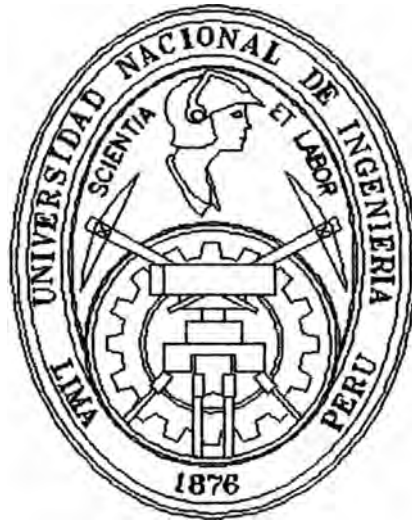


Universidad Nacional de Ingeniería

FACULTAD DE INGENIERIA
GEOLOGICA, MINERA Y METALURGICA



Tratamiento de las Aguas Ácidas de la mina San Cristóbal

TESIS

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO DE MINAS

DAVID A. AMAYA MOSTACERO

LIMA - PERU - 2000

Encomienda a Jehová tus obras, y

Tus pensamientos serán afirmados.

El entendido en la palabra hallará

el bien

El que confía en Jehová es

Provientos.

Proverbio 16: 3.20

Prólogo

En este trabajo doy una breve reseña de los estudios que se han realizado de este problema ambiental desde sus inicios con Centromín Perú S. A. hasta la actualidad con Volcán Compañía Minera S.A.A.. También doy un resumen de las leyes que norman la preservación de la fauna y flora , así como también de los recursos hídricos y del medio ambiente de la zona.

La mayor contaminación ambiental que se produce en la mina San Cristóbal es causada por el drenaje ácido de sus bocaminas, las cuales descargan sus aguas contaminadas directamente a los ríos Carahuacra y Yauli (principal tributario del río Mantaro). Estas aguas presentan una elevada cantidad de metales pesados y un aspecto ferroso y turbio por el elevado contenido de sólidos en suspensión; lo cual hace que no existan flora y fauna acuática en estos ríos. En este trabajo analizaremos el problema ambiental que produce el drenaje ácido de mina (mina subterránea), mas no así los que se producen en superficie (botaderos de desmonte, cancha de relaves, tajos abiertos, etc.)

Actualmente la mina San Cristóbal (ex. Centromín Perú S.A.) no realiza ningún tratamiento del drenaje ácido y esto se debe a que en un principio no se llegó a ningún acuerdo entre Centromín Perú S.A. y Volcán Compañía Minera S.A. para realizar el tratamiento en forma conjunta pero esto no se daba por que esta última deseaba realizar el tratamiento por separado. Esta situación pierde importancia en octubre de 1997 cuando se realiza la transferencia de la mina San Cristóbal a Volcán Compañía Minera S.A.

Por último quiero decir que la contaminación ambiental que produce la mina San Cristóbal es un problema que habría de ser tratado desde su origen y que en la actualidad no se ha hecho un estudio exhaustivo para un Plan de Cierre de la mina San Cristóbal donde contemple el tratamiento a futuro de las aguas ácidas de la mina.

PARTE I

GENERALIDADES

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 : Objetivo:

El problema ambiental de la mina San Cristóbal es causado por el drenaje ácido proveniente de tres puntos:

1. - Bocamina del Nivel 370,
2. - Bocamina del Nivel 500 y
3. - Bocamina del Túnel Victoria.

El presente trabajo es un estudio de su tratamiento y medidas a tomar para evitar un mayor deterioro de la calidad del agua del río Yauli.

1.2 : Reseña Histórica:

El tema del drenaje ácido de mina cobra gran importancia en el Perú, desde la implantación de los Programas de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA), por parte del Ministerio de Energía y Minas.

Sobre el tema se han realizado diferentes estudios en las unidades de San Cristóbal y Carahuacra, en su mayoría como consecuencia de los requerimientos de los PAMA.

A continuación se enumeran, en orden cronológico, los estudios disponibles.

1. Estudio de Factibilidad para el Manejo de Aguas Ácidas de las Operaciones Mineras y Plan de Cierre de la Mina Subterránea San Cristóbal. Preparado por LAGESA Ingenieros Consultores, en junio de 1996, para Centromín Perú.
2. Programa de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA) UDP Carahuacra y Planta Concentradora Victoria. Preparado por Minconsult SRL, en agosto de 1996, para

Volcán Compañía Minera S.A.

- 3. Programa de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA) UDP San Cristóbal - Mahr Túnel. Preparado por Centromín Perú en Agosto de 1997.**
- 4. Levantamiento de Observaciones al PAMA de la UDP de Carahuacra y Planta Concentradora Victoria. Preparado por Minconsult SRL en enero de 1997, para Volcán Compañía Minera S.A.**
- 5. Levantamiento de Observaciones al PAMA de la UDP de San Cristóbal - Mahr Túnel. Preparado por Centromín Perú en enero de 1997.**
- 6. Addendum al PAMA de la Unidad de San Cristóbal - Mahr Túnel, referido al tratamiento de las aguas subterráneas de la Unidad San Cristóbal descargadas por el Túnel Victoria. Preparado por Centromín Perú en febrero de 1997.**
- 7. Reporte "Environmental Control of Mining Activities in the Mantaro River Valley". Chapter 4 "Victoria Tunnel Mine Water Treatment". Preparado por un equipo canadiense en mayo de 1997 para el Proyecto BID Mantaro.**
- 8. Unificación y Reprogramación del Cronograma de Acciones e Inversiones de los PAMA de las UDP de San Cristóbal - Mahr Túnel y Carahuacra. Preparado por Volcán Compañía Minera S.A. en diciembre de 1997.**

1.2.1.- Resumen de las Alternativas Propuestas en cada Estudio:

a.- Estudio #1 (Manejo de Aguas Ácidas en San Cristóbal, LAGESA): Se considera el tratamiento del drenaje de aguas ácidas de la mina San Cristóbal, por las bocaminas de los niveles 370 y 500, a través de una planta de neutralización y sedimentación con capacidad de 8 m³/min, cerca del tajo Santa Águeda.

Este estudio no contempla los efectos de la expansión del Tajo Santa Águeda sobre la planta de neutralización. Considera mezclar las aguas ácidas de mina de los niveles 370 y 500 con las aguas servidas del campamento de San Cristóbal. No

contempla tratamiento alguno para el agua ácida del Túnel Victoria, generada por las operaciones de San Cristóbal.

b.- Estudio #2 (PAMA de Carahuacra y Planta Victoria, Minconsult SRL): Se considera el tratamiento del drenaje de agua ácida a través del Túnel Victoria producido por las minas Carahuacra y San Cristóbal, a través de una planta de sedimentación al interior del Túnel Victoria y una Planta de neutralización cerca de la boca del túnel empleando cal.

El estudio no es claro en cuanto a las medidas de mitigación y esto es objetado por el Ministerio.

c.- Estudio #3 (PAMA de San Cristóbal - Mahr Túnel): En este PAMA se considera seguir las recomendaciones del Estudio #1, con respecto al tratamiento del drenaje ácido producido en las bocaminas de los niveles 370 y 500. Aparentemente este estudio preparado por LAGESA Ingenieros Consultores sirvió de base técnica para el PAMA de San Cristóbal - Mahr Túnel.

Por tratarse de un PAMA el ministerio objetó que no se tome en cuenta ninguna medida de mitigación con respecto a las aguas ácidas producidas por la unidad San Cristóbal y descargadas por el Túnel Victoria.

d.- Estudio #4 (Levantamiento de las Observaciones al PAMA de Carahuacra): Se reformulan las tareas de mitigación propuestas en el PAMA original y se le da más orden al estudio. Las propuestas para el tratamiento del drenaje de agua ácida por el Túnel Victoria son similares a las anteriores, estas se presentan con mayores detalles. Se presentan propuestas para el tratamiento de parte del flujo evacuado por el Túnel victoria que corresponde a las operaciones de Carahuacra y se presentan también los requerimientos para tratar todo el caudal de agua ácida producida por ambas operaciones.

e.- Estudio #5 (Levantamiento de las Observaciones al PAMA de San Cristóbal): Se considera la construcción de una planta de neutralización y decantación de 24 m³/min de capacidad para tratar el total del agua ácida de mina que sale por el Túnel

Victoria, considerándose que Centromín Perú cubriría la mitad de los gastos de capital. No se precisan cálculos de esta cifra.

El ministerio pide que se muestre algún documento con el compromiso de ambas empresas sobre el tema del trato conjunto de las aguas ácidas transportadas por el Túnel Victoria.

f.- Estudio #6 (Addendum al PAMA Revisado de San Cristóbal): Se llega al compromiso de parte de Compañía Minera Volcán S.A. y Centromín Perú que el tratamiento de las aguas ácidas que drenan por el Túnel Victoria se hará por separado.

Se presenta un plan para el tratamiento de las aguas ácidas dentro de mina, usando posas de decantación y neutralización en el nivel 820 que trabajarían en tándem.

g.- Estudio #7 (Estudio BID Mantaro): Se considera el tratamiento conjunto del drenaje de agua ácida del Túnel Victoria por ambas minas. A pesar de haber acuerdos aun entre las dos compañías y de no haberse dado la transferencia se considera esta opción como la más lógica por los ahorros que traería.

El estudio considera tres posibilidades:

1. La construcción de una planta mecánica de HDS construida al norte de la planta Victoria con deposición de los sólidos junto con los relaves.
2. La adición de cal en el Túnel Victoria y la construcción de una planta de clarificación construida al norte de la planta Victoria con deposición de los sólidos junto con los relaves.
3. La construcción de pozas de tratamiento fuera de la zona con pozas permanentes para el almacenamiento de los sólidos o su traslado en volquetes a las nuevas canchas de relaves de la planta Victoria.

h.- Estudio #8 (PAMA Unificado de Carahuacra y San Cristóbal): Se considera la integración de varios proyectos independientes de los PAMA de Carahuacra y San Cristóbal para dar un tratamiento completo al problema del agua ácida de mina.

Uno de los puntos más interesantes de este estudio es que considera la derivación de las aguas ácidas de los Niveles 370 y 500 de la mina San Cristóbal al Túnel

Victoria. Esto trae como consecuencia la integración de todas las aguas ácidas generadas por las dos operaciones a una sola fuente, que sería el Túnel Victoria.

Se contempla luego la construcción de una planta de neutralización y sedimentación en superficie adyacente a la planta concentradora de Carahuacra. La capacidad de esta planta sería de 32 m³/min y emplearía lechada de cal para la neutralización. Los sólidos serían removidos y depositados en la cancha de Rurnichaca.

1.2.2.- Comentarios sobre las Alternativas:

Las alternativas propuestas, por los diferentes estudios, para el tratamiento del drenaje ácido de las minas de San Cristóbal y Carahuacra difieren. Aparentemente, parte de estas diferencias se deben a que Centromín Perú y Volcán Compañía Minera, no lograron llegar a ningún acuerdo, respecto a la posibilidad de dar un tratamiento conjunto a las aguas ácidas de mina evacuadas por el Túnel Victoria.

Esta situación pierde importancia en octubre de 1997 cuando se realiza la transferencia de la Unidad de San Cristóbal a Volcán Compañía Minera. La decisión de tratar las aguas ácidas de mina por separado, como señala el Addendum al PAMA de San Cristóbal - Mahr Túnel queda sin mayor soporte.

A consecuencia de esta transferencia Volcán propone, en diciembre de 1997, la unificación y reprogramación de acciones e inversiones de los PAMA, ya aprobados por el ministerio, de las unidades de San Cristóbal - Mahr Túnel y Carahuacra. El documento sustentando esta necesidad, que nace de la idea de integrar las dos unidades a través del Túnel Victoria, fue presentado al Ministerio de Energía y Minas para su aprobación.

La mayoría de alternativas sugeridas, para el tratamiento del drenaje ácido de mina, de las unidades de Carahuacra y San Cristóbal, previas a la transferencia, consideran tratar por separado ambos drenajes. En los estudios revisados la razón de esta decisión no está fundamentada sobre bases técnicas, y como se mencionó, parece originarse en la dificultad de llegar a un acuerdo por parte de las dos compañías involucradas.

La alternativa de un tratamiento conjunto, del drenaje de agua ácida producido por ambas minas y evacuado a través del Túnel Victoria, se presenta en el estudio realizado por técnicos canadienses para el proyecto BID - Mantaro. El capítulo 4 del estudio titulado "Victoria Tunnel Mine Water Treatment", trata el tema de forma conjunta.

El PAMA unificado plantea también, el tratamiento conjunto e integral, del agua ácida producida por ambas minas a través del Túnel Victoria. A diferencia del estudio anterior, el PAMA unificado plantea incorporar las otras dos fuentes de agua ácida de mina, los niveles 370 y 500 de la mina San Cristóbal, al Túnel Victoria. Esta alternativa daría como resultado que las fuentes de agua ácida hacia exterior se reúnan en una sola, quedando el Túnel Victoria como única fuente de agua ácida de mina.

El monto de las inversiones consideradas en el PAMA unificado asciende a US\$ 6,41 millones, considerando una inversión en tratamiento de aguas de mina de US\$ 1,85 millones, lo que representa el 29% del monto total de las inversiones programadas.

El tratamiento de aguas de mina, considerado en el PAMA unificado, integra varios proyectos independientes de los PAMA originales. La integración de estos proyectos da un tratamiento bastante completo al problema del agua ácida de mina.

1.2.3.- Resumen de los Últimos Estudios Disponibles:

a) Levantamiento de Observaciones al PAMA de la UDP de Carahuacra y Planta Concentradora Victoria.

Preparado por Minconsult SRL en enero de 1997, para Volcán Compañía Minera S.A.

El Ministerio de Energía y Minas levanta una observación sobre la falta de claridad en la presentación de las medidas de mitigación. Entre las medidas de mitigación se incluye las acciones a tomar para controlar el drenaje ácido de mina.

En lo que respecta al drenaje ácido de mina, la respuesta puntualiza que se le dará tratamiento al agua que sale por el Túnel Victoria pero que sea producida solo por la mina Carahuacra.

El monitoreo reporta que el agua tiene un pH de 6.38 y un caudal de 170 lt./seg.

El consumo de cal proyectado para llevar el pH hasta 8.5 es de 0.6 Kg/m³, dando un consumo de cal al año de 3,200 TM.

El costo de operación registrado es de US\$ 640,000 por año.

En lo que respecta a infraestructura se plantea el requerimiento de 3 tanques de 300 m³ cada uno para realizar la precipitación y decantación de sólidos, con un costo de US\$ 70,000.

Considerando el total de aguas evacuadas por el Túnel Victoria se considera un costo

total de operación de US\$ 1.43 millones por año incluyendo manejo de residuos sólidos.

El consumo de cal calculado es de 7,250 TM al año para un consumo de 0.6 Kg/m³ y un caudal de 383 lt./seg. El consumo de cal considerado por el estudio es el mismo a pesar que el pH del Túnel Victoria en la boca mina es de 5.75.

En lo que respecta a infraestructura se plantea el requerimiento de 4 tanques de 680 m³ cada uno para realizar la neutralización y precipitación de sólidos, con un costo total de US\$ 195,000.

Como recomendación se sugiere la construcción de 3 pozas dentro del Túnel Victoria para evitar que los sólidos se depositen a lo largo del Túnel. Se considera que esta inversión estaría en el orden de los US\$ 85,000.

b) Addendum al PAMA de la Unidad de San Cristóbal - Mahr Túnel, referido al tratamiento de las aguas subterráneas de la Unidad San Cristóbal descargadas por el Túnel Victoria.

Preparado por Centromín Perú en febrero de 1997.

Se hace referencia al acuerdo tomado entre Centromín y Compañía Minera Volcán, el 17 de febrero de 1997, sobre el tratamiento de aguas subterráneas descargadas por el Túnel Victoria.

Ambas compañías se comprometieron de mutuo acuerdo a tratar independientemente los efluentes que actualmente ambas empresas descargan conjuntamente por el Túnel Victoria. Anteriormente se consideró tratar las aguas de forma conjunta.

Descripción del Proyecto:

El proyecto contempla la construcción de cámaras de sedimentación y neutralización en el interior de la mina Huaripampa. Las aguas limpias serán conducidas hasta la superficie mediante tuberías, para ser descargadas al curso del río Yauli.

El proyecto contempla la construcción de cuatro cámaras en la galería principal del nivel 820. Las cámaras operaran en tándem cuando dos se encuentren operando las otras dos estarán en limpieza. El tándem de 02 cámaras estará constituido por una cámara de neutralización y otra de sedimentación. El overflow de la cámara de sedimentación será conducido en tubería de polietileno al exterior para ser descargado

en le Río Yauli.

Para este proyecto se considera una inversión de US\$ 752,000 y una duración de 03 años a partir de 1997. El monto total de la inversión para mitigación de drenaje ácido de mina es de US\$ 1.24 millones y corresponde al 25% de todos los gastos planeados en mitigación por el PAMA de la U.P San Cristóbal.

c) Report "Environmental Control of Mining Activities in the Mantaro River Valley". Chapter 4 "Victoria Tunnel Mine Water Treatment"

Preparado por un equipo de canadiense en mayo de 1997 para el Proyecto BID Mantaro

Las aguas del Túnel Victoria tienen un pH aproximado de 4.3 y contiene altas concentraciones de TSS, Cu, Zn, Fe y Cd que exceden los niveles máximos permitidos por el Banco Mundial y las leyes peruanas.

El PAMA de Carahuacra planteó la construcción de una Planta de Tratamiento, para tratar el agua que descarga el Túnel Victoria que proviene de la mina Carahuacra y San Cristóbal.

El costo de bombear agua de la mina San Cristóbal a superficie y los gastos por construir dos Planta de Tratamiento en lugar de uno. En donde lo más favorable para las dos minas sería realizar el tratamiento de las aguas ácidas en forma conjunta.

Un tratamiento fácil del agua del Túnel Victoria sería la reducción de los contaminantes en el río Yauli desde su origen. Tales como: Sólidos en suspensión, metales disueltos y acidez.

Opciones para el Tratamiento:

Las pruebas mostraron que a un pH = 7.0 no se logró la precipitación del Fe, Mn y Zn mientras que para un pH = 9.5 sí tuvo un ligero excedente del TSS y Fe Totales.

Seis opciones fueron analizadas: V-1, V-2, V-3, V-4, V-5 y V-6. De las cuales se eliminaron: V-1, V-2 y V-3.

Se evaluó las siguientes opciones:

- a) V-4: La construcción de una planta mecánica de HDS construida al norte de la Planta Victoria con disposición de los sólidos junto con los relaves.

- b) V-5: La adición de cal en el Túnel Victoria y la construcción de una planta de clarificación construida al norte de la planta Victoria con disposición de los sólidos junto con los relaves.
- c) V-6: La construcción de pozas de tratamiento fuera de la zona con pozas permanentes para el almacenamiento de los sólidos o su traslado en volquetes a las nuevas canchas de relaves de la planta Victoria.

Para las tres opciones fueron calculados sus costos de operación.

La opción V-5 resultaba ser la mejor.

d) Unificación y Reprogramación del Cronograma de Acciones e Inversiones de los PAMA de las UDP de San Cristóbal - Mahr Túnel y Carahuacra.

Preparado por Volcán Compañía Minera S.A. en diciembre de 1997.

Este informe fue presentado al Ministerio de Energía y Minas con la finalidad de lograr se apruebe la unificación y reprogramación del cronograma de acciones e inversiones de los programas de adecuación de manejo ambiental (PAMA) de las unidades de San Cristóbal y Carahuacra.

Este informe busca unificar los PAMAS presentados por ambas empresas antes de la privatización. Se considera que tratar la problemática ambiental de ambas unidades en forma integral traerá beneficios técnicos y económicos. Existiendo entonces fundamentos técnicos que justifican la reprogramación de los PAMA de ambas unidades y su reprogramación en un solo PAMA.

Se modifican los cronogramas de acciones e inversiones de ejecución, poniéndose a consideración del ministerio. Se considera que la nueva inversión calculada para los proyectos de mitigación es de US\$ 6.41 millones.

El PAMA modificado de San Cristóbal fue aprobado en septiembre de 1997 contemplando un periodo 5 años y una inversión de US\$ 4.80 millones.

El PAMA de Carahuacra fue aprobado agosto de 1997 contemplando un periodo 3 años y una inversión de US\$ 0.82 millones.

Se señala que la problemática ambiental más relevante es el tratamiento que se le debe de dar a las aguas ácidas provenientes de las minas San Cristóbal y Carahuacra que drenan por el Túnel Victoria.

Tratamiento de Aguas de mina

Los PAMA de ambas unidades incluyen proyectos de mitigación que persiguen objetivos comunes, razón por la cual se ha visto por conveniente integrarlos en uno solo.

PAMA Carahuacra	PAMA San Cristóbal
Aguas Túnel Victoria	Tratamiento de Aguas de Mina
Aguas Río Carahuacra	Tratamiento de Aguas del Túnel Victoria
Aguas de Escorrentía	

Descripción del Proyecto Unificado Presentado al Ministerio de Energía y Minas

- 1. Derivación de aguas ácidas de los Niveles 370 y 500 de la mina San Cristóbal al Túnel Victoria.**
- 2. Derivación de las aguas del Río Carahuacra**
- 3. Construcción de cámaras de sedimentación en los niveles 450 y 500 de la mina Carahuacra**
- 4. Manejo de aguas en el Túnel Victoria**
- 5. Construcción de canales de coronación en los tajos abiertos de Carahuacra y Santa Águeda.**
- 6. Construcción de una planta de neutralización en superficie.**

Este informe contempla la construcción de una única planta de neutralización y sedimentación a la salida del Túnel Victoria con capacidad de tratamiento de 32 m³/min a ubicarse en una área adyacente a la planta concentradora de Carahuacra.

Las aguas decantadas y neutralizadas tendrán un pH final entre 8 y 9, y con contenidos de sólidos en suspensión y metales pesados dentro de los niveles máximos permisibles.

El monto de la planta de neutralización en superficie es de US\$ 980,000.

El monto total correspondiente al tratamiento de aguas es de US\$ 1.85 millones que corresponde al 29% de la inversión comprometida en mitigación. El plazo para estas

obras es de 3 años a partir de 1998.

1.3 : Base Legal:

1.3.1.- DECRETO LEY Nº 17752. LEY GENERAL DE AGUAS

Artículo 7º.- El Poder Ejecutivo podrá:

c) Declarar zonas de protección, en las cuales, cualquier actividad que afecte a los recursos de agua, podrá ser limitada, condicionada, o prohibida.

Artículo 10º .- El Ministerio de Agricultura y Pesquería en cuanto a la conservación e incremento, y el Ministerio de Salud en lo que respecta a la preservación de los recursos hídricos, están obligados a:

- a) Realizar los estudios e investigaciones que fuesen necesarios;
- b) Dictar las providencias que persigan sancionar y pongan fin a la contaminación, o pérdida de las aguas, cuidando su cumplimiento;
- c) Desarrollar acción educativa y asistencia técnica permanentes para formar conciencia pública sobre la necesidad de conservar y preservar las aguas.

Artículo 17º .-En estados declarados de emergencia por escasez, exceso, contaminación u otras causas, la Autoridad de Aguas o la Sanitaria, en su caso, dictarán las disposiciones convenientes para que las aguas sean protegidas, controladas y suministradas en beneficio de la colectividad e interés general, atendiendo preferentemente el abastecimiento de las poblaciones y las necesidades primarias.

