, utilizando el horario donde el consumo de energía eléctrica tiene el menor costo

BIBLIOGRAFÍA

Autor Joseph M Trefethel

Año 1985

Título **Geología para Ingenieros**

Editorial Continental, S A de C V, México

Autores: A. Marksimou, G Miloserdina, N Eriomin

Año 1982

Título **Breve curso de Prospección de Geología**

Editorial Mir

Autor Du Pont, S A. de C V., México

Año 1990

Título **Manual para el uso de explosivos**

Edición autorizada por E J Du Pont de Nemours and Company, Inc

Autor Juan Jose Araujo Moncada

Año 1992

Título **Diseño de instalaciones mineras Volumen 1**

Editorial: Depto de ingeniería civil y minas Universidad de Sonora

Autor: Juan Jose Araujo Moncada

Año 1992

Título **Diseño de instalaciones mineras Volumen 2**

Editorial: Depto de ingeniería civil y minas Universidad de Sonora

Autor. Peele R.

Año 1945

Título: **Mining Engineer's Handbook**

Editorial: John Willey and Sons, New York

Autor: Harry Parker, James Ambrose

Año 1987

Título: **Diseño simplificado de concreto reforzado**

Editorial: Limusa

Autor. Modesto Rodríguez

Año 1992

Título: **Manual de operaciones mineras**

Documento Interno Unidad Santa Eulaha I M M S A

Autor: C. C Heald

Año 1996

Título **Cameron Hydraulic Data**

Documento Interno Ingersoll – Dresser Pumps

ANEXO 1

CÁLCULOS DEL SISTEMA DE BOMBEO

CÁLCULOS DEL SISTEMA DE BOMBEO

1.- DATOS

- A) Longitud de la tubería 682.0 m (2,236 96 ft)
- B) Altura de descarga: 512 06 m (1,680 00 ft)
- C) Gasto: 157 71 l_{seg} (2,500 g p m) y 630 9 l_{seg} (10,000 g p m)
- D) Tipo de fluido. Agua a 18° C con menos de 5 % de sólidos
- E) Los costos presentados son en pesos (febrero de 1999)

2.- CÁLCULO DE LA TUBERÍA Y VELOCIDAD DEL FLUJO

Para determinar el diámetro de la tubería, se realizó una tabla comparativa para un flujo de 157.71 l_{seg} (2,500 g p m) y 630 9 l_{seg} (10,000 g p m), en el cual se muestra la velocidad del fluido en los diferentes diámetros y espesores comerciales de la tubería

V = velocidad

Q = gasto

A = área

$$V = Q / A$$

Diámetro nominal (in.)	Diámetro interno (m)	Área (ft ²)	Velocidad (ft/seg)	
			2,500 g p m	10,000 g p m
24	22.624	2.791	1.99	7.98
20	18.812	1.930	2.89	11.54
18	16.876	1.553	3.59	14.34
16	15.000	1.227	4.54	18.16
14	13.124	0.939	5.93	23.72
12	11.938	0.777	7.18	28.67
10	10.020	0.548	10.16	40.65

La literatura recomienda que mientras menor sea la velocidad del fluido, menores serán las pérdidas por fricción y el desgaste de la tubería

La tabla anterior muestra que a mayor diámetro menor velocidad

De los proyectos anteriores de bombeo, se realizó la inversión de 1,400 metros de tubería con las siguientes características

Material Acero cédula 40

Diámetro externo: 24 in

Diámetro interno: 22.624 in

Espesor: 0.688 in

Antigüedad 5 años

Peso 171.17 lb/ft

Resistencia máxima de presión 1,500 lb/in²

3.- CÁLCULO DE LA CABEZA TOTAL

Diámetro nominal de la tubería 24 pulgadas (0 6096 m)

Diámetro interior 22 624 pulgadas (0 574 m)

Altura de descarga 512 06 m (1.680 0 ft)

Longitud de la tubería 682.0 m (2,236 96 ft)

a) - Pérdidas por fricción (hf)

V = Velocidad

$$A = \pi d^2 / 4$$

Q = Gasto

$$V = Q / A$$

A = Área

hf = Pérdidas por fricción

$$hf = f (L / d) (V^2 / 2g)$$

L = Longitud de la tubería

g = Aceleración de la gravedad

d = Diámetro interior de la tubería

f = Factor de fricción (0 019)

Para 157.7 ¹/_{seg} (2,500 g p m)

$$A = 2 791 \text{ ft}^2 (0 259 \text{ m}^2)$$

$$V = 1 99 \text{ ft/seg } (0.606 \text{ m/seg })$$

$$hf = 1 39 \text{ ft } (0 424 \text{ m })$$

Para 315.45 ¹/_{seg} (5,000 g p m)

$$V = 3.99 \text{ ft/seg } (1 216 \text{ m/seg })$$

$$hf = 5 57 \text{ ft } (1 698 \text{ m })$$

Para 630.9 ¹/_{seg} (10,000 g p m)

$$V = 7 98 \text{ ft/seg } (2 43 \text{ m/seg })$$

$$hf = 22.30 \text{ ft } (6 797 \text{ m })$$

b) Pérdidas por aditamentos en la tuberías (ha)

1 válvula check 24" = 10 ft

5 codos 45° 24" = 5 ft

2 codos 90° 24" = 8 ft

$$\text{Total} = 23 \text{ ft } (7 01 \text{ m })$$

Cabeza total (ht) = h + hf + ha

$$ht = 1,680 00 + 22 30 + 23$$

$$ht = 1,725 3 \text{ ft } (525 87 \text{ m })$$

4.-CÁLCULO DE LA MÁXIMA PRESIÓN DEL GOLPE DE ARIETE

a) Presión del golpe de ariete

$$P_{ga} = (0.433 a V) / g \qquad a = 12 / \sqrt{(w/g) \left(\frac{1}{k} \right) + \left(\frac{d}{Ee} \right)}$$

P_{ga} = Presión del golpe de ariete (lb/in²)

0.433 = Cte para convertir Ft de cabeza a lb/in²

V = Velocidad del agua (ft/seg) = máxima 7.98 ft/seg

g = Aceleración de la gravedad (32.2 ft/seg²)

a = Velocidad de la onda de presión (ft/seg)

w = Peso de un ft de agua en lb

k = Módulo de compresibilidad del agua (300,000 lb)

d = Diámetro interior de la tubería (in) (22.624 in)

E = Módulo de elasticidad del material de la tubería (acero 30'000,000 lb)

e = Espesor de la tubería (in) = 0.688 in

$$w = (\pi d^2 / 4) (62.4 \text{ lb/ft}^3) (1 \text{ ft}) = 174.20 \text{ lb}$$

$$a = 12 / \sqrt{(174.2 / 32.2) \left(\frac{1}{300,000} \right) + \left(\frac{22.624}{30'000,000 * 0.688} \right)}$$

$$a = 2,451.37 \text{ ft / seg } (747.18 \text{ m / seg })$$

$$P_{ga} = (0.433) (2,451.37) (7.98) / 32.2$$

$$P_{ga} = 263.05 \text{ lb/in}^2 (18.49 \text{ kg/cm}^2)$$

b) Cálculo del peso de la columna de agua

Área tubería (A) = 2.791 ft² (Utilizando el diámetro interno)

Volumen de agua (v) = (2.791 ft²) (1.680 ft) = 4,688.88 ft³

Peso del agua (w) = (62.4 lb/ft³) (4,688.88 ft³) = 292,586.11 lb

Presión = (w / A) = 104,832 lb/ft² (728.00 lb/in² ó 51.18 kg/cm²)

La tubería debe resistir la presión del peso de la columna de agua mas la presión del golpe de ariete

$$\text{Presión máxima} = (51.18 \text{ kg/cm}^2) + (18.49 \text{ kg/cm}^2) = 69.67 \text{ kg/cm}^2 (990.94 \text{ lb/in}^2)$$