Artículo 22º .-Está prohibido verter o emitir cualquier residuo, sólido, líquido a gaseoso que pueda contaminar las aguas, causando daños o poniendo peligro la salud humana o el normal desarrollo de la flora o fauna o comprometiendo su empleo para otros usos. Podrá descargarse únicamente cuando:

- a) Sean sometidos a los necesarios tratamientos previos;
- b) Se compruebe que las condiciones del receptor permitan los procesos naturales de purificación;
- c) Se compruebe que con su lanzamiento submarino no se causará perjuicio a otros usos; y
- d) En otros casos que autoricen el Reglamento.

La autoridad Sanitaria dictará las providencias y aplicará las medidas necesarias para el cumplimiento de la presente disposición. Si, no obstante, la contaminación fuere

inevitable, podrá llegar hasta la revocación del uso de las aguas o la prohibición o la restricción de la actividad dañina.

Artículo 32° .- El otorgamiento de cualquier uso de agua está sujeto al cumplimiento de las siguientes condiciones concurrentes:

b) Que se compruebe que no se causará contaminación o pérdida de recursos de agua.

Artículo 85° .- Quedan sujetas a las disposiciones específicas del presente Título y a las demás de esta Ley que les sean aplicables, la realización de estudios y la ejecución y modificación de obras destinadas a los siguientes fines:

b) Evacuación de desagüe y descarga de los afluentes, relaves y materiales sólidos provenientes de la minería, industria y de otros usos.

Artículo 122° .- El que contaminare aguas superficiales o subterráneas, con daño para la salud humana, la colectividad o la flora o fauna, infringiendo alguna de las disposiciones pertinentes de la presente Ley, o las que, para evitar la contaminación, hubiere dictado la Autoridad competente, será sancionado de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 274° del Código Penal, quedando obligado a reparar los daños y perjuicios ocasionados.

Código Penal: Artículo 274° .- El que intencionalmente, contaminare con sustancias nocivas a la salud el agua potable destinada al uso de las personas o de los animales domésticos, será reprimido con penitenciaría no mayor de cinco años o con prisión no menor de un mes.

La pena será prisión no mayor de dos años o multa de la renta de tres a noventa días, si el delincuente hubiere obrado por negligencia.

1.3.2.- DECRETO LEGISLATIVO N° 613. CÓDIGO DEL MEDIO AMBIENTE Y LOS RECURSOS NATURALES

Artículo 1°.- La política ambiental tiene como objetivo la protección y conservación del medio ambiente y de los recursos naturales a fin de hacer posible el desarrollo integral de la persona humana a base de garantizar una adecuada calidad de vida. Su diseño, formulación y aplicación está sujetos a los siguientes lineamientos:

- 5- Observar fundamentalmente el principio de la prevención, entendiéndose que la protección ambiental no se limita a la restauración de daños existentes ni a la defensa contra peligros inminentes, sino a la eliminación

- de posibles daños ambientales.
- 6- Efectuar las acciones de control de la contaminación ambiental, debiendo ser realizadas principalmente en la fuentes emisoras.
Los costos de la prevención, vigilancia, recuperación y compensación del deterioro ambiental corren a cargo del causante del perjuicio
 - 7- La rehabilitación de las zonas que resulten perjudicadas como consecuencia de actividades humanas para ser destinadas al bienestar de la poblaciones afectadas.
 - 8- Tomar en cuenta que el ambiente no solo constituye un sector de la realidad nacional, sino un todo integral de los sectores y actividades humanas. En tal sentido, las cuestiones y problemas ambientales deben ser considerados y asumidos globalmente y al mas alto nivel, como cuestiones y problemas de política general, no pudiendo ninguna autoridad eximirse de tomar en conservación del medio ambiente y los recursos naturales.

Artículo 4º.- La planificación ambiental tiene por objeto crear las condiciones para el restablecimiento y mantenimiento del equilibrio entre la conservación del medio ambiente y de los recursos naturales para el desarrollo nacional con el fin de alcanzar una calidad de vida compatible con la dignidad humana.

Artículo 8º.- Todo proyecto de obra o actividad sea de carácter público o privado, que pueda provocar daños no tolerables al ambiente, requiere de un Estudio de Impacto Ambiental (EIA) sujeto a la aprobación de la autoridad competente.

En particular deberá elaborarse en EIA con respecto a las siguientes actividades:

- f) Actividades mineras, pesqueras y forestales.

Artículo 13º.- A juicio de la autoridad competente, podrá exigirse la elaboración de un estudio de impacto ambiental para cualquier actividad en curso que esté provocando impactos negativos en el medio ambiente a efectos de requerir la adopción de las medidas correctivas pertinentes.

Artículo 15º.- Queda prohibido verter o emitir residuos sólidos, líquidos o gaseosos u otras formas de materia o de energía que alteren las aguas en proporción capaz de hacer peligrosa su utilización. La autoridad competente efectuará muestreos periódicos de las aguas para velar por el cumplimiento de esta norma.

Artículo 18º.- En los casos de peligro inminente para el medio ambiente y según su

gravedad, la autoridad ambiental, una vez evaluado el caso, deberá ordenar y disponer una o más de las siguientes medidas:

- a) Uso de modalidades y procedimientos que disminuyan o hagan desaparecer el riesgo.
- b) Limitación de las actividades que provocan riesgo ambiental.
- c) Suspensión de las actividades que generen dicho riesgo.

Artículo 23 °.- El control tiene por objeto hacer una evaluación y proyección de las actividades que generen riesgos de daño ambiental. El estado proveerá a la autoridad ambiental los recursos necesarios para realizar control en aquellas actividades que presentan un potencial de riesgo contra el medio ambiente.

Artículo 26°.- Corresponde a los poderes del Estado, en cumplimiento de su obligación constitucional, promover y fomentar la investigación científica y tecnológica que permita cuantificar, prevenir, controlar y revertir el deterioro ambiental, aportando alternativas de solución a los problemas vinculados a la protección del medio ambiente con tecnologías adecuadas.

Igualmente, el Estado debe promover y fomentar la investigación científica y tecnológica que permita desarrollar nuevos sistemas, métodos, equipos y dispositivos a fin de proteger el ambiente y conservar los recursos naturales.

Artículo 36°.- El patrimonio natural de la Nación está constituido por la diversidad ecológica, biológica y genética que alberga su territorio. Los ecosistemas, los procesos naturales, las especies de flora y fauna, las variedades de las especies domésticas nativas, los paisajes y las interrelaciones entre estos elementos, son las manifestaciones principales del patrimonio natural.

Artículo 37°.- Es obligación perentorias del Estado y de las personas naturales y jurídicas velar por la conservación, defensa, recuperación, aprovechamiento sostenido y difusión del patrimonio natural de la nación.

El Estado impulsa su investigación, evaluación, planificación, manejo, difusión y control.

1.3.3.- DECRETO SUPREMO N° 016-93-EM REGLAMENTO DEL TÍTULO DÉCIMO QUINTO DEL TEXTO ÚNICO ORDENADO DE LA LEY GENERAL DE MINERÍA, SOBRE EL MEDIO AMBIENTE.

Artículo 2º.- Definiciones.- Para los efectos de este Reglamento se define lo siguiente:

Autoridad Competente.- Ministerio de Energía y Minas

Código.- Código del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales aprobado por el Decreto Legislativo N° 613, del 7 de setiembre de 1990, y sus modificatorias.

Contaminante Ambiental.- Toda materia o energía que al incorporarse y/o actuar en el medio ambiente, degrada su calidad original a un nivel que afecta la salud, el bienestar humano y pone en peligro los ecosistemas.

Contaminación Ambiental.- Acción que resulta de la introducción por el hombre, directa o indirectamente en el medio ambiente, de contaminantes, que tanto por su concentración, al superar los niveles máximos permisibles establecidos, como por el tiempo de permanencia, hagan que el medio receptor adquiera características diferentes a las originales, perjudiciales o nocivas a la naturaleza, a la salud y a la propiedad.

Estudio de Impacto Ambiental (EIA).- Estudios que deben efectuarse en proyectos para la realización de actividades en concesiones mineras, de beneficio, de labor general y de transporte minero, que deben evaluar y describir los aspectos físico – naturales, biológicos, socio – económicos y culturales en el área de influencia del proyecto, con la finalidad de determinar las condiciones existentes y capacidades del medio, analizar la naturaleza, magnitud de prever los efectos y consecuencias de la realización del proyecto, indicando medidas de previsión y control a aplicar para lograr un desarrollo armónico entre las operaciones de la industria minera y el medio ambiente.

Ley.- Texto Único Ordenado de la Ley General de Minería, aprobado por Decreto Supremo N° 014-92-EM, del 2 de junio de 1992, y sus modificatorias.

Nivel Máximo Permisible.- Nivel de concentración de uno o más contaminantes, por debajo del cual no se prevé riesgo para la salud, el bienestar humano y los ecosistemas. Este nivel lo establece la Autoridad Competente y es legalmente exigible.

Plan de Cierre.- Medidas que debe adoptar el titular de la actividad minera antes del cierre de operaciones, para evitar efectos adversos al medio ambiente producidos por los residuos sólidos, líquidos o gaseosos que puedan existir o puedan aflorar en el corto, mediano o largo plazo.

Programa de Adopción y Manejo Ambiental (PAMA).- Programa que contiene

las acciones e inversiones necesarias para incorporar a las operaciones minero – metalúrgicas los adelantos tecnológicos y/o medidas alternativas que tengan como propósito reducir o eliminar las emisiones y/o vertimientos para poder cumplir con los niveles máximos permisibles establecidos por la Autoridad Competente.

Protección Ambiental.- Conjunto de Acciones de orden científico, tecnológico, legal, humano, social y económico que tienen por objeto proteger el entorno natural, donde se desarrollan las actividades minero – metalúrgicas, y sus áreas de influencia, evitando su degradación a un nivel perjudicial que afecte la salud, el bienestar humano, la flora, la fauna o los ecosistemas.

Programa de Monitoreo.- Es el muestreo sistemático con métodos y tecnologías adecuada al medio en que se realiza el estudio, basados en normas de guías definidas por el Ministerio de Energía y Minas, para evaluar la presencia de contaminantes vertidos en el medio ambiente.

Evaluación Ambiental Preliminar (EVAP).- Es el estudio que se realiza antes de la elaboración que se está generando por la actividad minero – metalúrgica.

Auditor Ambiental.- Es toda persona natural o jurídica, inscrita en la Dirección General de Minería, de acuerdo al Decreto Supremo N° 012-93-EM, dedicada a la fiscalización y verificación del cumplimiento de las normas de conservación del medio ambiente.

Cuando el Reglamento se refiere a “suscrito por un Auditor Ambiental”, entiéndase que constituye un análisis especial realizado por el Auditor Ambiental que consiste en verificar lo expresado en el informe sobre Generación de Emisiones y/o Vertimientos de Residuos de la Industrias Minero – Metalúrgica (Anexo 1), Evaluación Ambiental Preliminar (EVAP), Programa de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA), que realice el titular y otros a que se refiere el Reglamento o cuando la Autoridad lo requiera.”

“Definiciones incluidas por D.S. N° 059-93-EM del 10-12-93”

Artículo 3°.- Objeto.-El presente Reglamento tiene por objeto:

- a) Establecer las acciones de previsión y control que deben realizarse para armonizar el desarrollo de las actividades minero – metalúrgicas con la protección del medio ambiente.
- b) Proteger el medio ambiente de los riesgos resultantes de los agentes nocivos que

podiera generar la actividad minera metalúrgica, evitando sobrepasen los niveles máximos permisibles.

- c) Fomentar el empleo de nuevas técnicas y procesos relacionados con el mejoramiento del medio ambiente.

Artículo 4º.- Autoridad Competente.- La autoridad competente en materia ambiental del sector minero – metalúrgico es el Ministerio de Energía y Minas, que será el único ente gubernamental encargado de:

- 1.- Fijar las políticas de protección del medio ambiente para las actividades minero – metalúrgicas dictar la normatividad correspondiente.
- 2.- Aprobar los Estudios de Impacto Ambiental y los Programas de Adecuación y Manejo Ambiental y autorizar la ejecución de los mismos, para cada una de las unidades económicas administrativas.
- 3.- Suscribir con los titulares de la actividad minero – metalúrgicas convenios de estabilidad administrativa ambiental en base al Estudio de Impacto Ambiental (EIA) o Programa de Adecuación Ambiental (PAMA) que se apruebe.
- 4.- Fiscalizar el efecto ambiental producido por las actividades minero – metalúrgicas en los centros operativos y áreas de influencia, determinando la responsabilidad del titular, en caso de producirse una violación a las disposiciones de este Reglamento e imponiendo las sanciones previstas en él.

Artículo 5º.- El titular de la actividad minero – metalúrgica, es responsable por las emisiones, vertimientos y disposición de desechos al medio ambiente que se produzcan como resultado de los procesos efectuados en sus instalaciones. A este efecto es su obligación evitar e impedir que aquellos elementos y/o sustancias que por sus concentraciones y/o prolongada permanencia puedan tener efectos adversos en el medio ambiente, sobrepasen los niveles máximos permisibles.

Artículo 6º.- Sin perjuicio de lo establecido en el Artículo 225º de la Ley, es obligación del titular poner en marcha y mantener programas de previsión y control contenidos en el Estudio de Impacto Ambiental y/o Programas de Adecuación y Manejo Ambiental, basados en sistemas adecuados de muestreo, análisis químico, físicos y mecánicos, que permitan evaluar y controlar en forma representativa los efluentes o residuos líquidos y sólidos, las emisiones gaseosas, los ruidos y otros que puedan generar su actividad, por cualquiera de sus procesos cuando estos pudieran

tener un efecto negativo sobre el medio ambiente. Dichos programas de control deberán mantenerse actualizados, consignándose en ellos la información referida al tipo y volumen de los efluentes o residuos y las concentraciones de las sustancias contenidas en éstos.

El tipo, número y ubicación de los puntos de control estarán de acuerdo a las características geográficas de cada región donde se encuentra ubicado el centro productivo. Estos registros estarán a disposición de la autoridad competente cuando lo solicite, bajo responsabilidad.

Artículo 8º.- Los titulares de la actividad minera nombrarán un Auditor Ambiental responsable del control ambiental de la empresa, quien tendrá como función identificar los problemas existentes y futuros, desarrollar planes de rehabilitación, definir metas para mejorarlo y controlar el mantenimiento de los programas ambientales.

Artículo 10º.- El PAMA de las actividades de exploración y/o explotación en las operaciones de minado subterráneo y a cielo abierto deben identificar y contemplar el tratamiento de:

2. Calidad y flujo de aguas superficiales y subterráneas por descarga de aguas contaminadas (nitratos, metales pesados, acidez, etc)

Artículo 26º.- En operaciones de minado subterráneo y a cielo abierto, los EIA y PAMA enfatizarán el cumplimiento de metas a base de normas para:

3. Calidad y flujo de las aguas superficiales y subterráneas.

Artículo 27º.- El Plan de Cierre para el área objeto de la concesión, para operaciones de minado subterráneo y a cielo abierto, debe contemplar normas relacionadas con:

3. Medidas para prevenir la contaminación de los cuerpos de agua.

1.3.4.- RESOLUCIÓN MINISTERIAL N° 011-96-EM/VMM APRUEBAN LOS NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA EFLUENTES LÍQUIDOS MINERO – METALÚRGICOS

Artículo 2º.- Los Niveles Máximos Permisibles a los cuales se sujetarán las Unidades Minero – Metalúrgicas están señalados en el Anexo 1. las Unidades Mineras en Operación y aquellas que reinician sus operaciones podrán sujetarse a lo señalado en el Anexo 2, siguiendo lo establecido en el Decreto Supremo N° 016-93-EM. Estos Anexos forman parte de la presente Resolución Ministerial.

Artículo 3º.- Los valores establecidos en el Anexo 2, se ajustarán gradualmente hasta igualar los Niveles Máximos Permisibles (Anexo 1), en un periodo no mayor de 10 años a partir de la entrada en vigencia de la presente Resolución Ministerial

Artículo 4º.- Los resultados analíticos obtenidos para cada parámetro regulado a partir de la muestra recogida del efluente minero – metalúrgico, no excederán en ninguna oportunidad los niveles establecidos en la columna “Valor en cualquier Momento” del Anexo 1 o 2 según corresponda.

Artículo 5º.- Las concentraciones promedio anuales, para cada parámetro regulado no excederán los niveles establecidos en la columna “Valor Promedio Anual” en el Anexo 1 o 2 según corresponda.

Artículo 8º.- Los titulares mineros podrán eliminar o cambiar la ubicación de uno o más puntos de control, previa aprobación de la Dirección General de Minería, con la opinión favorable de la Dirección General de Asuntos Ambientales, para lo cual será necesario presentar la documentación sustentatoria.

Artículo 9º.- Para efectos de determinar la frecuencia de muestreo, de análisis químicos y de presentación de reportes, los titulares mineros serán clasificados de acuerdo al volumen de descarga total de efluentes minero – metalúrgicos al cuerpo receptor, según la siguiente escala:

- a) Mayor de 300 metros cúbicos por día
- b) Entre 50 y 300 metros cúbicos por día
- c) Menor de 50 metros cúbicos por día

Artículo 13º.- Para efectos de la presente Resolución Ministerial se tomará en consideración las siguientes definiciones:

Efluentes Líquidos Minero – Metalúrgicos.- Son los flujos descargados al ambiente, que provienen:

- a) De cualquier labor, excavación o trabajo efectuado en el terreno, o de cualquier planta de tratamiento de aguas residuales asociadas con labores, excavaciones o trabajos efectuados dentro de los linderos de la Unidad Minera.
- b) De depósitos de relaves u otras instalaciones de tratamiento que produzcan aguas residuales.
- c) De concentradoras, plantas de tostación, fundición y refinerías, siempre que

las instalaciones sean usadas para el lavado, trituración, molienda, flotación, reducción, lixiviación, tostación, sinterización, fundición, refinación, o tratamiento de cualquier mineral, concentrado, metal, o subproducto.

d) De campamentos propios.

e) De cualquier combinación de los antes mencionados.

Muestra Puntual.- Es el tipo de muestra, en un punto de control definido en el Protocolo de Monitoreo de Calidad de Agua para el Subsector Minería.

Parámetro Regulado.- Son aquellos parámetros que se encuentran definidos en los Anexos 1 y 2 de la presente Resolución Ministerial.

Punto de Control.- Ubicación aprobada por la autoridad competente, establecida de acuerdo a los criterios del Protocolo de Monitoreo de Aguas; descrita de acuerdo a la ficha del Anexo 3.

Unidad Minera en Operación.- Es aquella Concesión y/o Unidad Económica Administrativa (UEA) que se encontraba en operación antes de la entrada en vigencia del Decreto Supremo N° 016-93-EM.

Unidad Minera que Reinicia Operaciones.- Es aquella Concesión y/o Unidad Económica Administrativa (UEA) que vuelve a operar tras haber estado paralizada antes de la entrada en vigencia del Decreto Supremo N° 016-93-EM.

Unidad Minera Nueva.- Es aquella Concesión y/o Unidad Económica Administrativa (UEA) que comienza a operar con posterioridad a la entrada en vigencia del Decreto Supremo N° 016-93-EM.

Concentración Promedio Anual.- Es la media aritmética de los resultados analíticos obtenidos durante un año calendario.

Anexo 1

NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISION PARA LAS UNIDADES MINERO - METALURGICAS

PARAMETRO	VALOR EN CUALQUIER	VALOR PROMEDIO
	MOMENTO	ANUAL
PH	Mayor que 6 y menor que 9	Mayor que 6 y menor que 9
Sólidos suspendidos (mg/l)	50	25
Plomo (mg/l)	0.4	0.2
Cobre (mg/l)	1.0	0.3
Zinc (mg/l)	3.0	1.0
Fierro (mg/l)	2.0	1.0
Arsénico (mg/l)	1.0	0.5
Cianuro total (mg/l)*	1.0	1.0

* CIANURO TOTAL, equivalente a 0.1 mg/l de Cianuro Libre y 0.2 mg/l de Cianuro fácilmente disociable en ácido.

Anexo 2

VALORES MÁXIMOS DE EMISIÓN PARA LAS UNIDADES MINERAS EN OPERACIÓN O QUE REINICIAN OPERACIONES

PARAMETRO	VALOR EN CUALQUIER	VALOR PROMEDIO
	MOMENTO	ANUAL
pH	Mayor que 5.5 y menor que 10.5	Mayor que 5.5 y menor que 10.5
Sólidos suspendidos (mg/l)	100	50
Plomo (mg/l)	1	0.5
Cobre (mg/l)	2	1
Zinc (mg/l)	6	3
Fierro (mg/l)	5	2
Arsénico (mg/l)	1	0.5
Cianuro total (mg/l)	2	1

Anexo 3
FICHA DE IDENTIFICACIÓN
PUNTO DE CONTROL

Nombre:
Coordenadas UTM (+/- 100 m):
Descripción (Ubicación):

Anexo 4
FRECUENCIA DE MUESTREO Y PRESENTACIÓN
DE REPORTE

Volumen Total de Efluente	Frecuencia de Muestreo	Frecuencia de Presentación de Reporte
Mayor de 300m ³ /día	Semanal	Trimestral (1)
50 a 300m ³ /día	Trimestral	Semestral (2)
Menor que 50m ³ /día	Semestral	Anual (3)

Nota: (1) Último día hábil de los meses de marzo, junio, setiembre y diciembre.

(2) Último día hábil de los meses de junio y diciembre.

(3) Último día hábil del mes de junio.

Los reportes del mes de junio estará contenidos en el Anexo 1 del DS N° 016-93.EM.

Anexo 5
FRECUENCIA DE ANÁLISIS QUIMICO

PARAMETRO	Efluente Mayor que 300 m ³ /día	Efluente De 50 a 300 m ³ /día	Efluente Menor que 50 m ³ /día
pH	Semanal	Trimestral	Semestral
Sólidos suspendidos	Semanal	Trimestral	Semestral
Pb, Cu, Zn, Fe, As	Mensual	Trimestral	Semestral
CN total	Semestral	Quincenal	Trimestral

CAPITULO 2

ASPECTOS GENERALES

2.1 : Introducción:

La Unidad de Producción San Cristóbal fue trabajada desde épocas del incanato, principalmente por minerales de plata. Luego ya en este siglo, los trabajos de exploración fueron realizados por la Cerro de Pasco Corporation durante los años 1928 a 1930; a partir de 1936 y hasta 1938, se construyó la planta concentradora de Mahr Túnel, se instaló el cable carril de 12 kilómetros que une la planta con la mina y que ha quedado en desuso. A la fecha se viene suministrando normalmente minerales de Cu, Pb, Zn y Ag de las secciones Huaripampa, San Cristóbal por medio de una flota de volquetes.