Las especificaciones de la tubería de 24" Ced 40 que ya se tiene, indican que puede resistir hasta 105.51 kg/cm² (1,500 lb/in²) y cumple con el cálculo realizado para el proyecto teniendo aún, un margen de resistencia de un 35.01 % más

5.- CÁLCULO DE LA POTENCIA NECESARIA

Pot = Potencia

Q = Gasto (g p m)

ht = Cabeza total (ft)

Efc = (Ef_{bomba} * Ef_{motor})

Ef_{bomba} = 80 %

Ef_{motor} = 95 %

Efc = Eficiencia combinada de la bomba y motor

8.33 = Peso de un galón de agua en lb

$$Pot = \frac{(Q * 8.33 * ht)}{(33,000 * Efc)}$$

a) PARA 2,500 g p m

$$Pot = (2,500 * 8.33 * 1.7253) / (33,000 * (0.8 * 0.95)) = 1,432.59 \text{ hp}$$

b) PARA 5 000 g p m

$$Pot = (5,000 * 8.33 * 1.7253) / (33,000 * (0.8 * 0.95)) = 2,865.18 \text{ hp}$$

c) PARA 10,000 g p m

$$Pot = (10,000 * 8.33 * 1.7253) / (33,000 * (0.8 * 0.95)) = 5,730.36 \text{ hp}$$

Debido a que el flujo normal de agua es de 2,500 g p m (157.71 $\frac{1}{\text{seg}}$) las bombas que se instalen deben de ser de esta capacidad y los requerimientos de potencia para los motores indican que deben de ser de 1,500 hp que es el motor comercial más cercano al cálculo realizado

6.- ELECCIÓN DE LA BOMBA

Considerando que el bombeo diario de la mina San Antonio es alrededor de 157.71 $\frac{1}{\text{seg}}$ (2,500 g p m) y que el bombeo máximo en una emergencia de inundación sería de 630.83 $\frac{1}{\text{seg}}$ (10,000 g p m), se propone utilizar 4 bombas de 157.71 $\frac{1}{\text{seg}}$ (2,500 g p m) cada una con motores de 1,500 hp de potencia

De esta manera se tendrá un solo tipo de bomba para un bombeo en paralelo con capacidad máxima de 630.83 $\frac{1}{\text{seg}}$ (10,000 g p m)

De los diferentes fabricantes de bombas, se eligió la marca sulzer por ser una de las más económicas y además ya se ha tenido experiencia en el bombeo con este tipo de bombas

Las características de la bomba son

Marca sulzer
Modelo MC-150 (7 pasos)
Capacidad. 2,500 g p m

Motor 1,500 hp con control de paro graduable
Costo \$ 650,000 00

7.- INSTALACIÓN DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO

La estación de bombeo constará de 5 bombas de $157\ 71\ \frac{1}{\text{seg}}$ (2,500 g p m) de las cuales trabajarán 4 y una permanecerá de extra

Con las dos líneas de tubería de 24" se planea conectar dos bombas para cada una, con lo cual, el flujo máximo que se tendrá por tubería será de $315\ 45\ \frac{1}{\text{seg}}$ (5,000 g p m), además se realizará una conexión entre las dos tuberías para bombear si es necesario los $630\ 9\ \frac{1}{\text{seg}}$ (10,000 g p m) por una de ellas cuando se realicen maniobras de mantenimiento

Cada una de las tuberías tendrá independiente la instalación del tanque amortiguador que recibirá el golpe de ariete, estos tanques ya se tienen y sus características son:

Material Acero forjado al alto carbono
Diámetro externo: 1 22 m (48 in)
Diámetro interno. 1 15 m (45 248 in)
Espesor . 0 035 m (1 376 in)
Resistencia máxima: $211\ 02\ \text{kg/cm}^2$ (3,000 lb/in²)