2.2 : Ubicación Política y Acceso:

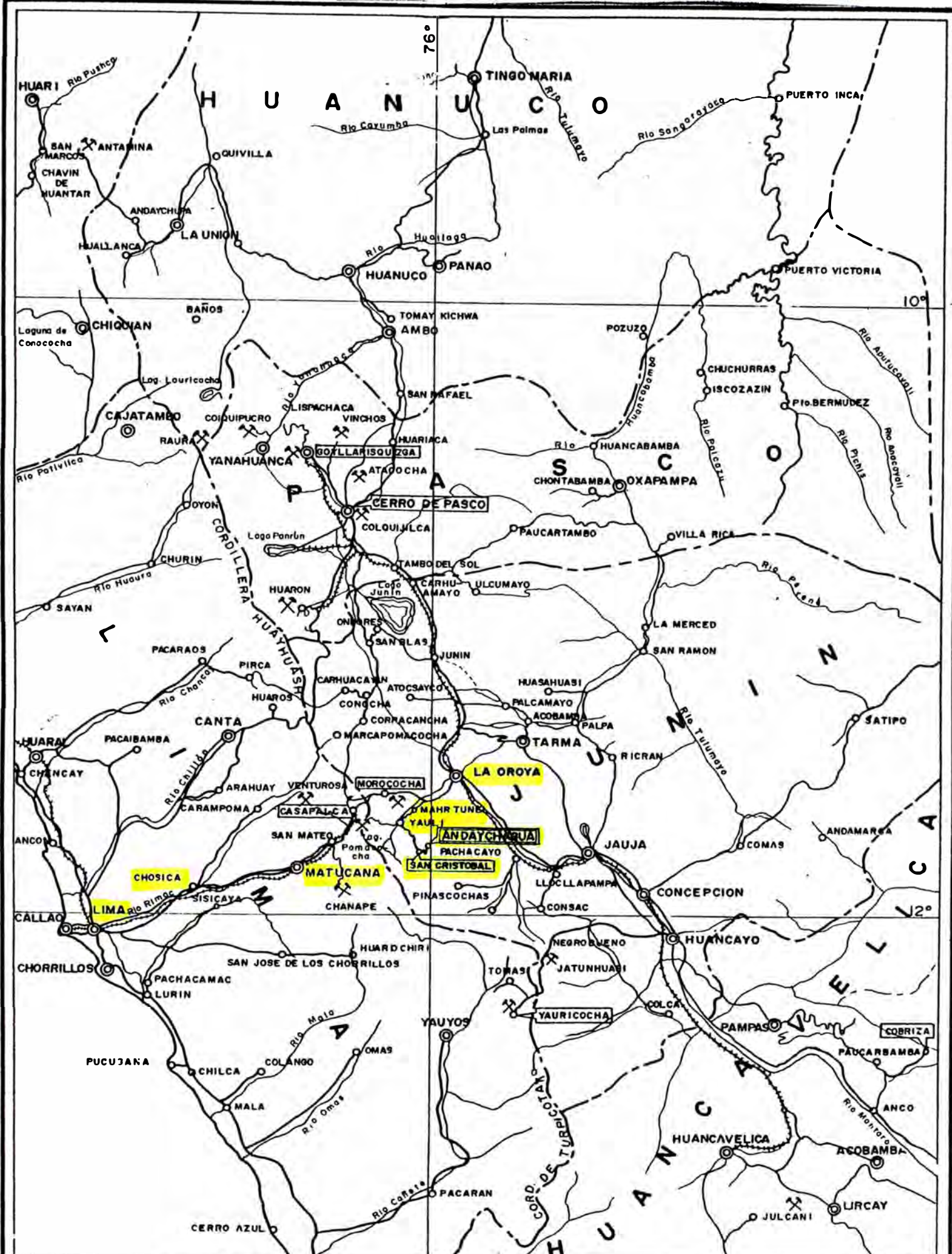
La Unidad de Producción San Cristóbal se ubica políticamente en el Distrito de Yauli, Provincia de Yauli, Departamento de Junín, en la Región Andrés Avelino Cáceres. Está situada en la Sierra Central del Perú, a 170 Km al Este de la ciudad de Lima y a 40 Km al Oeste de la ciudad de La Oroya.

El acceso desde Lima es a través de la Carretera Central llegándose hasta el desvío de Yauli, mediante carretera asfaltada (paraje Calera Cut - Off), de donde por carretera afirmada y pasando por la localidad de Pachachaca, parte un ramal atravesando en su trayecto los campamentos de Mahr Túnel y Carahuacra, llegando hasta la UDP San Cristóbal.

La Unidad de Producción San Cristóbal tiene como coordenadas UTM promedio:

N 8 701 920

E 385 650



CENTROMIN PERU S.A. — MINA ANDAYCHAGUA

PERU CENTRAL MAPA INDICE

PLANO N°

DIBUJO. HILLOSIZO P.

TRAZO.

ESCALA 1 : 1'780,000 COORD.

DATOS

2.3 : Topografía y Fisiografía:

La UDP San Cristóbal se ubica en el flanco Este de la Cordillera de los Andes Centrales, al Este de la divisoria continental a una altitud promedio de 4 700 m.s.n.m.

La región está caracterizada por un marcado intemperismo de las formaciones geológicas que han determinado una topografía abrupta. En el valle del río Yauli la topografía es bastante extendida formando planicies con extensiones importantes, especialmente en las cercanías de la Planta Concentradora de Mahr Túnel.

El hecho de ubicarse muy cerca a la divisoria continental, limita la longitud de los valles aguas arriba y reduce el riesgo de la formación de aludes o huaycos que puedan afectar las instalaciones y poblaciones de esta unidad.

Aguas abajo, el valle discurre hacia el Este con una pendiente moderada que reduce la aceleración y el riesgo de eventuales deslizamientos de masas de lodo procedente del área de la UDP.

El almacenamiento de los relaves antiguos y los actuales en la zona de Mahr Túnel es favorecido por la topografía suave en ese emplazamiento, reduciendo riesgos de largo desplazamiento en el caso de un colapso eventual de la Presa de relaves

2.4 : Clima y Meteorología:

El clima de la zona es en general frío y seco (baja humedad relativa del aire) como corresponde a la región Puna, con presencia estacional de grandes precipitaciones pluviales. Las principales condiciones climatológicas que caracterizan el área son las siguientes:

Temperatura

Máxima en verano:	17 °C
Promedio en verano:	15 °C
Máxima en invierno:	14 °C
Promedio en invierno:	10 °C

Precipitación promedio anual: 950 mm.
Dirección del viento: De Oeste a Este
Velocidad Máxima del Viento: 23 Km./h

Las temperaturas promedio son relativamente altas tanto en verano como en invierno, indicando que los periodos de temperatura muy fría que suelen ocurrir muy temprano y en la noche son bastantes cortas; esta temperatura aunada a la baja presión atmosférica (altitud muy elevada) determina un grado de evaporación sumamente alto. La influencia de estas condiciones sobre los aspectos ambientales se resumen en lo siguiente:

- ❖ Determinan grandes pérdidas de agua a la atmósfera que en el caso de cuerpos estacionarios de agua, como Presa de relaves de Mahr Túnel, pueden determinar descensos de nivel muy pronunciados en invierno (ausencia de lluvias). Estos descensos exponen mayor volumen de relaves y promueven la oxidación y generación de aguas ácidas.
- ❖ La evaporación promueve la concentración capilar en la superficie de los elementos contaminantes solubles ubicados bajo ella, y dificulta de ese modo la revegetación de canchas de relave.
- ❖ Promueve la sequedad de la superficie de las canchas de relave y desmontes (también de minerales y concentrados) y contribuye de ese modo con el arrastre atmosférico de material particulado.

Durante los meses comprendidos entre Noviembre y Abril se producen grandes precipitaciones pluviales, nevadas y granizadas que coinciden con mayores temperaturas estacionales; durante los meses entre Mayo y Agosto se producen grandes descensos de temperatura junto con escasez de precipitaciones que determinan congelamiento de volúmenes moderados de agua. La precipitación pluvial en el área es sumamente alta lo mismo que la presencia de bofedales y acumulaciones de aguas en la superficie.

La dirección predominante del viento, especialmente de los vientos fuertes, es de Oeste a Este alcanzando velocidades de 23 Km./hr. que son suficientes para levantar y transportar partículas minerales de las canchas de relave. La ubicación de éstas en una zona plana muy

amplia expone este emplazamiento a la acción de vientos fuertes y muy frecuentes.

Finalmente hay que indicar que esta Unidad se halla ubicada en una zona de sismicidad alta y ello puede determinar un riesgo de colapso por licuefacción de las presas de relave, o de inestabilidad de taludes en tajos abiertos o interior mina. En el caso de las presas de relave, estas han sido construidas con el método de Aguas Arriba que es inadecuado para ambientes sísmicos como el peruano.

2.5 : Caracterización Ecológica:

La Bioregión de la Puna se extiende en promedio desde los 3 800 m.s.n.m. hasta las más altas cumbres andinas.

El clima de la región es en extremo rudo debido a la rarefacción atmosférica por la altura, las temperaturas medias bajas, las grandes variaciones de la temperatura entre el día y la noche, los vientos fuertes. Estas condiciones son factores muy importantes para la ecología de la flora y fauna, exigiendo adaptaciones considerables. En la Puna las temperaturas son bajas pero por la altura y la altitud la insolación es considerable y el contraste entre el día y la noche es muy marcado. En este ambiente, las rocas juegan un papel muy importante como reservorios de calor; durante el día absorben calor y durante la noche el frío de las roquerías no es tan intenso lo cual favorece el refugio nocturno de la fauna.

2.5.1.- La Fauna:

La rarefacción del aire y la escasez de oxígeno hacen que la fauna tenga adaptaciones fisiológicas especiales como el tamaño de las alas de las aves que son más largas, el pelaje de los mamíferos se hace muy fino y tupido como el caso de la “Vizcacha” y “Vicuña”. Por la falta de cobertura vegetal alta las especies presentan una Homocromia pronunciada (mimetismo) y propician la búsqueda de lugares protegidos y abrigados especialmente en las noches. Las aves nidifican entre las rocas en huecos en el suelo o barrancos etc. La nidificación subterránea que es una solución al problema de aislamiento térmico.

Las especies más representativas de la fauna son:

Mamíferos: “Vicuña”, “Zorro andino”, “cuy silvestre” y “gatos silvestres”. Entre las aves podemos señalar a los Fringilidos, la “Lechuza de los arenales”, los “Pamperos”, el “Pito”, el “Puco Puco”, etc. Entre los Reptiles podemos mencionar a las lagartijas.

Las Aves anidan en estos barrancos rocosos como la “China linda”, el “Aguilucho cordillerano”, la “Bandurria” y el “Yanavico” que frecuentan lugares húmedos para alimentarse. Otras aves utilizan los barrancos rocosos como refugio y lugar de nidificación.

2.5.2.- La Flora:

El pajonal de puna: Vastas superficies de pampas, fondos de Valle y laderas moderadas entre los 3 800 y 4 500 m.s.n.m. están cubiertas por gramíneas conocidas como “Paja” o “Ichu” de los géneros Stipa, Festuca, Calamagrostis, etc.

Entre las gramíneas existen también plantas herbáceas especialmente de la familia de las compuestas.

CAPITULO 3

DESCRIPCION DE LAS OPERACIONES MINERAS

GEOLOGÍA

3.1 : Introducción:

El distrito minero de San Cristóbal está localizado en la parte Sur Oeste de una amplia estructura regional de naturaleza domática que abarca casi íntegramente los distritos de Morococha, San Cristóbal y Andaychagua. Esta estructura inicialmente fue denominada Complejo Domal de Yauli, actualmente recibe el nombre de Domo de Yauli y que representa una ventana de formaciones Paleozoicas dentro de la faja intracordillerana de formaciones Mesozoicas.

El Paleozoico tiene dos pisos, el inferior formado por el grupo Excelsior y el superior por el grupo Mitu; el Excelsior está aflorando a lo largo del anticlinal de Chumpe en la parte Oeste del Domo y en el anticlinal de Ultimátum hacia el Este; el Mitu aflora en la mayor parte del Domo. El margen está constituido por las formaciones Mesozoicas: Grupo Pucará, Grupo Goyllarisquizga, Grupo Machay y la Formación Jumasha.

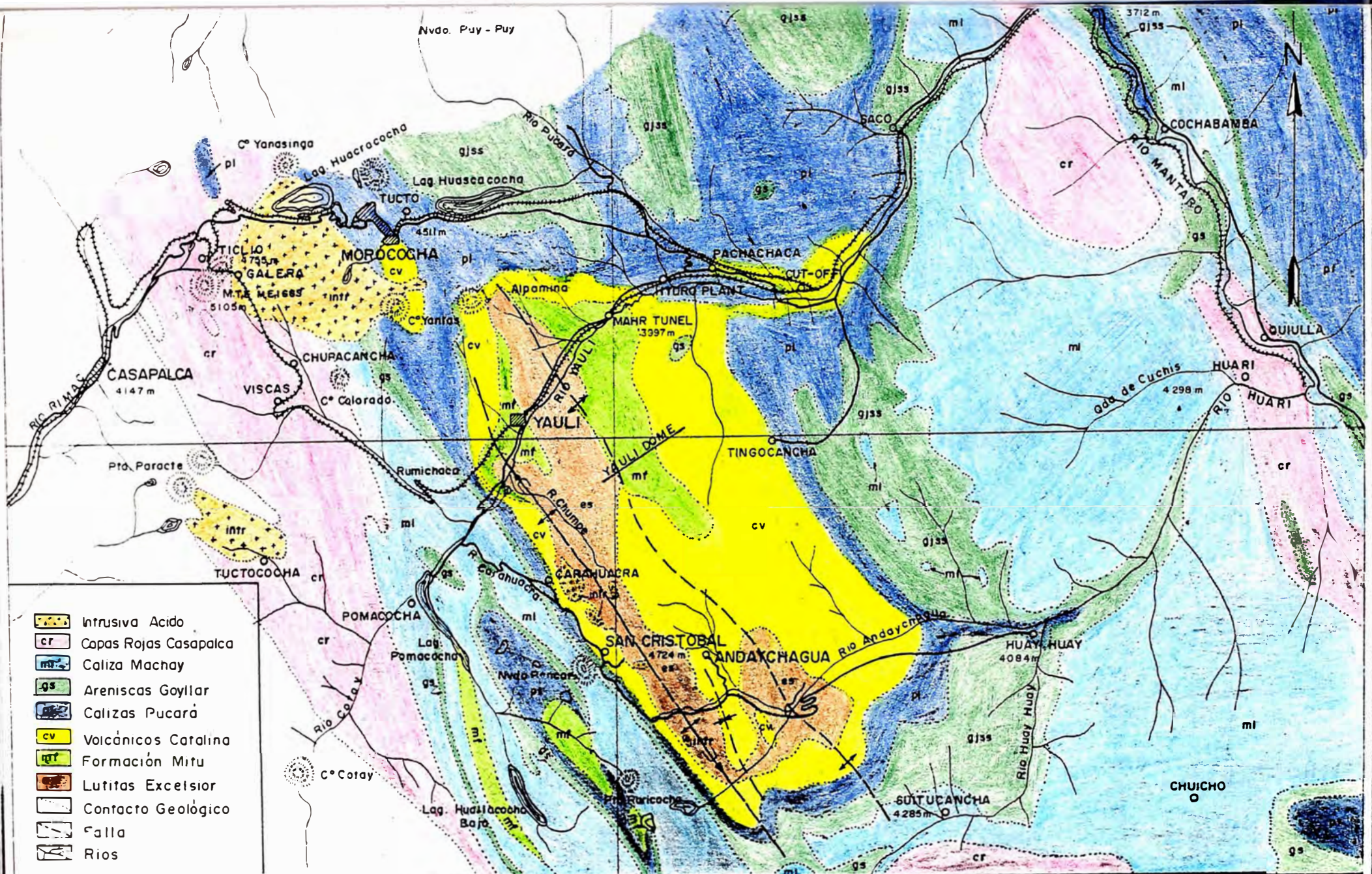
Cuerpos intrusivos y capas extrusivas testifican la actividad ígnea en la zona.

El fracturamiento en el área de San Cristóbal, parece ser el resultado de las fuerzas compresivas e intrusivas que dieron lugar a la formación del Domo de Yauli.

Las erosiones profundas de los edificios volcánicos han puesto al descubierto en la parte Sur del Domo una serie de rocas hipabisales y cuellos volcánicos.

3.2 : Yacimiento:

El yacimiento de San Cristóbal se emplaza en el contacto entre los volcánicos Catalina de



REVISADO		TOPOGRAFIA		CENTROMIN PERU S.A. — MINA ANDAYCHAGUA			PLANO N°
		GEOLOGIA		GEOLOGIA REGIONAL			
		DIBUJADO		S.CRISTOBAL-ANDAYCHAGUA-MOROCOCHA			
		TRAZADO		ESCALA 1,200.000 aprox.	COORD. EN METROS	DATOS	

la Formación Mitu y las calizas Pucará. Las rocas volcánicas se emplazan al NE y las calizas al SW. Las vetas principales cortan los volcánicos y se orientan perpendicularmente a la línea de contacto, mientras que los cuerpos mineralizados se ubican en la zona de las calizas.

La complejidad geológica del distrito a dado lugar a la formación de una gran variedad de depósitos minerales.

Después de la última etapa del plegamiento “Quechua” y la formación de las fracturas de tensión, siguieron los períodos de mineralización en el área dando lugar a la formación de vetas, mantos y cuerpos.

3.3 : Mineralogía:

Vetas:

Dentro del sistema de vetas, la veta San Cristóbal es la estructura más extensa y que ha sido mineralizada aproximadamente 3 Km

Los minerales más comunes que ocurren en el sistema de vetas San Cristóbal son:

Esfalerita	Cuarzo
Galena	Calcita
Calcopirita	Siderita
Tetraedrita	Smithsonita
Pirargirita	Rodocrosita
Wolframita (Ferberita)	Marcasita
Pirita	Baritina
Hematita	

Por los procesos de oxidación y enriquecimiento supergeno se tiene :

Malaquita

Chalcosita

Plata nativa

Zona de Huaripampa:

En esta área la mineralización ocurre en vetas, mantos y cuerpos

Vetas:

En esta zona se tiene el sistema de vetas Virginia, que es un conjunto de fracturas mineralizadas y ubicadas a 800 m al Norte de la veta San Cristóbal.

La mineralogía de las vetas del sistema Virginia, es muy similar entre ellas:

Esfalerita	Marcasita
Galena	Cuarzo
Calcopirita	Pirita
Carbonatos	Plata nativa
Tetraedrita	

La oxidación y el enriquecimiento supergeno están limitados, habiéndose encontrado:

Malaquita

Chalcosita

MINERÍA

3.4 : Introducción:

Operativamente , la U.P. San Cristóbal está dividida en dos minas: mina San Cristóbal (minería convencional) y mina Huaripampa (minería mecanizada). El 70% de la producción total procede de la mina Huaripampa, la producción restante procede de la mina San Cristóbal.

El acceso a la mina Huaripampa es a través de rampas descendentes y galerías de nivel, chimeneas de ventilación y servicios. El transporte se realiza a través de la rampa mediante volquetes.

El acceso a la mina San Cristóbal es a través de galerías de nivel o socavones, chimeneas para ventilación y servicios y piques para el acceso a los niveles inferiores.

La producción de mina proviene del minado subterráneo (90%), y de pequeños tajos abiertos que representa un 10%

3.5 : Minado Subterráneo

La mina subterránea está dividida en tres zonas:

Zona I.- Comprende los niveles 580, 500, 370, 320, 270, 220, en esta zona aún se mantiene la minería convencional debido a que las vetas son angostas.

En explotación utilizan las winchas de arrastre de 20 HP, con rastrillo tipo simplex de 30". La tracción se hace mediante locomotoras de 4 y 6 TM, utilizando carros mineros balancín y Grambi de 80 pies cúbicos.

Zona II.- Conformado por los niveles 580 y 630; la explotación es sobre vetas de mayor potencia que permite mecanizar los ciclos de minado. En esta zona se utiliza para la limpieza Scooptrams eléctrico de 2.2 yardas cúbicas y Scooptrams diesel de 3.5 yardas cúbicas, la perforación con Track Drill y Jumbos electrohidráulicos de un brazo. El transporte de mineral se hace mediante camiones de 8 y 12 m³ de capacidad.

Zona III. - Es la zona de mayor producción, comprende los niveles 630, 730, 780 y 820. La explotación se hace sobre vetas y cuerpos, los ciclos de minado son mecanizados.

La limpieza de mineral y desmonte se realiza con Scooptrams de 6 y 3.5 yardas cúbicas, la perforación con Track Drill y Jumbos electrohidráulicos y el transporte de mineral y desmonte con camiones de 12 m³ de capacidad.

3.5.1.- Diseño de Mina:

1.- En las zonas de minería convencional:

- Galería principal de extracción la sección es de 10' x 10'
- Galería sección 9' x 8'
- Gradiente 0.4 %
- Trocha de la línea de riel de 20" y 30"
- Chimenea de un compartimiento 1.5 m x 1.5 m
- Chimenea de dos compartimentos 3.0 m x 1.5 m

2.- En las zonas de minería mecanizada.

- Galerías y cruceros, sección 5 x 4 m
- gradiente 0.5 %
- Rampas sección 5 x 4 m, 4 x 4 m y 3.5 x 3.5 m
- Gradiente 12 %
- Radio curvatura 14 m

3.5.2.- Métodos de Explotación Subterráneas:

En la U.P. San Cristóbal se tiene dos métodos de explotación:

- A) Método de Reducción Estática.**
- B) Método de Corte y Relleno Ascendente Mecanizado.**

A) Método de Reducción Estática:

Este método se aplica en la Zona I, dentro de las vetas angostas y en zonas que no se cuenta con relleno disponible.

Este método consiste en preparar blocks de 40 m de longitud por 50 m de altura,

operación que se hace mediante galerías y chimeneas.

Para empezar la explotación se corre un subnivel de extracción sobre la galería dejando tres metros de puente, concluido con esta preparación empezamos la explotación propiamente dicha corriendo otro subnivel encima de la anterior dejando un puente de 2.5 m, a partir de este sub nivel se empieza el techo ya sea con perforaciones de taladros horizontales o verticales de acuerdo al buzamiento de la veta. Disparado los taladros se hace campo suficiente para continuar con la perforación del techo.

Teniendo como piso el mineral roto, se continua con la rotura hasta llegar a una altura de 3m, debajo del nivel superior, luego, a partir del tajeo comunicamos con varias chimeneas a nivel superior

Terminado la rotura del block se baja la wincha de arrastre a la altura del subnivel de extracción y se procede a comunicar mediante ventanas el subnivel con el tajeo, las ventanas se hacen en retirada a medida que se va descargando el mineral roto del tajeo para finalmente dejar completamente vacío todo el block.

B) Método de Corte y Relleno Ascendente Mecanizado.

La producción de este método llega a cubrir aproximadamente el 90%, de mina subterránea y aplicado en vetas cuya potencia promedio es de 3.5 m y en los cuerpos.

El método consiste en preparar tajeos de 100 m de longitud por 50 - 100 m de altura; la explotación se empieza desde el mismo nivel ya que los accesos al tajeo se hace a través de los Bay Pass y rampas construidas en el piso o techo de las vetas.

A partir de la galería se empieza con la perforación vertical para ir levantando el techo, terminada la perforación de todo el tajeo se dispara los taladros, luego de limpiar el mineral se procede a rellenar el tajeo utilizando el desmonte de los cruceros y material detrítico de superficie que son transportadas por los camiones

de 12 m³ de capacidad, hasta las chimeneas de relleno que se hicieron previamente en los tajeos; concluida la etapa de relleno debe quedar una diferencia de 5 m entre el piso y el techo del tajeo, que es la altura recomendable para que los Jumbos electrohidráulicos puedan perforar los ciclos de minado, repitiéndose hasta terminar todo el block.