Los cálculos realizados en el punto numero 4, muestran que la presión máxima del golpe de ariete para una tubería de 24" y un flujo de $630\ 9\ \frac{1}{\text{seg}}$ (10,000 g p m) es de $69\ 67\ \text{kg/cm}^2$ (990 94 lb/in²), los tanques amortiguadores que se tienen con las especificaciones mencionadas, cumplen con las necesidades del proyecto

8.- CÁLCULO DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Capacidad de la pileta: $24,828\ 0\ \text{m}^3$ (6'559,577 3 gal)
Flujo de agua en condiciones normales $157\ 71\ \frac{1}{\text{seg}}$ (2,500 g p m)
Flujo de agua en condiciones de emergencia $630\ 9\ \frac{1}{\text{seg}}$ (10,000 g p m)

Horario del día	Agua acumulada en la píleta (litros)	Agua bombeada con	
		157.71 l/seg	630.9 l/seg
6 a 24 hrs	10'220,611 82	10'220,611 82	0 00
24 a 1 hrs	10'788,423 58	10'788,423 58	2'271,247 07
1 a 2 hrs	11'356,235 35	11'356,235 35	4'542,494 14
2 a 3 hrs	11'924,047 12	11'924,047 12	6'813,741 21
3 a 4 hrs	12'491,858 89	12'491,858 89	9'084,988 28
4 a 5 hrs	13'059,670 65	13'059,670 65	11'356,235 35
5 a 6 hrs	13'627,482 42	13'627,482 42	13'627,482 42

Una bomba de 157 71 $\frac{1}{\text{seg}}$ utiliza un motor de 1,500 Hp

$$\text{Kwh} = 1.500 \text{ Hp} * 0.8 = 1,200 \text{ Kwh (una bomba)}$$

$$\text{Kwh} = 1,500 \text{ Hp} * 0.8 * 4 = 4,800 \text{ Kwh (cuatro bombas)}$$

Tarifa	Horario	Costo por Kwh	Bombeando 157.71 l/seg		Bombeando 630.9 l/seg	
			Consumo Kwh	Costo	Consumo Kwh	Costo
Base	0 - 6 hrs	\$ 0.25	7,200	\$ 1,800.00	28,800	\$ 7,200 00
Intermedia	6 - 18 hrs	\$ 0.27	14,400	\$ 3,888 00	-	-
Punta	18 - 22 hrs	\$ 0.80	4,800	\$ 3,840 00	-	-
Intermedia	22 - 24 hrs	\$ 0.27	2,400	\$ 648 00	-	-
Consumo por día =			28,800		28,000	
Costo por día =				\$ 10,176.00		\$ 7,200 00
Costo por mes =				\$ 309,520 00		\$ 219,000.00
Costo por año =				\$ 3'714,240 00		\$ 2'628,000 00

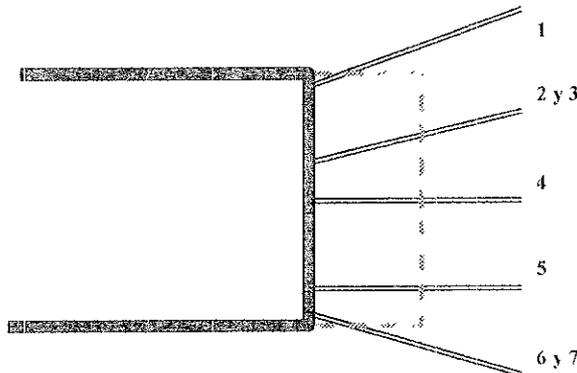
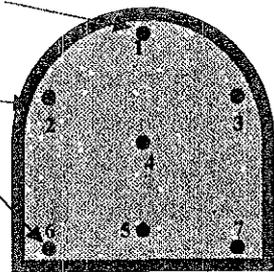
De los medidores instalados en las líneas eléctricas de la mina, se obtuvo el promedio de consumo diario de energía eléctrica utilizada con el sistema de bombeo actual y el costo se obtuvo de los recibos de la Comisión Federal de Electricidad (C F E)