3.5.3.- Cuadros Resumen de Labores Antiguas y Problemas de Estabilidad:

Aquí se hace un estudio de algunas labores mineras que ya se encuentran prácticamente en abandono o con problemas de estabilidad, y que justamente también son causantes en la generación del drenaje ácido en la U.P. San Cristóbal

En los Cuadros 1A y 1B se presentan unos resúmenes del laboreo minero en las diferentes estructuras mineralizadas de la U.P. San Cristóbal. En el Cuadro 2 se presenta un resumen del laboreo minero en la Veta Principal San Cristóbal. En el Cuadro 3 se presenta un resumen de los principales problemas de inestabilidad de las excavaciones subterráneas, asociados mayormente a labores antiguas abandonadas.

3.6 : Tajo Abierto

Se tienen pequeños tajos cuyas características de diseño son:

- Altura de banco 5.0 m
- Ancho de banco 8.0 m
- Talud de banco 70°

En estos tajos se trabajan con tractor de orugas para la remoción de material; para la limpieza, cargador frontal de 3.5 yardas cúbicas; y para el transporte de mineral y desmonte camiones de 8 m³ de capacidad.

CUADRO Nº 1A
RESUMEN DEL LABOREO MINERO EN ESTRUCTURAS MINERALIZADAS
U.P. SAN CRISTOBAL

ESTRUCT.	METODO EXPLOR.	MINERAL	DESCRIPCION
Danitsa	Shrinkage	Ag, Pb, Zn	Actualmente esta abandonado. Se trabajó solo en el nivel 580. Cajas de pórfido dacítico piritizado. Ancho veta 1 m y ancho labor 1.2 m
Olvidada	Shrinkage	Pb, Zn	Se trabajó solo en el nivel 580, hoy está abandonado. Cajas de pórfido dacítico (Mitu), ligeramente sericitizado y piritizado. Ancho veta 1 m y ancho labor 1.2 m
Siberia 2	Shrinkage	Cu, Zn, Pb	Se trabajó desde el Nv. 120 al Nv. 370. En la zona de cajas de filitas no competentes el método de explotación se realiza a modo de cámaras (3m - 4m) y pilares. Ancho veta 1 m y ancho labor 1.2 m
K	Shrinkage	Zn, Pb, Cu	Actualmente no se trabaja, se explotó solo el nivel 470. Ancho veta 0.9 m a 1.2 m, ancho labor 1.2 m. Las cajas son andesitas (Mitu) fuertemente cloritizadas y piritizadas.
299	C/R	Zn, Pb, Ag	Parcialmente desarrollado en los Nvs. 500, 580 hoy se encuentra abandonado. Las cajas son andesíticas sericitizada y cloritizada (Mitu). Ancho veta 1.4 m a 2.7 m

CUADRO N° 1B
RESUMEN DEL LABOREO MINERO EN ESTRUCTURAS MINERALIZADAS
U.P. SAN CRISTOBAL

ESTRUCT.	METODO EXPLOR.	MINERAL	DESCRIPCION
Manto 129	C/R	Zn	Desarrollado en el Nv. 580. La caja piso es volcánico (Mitu) seritizado, la caja techo es tufo gris claro y dolomitas (Pucará). Ancho veta 2.5 m
Veta 625	C/R	Zn, Pb, Cu	Labores antiguas explotadas por la Cerro, hoy están abandonadas. Se trabajó los Nvs. 370, 430 y 500.
Ferramina	C/R	Zn, Pb, Ag	Desarrollado parcialmente en niveles próximos a superficie, hoy el N. 630 esta en explotación. Cajas volcánicas cloritizados y piritizados. Ancho veta 0.8 m, ancho labor 1.2 m
Esperanza	Tal Larg.	Pb, Zn, Ag	En explotación por el método de taladros largos sin relleno, cajas en volcánicos (Mitu) sericitizados y piritizados. Ancho veta 1.20 m
Ranal 850	C/R	Zn, Pb	Los tajeos antiguos están rellenos. Potencia variable.
134 (Virg.)	C/R y Shr.	Zn, Pb	Veta abandonada.
658 (Virg.)	C/R	Pb, Ag, Zn	Se trabaja en la zona de Huaripampa Nv. 780. Los niveles superiores están abandonados, existen derrumbes.
Diana	C/R	Ag, Pb, Zn	Se trabaja en la zona de Huaripampa (Nvs. 580 y 630).

CUADRO N° 2
RESUMEN DEL LABOREO MINERO EN LA VETA PRICIPAL.
SAN CRISTOBAL

SECCION	MET. EXP.	MINERAL	DESCRIPCION
Argentina	C/R	Zn, Ag, Pb	Se trabaja en los Nvs. 500 y 580. Ancho veta 1.5 m a 3.2 m. Debajo del tajo Santa Águada se trabajó, habiéndose abandonado por derrumbe.
Volc – contac.	C/R	Zn, Ag, Pb	Actualmente se explota en el Nv. 580. Los niveles superiores están explotados y abandonados. Ancho veta variable llegando hasta 10 m
Filitas	C/R	Zn, Ag	La veta se estrangula variando de 1.2 m a 3 m, las cajas son filitas. Ya ha sido explotado hasta el Nv. 500. Actualmente se encuentran reservas en el Nv. 580
Oriental	C/R	Ag, Pb, Zn, Cu	Ancho de veta de 1 m a 3 m, actualmente existen reservas en el Nv. 500
Dique	C/R	Zn, Ag, Pb	Ancho de veta de 1 m a 2 m, actualmente existen reservas en el Nv. 500
Chumpe	C/R	Ag, Zn	Ancho de veta de 1 m a 2 m, actualmente existen reservas en el Nv. 500. Las cajas son rocas intrusivas.

CUADRO N° 3

**RESUMEN DE LOS PRINCIPALES PROBLEMAS DE ESTABILIDAD EN
INTERIOR DE LA MINA SAN CRISTOBAL**

Nv. 120	Debido a la antigüedad de esta labor una gran mayoría de los cruceros se encuentran derrumbados. En la Gal. 300 E, cerca de la chimenea 979, existe una zona con sostenimiento de cuadros rendidos y rotos, por la alta presión. Asimismo cerca al Crucero 850N estas galerías se encuentran con los cuadros rotos haciendo que la zona sea inaccesible.
Nv. 170	Nivel de explotación antiguo, las condiciones de inestabilidad son similares al Nv. 120, donde los accesos a los cruceros a partir de la Gal. 821, se encuentran derrumbados.
Nv. 220	Nivel con derrumbes en labores antiguas, en alto porcentaje. Además existe una zona de by pass (814), por el derrumbe producido en la Galería 464.
Nv. 270	En este nivel se viene explotando los Tajeos 366, 523 y 768 de la Veta Siberia, por el método de Shrinkage estático. Las cajas con filitas. En la Galería Principal 778, generalmente los cruceros tienen problemas de derrumbes. En esta veta el método de explotación fue corte y relleno.
Nv. 320	El grado de inestabilidad de este nivel es menor a los niveles superiores, observándose derrumbes en galerías y cruceros. Actualmente se viene explotando los tajeos 725 y 800 de la Veta Siberia por el método de Shrinkage con pilares tipo puentes, en el tajeo, debido a la baja pendiente del tajeo.
Nv. 370	La zona inestable corresponde a la intersección del Túnel Santa. Bárbara con la Galería 276, observándose cuadros rendidos y un by pass. Otros problemas de inestabilidad mayormente se ubican en el sector NE (Galerías 276, 554E, 835E), con un porcentaje de 20% del total de labores.
Nv. 430	Existen 03 zonas con problemas de inestabilidad por presión del terreno que produjo la rotura de cuadros en las Galerías 078 y 994E.

PARTE II

ANÁLISIS Y SOLUCIÓN DEL DAM

CAPITULO 4

ESTUDIO BASICO HIDROLOGICO

4.1 : Introducción:

La Unidad de Producción San Cristóbal y el Túnel Victoria se encuentran ubicados en una cuenca alto andina cuyos recursos hídricos drenan al río Carahuacra, tributario del río Yauli. El río Yauli es el receptor de todos los efluentes de mina de esta UDP y de la Unidad de Carahuacra, recibe también la descarga del Túnel Kingsmill que descarga las aguas de la mina Morococha.

La cuenca presenta características típicas de zona alto andina (puna), destacando las pendientes bajas de la superficie del terreno y la cobertura vegetal constituida principalmente por Ichu.

El comportamiento hidrológico anual de la cuenca se refleja en la descarga por escurrimiento de aproximadamente el 60% del rendimiento de la cuenca en los meses de Diciembre a Abril y sólo el 10% en el periodo de estiaje de Junio a Septiembre.

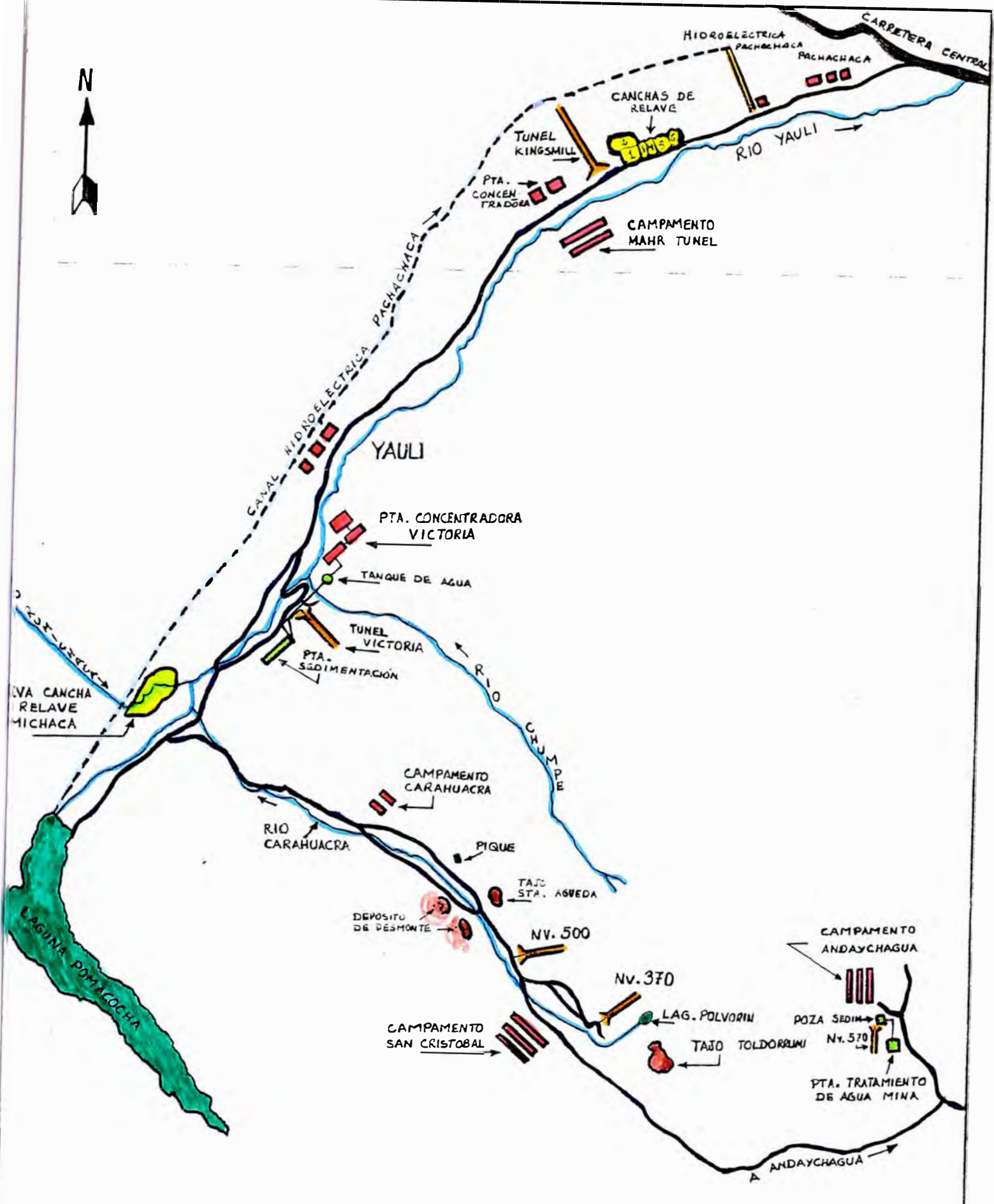
El arrastre de sedimentos es escaso, favorecido por la baja pendiente de la superficie, lo cual atenúa el efecto erosivo del agua.

4.2 : Reconocimiento de Campo

4.2.1.- Reconocimiento de las Características Hidrofsiográficas

Durante el reconocimiento de campo se han identificado los cursos de agua así como los límites de la cuenca correspondiente. La cuenca del río Carahuacra tiene su nacimiento en la Laguna Polvorín y finalmente como afluente del río Yauli.

Se han identificado las características hidrofsiográficas, destacando la pendiente del terreno así como la cobertura vegetal existente.



<p>COMPAÑÍA MINERA VOLCÁN S.A.A.</p>
<p>U.P. SAN CRISTOBAL — U.P. CARAHUCRA</p>
<p>PROYECTO TRATAMIENTO AGUAS DE MINA</p>

Destaca el deterioro ocasionado por la contaminación del agua y del aire especialmente en la flora de la región.

Los principales parámetros hidrofisiográficos en la cuenca del río Carahuacra son:

PARÁMETRO	CUENCA
Área de la cuenca	29.25 Km ²
Longitud del río	7.20 Km
Coefficiente de compacidad	1.25
Factor de forma	0.56
Pendiente de la superficie	5%

4.2.2.- Identificación de Usos Actuales

Se han identificado los usos actuales que se dan a las aguas que drenan en forma natural en la cuenca así como en las actividades mineras que se desarrollan en el ámbito del proyecto.

Así como se ha verificado que complementariamente a los usos mineros se da el uso en almacenamiento (Laguna Pomacocha) con fines de aprovechamiento hidroeléctrico.

4.2.3.- Aforos

Se han efectuado algunas mediciones de caudales en los puntos más importantes con la finalidad de usarse en el diseño de la Planta de Tratamiento. Estos aforos se explicaran mejor en el Balance de Aguas más adelante.

4.3 : Climatología

4.3.1.- Precipitación

Las precipitaciones tienen carácter estacional presentándose con mayor frecuencia y magnitud en el periodo de Diciembre a Abril (avenidas) y con menor intensidad en los meses de Junio a Septiembre (estiaje).

En la cuenca se encuentra la Estación de San Cristóbal y también se consideró para el

análisis la información de estaciones vecinas de la cuenca.

La precipitación media así obtenida para la cuenca del río Carahuacra es de 950 mm/año.

También se presentan precipitaciones en forma sólida (granizo nevada), los cuales cubren la superficie del terreno manteniendo la humedad por mayores períodos que con precipitaciones líquidas; además el granizo al precipitar origina erosión en los suelos y daña la vegetación herbácea.

Según la precipitación media anual de la cuenca se ha determinado el volumen de agua anual precipitado en la cuenca del río Carahuacra hasta la mina San Cristóbal:

$$\text{Volumen anual precipitado} = 29.25 \text{ Km}^2 \times 950 \text{ mm/año} = 27\,787\,500 \text{ m}^3/\text{año}$$

Igualmente se ha determinado el volumen de agua anual precipitado sobre cada uno de las áreas de estudio. Los resultados se presentan en el cuadro siguiente

Nº	ZONA	AREA (Km ²)	PRECIPITACION MEDIA (mm/año)	VOLUMEN ANUAL PRECIPITADO (m ³)
1	Área de recarga a zona de galerías	29.25	950	27 787 500
2	Área de recargo de San Cristóbal a zona de galerías	15.75	950	14 962 500

4.3.2.- Temperatura

La temperatura media mensual varía de 13.6 °C a 00 °C, siendo su promedio mensual 6.8°C.

Se debe indicar que la variación diaria de este parámetro si es importante presentando

temperaturas de hasta -5.0°C en las noches y temperaturas del orden de 19.5°C en los días más calurosos.

Se observa que existe una relación de tipo inversa entre estos dos parámetros, presentándose temperaturas menores a mayores altitudes.

4.3.3.- Evaporación

Para evaluar este parámetro en la zona del proyecto se consideró los registros de la estación San Cristóbal.

La evaporación media anual registrada en esta estación es 1100 mm/año.

Así mismo, en el transcurso del año, los mayores valores se presentan en los meses de Diciembre a Marzo y los menores en los meses de Junio a Septiembre.

4.3.4.- Humedad Relativa

Para evaluar este parámetro se han considerado los valores registrados en la estación de San Cristóbal.

El promedio mensual de humedad relativa es de 74 % los valores promedio mensual varían desde 53 % hasta 100 %. Así mismo, los mayores valores en el año se presentan en los meses de Enero a Abril y los menores en los meses de Junio a Septiembre.

4.4 : Parámetros Hidrofisiográficos

La compleja función hidrológica de una sub – cuenca depende de las características físicas y climáticas que ejercen efectos determinantes en su comportamiento, en tal sentido además de la superficie de la cuenca a continuación se describen las características de los principales parámetros hidrofisiográficos indicando su influencia en el régimen hidrológico de la misma:

4.4.1.- Forma de la cuenca

Este parámetro influye en la distribución de la escorrentía superficial a lo largo del

curso de agua principal así como en el comportamiento de las avenidas que se presentan.

Se evalúan mediante los siguientes parámetros:

a) Coeficiente de Compacidad (K_c) : se termina por la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo cuya área sea igual al de la cuenca en estudio.

La tendencia a mayores caudales es más acentuada cuanto más próximo a la unidad real es el valor K_c .

Los valores obtenidos en la zona de estudio son:

$$K_c \text{ cuenca de Carahuacra} = 1.25$$

Lo cual nos indica que la cuenca esta propensa a avenidas de mediana magnitud.

b) Factor de Forma (F_f) : está representada por la relación que hay entre el área de la cuenca y la longitud del curso de agua más largo.

La mayor tendencia a la unidad refleja la presencia de avenidas extraordinarias de mayor magnitud.

Su fórmula es : $F_f = A_m/L_m^2$

Donde : $A_m = \text{Área de la cuenca (Km}^2\text{)}$

$L_m = \text{Longitud del cauce principal (Km)}$

Los resultados obtenidos en el presente estudio son: $F_f = 29.25 / (7.2)^2 = 0.56$

Se concluye que la cuenca del río Carahuacra está propensa a la ocurrencia de avenidas de mediana consideración.

4.4.2.- Pendiente de Superficie (J)

Este factor que influye en la velocidad del escurrimiento superficial, determina el

tiempo en que el agua de lluvia demora en concentrarse en los lechos fluviales que forman la red de drenaje.

Los valores obtenidos en la zona de estudio son:

Pendiente superficial en la cuenca del río Carahuacra = 5%

Significa que las aguas precipitadas en las superficies libres de la cuenca, escurren con una velocidad intermedia por su mayor pendiente.

4.5 : Hidrometría

4.5.1.- Información Básica

Con la finalidad de estimar los caudales en la cuenca del río Carahuacra, se han recopilado los registros de 6 estaciones hidrométricas que controlan los caudales de cuencas vecinas a la zona del proyecto.

4.5.2.- Caudales Medios

La determinación de los caudales medios es de gran importancia debido a que a partir de estos parámetros básicos se estimarán las principales características hidrológicas en la cuenca.

En el presente estudio, para la determinación del caudal medio en la cuenca teniendo en cuenta que no existen estaciones de control se ha considerado los rendimientos promedios de las cuencas vecinas que disponen de estaciones de control. Para tal efecto se han considerado las siguientes estaciones de control (ver cuadro siguiente).

Considerándose el rendimiento de las estaciones más representativas se ha determinado el rendimiento promedio (12.40 lt./seg/Km²) el cual ha sido utilizado para estimar el caudal medio anual de las cuencas de interés.

Así el caudal medio anual escurrido en la cuenca del río Carahuacra hasta la mina San Cristóbal.

CUADRO Nº 4

ESTACIONES DE CONTROL

ESTACION	RIO	ALTITUD (m.s.n.m.)	AREA CUENCA (Km ²)	CAUDAL MEDIO (m ³ /seg)	RENDIMIENTO (lt/seg/Km ²)	PRECIPITACION MEDIA (mm/año)
Río Pallanga	Pallanga	4230	137	2.18	11.48	814
Huarón	Huarón	4200	262	4.20	13.63	816
Casaracra	Tishgo	3750	372	2.25	8.14	758
Rumichaca	Rumichaca	4150	65	0.48	9.75	814
Pomacocha	Yauli	4250	166	2.35	14.03	847
Cutoff	Yauli	3950	559	10.38	17.40	821

$$\text{Carahuacra} = 12.40 \times 29.25 = 0.363 \text{ m}^3/\text{seg} = 21.78 \text{ m}^3/\text{min}$$

Lo que en volumen representa lo siguiente:

Volumen anual escurrido Carahuacra (V)

$$V = 0.363 \text{ m}^3/\text{seg} \times 31\,536\,000 \text{ seg}$$

$$V = 11\,448\,000 \text{ m}^3$$

Con este mismo procedimiento se han estimado los caudales medios y volúmenes correspondientes a las cuencas que se encuentran aguas arriba de cada uno de los depósitos mineros. Los resultados se presentan en el cuadro siguiente:

ZONA	DEPOSITO	AREA DE LA CUENCA AGUAS ARRIBA	RENDIMIENTO PROMEDIO (lt./seg/ Km ²)	CAUDAL MEDIO (m ³ /seg)	VOLUMEN TOTAL PRECIPITADO (m ³)
1	Área de descarga	29.25	12.40	0.363	11 448 000
2	Área de recarga San Cristóbal	15.75	12.40	0.195	6 149 520

4.5.3.- Análisis de Infiltración:

Para estimar el volumen de agua que se infiltra o es retenido por la cuenca y que luego recarga el acuífero donde se emplazan las galerías de la mina se ha aplicado la siguiente relación del balance hídrico:

Relación de Balance Hídrico:

$$V.P. = Qs. + Rc.$$

Donde:

V.P. = Volumen Precipitado

Qs. = Escorrentía Superficial

Rc. = Retención de la Cuenca

Entonces:

Rc. = V.P. – Qs.

El volumen precipitado se estima a partir de la precipitación media anual y el área de la superficie de la cuenca de recarga.

El caudal o escorrentía superficial se estima según lo indicado en el ítem anterior.

4.5.4.- Área Superficial:

El área superficial de la zona de explotación minera en San Cristóbal y de la mina Carahuacra se ha estimado considerando las siguientes dimensiones:

Ancho: = 4.5 Km

Largo: = 6.5 Km

Área Superficial: = 4.5 x 6.5 = 29.25 Km²

Área Superficial Mina San Cristóbal: = 15.75 Km²

4.5.5.- Volumen Precipitado:

Se estima a partir de la precipitación media anual (950 mm/año) y del área superficial de recarga (29.25 Km²).