Consumo promedio . 41,628 Kwh / día

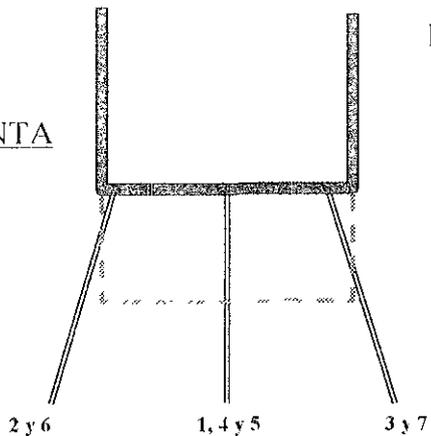
Costo por consumo \$ 13,808.22 / día
 \$ 420,000.00 / mes
 \$ 5'040,000 00 / año

SECCIÓN LONGITUDINAL

BARRENOS DE PROTECCIÓN PREVENTIVA



PLANTA



AVANCE DE LA PEGADA 1.82 mts



PROTECCIÓN PREVENTIVA DE MINA 3.35 mts



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
Facultad de Ingeniería

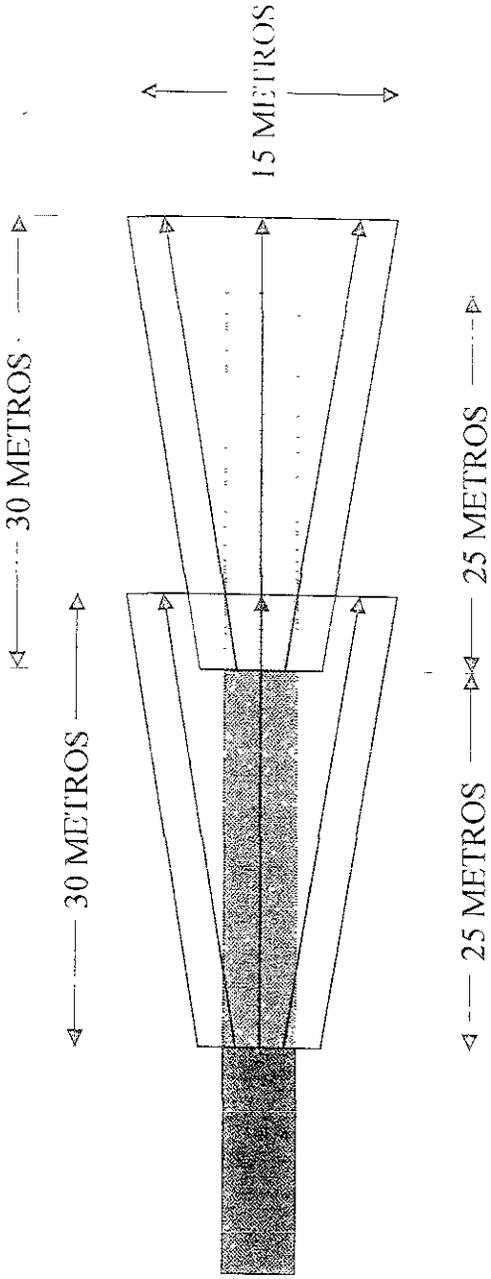
Mina San Antonio
PROTECCIÓN PREVENTIVA EN DESARROLLOS

ESCALA ACOTACIONES

S / l.
m

ANEXO FIGURA A

PROTECCIÓN
BARRENACIÓN E INYECCIÓN



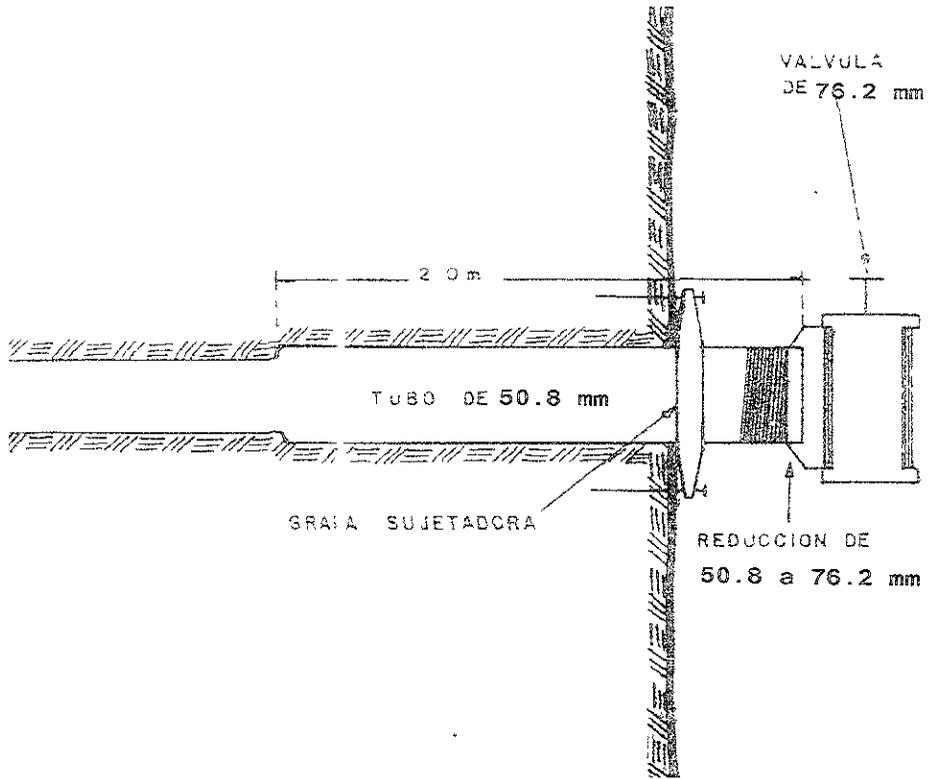
AVANCE DE LA OBRA

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO
Facultad de Ingeniería

Mina San Antonio
CICLO DE PROTECCIÓN EN DESARROLLOS

ESCALA
ACOTACIONES
III

ANEXO FIGURA B