Vol. Precipitado = 27 787 500 m³/año

Vol. Precipitado San Cristóbal = 15.75 x 950 = 14 962 500 m³/año

4.5.6.- Escorrentía Superficial:

Considerando el rendimiento promedio estimado (12.40 lt./seg/Km²) y el área de la superficie de recarga (29.25 Km²) se determina el caudal de escorrentía superficial (minas San Cristóbal y Carahuacra):

$$Q_s = 29.25 \times 12.40 \times 31.536 = 11\,448\,000 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$Q_s \text{ San Cristóbal} = 15.75 \times 12.40 \times 31.536 = 6\,149\,520 \text{ m}^3/\text{año}$$

4.5.7.- Retención de la Cuenca:

Rc Total (minas San Cristóbal y Carahuacra)

$$Rc \text{ Total} = 27\,787\,500 - 11\,448\,000 = 16\,339\,500 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$Rc \text{ San Cristóbal} = 14\,962\,500 - 6\,149\,520 = 8\,812\,980 \text{ m}^3/\text{año}$$

De la evaluación efectuada se observa que la retención de agua de la cuenca receptora de aguas en el ámbito que comprende el emplazamiento de la mina San Cristóbal se ha estimado en aproximadamente 6 149 520 millones de m³ anuales y el volumen total considerando el aporte de la mina Carahuacra es de 11 448 000 millones de m³.

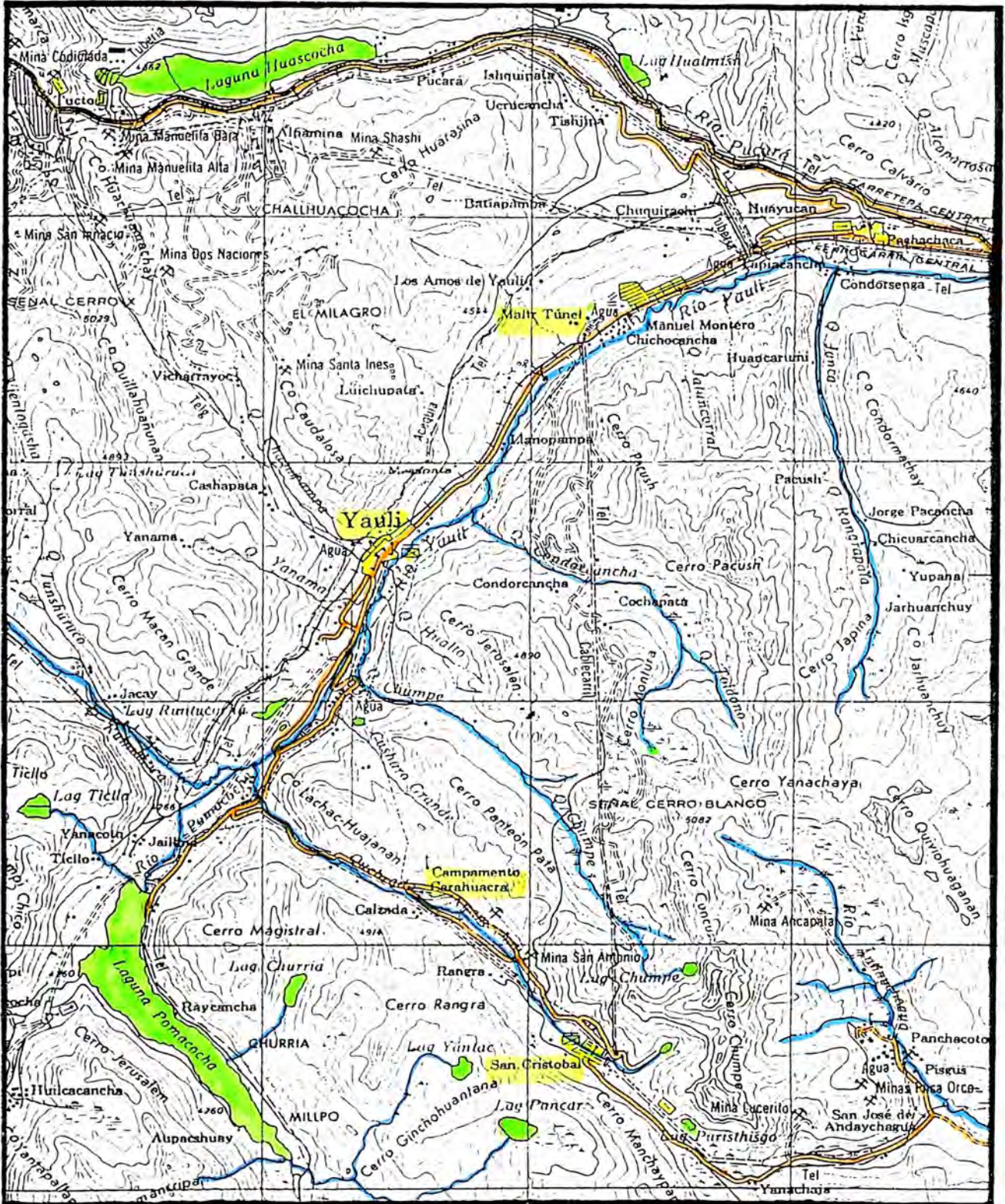
De este volumen un porcentaje mínimo se pierde por evapotranspiración debido a la escasa cobertura vegetal existente en la superficie de la cuenca.

Este volumen retenido total (San Cristóbal y Carahuacra) representa aproximadamente el siguiente caudal = 0.363 m³/seg (21.8 m³/mm) cuyo valor es cercano al caudal promedio que descarga el Túnel Victoria.

Considerando que el nivel freático se encuentra en la cota 4 700 m.s.n.m. , el aporte por infiltración comprende los flancos derecho e izquierdo del río Carahuacra así como las lagunas, tales como Chumpe.

Para complementar la evaluación sobre el comportamiento hídrico de las aguas en el acuífero de la zona de explotación minera en San Cristóbal, se requiere efectuar un estudio hidrogeológico que comprenda la instalación de piezómetros, la ejecución de un programa de mediciones y la identificación e interpretación de las diferentes fuentes de recarga, así como de las direcciones del flujo subterráneo y el volumen de agua almacenada.

Para el desarrollo de este estudio se requiere contar con un mínimo de mediciones por



COMPAÑÍA MINERA VOLCAN S.A.A.

MAPA DE UBICACIÓN DE LA CUENCA HIDROGRAFICA

U.P. SAN CRISTÓBAL - U.P. CARAHUACRA

un periodo de un año, de los niveles freáticos, caudales superficiales, subterráneos y de descargas en los niveles 370, 500 y Túnel Victoria.

4.5.8.- Balance de Agua

En este Balance de Aguas se considera tanto los afluentes y efluentes, comparándose también con los rendimientos superficiales y subterráneos de la cuenca.

De la evaluación hidrológica efectuada se ha determinado que el caudal medio superficial que produce la cuenca del río Carahuacra, aguas arriba de la mina San Cristóbal es de $0.363 \text{ m}^3/\text{seg}$ ($2.10 \text{ m}^3/\text{min}$).

Como consecuencia de las operaciones mineras en San Cristóbal a la altura de la bocamina del Nivel 370 se descarga al río Carahuacra un caudal efluente de $0.0052 \text{ m}^3/\text{seg}$ ($0.31 \text{ m}^3/\text{min}$)

Posteriormente a la altura de la bocamina del Nivel 500 se descarga al río Carahuacra un caudal efluente de $0.055 \text{ m}^3/\text{seg}$ ($3.46 \text{ m}^3/\text{min}$)

El otro efluente importante que descarga en el río Carahuacra antes de su confluencia con el río Yauli, es el Túnel Victoria, el cual drena las aguas tanto de la U.P. San Cristóbal como de la U.P. Carahuacra. Se ha estimado que el caudal efluente total es de $0.52 \text{ m}^3/\text{seg}$ ($31.20 \text{ m}^3/\text{min}$). De este caudal se ha estimado que $0.28 \text{ m}^3/\text{seg}$ ($16.80 \text{ m}^3/\text{min}$) corresponden al aporte de la zona de explotación de la mina San Cristóbal.

La concentradora de Mahr Túnel para su operación capta del embalse de Pomacocha $0.052 \text{ m}^3/\text{seg}$ ($3.12 \text{ m}^3/\text{min}$) y descarga un efluente de $0.0028 \text{ m}^3/\text{seg}$ ($0.17 \text{ m}^3/\text{min}$)

Para efectuar una verificación del balance efectuado se han analizado los caudales registrados en las estaciones de Cut Off (río Yauli) y Pomacocha. Los rendimientos en Pomacocha son de $14.03 \text{ lt./seg/Km}^2$, mientras que en Cut Off son de $17.40 \text{ lt./seg/Km}^2$. Esta diferencia se debe precisamente al aporte del agua subterránea (aguas ácidas) que son descargadas al río Yauli, tanto de Morococha como de San Cristóbal.

Si se considera la diferencia de ambos rendimientos se tiene: $3.37 \text{ lt./seg/Km}^2$ el cual

afectado por el área de la cuenca de Cut Off (559 Km²) arroja un caudal de 1.9 m³/min que es cercano al aporte de los túneles Victoria y Kingsmill.

4.5.9.- Máximas Avenidas

Para la determinación de los caudales de máximas avenidas correspondiente a la cuenca de interés (río Carahuacra) se ha tenido que recurrir a métodos indirectos para su estimación debido a que tampoco existen datos registrados en la misma.

En tal sentido, uno de los métodos utilizados es el método Área-Caudal-Frecuencia, desarrollado en base a registros de estaciones existentes a nivel nacional en el marco del estudio de Evaluación del Potencial Hidroeléctrico Nacional.

En el caso de la cuenca relacionada se ha determinado los siguientes valores:

Cálculo de la Avenida Índice:

$$Q_{\text{índice}} = 0.031 \times \text{Área} \times 1.11$$

Para la Cuenca del Río Carahuacra sería:

$$\text{Área de la cuenca} = 29.25 \text{ Km}^2$$

$$Q_{\text{índice}} = 0.031 \times 29.25 \times 1.11 = 1.0064 \text{ m}^3/\text{seg}$$

En el cuadro siguiente se presentan los resultados de los caudales máximos de avenidas para distintos tiempos de retorno.

ZONA	Q _{av}	10 TR 10 años	50 TR 50 años	100 TR 100 años	500 TR 500 años
Río Carahuacra (m ³ /seg)	1.006	1.71	2.72	3.22	4.12

CAPITULO 5

ANÁLISIS DEL PROBLEMA ÁCIDO

5.1 : Introducción:

La principal característica contaminante de este emplazamiento es la inestabilidad química del yacimiento en las condiciones de minado. El alto contenido de sulfuros tanto en el mineral como en la roca caja determinan la oxidación de ellos por exposición al aire ya que las labores son desaguadas para proceder a su explotación. El flujo continuo de filtraciones lixivia a su vez estos minerales y los incorpora al desagüe de la mina que se conduce hasta el río Carahuacra primero y luego al río Yauli. Este drenaje, sumamente ácido, es evacuado y vertido al ambiente por medio de galerías en los niveles 370, 500 y 820 (Túnel Victoria). Por lo general se considera que esta contaminación es producto de la actividad minera, pues si ella estuviera ausente, la mayor parte de los minerales permanecería sumergidos bajo las agua freáticas y por ende sin oxidarse ni lixivarse. Sin embargo la zona ha sufrido y continúa siendo sometida a un intemperismo natural que origina drenajes ácidos aislados.

En realidad, la oxidación de los sulfuros y ARD (Ácido Rock Drenaje) se inició desde el mismo instante en que el yacimiento se desaguó por primera vez y expuso, a la acción atmosférica las rocas con minerales sulfurosos; el desarrollo subsecuente del minado aceleró este proceso al exponer cada vez mas superficies de reacción.

Los flujos relativos del drenaje ácido de la mina indican claramente que la actividad minera ha incrementado en un 800% la producción natural del ARD en esta área.

La oxidación directa es evidentemente mayor en las paredes de la roca caja expuestas en la labores sin rellenar, teniendo en cuenta que el aire es continuamente renovado por la ventilación forzada que exige la seguridad minera. En las labores rellenadas de desbroce interno o material detrítico de superficie, el acceso de aire es más restringido y, por ende, el ARD más limitado.

El impacto que el drenaje causa al río Carahuacra aguas abajo es considerable por el elevado contenido de contaminantes que lleva.

5.2 : Temas de Interés:

Aquí se describen algunos pasos a seguir para el análisis de investigación de este trabajo:

5.2.1.- Predicción del Drenaje Ácido:

En el manejo de desechos de mina se describe una alternativa para la predicción del drenaje ácido de roca ejecutable en fases. Esta opción en fases incluye:

- Definir las unidades geológicas (su mineralización) que probablemente serán encontradas durante las operaciones de minería.
- Definir e implementar un programa de muestreo de materiales.
- Llevar a cabo pruebas de campo y laboratorio, de ser necesario.
- Evaluar la formación potencial del DAM.
- Llevar a cabo mayor muestreo y pruebas, y
- Caracterizar los materiales de desecho en términos de potencial de generación de ácido.

5.2.2.- Geología y Mineralización:

Esta etapa comprende la identificación de unidades litológicas que probablemente serán encontradas al momento de las operaciones mineras y la descripción de las propiedades geoquímicas y la clasificación y tipo de mineralización presente en cada una de las unidades. Cada unidad puede presentar características en términos de generación de ácido y potencial de neutralización. Además es necesario identificar los tipos de minerales de sulfuro presentes y la forma en que ocurre la mineralización.

5.2.3.- El Drenaje Ácido de Mina:

Tal como se discutió anteriormente, el Drenaje Ácido de Mina (DAM) resulta de la oxidación de minerales sulfurosos en la roca cuando son expuestos al agua y al aire. Por lo tanto, la generación del DAM de las fuentes potenciales requiere de suficiente minerales sulfurados, agua y oxígeno en cantidades adecuadas para soportar las

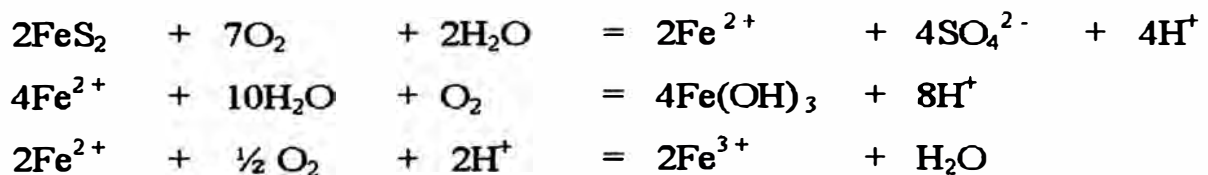
reacciones químicas y biológicas que prolonguen la existencia del DAM.

El periodo de formación y descarga inicial del DAM puede variar. Por ejemplo, la formación del DAM en minas subterráneas y a tajo abierto no se presentará hasta que la roca sulfurosa sea expuesta al aire, situación que no ocurrirá hasta que el nivel del agua subterránea haya sido disminuido durante las operaciones mineras.

5.2.4.- Oxidación del Sulfuro de Hierro:

El principal contribuyente de la generación ácida de las actividades mineras es la oxidación del sulfuro de hierro (pirita y marcasita). Para propósitos de este análisis, la discusión de la oxidación del sulfuro de hierro será presentada en términos de la pirita.

La oxidación de la pirita puede presentarse tanto directamente de la reacción con el aire y el agua, o indirectamente de la reacción con el hierro férrico. Las tres reacciones presentadas a continuación pueden describir el proceso de oxidación directa de la pirita:



La siguiente ecuación puede describir la oxidación indirecta:



Los factores bioquímicos o geoquímicos pueden influir en las reacciones de oxidación de la pirita. La bacteria *Thiobacillus ferrooxidans* (T. Ferrooxidans) se encuentra bastante extendida en ambientes naturales y se ha demostrado que acelera el proceso de oxidación de la pirita, principalmente a valores bajos de pH de aproximadamente 3 a 3.5.

Las consideraciones geoquímicas en la oxidación de la pirita incluyen el pH, el oxígeno, la alcalinidad, la abundancia de pirita y los granos de pirita en áreas

superficiales, la temperatura, los micro - ambientes, los defectos estructurales de la pirita y trazas de elementos.

5.2.5.- Oxidación de otros Sulfuros de Metales Bases y otras formas Sulfurosas:

También existe la oxidación de otros sulfuros de metales bases directamente por bacterias en presencia de aire o agua, o indirectamente, por el hierro férrico. Estos sulfuros incluyen la galena (PbS) y la esfalerita (ZnS). Más aún, existe cada vez mayor convicción de que otras formas de azufre (por ejemplo, sulfitos y tiosulfatos) pueden influir apreciablemente en la generación de ácido.

5.2.6.- Procesos de Consumo de Ácido:

La formación de Drenaje Ácido de Mina puede ser inhibido o retardado por las reacciones con otros componentes presentes en los desechos de mina o en el agua que se infiltra en los desechos de mina. La generación de ácido puede ser afectada por reacciones con:

- Carbonatos,
- Aluminosilicatos, y
- Otros compuestos

Los carbonatos, como la dolomita y la calcita, son materiales que se encuentran presentes en la mayoría de tipos de roca y pueden estar disponibles, ya sea en solución o como sólido, para consumir ácido. Los minerales de silicatos y silicatos portadores de aluminio (aluminosilicatos) aunque consumidores de ácido menos efectivos que los carbonatos, pueden tener efectos significativos en el proceso de generación de ácido. En contacto con el agua, los silicatos y aluminosilicatos tienden a producir un pH alcalino. También, cuando están en contacto con los sólidos, tienden a degradarse, consumen iones de hidrógeno y producen minerales de arcilla. En resumen, para sistemas productores de ácido más lentos, la descomposición del silicato y el consumo del ácido puede representar un control efectivo de generación de ácido.

CUADRO Nº 5

RESUMEN DE LAS MEDIDAS DE CONTROL DEL DAM

CONTROL DE LA GENERACION DE ACIDO	CONTROL DE MIGRACION	TRATAMIENTO DEL DAM
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Pre -tratamiento de relaves o desmonte para remover o excluir los minerales sulfurosos. ➤ Cubiertas y sellos para excluir el agua. ➤ Cubiertas y sellos para excluir el oxígeno (incluyendo una cubierta de agua). ➤ Segregación y Mezcla de Desechos para controlar el pH. ➤ Aditivos básicos para controlar el pH. ➤ Bactericidas para controlar la oxidación bacteriana de los minerales sulfurosos. ➤ Evitar la exposición de materiales reactivos a condiciones que conduzcan a al generación de ácido. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Cubiertas y sellos para excluir la infiltración y precipitación. ➤ Ubicación controlada de los desechos para minimizar la infiltración. ➤ Derivación e interceptación de las aguas superficiales. ➤ Derivación e interceptación de las aguas subterráneas. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Sistemas de colección y tratamiento de Aguas superficiales y subterráneas usando: <ul style="list-style-type: none"> • Tratamiento activo • Tratamiento pasivo

5.3 : Impacto Sobre el Agua:

5.3.1.- Calidad del Agua:

La actividad minera que se desarrolla en la cuenca del río Carahuacra, ha provocado la contaminación de las aguas de esta cuenca, así como del río Yauli y aguas abajo del río Mantaro.

5.3.2.- Vertimientos Mineros:

El drenaje de la mina San Cristóbal se realiza en los niveles 370 y 500 (a 4 600 m.s.n.m.) hacia el río Carahuacra. Estos caudales contienen agua sumamente ácida.

Otro vertimiento importante es a través del Túnel Victoria que descarga agua ácida de la mina San Cristóbal y mina Carahuacra.

5.3.3.- Características de los Vertimientos Mineros:

Las principales características de estos vertimientos mineros como agentes de contaminación se describen a continuación:

- **Aguas de la bocamina del nivel 370:**

Las aguas son ácidas y de un aspecto ferroso intenso. La alta conductividad potencial sumamente oxidante (Eh) y un nivel alto de SO₄ confirman que todo esto es causado por un Drenaje Ácido de Roca existente. El drenaje del nivel 370 también incorpora altas concentraciones de metales, tales como: Zn, Fe y Mn. Se observa en los cuadros siguientes que los niveles de casi todos los metales disueltos están por encima del Límite Máximo Permisible.

Por la bocamina del nivel 370 se desagua parte de las aguas subterráneas y de infiltración de la parte alta de la mina San Cristóbal. Las aguas luego de su descarga por la bocamina se unen a las aguas del río Carahuacra provenientes de la Laguna Polvorín.

- **Aguas de la bocamina del nivel 500:**

Las aguas son igualmente ácidas y de un aspecto ferroso, aunque de menor intensidad que las aguas de la bocamina 370. También se presenta con altos

CUADRO N° 6

UNIDAD DE PRODUCCION DE SAN CRISTOBAL
 PROMEDIO PONDERADO

Periodo de monitoreo Septiembre 1997 a Agosto 1998

PUNTOS DE MUESTREO	INORGANICO FISICO						PRINCIPALES IONES INORGANICOS (mg/l)		
	Conduct ms	Eh mV	Flujo m ³ /min	pH	Temp °C	TSS	O.D	NO ₃	SO ₄
BOCAMINA NIVEL 370	1403	517	0.31	2.6	5.7	56	20.10	0.02	1622
BOCAMINA NIVEL 500	1646	474	3.28	2.9	6.3	158	14.15	0.02	968
BOCAMINA TUNEL VICTORIA	981	358	32.14	3.2	9.5	445	10.50	0.04	437

T.S.S. = Total Sólidos en Suspensión (mg/l)

O.D. = Oxígeno Disuelto

CUADRO Nº 7

UNIDAD DE PRODUCCION DE SAN CRISTOBAL

PROMEDIO PONDERADO

Periodo de monitoreo Septiembre 1997 a Agosto 1998

PUNTOS DE MUESTREO	PRINCIPALES COMPONENTES QUIMICOS (mg/l)							
	As	Cd	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn	CN Total
BOCAMINA NIVEL 370	0.36	0.39	51.5	568.6	128.1	0.82	297.1	0.02
BOCAMINA NIVEL 500	0.04	0.28	7.49	129.4	165.8	0.87	76.8	0.01
BOCAMINA TUNEL VICTORIA	0.02	0.15	8.38	54.5	76.5	1.25	62.5	0.02

CN Total = Cianuro Total (CN)

contenidos de Sólidos Totales en Suspensión (TSS) y con un caudal de 10 veces mayor al caudal de la bocamina del nivel 370. Por esta bocamina se desagua también la mayor parte de las aguas subterráneas y de infiltración de la parte alta de la mina San Cristóbal.

Las aguas son descargadas al río Carahuacra, aguas abajo de la bocamina 370.

- **Aguas de la bocamina Túnel Victoria:**

Esta aguas constituyen el aporte de todas las aguas subterráneas y de infiltración de la mina San Cristóbal y la mina Carahuacra, por lo cual representan un gran volumen de agua que se drena por esta bocamina la cual representa un caudal que es 10 veces mayor al caudal registrado de la bocamina del nivel 500 y 100 veces mayor a lo que drena la bocamina del nivel 370 aunque sus niveles de metales disueltos sean menores a las otras bocaminas, su volumen en caudal en cambio las supera y hace más costoso su tratamiento. El drenaje de la bocamina del nivel 370 es pequeño pero tiene un altísimo contenido de metales disueltos y una menor cantidad de TSS.

Las aguas son desaguadas al río Carahuacra aguas abajo de las bocaminas 370 y 500.

5.4 : Parámetros de Diseño y de Procesos:

El área de San Cristóbal se encuentra en la vertiente Oriental de la cordillera donde los cursos naturales de las aguas discurren hacia el Este, en dirección al Sistema Hidrológico del Mantaro.

Los efluentes que generan las actividades de la U.P. San Cristóbal se vierten sin tratamiento al río Carahuacra que es un tributario del río Yauli. Este que a su vez se genera en la laguna Pomacocha y es tributario del río Mantaro, haciendo que la migración de los efluentes cubra una amplia extensión de terreno.