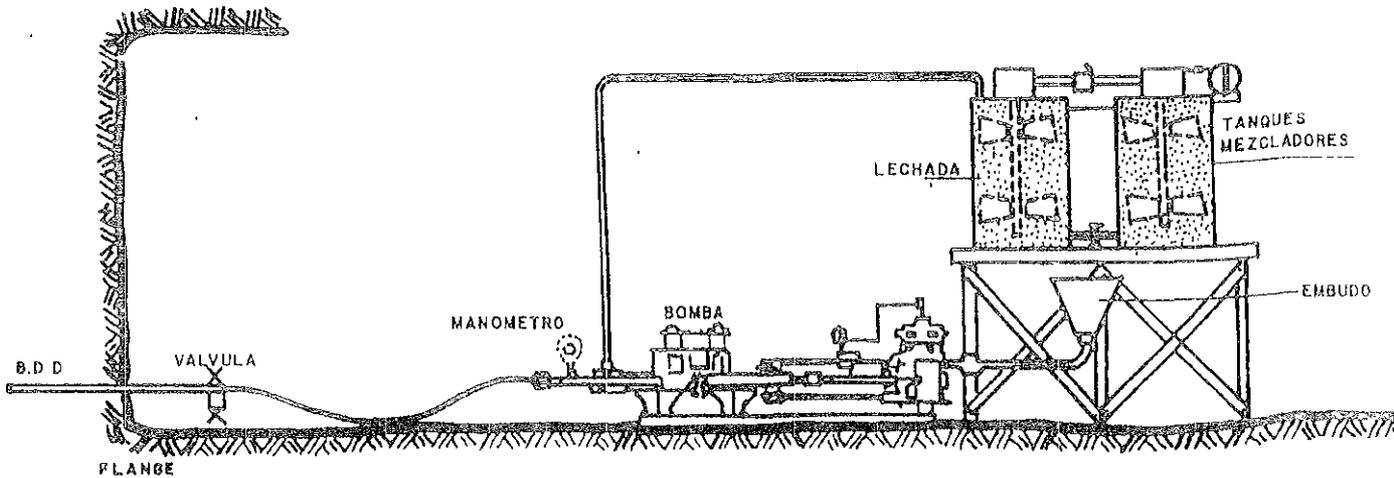


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO
Facultad de Ingeniería

Mina San Antonio
CASQUILLO PARA LA INYECCIÓN

ESCALA S/E
ACOTACIONES m

ANEXO FIGURA C



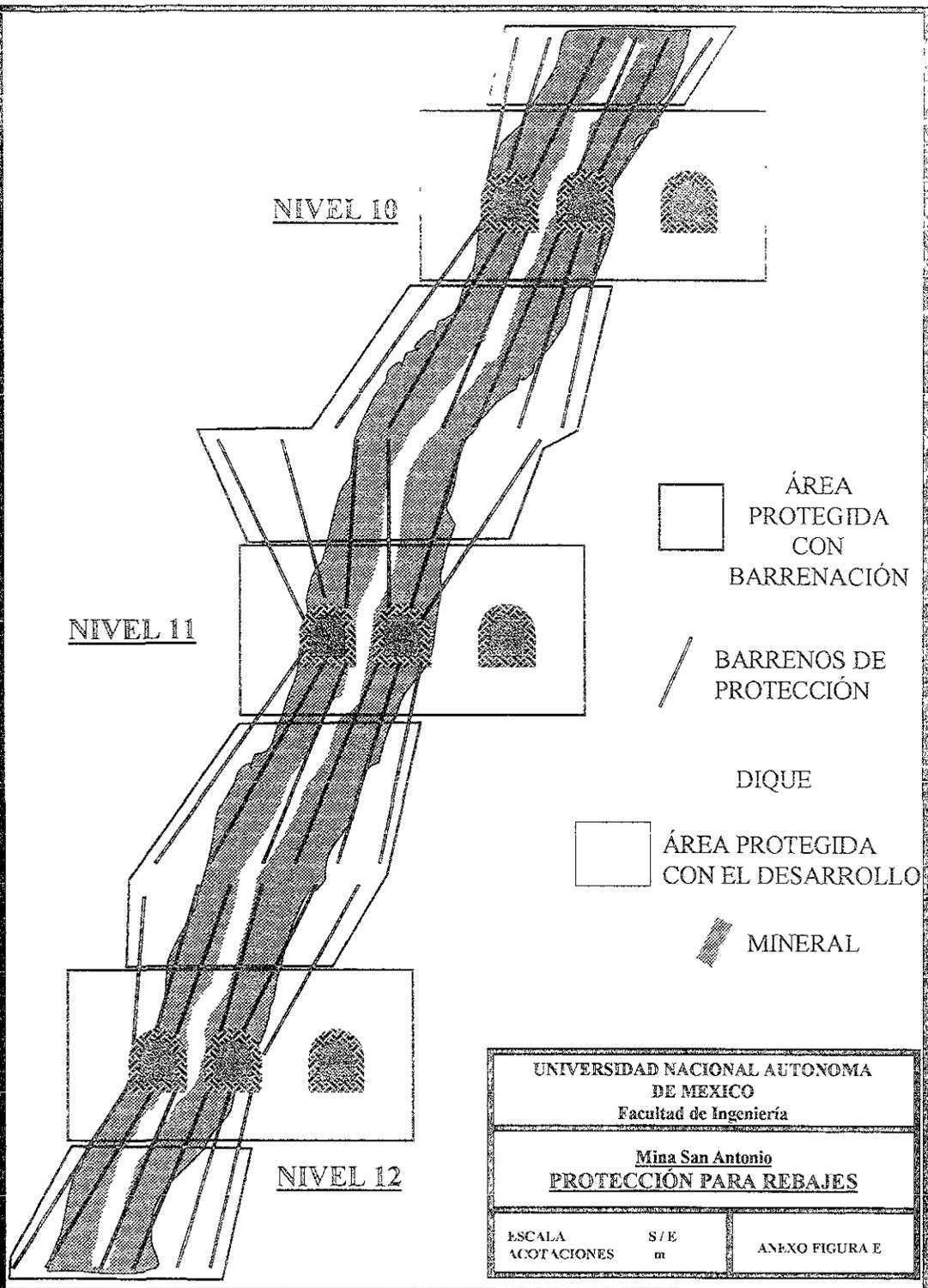
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO
Facultad de Ingeniería