En los cuadros siguientes se resalta la carga contaminante de las aguas ácidas de mina que emergen de los niveles 370 , 500 y 820 (Túnel Victoria). Estas aguas presentan bajo pH y altos contenidos de sólidos, aniones y cationes metálicos disueltos.

5.4.1.- Análisis Preliminar de las Aguas Ácidas de Mina:

Se efectuaron muestreos de aguas en el interior de mina con el fin de detectar aguas neutras. Los resultados se presentan en el cuadro N° 8.

5.4.2.- Parámetros de Diseño y de Procesos:

Tanto el pH como el contenido de iones en las aguas ácidas se explican por la lixiviación acuoxidante de las especies sulfurosas de la roca. Cuando la oxidación es completa las formas iónicas son las mostradas en el cuadro N° 9.

De otro lado la solubilidad de los iones en solución acuosa es función del pH. Tal relación se ve en la figura adjunta.

Resulta claro entonces que con un adecuado control del pH se puede regular el contenido de los cationes metálicos. En nuestro caso particular asegurando la precipitación del Mn se puede asegurar la precipitación de los demás cationes metálicos.

La determinación de los valores requeridos para tales parámetros es mediante pruebas de neutralización y sedimentación.

CUADRO N° 8
MUESTREO DE AGUAS SUBTERRANEAS Y SUPERFICIALES DE LA
U.P. SAN CRISTOBAL

Periodo de monitoreo Septiembre 1997 a Agosto 1998

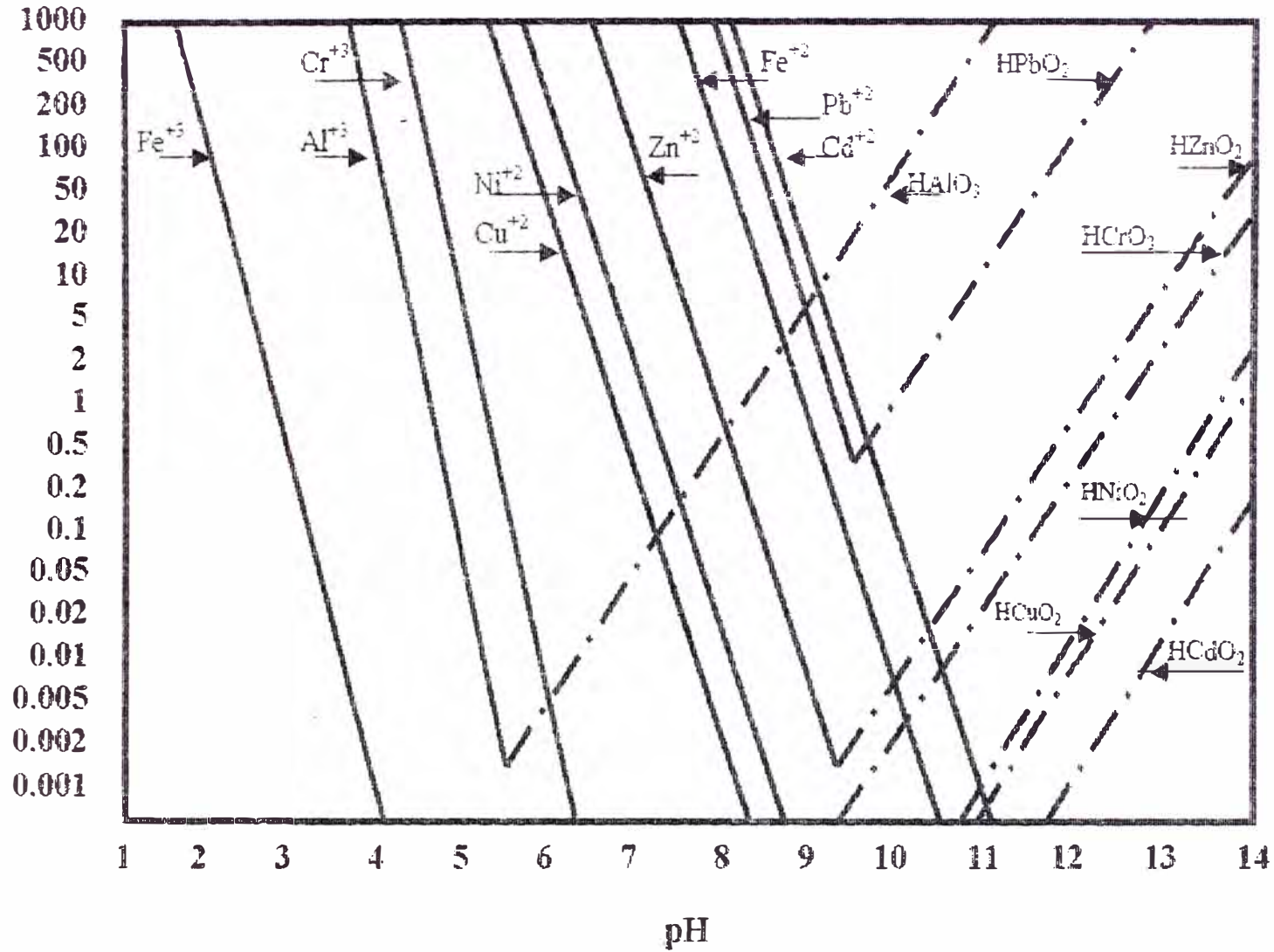
PTO.	UBICACIÓN	FLUJO L/S	PH	Miligramos/litro								
				TSS	SO ₄	As	Cd	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn
1	Nivel 120 Pique Santa Bárbara	0.068	3.9	950	34.1	0.01	0.10	0.04	2.0	1.18	0.04	0.77
2	Nivel 120 Pique Santa Bárbara	0.370	3.1	69	707.3	0.02	0.18	5.90	164.7	16.55	1.49	85.61
3	Nivel 220 Pique inclinado junto a SSHH	0.291	3.3	58	3446.1	0.01	0.43	51.06	961.0	95.03	0.53	144.48
4	NIVEL 220 Chimenea 054 Oyama	9.790	3.7	222	414.6	0.01	0.15	1.16	61.5	7.02	0.07	3.33
5	Nivel 220 Fill Pass	0.910	2.6	932	2002.9	0.62	0.39	6.10	673.3	67.37	0.53	74.72
6	Nivel 370 Pie Chimenea 511	1.681	3.3	87	3496.4	0.13	0.62	204.68	1229.6	146.20	0.53	166.37
7	Nivel 370 Pique inclinado junto a SSHH	1.000	2.9	91	1008.0	0.01	0.21	20.00	704.6	81.00	0.46	100.94
8	Nivel 500 salida bocamina	34.97	3.7	332	1189.5	0.01	0.29	24.46	580.7	133.64	0.34	95.50
9	Antes de la unión con agua del Nv. 500	3.325	3.4	124	620.6	0.01	0.01	6.10	159.7	14.15	0.25	47.28
10	Laguna Polvorín	34.061	5.8	90	707.3	0.02	0.01	0.52	8.3	9.40	0.09	5.92
11	Filtraciones cerro cerca de San Cristóbal	30.283	5.6	38	53.0	0.02	0.01	0.09	2.7	0.05	0.04	0.09

CUADRO N° 9
OXIDACION DE MINERALES SULFUROSOS
COMUNES EN EL PERÚ

MINERAL	FORMULA	PRODUCTOS ACUOSOS DE OXIDACION COMPLETA	POSIBLES PRODUCTOS DE NEUTRALIZACION
Pirita	FeS	Fe^{3+}, SO_4^{-2}, H^+	Sulfato e hidróxido férricos, yeso.
Pirrotita	$Fe_{1-x}S$		
Marcasita	FeS ₂		
Calcopirita	CuFeS ₂	$Cu^{2+}, Fe^{3+}, SO_4^{-2}, H^+$	Sulfato e hidróxidos férricos,
Calcocita	Cu ₂ S	Cu^{2+}, SO_4^{-2}, H^+	Carbonatos e hidróxidos de cobre,
Bornita	CuFeS ₄	$Cu^{2+}, Fe^{3+}, SO_4^{-2}, H^+$	Yeso.
Arsenopirita	FeAsS	$Fe^{3+}, AsO_4^{-3}, SO_4^{-2}, H^+$	Sulfatos e hidróxidos férricos,
Rejalgar	AsS	$AsO_4^{-3}, SO_4^{-2}, H^+$	Arsenatos férricos y de calcio, yeso.
Oropimente	As ₂ S ₃	$AsO_4^{-3}, SO_4^{-2}, H^+$	
Tetraedrita	$Cu_{12}(Sb, As)_4S_{13}$	$Cu^{2+}, SbO_3^{-3}, AsO_4^{-3},$	Carbonatos e hidróxidos de cobre y arsenatos férricos y de calcio, yeso.
Tenantita		SO_4^{-2}, H^+	
Molibdenita	MoS ₂	$MoO_4^{-2}, SO_4^{-2}, H^+$	Hidróxido férrico, sulfatos, molibdato, óxidos de molibdeno, yeso.
Esfalerita	ZnS	Zn^{2+}, SO_4^{-2}, H^+	Hidróxidos y carbonatos de zinc, yeso
Marmatita	(Zn, Fe)S	$Zn^{2+}, Fe^{3+}, SO_4^{-2}, H^+$	hidróxidos de hierro y zinc, carbonatos de zinc, yeso.
Galena	PbS	Pb^{2+}, SO_4^{-2}, H^+	Hidróxidos de plomo, carbonatos, sulfatos, yeso.
Cinabrio	HgS	Hg^{2+}, SO_4^{-2}, H^+	Hidróxidos de mercurio, yeso.
Cobaltita	CoAsS	$Co^{2+}, AsO_4^{-3}, SO_4^{-2}, H^+$	Hidróxidos y carbonatos de Cobalto.

RELACION DE LA CONCENTRACION DE DIVERSOS IONES METALICOS Y pH

Concentraciones del i3n met3lico (mg/lt) Vs. pH



CAPITULO 6

SOLUCION DEL PROBLEMA ACIDO

6.1 : Memoria Descriptiva:

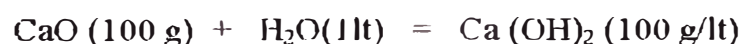
Manejo de las Aguas Ácidas de las Operaciones.

En la Unidad de Producción San Cristóbal se genera agua ácida colectadas de los niveles 370, 500 y 820 (Túnel Victoria) que son vertidas al río Carahuacra y Yauli. Se propone mitigar la contaminación, por lo cual se derivarán todas las aguas ácidas hacia el Túnel Victoria para que reciban un tratamiento en forma conjunta.

La Planta de Tratamiento de las aguas ácidas consistirá en la construcción de una Planta de Neutralización en interior mina y una Planta de Sedimentación en superficie con capacidad para tratar 32 m³/min de agua, produciéndose agua clarificada neutra que cumpla con las disposiciones vigentes promulgadas por el Ministerio de Energía y Minas.

En las pruebas de neutralización que se realizaron en el laboratorio se utilizó Cal viva (CaO) en polvo. Para la neutralización de las aguas del Túnel Victoria se adicionará Cal como lechada de Cal (Ca(OH)₂) a razón de 7.00 litros de lechada por m³ de agua ácida. En una concentración de 100 g de Ca(OH)₂ por litro.

Esta proporción viene de la siguiente ecuación química:



Caudal del Túnel Victoria: 32 m³/min = 32 000 lt/min

Si:

Para 1 lt de agua ácida se necesitan 0.70g de CaO

Para 32 000 lt de agua ácida se necesitarán X g de CaO

Por lo tanto se necesitan 22 400 g de CaO para 32 m³/minuto de agua ácida, es decir 22.40 Kg cal viva.

Si 22.40 Kg de CaO neutraliza 32 m³/min de agua ácida, entonces ¿cuántos litros de lechada de cal se verterán a la cuneta?

Si:

Con 100 g de CaO preparo 1 litro de Ca (OH)₂

Con 22 400 g de CaO preparo X litros de Ca (OH)₂

Por lo tanto se necesitarán 224 litros/ minuto de Ca (OH)₂

La relación anterior se toma de las pruebas de pilotaje que se mostrarán más adelante donde para la neutralización del agua ácida del Túnel Victoria se necesitaron 0.70g de CaO por litro para llegar a un pH de 9.0 y precipitar todos los metales incluyendo el Mn y poder así estar por debajo de los Límites Máximos Permisibles.

Entonces se adicionará lechada de cal en el curso del Túnel Victoria a una distancia de 1224 metros de la bocamina. Esto se obtiene de la siguiente manera:

Datos:

Velocidad de sedimentación (Vs) = 28.13 min/m

Velocidad de las aguas ácidas (V) – 1.5 m/seg

Profundidad del canal (h) – 0.483 m

Longitud del Túnel Victoria = 4600 m

Nota: todos estos datos fueron tomados de las pruebas de pilotaje.

Primero: Debemos obtener el tiempo que demoran los sedimentos para precipitar, entonces realizaremos la siguiente operación:

$$\text{Tiempo} = (h) \times (Vs)$$

$$\text{Tiempo} = (0.483\text{m}) \times (28.13 \text{ min/m})$$

Tiempo = 13.6 minutos.

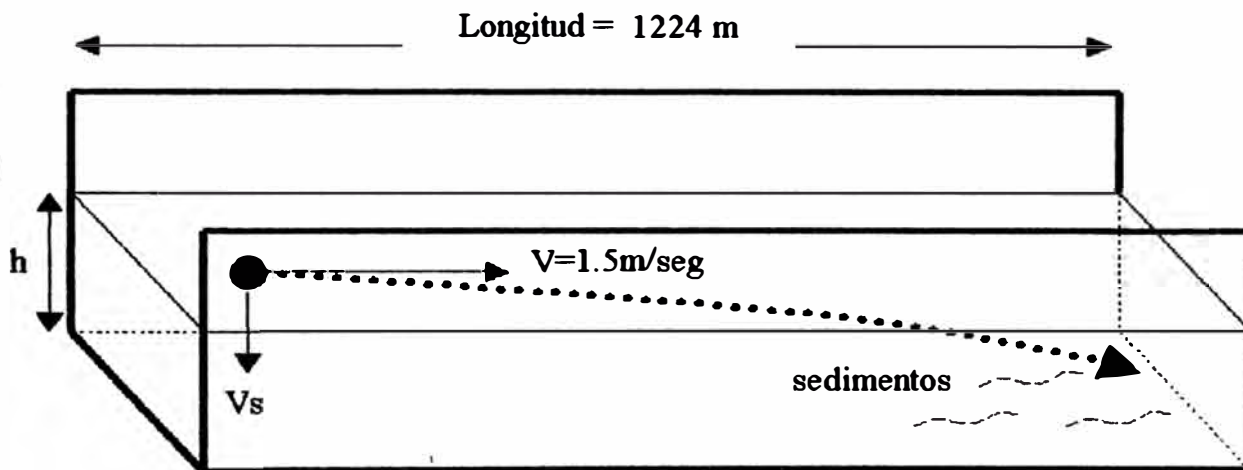
Segundo: Ahora calcularemos la longitud horizontal a lo largo del Túnel Victoria en donde van a ir precipitando todos los sedimentos hasta llegar cerca de la bocamina donde se encuentra la Planta de Sedimentación.

$$\text{Longitud} = (V) \times (\text{Tiempo})$$

$$\text{Longitud} = (1.5 \text{ m/seg}) \times (13.6 \text{ min}) \times (60 \text{ seg/min})$$

$$\text{Longitud} = 1224 \text{ metros.}$$

DIAGRAMA DE SEDIMENTACION



El agua una vez neutralizada pasará a una poza de sedimentación, donde el líquido decantado será usado una parte en la Planta Concentradora Victoria y el resto será vertido al río Yauli; y los sedimentos serán depositados en la cancha de relave de Rumichaca. Los sedimentos acumulados durante un día producirán 67.27 Toneladas de lodo esto se obtiene de la siguiente manera:

Si:

Para un litro de muestra se produce 1.46 gramos de lodo

Para 32 000 litros se producirán x gramos de lodo

Entonces para $32 \text{ m}^3/\text{min}$ se obtienen 46.72 Kg./min de lodo, y para un día se obtendrán 67.27 Toneladas.

La Planta de Neutralización se ubicará en interior mina y la Planta de Sedimentación se ubicará en un área adyacente a la bocamina del Túnel Victoria y se tratarán aguas ácidas a razón de $46\ 080 \text{ m}^3/\text{día}$.

6.2 : Plan Maestro:

Para el manejo de Aguas Ácidas; comprenderá la siguiente descripción de equipos, obras y actividades:

- **04 Tanques de lechada de Cal**
1.2 m x 1.2 m de diámetro con agitador
- **Preparación de una cámara de neutralización en un área de 170 m^2 en interior mina a 1224 metros de la bocamina.**
- **Ensanchamiento y profundización de la cuneta del Túnel Victoria. Actualmente con una sección de $0.70 \text{ m} \times 0.30 \text{ m}$ ampliándola a $1.00 \text{ m} \times 0.45 \text{ m}$ a lo largo de los 1224 m.**
- **Construcción de compuertas de estrangulamiento cada 5 metros (desde la planta de neutralización hasta la bocamina) para producir turbulencia y permitir que se mezclen la lechada de Cal con el agua ácida. Además de evitar una precipitación temprana y por consiguiente la acumulación de sedimentos a lo largo de la cuneta del túnel.**
- **02 dos Pozas de Sedimentación (01 en operación y 01 en Stand By)**
 $163.63 \text{ m} \times 6 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ (cada una)
- **Excavación de Pozas de Sedimentación en un área de:**
 2000 m^2

Actividades:

- Monitoreo, pilotaje
- Diseño, ingeniería
- Obras civiles.

6.3 : Pruebas de Aguas Ácidas:

Para definir los parámetros de diseño se efectuaron las siguientes pruebas de neutralización.

6.3.1.- Pruebas de Neutralización:

- ☛ Para las pruebas de neutralización inicialmente se mezclaron las muestras de las aguas ácidas de los niveles 370 y 500 en proporción a sus flujos. También se han hecho pruebas con otras muestras como: nivel 820 (línea de concesión con mina Carahuacra), Efluente total San Cristóbal (en superficie), nivel 820 (tope del By Pass 051 Sur) y por último en la bocamina del Túnel Victoria antes y después de su derivación de las aguas ácidas de los niveles 370 y 500 hacia este.
- ☛ Como agente neutralizante se utilizó Cal viva industrial (CaO al 85%) por su fácil disponibilidad y por que forma un producto de neutralización estable Yeso. Con un pH de 9.0 en promedio se logró precipitar la mayor parte del Manganeseo (Mn) inicialmente presente, eliminando el Mn se eliminan también los otros metales disueltos tales como Fe, Zn, Cu, As y Pb.

Los siguientes son un resumen de las pruebas de neutralización que se han realizado en el laboratorio de Andaychagua para diferentes puntos de monitoreo. Estas pruebas se han realizado en el período septiembre de 1997 a agosto de 1998, y son las pruebas más representativas que se han tomado para ser presentadas en esta Tesis de Minas.

Estas pruebas de neutralización se hicieron para determinar los costos que demandaría el consumo de cal para clarificar las aguas ácidas, es por eso que más interés se tomó

en analizar el consumo de cal y el aspecto que iban tomando las muestras al ser neutralizadas. Es en las muestras del Túnel Victoria que se hacen experimentos más analíticos, esto se hace con el fin de poder determinar los parámetros que serían utilizados para el diseño de la Planta de Neutralización y Sedimentación. Los resultados de la neutralización así como también los consumos de Cal se ven en los cuadros: Análisis de Muestras Ácidas A, B y C.

1. En un principio se tomaba una mezcla de las aguas ácidas de los niveles 370 y 500 en proporción a sus flujos y se neutralizaba con cal viva (CaO). Esta muestra resultante era una representación del agua ácida que se mezclaría con las aguas del Túnel Victoria. Las aguas ácidas de los niveles 370 y 500 aún eran drenadas por sus bocaminas. Estas pruebas se realizaban para tener una idea de la carga contaminante que iba a mezclarse con las aguas del Túnel Victoria y cuanto de cal consumiría, y por lo tanto sus costos que significaría su neutralización por separado antes de mezclarse con las aguas del Túnel Victoria.

Se tomaron muestras de:

Nivel 370	0.31 m ³ /min	9%	180 ml
Nivel 500	<u>3.28 m³/min</u>	91%	1820 ml
	3.59 m ³ /min		

Mezcla resultante: 180 ml + 1820 ml = 2000 ml

Para cada una de las muestras a neutralizar.

Primero: Neutralización de las aguas ácidas hasta un pH = 7.0

	<i>pH</i>	<i>consumo de Cal</i>	<i>observaciones</i>
Inicialmente	2.66	0.00 g	amarillo naranja
Finalmente	7.12	1.85 g	naranja

Segundo: *Neutralización de las aguas ácidas hasta un pH = 9.0*

	<i>pH</i>	<i>consumo de Cal</i>	<i>observaciones</i>
Inicialmente	2.66	0.00 g	amarillo naranja
Finalmente	9.58	2.34 g	naranja oscuro

Observaciones de la Precipitación:

- ✓ En el lapso de una hora los sedimentos ocupan un volumen aproximado de 150 cm³, en una solución con pH 7.12 que se encuentra semi transparente y con sólidos en suspensión de color naranja. A medida que el tiempo va transcurriendo ocurren más precipitaciones, pero para esto tiene que transcurrir alrededor de un día.
 - ✓ En la segunda muestra con pH 9.58 se tiene que esperar alrededor de cuatro horas para que el sedimento ocupe un volumen de 100 cm³ en una solución semi transparente, con sólidos en suspensión de color naranja oscuro. El precipitado que se observa tiene un color naranja y a medida que pasa el tiempo continuará precipitando más sólidos en suspensión.
2. También se han realizado pruebas de neutralización a muestras provenientes del límite de concesiones entre las minas San Cristóbal y Carahuacra en el nivel 820. Para observar el impacto que provocaban las aguas del nivel 820 antes de mezclarse con las aguas bombeadas y propias de la mina Carahuacra y que salen por el Túnel Victoria.

El volumen de la muestra = 1000 ml

Para cada una de las muestras a neutralizar.

Primero: *Neutralización de las aguas ácidas hasta un pH = 7.0*

	<i>pH</i>	<i>consumo de Cal</i>	<i>observaciones</i>
Inicialmente	5.38	0.00 g	marrón claro
Finalmente	7.12	0.15 g	marrón claro

Segundo: Neutralización de las aguas ácidas hasta un pH = 9.0

	<i>pH</i>	<i>consumo de Cal</i>	<i>observaciones</i>
Inicialmente	5.38	0.00 g	marrón claro
Finalmente	9.00	0.25 g	naranja amarillento

Observaciones de la Precipitación:

- ✓ En la muestra con un pH 9.0 se observa que al cabo de una hora se presenta una solución muy turbia y con un volumen de precipitado de 50 cm³ . Después de tres horas de observación la solución tiene un aspecto semi transparente y con sólidos en suspensión de color amarillento.
3. En superficie existe un punto de monitoreo donde confluyen las aguas ácidas que drenan las bocaminas 370 y 500 con otras aguas superficiales no ácidas. Este punto de monitoreo se encuentra especificado en el PAMA como “Efluente Total de San Cristóbal” y afecta muy seriamente las aguas superficiales al contener muy altos contenidos metálicos y por ser un agua muy ácida. Los análisis que se realizaron a este punto de monitoreo se hicieron con el fin de poder determinar si sus costos de tratamiento serían más favorables que los anteriores y así realizar su tratamiento en superficie muy cerca a la mina San Cristóbal.