Mina San Antonio
BOMBA DE INYECCIÓN DE CEMENTO

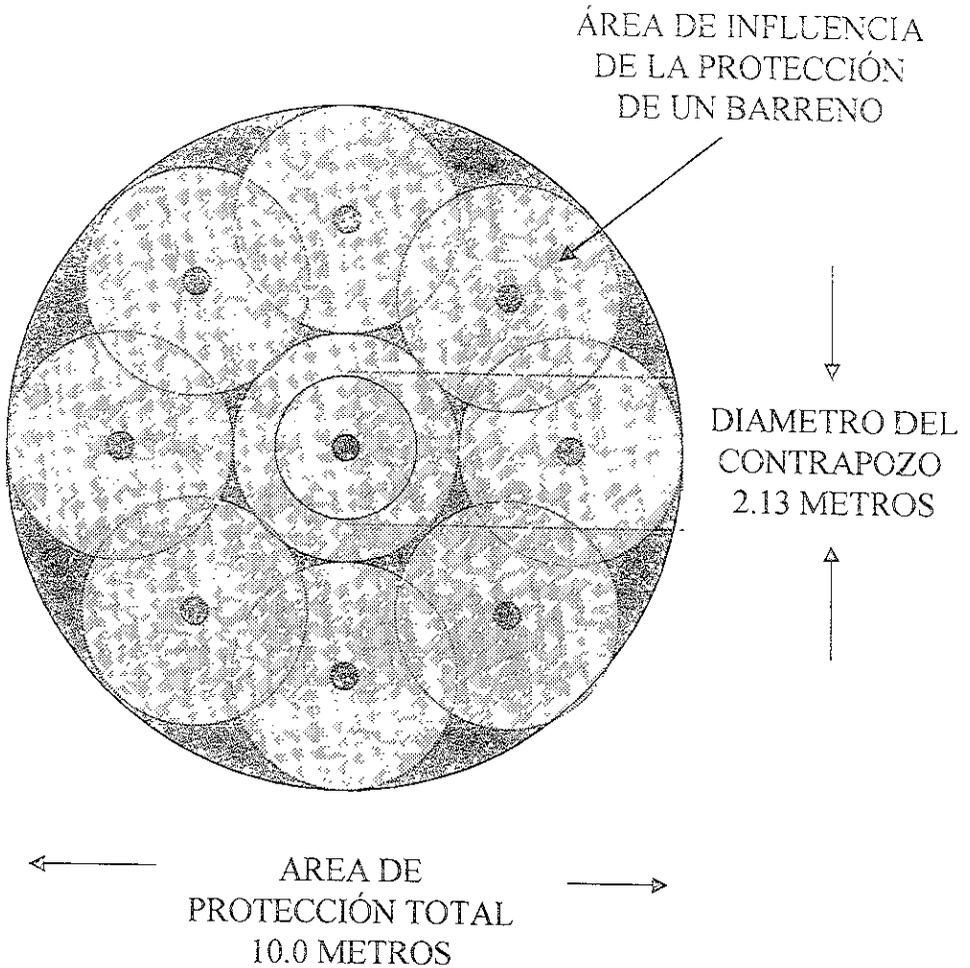
ESCALA
ACOTACIONES

S/E
m

ANEXO FIGURA D



CONTRAPOZO TIPO ROBBINS
SECCIÓN TRANSVERSAL



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO Facultad de Ingeniería		
<u>Mina San Antonio</u> PROTECCIÓN PARA CONTRAPOZO		
ESCALA ACOTACIONES	S / E m	ANEXO FIGURA F