El volumen de la muestra = 1000 ml

Para cada una de las muestras a neutralizar.

Primero: Neutralización de las aguas ácidas hasta un pH = 7.0

	<i>pH</i>	<i>consumo de Cal</i>	<i>observaciones</i>
Inicialmente	2.95	0.00 g	amarillo
Finalmente	7.11	0.95 g	naranja oscuro

Segundo: *Neutralización de las aguas ácidas hasta un pH = 9.0*

	<i>pH</i>	<i>consumo de Cal</i>	<i>observaciones</i>
Inicialmente	2.95	0.00 g	amarillo
Finalmente	9.04	1.13 g	naranja oscuro

Observaciones de la Precipitación:

- ✓ Con un pH 9.04 la muestra presenta después de dos horas de haber sido neutralizada con Cal, una solución semi transparente y un volumen de precipitado de 100 cm³.
4. Durante el tiempo en que se realizaron estas pruebas de neutralización se tomó en cuenta todos los posibles puntos de monitoreo que entran en juego en la contaminación de las aguas del Túnel Victoria. Este punto de monitoreo toma referencia al punto donde confluyen todas las aguas filtradas en el nivel 820 Sur, es decir donde se originan las aguas del nivel 820 por filtración (muy cercano al tope). Todas las aguas reunidas por filtración conforman el caudal de aguas que drenan por la bocamina del Túnel Victoria. Este punto de monitoreo se llama “Tope del By Pass 051 Sur” y pertenece a la mina San Cristóbal en su nivel más profundo donde filtran todas las aguas superficiales y del interior de la mina.

El volumen de la muestra = 1000 ml

Para cada una de las muestras a neutralizar.

Primero: *Neutralización de las aguas ácidas hasta un pH = 7.0*

	<i>pH</i>	<i>consumo de Cal</i>	<i>observaciones</i>
Inicialmente	5.80	0.00 g	amarillo
Finalmente	7.04	0.06 g	naranja

Segundo: Neutralización de las aguas ácidas hasta un pH = 9.0

	<i>pH</i>	<i>consumo de Cal</i>	<i>observaciones</i>
Inicialmente	5.80	0.00 g	amarillo
Finalmente	9.82	0.17 g	naranja

Observaciones de la Precipitación:

✓ La segunda muestra con un pH 9.82 se presentó con un aspecto turbio amarillento de partículas en suspensión sin precipitar. Los sedimentos más pesados precipitaron en seis minutos ocupando un volumen de 50 cm³, los otros sedimentos precipitaron al día siguiente mostrando una precipitación total de los sedimentos.

5. Dentro del análisis a las pruebas de neutralización que se realizaron a las aguas del Túnel Victoria se tomaron en cuenta el análisis de las aguas antes y después de la derivación de las aguas ácidas de los niveles 370 y 500 de la mina San Cristóbal. Aquí haremos un estudio del consumo de Cal a las aguas del Túnel Victoria antes de la derivación de las aguas ácidas.

El volumen de la muestra = 1000 ml

Para cada una de las muestras a neutralizar.

Primero: Neutralización de las aguas ácidas hasta un pH = 7.0

	<i>pH</i>	<i>consumo de Cal</i>	<i>observaciones</i>
Inicialmente	5.41	0.00 g	marrón
Finalmente	7.20	0.07 g	marrón claro

Segundo: Neutralización de las aguas ácidas hasta un pH = 9.0

	<i>pH</i>	<i>consumo de Cal</i>	<i>observaciones</i>
Inicialmente	5.41	0.00 g	marrón
Finalmente	9.00	0.21 g	marrón claro

Observaciones de la Precipitación:

- ✓ En la muestra con pH 7.20 se presenta un precipitado que ocupa unos 40 cm³ y la solución a tomado un color marrón claro por la presencia de sólidos suspendidos aún en la solución. Estos sedimentos precipitaron en un lapso de quince minutos después de la neutralización.

 - ✓ En la segunda muestra con pH 9.00 se observa que la solución tiene un color más claro y su precipitado ocupa un volumen de 60 cm³ para un tiempo transcurrido de veinte minutos después de la neutralización, pero aún se observan sólidos suspendidos en la solución que irán precipitando a medida que la solución esté más tiempo en reposo.
6. Las pruebas que se realizaron a las muestras del Túnel Victoria después de la derivación de las aguas ácidas, se observó un incremento en la acidez y un incremento en el consumo de cal que ya se había observado en los análisis de las pruebas de neutralización de las muestras mezcladas de los niveles 370 y 500 en el laboratorio. Es así que estas últimas pruebas nos dan una idea más exacta del agua ácida del Túnel Victoria y en base a ellas se tomaron los parámetros para el diseño de la Planta de Neutralización y Sedimentación.

El volumen de la muestra = 2000 ml

Para cada una de las muestras a neutralizar.

Primero: *Neutralización de las aguas ácidas hasta un pH = 7.0*

	<i>pH</i>	<i>consumo de Cal</i>	<i>observaciones</i>	
Inicialmente	3.05	0.00 g	naranja	amarillento
Finalmente	7.00	0.57 g	naranja	

CUADRO N° 10

ANALISIS DE MUESTRAS ACIDAS
A) PARA MUESTRAS SIN NEUTRALIZAR

En miligramos por litro

DESCRIPCION DE LA MUESTRA	pH	TSS	Pb	Cu	Zn	Fe	As	Mn
Mezcla de los niveles 370 y 500	2.56	178	2.80	35.93	229.53	583.00	0.59	165.81
Linea de concesión del Nivel 820	5.38	138	0.92	0.63	43.71	38.72	0.05	117.00
Efluente total San Cristóbal	2.95	464	3.70	23.97	143.06	214.70	0.42	97.08
Tope By Pass 051 Sur Nivel 820	5.80	152	0.98	7.82	13.81	16.22	0.71	57.81
Túnel Victoria antes de derivación de aguas ácidas	5.41	375	0.17	0.54	52.70	13.52	0.08	87.83
Túnel Victoria después de derivación de aguas ácidas	3.05	581	0.81	7.75	20.23	55.78	0.04	142.21
VALORES MAXIMOS PERMISIBLES	5.5 a 10.5	50	0.50	1.00	3.00	2.00	0.50	0.50

Valores Máximos Permisibles : Resolución Ministerial N° 011 - 96 EM/VMM.

CUADRO N° 11

ANALISIS DE MUESTRAS ACIDAS
B) PARA MUESTRAS NEUTRALIZADAS A UN pH ≈ 9.0

En miligramos por litro

DESCRIPCION DE LA MUESTRA	pH	TSS	Pb	Cu	Zn	Fe	As	Mn
Mezcla de los niveles 370 y 500	9.58	30	0.50	0.07	0.71	0.39	0.012	0.51
Línea de concesión del Nivel 820	9.00	27	0.60	0.04	0.63	0.34	0.006	0.45
Efluente total San Cristóbal	9.04	53	0.42	0.05	0.47	0.29	0.001	0.49
Tope By Pass 051 Sur Nivel 820	9.82	21	0.33	0.04	0.68	0.26	0.002	0.60
Túnel Victoria antes de derivación de aguas ácidas	9.00	54	0.07	0.01	0.08	0.06	ND	0.26
Túnel Victoria después de derivación de aguas ácidas	9.18	64	0.25	0.05	0.23	0.24	ND	0.42
VALORES MAXIMOS PERMISIBLES	5.5 a 10.5	50	0.50	1.00	3.00	2.00	0.50	0.50

Valores Máximos Permisibles : Resolución Ministerial N° 011 – 96 EM/VMM.

N.D. : No se Detecto

CUADRO N° 12

ANALISIS DE MUESTRAS ACIDAS
C) CONSUMO DE CAL VIVA (CaO)

DESCRIPCION DE LA MUESTRA	Caudal m ³ /min	pH Inicial	pH Final	Gramos Litro	TMS Año	Miles Soles Año	Miles Dólares Año
Mezcla de los niveles 370 y 500	3.59	2.66	9.58	1.17	2207	566.31	169.04
Línea de concesión del Nivel S20	21.60	5.38	9.00	0.25	2838	728.23	217.38
Efluente total San Cristóbal	4.94	2.95	9.04	1.13	2934	752.86	224.73
Tope By Pass 051 Sur Nivel S20	5.99	5.80	9.82	0.17	535	137.28	40.97
Túnel Victoria antes de derivación de aguas ácidas	27.65	5.41	9.00	0.21	3051	782.88	233.69
Túnel Victoria después de derivación de aguas ácidas	32.00	3.05	9.18	0.70	11773	3020.95	901.77

Tipo de cambio : 3.35 Soles/ dólar

Precio de Cal : 256.6 Soles/TMS (CUT- OFF)

Pureza de Cal : 80 a 85 %

Segundo: *Neutralización de las aguas ácidas hasta un pH = 9.0*

	<i>pH</i>	<i>consumo de Cal</i>	<i>observaciones</i>
Inicialmente	3.05	0.00 g	naranja amarillento
Finalmente	9.18	1.40 g	marrón oscuro

Observaciones de la Precipitación:

- ✓ En la solución neutralizada que tiene un pH 9.18 se presenta una precipitación de los sedimentos en forma rápida luego que se dejó en reposo. Los sedimentos más pesados precipitaron en 4.5 minutos, luego minutos más tarde continuaron precipitando los más livianos hasta quedar la solución semi transparente con algunos sólidos en suspensión que precipitaron dos horas más tarde.

6.3.2.- Pruebas de Sedimentación:

Las pruebas de sedimentación se realizaron con muestras de aguas ácidas neutralizadas del Túnel Victoria (antes y después de la derivación de las aguas de los niveles 370 y 500 hacia este) a un pH aproximado de 9.0, ver cuadro de Pruebas de Pilotaje de Aguas del Túnel Victoria adjunto.

Los resultados fueron los siguientes:

- ❖ La adición de Lechada de Cal al curso de la cuneta aumenta la velocidad de sedimentación.
- ❖ Se observó que aún después de precipitar buena parte de los sedimentos quedaban sólidos suspendidos en la solución que tardarían en sedimentar, estos sedimentos tuvieron que ser filtrados para obtener una solución más limpia.
- ❖ Con las pruebas de sedimentación se determinó que en el lapso de 4.5 minutos habían precipitado la mayor parte de sólidos pesados y que la solución se

CUADRO Nº 13

PRUEBAS DE PILOTAJE AGUAS TÚNEL VICTORIA

Periodo de monitoreo Septiembre 1997 a Agosto 1998

DESCRIPCION DE LA MUESTRA	Neutralización	pH Final	Cal (g/lt)	Lodo (g/lt)	Velocidad Sedimentación (minuto/metro)	Velocidad del fluido (metros/seg.)	TSS (mg/lt)
Túnel Victoria antes de derivación de las aguas ácidas	NO	5.41	---	---	$16.0 / 0.355 = 45.1$	1.42	375
Muestra neutralizada del T.V.	SI	7.85	0.10	1.14	$3.0 / 0.16 = 18.75$	---	54
Muestra neutralizada del T.V.	SI	9.00	0.31	1.26	$3.5 / 0.16 = 21.88$	---	45
Túnel Victoria después de derivación de las aguas ácidas	NO	3.05	---	---	$25.0 / 0.355 = 70.4$	1.50	581
Muestra neutralizada del T.V.	SI	6.70	0.29	2.12	$3.0 / 0.16 = 18.75$	---	64
Muestra neutralizada del T.V.	SI	9.18	0.70	2.62	$4.5 / 0.16 = 28.13$	---	52

NOTA: Estas muestras representativas han sido tomadas antes y después de la derivación de las aguas ácidas de los niveles 370 y 500 hacia el Túnel Victoria.

encontraba dentro de los Niveles Máximos Permisibles dispuestos por MEM.

- ❖ No se realizó la prueba de sedimentación con floculante el cual hubiera ayudado en el incremento en su velocidad de sedimentación de los sólidos suspendidos.

6.4 : Diseño de Procesos:

6.4.1.- Selección del Sitio:

Las principales consideraciones para la selección de la ubicación de la Planta de Neutralización dentro de interior mina se debe a la facilidad para realizar el tratamiento de las aguas ácidas. Por cálculos realizados hemos determinado una distancia de 1224 m desde la bocamina donde se ubicará la planta. En esta planta se preparará la mezcla de lechada de cal y luego se verterá al curso de las aguas ácidas para la neutralización.

Se construirá además un silo de cal adyacente a la bocamina con capacidad para 05 días de consumo. Esta se ubicará en superficie para tener fácil acceso al ingreso de camiones de transportes de cal a granel. Este lugar resulta también conveniente para el cargío de cal en los carros mineros con capacidad de 2 m³ cada uno, en donde la locomotora jala 6 carros por viaje.

Se ubicará también dentro del área destinada para la Planta de Neutralización un depósito para el almacenaje de Cal que se utilizará en el consumo de dos días , equivalente a 64.5 TM. Para esta cantidad de Cal se toma en cuenta el ciclo que realiza la locomotora en transportar la Cal y es el siguiente:

Distancia : 1224 m

Tiempo de Ida : 8 minutos.

Tiempo de Regreso : 6 minutos

Tiempo de Cargío : 6 minutos.

Tiempo de Descarga : 40 minutos

Ciclo total : 60 minutos

En un ciclo se transportan : $2 \text{ m}^3 \times 6 \text{ carros} = 12 \text{ m}^3 / \text{viaje} = 10.524 \text{ TM} / \text{viaje}$.

Para el abastecimiento de Cal a la Planta de Neutralización son necesarios : 64.5 TM

Por lo cual se necesitarán : $64.5 \text{ TM} / 10.524 \text{ TM} = 6.1 \approx 6$ viajes

Y estos seis viajes se realizará en : $60 \text{ minutos} \times 6 = 6$ Horas.

Por lo cual se tendrá que disponer de la locomotora diariamente de seis horas para el normal funcionamiento de la Planta de Neutralización.

La Poza de Sedimentación también se ubicará adyacente a la bocamina, en el lugar en donde antes funcionaban las oficinas administrativas de la mina Carahuacra. Esto se debe a la necesidad de contar con un área de 2000 m² para las pozas y un área de 1000 m² para el secado del lodo. Esta ubicación es estratégica por cuanto facilitaría la sedimentación de las aguas drenadas y neutralizadas de la mina, también por encontrarse en un nivel superior (cota de 4252.61 m.s.n.m.) al del tanque de agua (cota del borde superior del tanque 4251.87 m.s.n.m.) que abastece a la Planta Concentradora Victoria de agua limpia. El agua se transportaría por gravedad al tanque de agua aprovechando su diferencia de cota en 0.74 m y su corta distancia de 200 m.

Este lugar es ideal para la manipulación de equipos de limpieza, y para el transporte de los lodos ya secos a la nueva cancha de relave de Rumichaca que cuenta con suficiente espacio para la acumulación de estos sólidos.

6.4.2.- Diseño del silo de cal:

Para el diseño de la capacidad del silo de cal asumiremos el caso mas critico en cuanto a su transporte con un solo camión de 10 m³ . La cal será comprada a la fábrica Cut Off que se encuentra ubicada a 12 Km de la bocamina del Túnel Victoria.

Ubicación de fabrica de cal : Cut Off – Junín

Ciclo aproximado de transporte para un solo camión de 10 m³

Fabrica de cal – bocamina: 1.5 horas

Bocamina - fabrica de cal: 1.0 horas

Imprevistos: 0.5 horas

Total: 3.0 horas

El consumo de cal en la Planta de Neutralización por día es 32. 256TM equivalente a 36.77 m^3 . El peso específico de la cal es 0.877 TM/m^3

Ciclo total del camión	=	03 horas
Número de viajes por día	=	04 viajes
Total de m^3 de cal por día	=	40 m^3

Entonces por semana es posible disponer de cal en el mejor de los casos (05 días) con:

$$40 \text{ m}^3 \times 5.0 \text{ días} = 200 \text{ m}^3$$

Por lo cual concluimos que al ritmo de disponibilidad de cal calculado anteriormente tendríamos un margen de holgura (necesario para factores como falta de transporte, escasez de cal, huelgas, imprevistos, etc.) del orden de:

$$200 \text{ m}^3 / 36.77 \text{ m}^3 = 5.43 \approx 5.0 \text{ días.}$$

$$5.0 \text{ días} - 1.0 \text{ día de consumo} = 4.0 \text{ días de holgura.}$$

Lo cual nos aseguraría una continuidad en las operaciones de la Planta de Neutralización

Por lo tanto se puede diseñar el silo de cal de la siguiente forma:

El silo sería construido de material noble con techo de calamina y madera

Su altura de almacenamiento sería de 2 metros

Su altura del techo de 4 metros

Su volumen de almacenamiento de 200 m^3

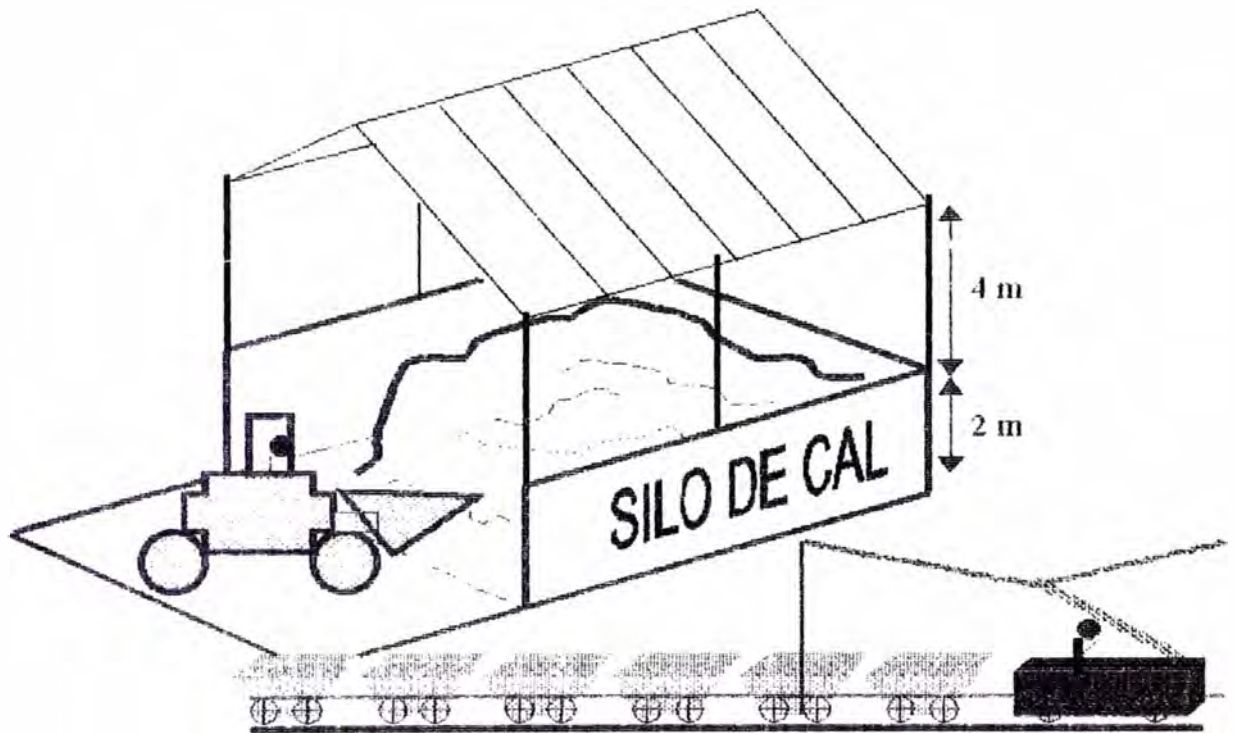
Su área de almacenamiento de 100 m^2

Su área de descarga y cargío de 40 m^2

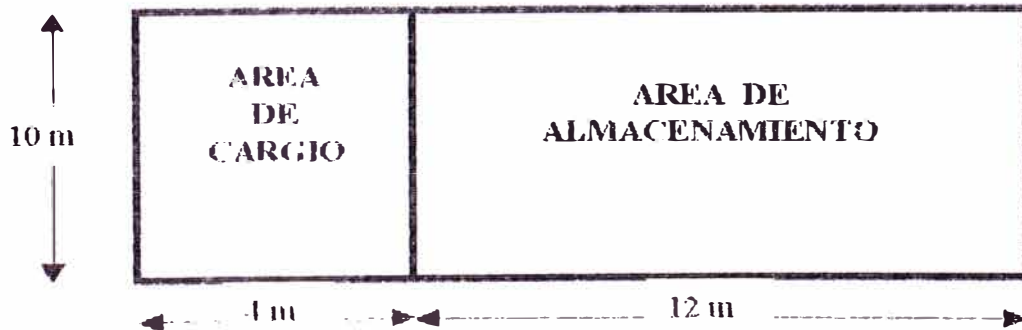
El área de descarga y cargío sería usado para el ingreso de los camiones donde tendrían las facilidades para descargar la cal a granel y también para el cargío con cargador frontal a los carros mineros. La vía de carril de la locomotora se encuentra muy próximo al área donde se encontrará el silo de cal (Ver dibujo).

DISEÑO DEL SILO DE CAL

DISEÑO ESPACIAL



VISTA EN PLANTA



6.4.3.- Selección de Bomba :

La selección de la Bomba se efectuará en base de catálogos y performances (según fabricantes).

$$H_d = 1 + 1.20 + 1224 \times 0.4\% = 7.096 \text{ metros} \times 3.281 \text{ pies/m}$$

$$H_d = 23.28 \text{ pies}$$

$$G.P.M. = 1.36 \text{ m}^3 \times (1000 \text{ lt/ m}^3) \times (\text{galón USA}/3.785 \text{ lt}) / 2 \text{ min.} = 179.65$$

$$\rho = 1.000 \text{ Kg/ lt}$$

Potencia requerida en el eje de la Bomba:

$$B.H.P. = \frac{G.P.M. \times \rho \times H_d}{\text{Factor HP} \times E_f \times F.S.} = \frac{179.65 \times 1.000 \times 23.28}{3960 \times 0.5 \times 0.9}$$

$$\text{Factor HP} \times E_f \times F.S. \quad 3960 \times 0.5 \times 0.9$$

$$B.H.P. = 2.34 \approx 3 \text{ HP.}$$

Podría asumirse en adquirir una bomba sumergible de 3 HP (considerando eficiencias de motor, pérdida por transmisión, etc).

6.4.4.- Cálculos para el diseño del Vertedero Circular :

Para el diseño del Vertedero Circular se han tomado las siguientes variables:

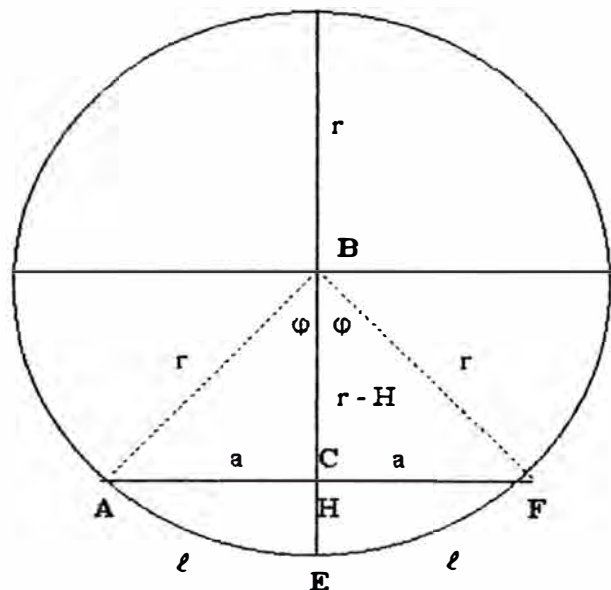
AFE : Sección circular

H : Altura de la sección circular

ℓ : Longitud de arco.

ϕ : Angulo en radianes

r : radio en centímetros



Datos:

V : velocidad superficial de la lechada Cal en el vertedero.

$$V = 30 \text{ m/min ;}$$

$$\ell = \varphi r;$$

$$a = r \text{ Seno } (\varphi);$$

$$H = r (1 - \text{Cos } (\varphi))$$

La tubería a utilizarse es de : $\phi = 15 \text{ cms } \text{ ó } 6''$

Sí $0 \leq H \leq 2r$.

$$\text{Área AFE} = 2 [\text{área ABE} - \text{área ABC}]$$

$$\text{Área AFE} = 2 [\ell r/2 - a (r - H)/2]$$

$$\text{Área AFE} = [\ell r - a (r - H)]$$

$$\text{Área AFE} = [\varphi r^2 - r \text{ seno } (\varphi) [r - r (1 - \text{cos}(\varphi))]]$$

$$\text{Área AFE} = [\varphi r^2 - r \text{ Seno } (\varphi) [\text{Cos}(\varphi)]]$$

$$\text{Área AFE} = [\varphi r^2 - r^2 \text{ Seno } (\varphi) \text{Cos}(\varphi)]$$

$$\text{Área AFE} = r^2 [\varphi - \text{Seno } (\varphi) \text{Cos}(\varphi)]$$

Donde : $\varphi = \text{arc Cos } (1 - H/r)$

Entonces : Caudal del vertedero (Q) = Área AFE x V

Con estos datos podemos determinar el valor de H en el vertedero en el momento de realizar la neutralización de las aguas ácidas con lechada de Cal. Por ejemplo para el caudal de $32 \text{ m}^3/\text{min}$ de aguas ácidas, se necesitan $224.6 \text{ lt}/\text{min}$ de lechada de Cal a una altura H del vertedero de 6.6 cm . Conociendo que el caudal de la cuneta del Túnel Victoria no se mantiene constante en las diferentes estaciones del año se tendrá que determinar sus respectivos Q y H. En el cuadro adjunto podemos determinar los diferentes valores que toman Q y H para diferentes valores del caudal de las aguas ácidas.

6.4.5.- Operación Neutralización:

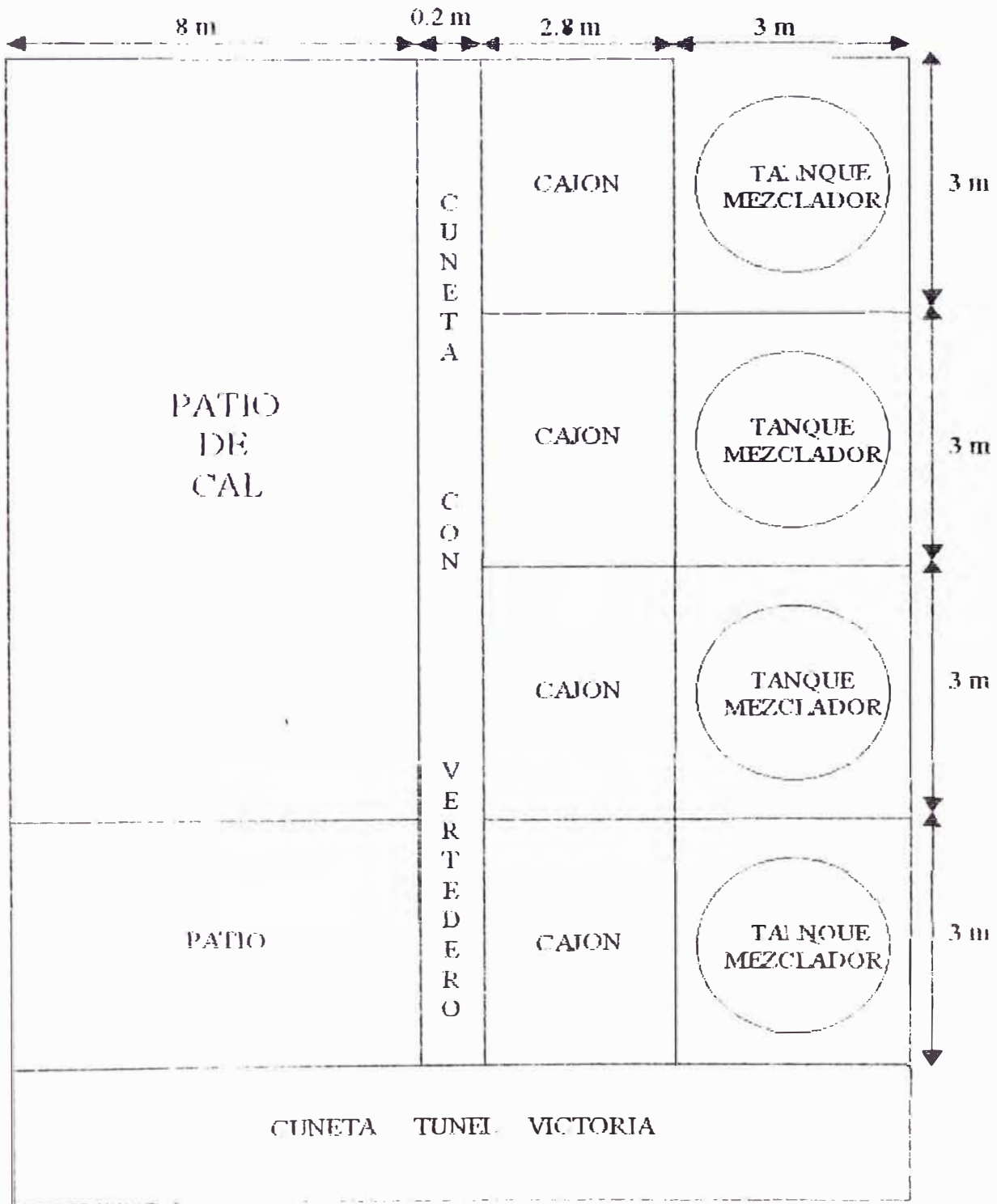
Se preparará una cámara de $14\text{m} \times 12\text{m} \times 3\text{m}$ en interior mina, en un área de 170 m^2 . En esta cámara ubicada a 1224 m de la bocamina se instalarán los cuatro tanques para la preparación de la lechada de cal , un patio para la acumulación de la cal que se necesitará en la neutralización para dos días y cajones de recepción de la lechada de cal. En la cámara de neutralización se preparará la lechada de cal con agua y cal viva, la lechada de cal tendrá una concentración de $0.10 \text{ Kg}/\text{lt}$.

Diseño de la planta de neutralización:

Ubicación: Túnel Victoria a 1224 m de la bocanina

Dimensiones: 14m x 12m x 3m = 170 m².

Diseño de planta:



La mezcla será de esta forma:



Cada tanque con capacidad de 1.36 m³ preparará una mezcla de lechada de cal utilizando agua neutra y cal viva. Anteriormente habíamos calculado que para neutralizar 32 m³/min de agua ácida necesitábamos 224 litros/min de Ca (OH)₂ lo cual nos indica que cada tanque nos dará una mezcla de lechada de cal para ser utilizada en 6 minutos y cuatro tanques proporcionarán lechada para 24 minutos esto nos asegura la continuidad de la neutralización de estas aguas. Por lo tanto los cuatro tanques trabajarán en forma conjunta y sin interrupción.

El agua que se necesitará para la preparación de la lechada de cal será bombeada desde bocamina. Al momento de comenzar a funcionar la Planta de Tratamiento se utilizará agua limpia de superficie y después se utilizará el agua clarificada que produzca esta. Una vez preparada la lechada de cal estas serán vaciadas a los cajones de recepción donde serán conducidas por el personal de la planta en forma gradual hacia el vertedero circular. Se tomarán las medidas respectivas del caudal de aguas ácidas y con el cuadro de caudales de lechada se determinara la medida de H. Conociendo la medida de H se podrá determinar la cantidad aproximada de lechada para la neutralización de las aguas ácidas. Para ayudar en la neutralización de estas aguas se construirán compuertas de estrangulamiento cada cinco metros a lo largo de la cuneta del Túnel Victoria, las aguas se mezclarán y se producirá la neutralización deseada. Los trabajos a realizarse en los 1224 m de cuneta del Túnel Victoria serán la construcción de compuertas de estrangulamiento cada 5 m, el ensanchamiento y la profundización de la cuneta para prevenir mayores avenidas de aguas ácidas.

6.4.6.- Operación Sedimentación :

Se preparará un área de 2000 m² para la construcción de dos pozas de sedimentación. Esta área se encontrará adyacente a la bocamina del Túnel Victoria donde antes funcionaban las oficinas de la Unidad de Carahuacra. Se harán trabajos de remoción de escombros y excavaciones con dimensiones de 3 m de profundidad por 12 m de ancho

CUADRO N° 14

**Caudales Máximos y Mínimos de la cuneta del Tnel Victoria.
Para diferentes valores de H medidos en el Vertedero Circular**

H (cm)	Angulo (rad)	Sección AFE (cm ²)	Q vertedero (lt / min)	Q cuneta T.V. (m ³ / min)
1.0	0.522315	5.0694	15.18	2.2
2.0	0.747524	14.0070	42.02	6.0
3.0	0.927295	25.1604	75.48	10.6
4.0	1.085278	37.8305	113.49	16.2
4.5	1.159279	44.5879	133.76	19.1
4.7	1.188197	47.3544	142.06	20.3
4.9	1.216781	50.1532	150.46	21.5
5.0	1.230959	51.5638	154.69	22.1
5.2	1.259107	54.4059	163.22	23.3
5.4	1.287002	57.2739	171.82	24.5
5.5	1.300864	58.7167	176.15	25.2
5.7	1.328430	61.6188	184.86	26.4
5.9	1.355811	64.5406	193.62	27.7
6.0	1.369438	66.0082	198.02	28.3
6.1	1.383028	67.4799	202.44	28.9
6.2	1.396583	68.9554	206.87	29.6
6.3	1.410106	70.4344	211.30	30.2
6.4	1.423599	71.9166	215.75	30.8
6.5	1.437065	73.4019	220.21	31.5
6.6	1.450506	74.8898	224.67	32.1
6.7		76.3801	229.14	32.7
6.8	1	77.8726	233.62	33.4
6.9	1.49071	79.3669	238.10	34.0
7.0	1.504080	80.8629	242.59	34.7
7.2	1.530786	83.8585	251.58	35.9
7.4	1.557463	86.8573	260.57	37.2
7.5	1.570796	88.3573	265.07	37.9
7.7	1.597466	91.3569	274.07	39.2
7.9	1.624155	94.3544	283.06	40.4
8.0	1.637512	95.8517	287.56	41.1
8.2	1.664266	98.8420	296.53	42.4
8.4	1.691086	101.8248	305.47	43.6
8.5	1.704528	103.3127	309.94	44.3
9.0	1.772154	110.7064	332.12	47.4
10.0	1.910633	125.1508	375.45	53.6
11.0	2.056314	138.8841	416.65	59.5
12.0	2.214297	151.5542	454.66	65.0
13.0	2.394008	162.7076	488.12	69.7

y 170 m de largo. Los trabajos estarán a cargo de contratistas tanto en las obras civiles, como también en los equipos y maquinarias, solamente la supervisión de los trabajos estarán a cargo del departamento de Asuntos Ambientales.

En el proceso de sedimentación cuando la Planta de Tratamiento empiece a trabajar, recibirá el agua proveniente del Túnel Victoria que ha pasado por un proceso de neutralización a lo largo de los 1224 m desde la planta de neutralización. El agua ingresará a una de las pozas que se encontrará en operación, donde los sedimentos irán decantando y el agua saldrá clarificada. La poza una vez colmatada de sedimentos se procederá a su limpieza y se comenzará a usar la otra.

Según cálculos realizados se ha determinado que para un caudal de 32 m³/min la poza se llenará de sedimentos a los 56 días y ocupará un volumen de 2700 m³.

Se preparará también un área de 1000 m² próximo a las pozas de sedimentación para el secado de los lodos, una vez secos los lodos se procederá a su traslado a la nueva cancha de relaves de Rumichaca. En la limpieza de las pozas se utilizará un cargador frontal y en el transporte de los lodos secos de camiones.

6.4.7.- Cálculo para el diseño de la Planta de Sedimentación:

Para este cálculo se han tomado datos de las pruebas del laboratorio así como también de campo.

Procedencia: Bocamina Túnel Victoria

Datos:

Muestra de agua	Se tomará una muestra del agua del Túnel Victoria después de la derivación de las aguas ácidas de los niveles 370 y 500.
-----------------	--

pH	3.05
----	------

Aspecto	Naranja amarillento
---------	---------------------

Pruebas:

Muestra	:	2000 ml
Cal	:	0.70 g/lt
pH inicial	:	3.05
pH final	:	9.18
Lodos obtenidos	:	2.62 g/lt
Velocidad de Sedimentación (Vs)	:	28.13 minutos / m = 51.2 m / día
Caudal a tratar	:	32 m³/ minuto = 46 080 000 lt / día
Lodo total a obtener (TS):		

$$TS = (2.62 \text{ g / lt }) \times (46 \ 080 \ 000 \text{ lt / día})$$

$$TS = 120.73 \text{ Toneladas / día}$$

Volumen total de lodo por día (Vd):

Si el peso específico del lodo es : 2.5 Toneladas / m³

$$Vd = \frac{ (120.73 \text{ Toneladas / día}) }{ (2.5 \text{ Toneladas / m}^3) }$$

$$Vd = 48.29 \text{ m}^3/\text{día}$$

Cálculo del Volumen de las Pozas de Sedimentación:

Datos:

Longitud de la poza de sedimentación : **L**

Ancho de la poza de sedimentación : **W**

Profundidad de la poza de sedimentación : **H**

Volumen de la poza de sedimentación : **V**

Cálculo:

$$Vs = Q / WL$$

$$V_s = \frac{46\,080 \text{ m}^3/\text{día}}{WL}$$

$$WL = \frac{Q}{V_s} = \frac{46\,080 \text{ m}^3/\text{día}}{51.2 \text{ m/día}}$$

$$WL = 900 \text{ m}^2$$

$$V = WLH$$

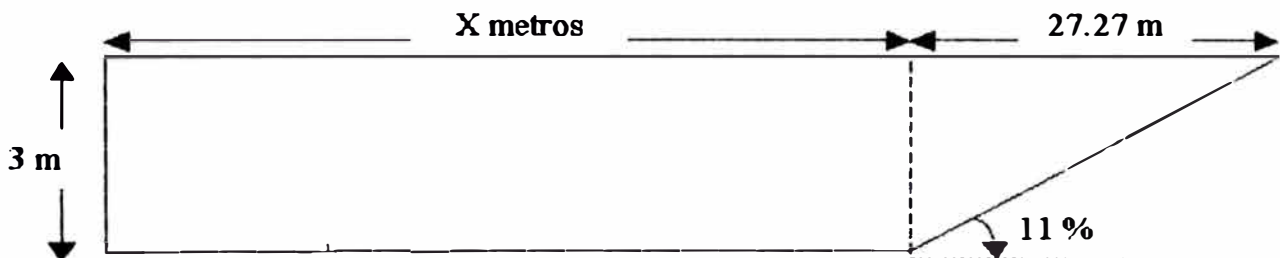
$$\text{Si : } H = 3.0 \text{ metros}$$

$$V = WL(3.0 \text{ m})$$

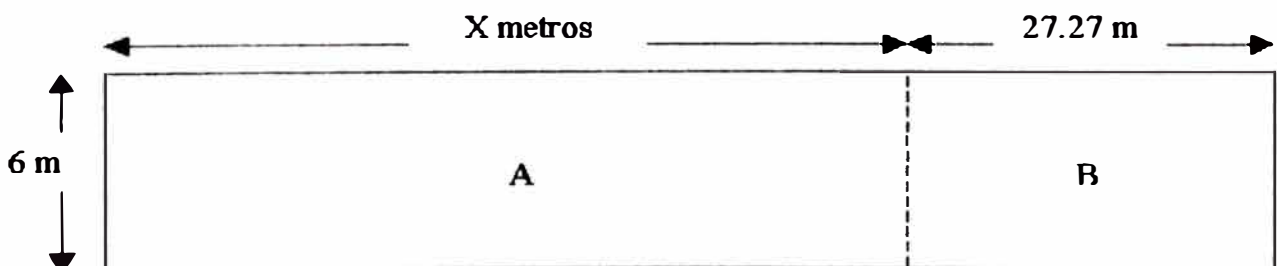
$$V = (900 \text{ m}^2) \times (3.0 \text{ m}) = 2700.0 \text{ m}^3$$

Diseño de la poza:

Vista en Perfil



Vista en Planta



Hallaremos los volúmenes parciales de la poza de sedimentación:

$$V = V_A + V_B = 2700 \text{ m}^3$$

Volumen parcial de A: V_A

$$V_A = (X) \times (6.0 \text{ m}) \times (3.0 \text{ m})$$

$$V_A = 18X \text{ m}^2$$

Volumen parcial de B: V_B

$$V_B = (27.27 \text{ m}) \times (6.0 \text{ m}) \times (3.0 \text{ m}) / 2$$

$$V_B = 245.43 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen Total : } V = 2700 \text{ m}^3$$

$$V_A + V_B = V$$

$$18X \text{ m}^2 + 245.43 \text{ m}^3 = 2700 \text{ m}^3$$

$$18X \text{ m}^2 = 2454.57 \text{ m}^3$$

$$X = 136.36 \text{ metros}$$

Por lo tanto las dimensiones de la Poza de Sedimentación son:

$$\text{Longitud : } L = 136.36 \text{ m} + 27.27 \text{ m} = 163.63 \text{ m}$$

$$\text{Ancho . } W = 6.00 \text{ m}$$

$$\text{Profundidad : } H = 3.00 \text{ m}$$

Limpieza de la Poza de Sedimentación:

Para saber que tiempo necesitará la poza para llenarse de lodo y realizar así su limpieza, tenemos que hacer el siguiente cálculo:

$$\text{Volumen de la poza: } 2700 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen diario de sedimentos: } 48.29 \text{ m}^3$$

$$\text{Entonces el número de días es : } 2700 \text{ m}^3 / 48.29 \text{ m}^3 = 56 \text{ días}$$

Por lo tanto se necesitarán alrededor de dos meses para poder hacer la limpieza y comenzar a usar la otra poza de sedimentación que se encuentra en Stand by.

6.5 : Fuerza Laboral

Planilla de Salario Mensual	Hombres / turno	Total
- Planta de Neutralización y Sedimentación	2	4
- Interior mina limpieza de cuneta y control del pH.	2	4
Total		8

CAPITULO 7

ASPECTO ECONOMICO

7.1 : Introducción

El estudio comprende calcular el costo de todo el proceso de neutralización y sedimentación de las aguas ácidas de mina. Esto es desde la construcción de las plantas de neutralización y sedimentación hasta el costo diario de su operación y mantenimiento.

7.2 : Costo de Inversión

En esta parte del cálculo no se consideran en el costo de inversión los equipos y maquinarias que pertenecen a contratistas y que se utilizarán en la construcción de las plantas.

7.2.1.- Costo de Equipos y Materiales

- 04 Tanques Mezcladores de 1.2 m x 1.2 m ($\phi = 1.2\text{m}$) con agitador	\$	8000.00
- 01 Bomba de 3 HP	\$	1000.00
- 1224 m de tubería de polietileno ($\phi = 4''$) e instalación	\$	8206.31
- En la cuneta del Túnel Victoria ensanchar 0.30 m y profundizar 0.15 m, en 1224 m de distancia. Esto incluye limpieza del desmonte	\$	1985.98
- Colocar 244 compuertas cada 5 m en la cuneta del Túnel Victoria en 1224 m de distancia.	\$	3029.50
- Construcción del silo de cal cerca de la bocamina.	\$	3720.00
- Preparación de una cámara de 170 m ² en interior mina	\$	15094.00
- Construcción de lozas, cajones y vertedero en la estación de mezclado.	\$	2499.81
- Remoción de escombros en el área donde se prepararán las pozas de sedimentación y de secado de lodos	\$	1008.00

- Excavación con limpieza de desmonte para la construcción de las dos pozas de sedimentación.	\$ 4852.40
- Construcción de 02 pozas de sedimentación con concreto armado.	\$ 136050.19
- Construcción de cuneta de concreto desde bocamina a pozas de sedimentación, y de pozas a tanque de agua.	\$ 12927.03
- Imprevistos 10%	\$ 19837.32
TOTAL INVERSIÓN	\$ 218210.54

7.2.2.- Depreciación de la Planta de Tratamiento

Inventario de Reservas a Marzo de 1996 :

Probado + Probable = 5'827,660 TM

Vida de la mina = 5'827,660 TM / 666,000 TM = 8.7 ≈ 9 años

Producción de mineral = 666,000 TM / año ó 55,500 TM / mes

Depreciación Anual Planta de Tratamiento :

D = \$ 218,210.54 / 9 años = \$ 24,245.62 / año

Depreciación de Planta de Tratamiento por tonelada producida por mina :

Dt = \$ 24,245.62 / 666,000 TM/año = \$ 0.036 / TM

Costo de Inversión Planta de Tratamiento :

CI = \$ 0.036 / TM

7.3 : Costo de Operación

7.3.1.- Costos Directos

7.3.1.1.- Personal

Planilla de Salario Mensual

- 08 obreros \$ 500.00 c/u \$ 4000.00

Total \$ 4000.00

7.3.1.2.- Materiales y Análisis

- Cal a granel (costo mensual)	\$	83915.33
- Análisis de muestras (4 veces al mes)	\$	640.00
- Consumo de energía (01 bomba y 04 mezcladores)	\$	1222.45
Total	\$	<u>85777.78</u>

7.3.2.- Costos Indirectos

7.3.2.1.- Personal

Planilla de Sueldo Mensual

01 Ingeniero de Asuntos Ambientales	\$	400.00
01 Sobrestante	\$	300.00
Total	\$	<u>700.00</u>

7.3.2.2.- Varios

- Cargio de cal con cargador frontal .	\$	190.00
- Limpieza de lodos con cargador frontal .	\$	620.00
- Volquete para transporte de lodo seco	\$	845.00
- Locomotora para transporte de cal a interior mina	\$	419.32
Total	\$	<u>2074.32</u>

7.3.3.- Relación Costo / Beneficio

Costo Total = Costo de Cal + Costo de Operación

Costo Total = 901770 + 92552 = US\$ 994,322 / año

Beneficio = En San Cristóbal se obtuvo una utilidad neta mensual de US\$ 404 en 1996 por lo cual de Enero a Diciembre su acumulado fue de US\$ 4'848,000. Esto se debe por el aumento del valor del mineral a US\$ 47.10/t, por la mejora de las leyes de Cu y Zn y el incremento de la producción a 600 t/mes.

CAPITULO 8

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 : Conclusiones:

Después de efectuar el presente estudio llego a las siguientes conclusiones :

El drenaje principal de las aguas ácidas del Túnel Victoria son debido a la filtración de las aguas ácidas provenientes de los tajeos de la mina San Cristóbal y también de la mina Carahuacra.

La ubicación de la Planta de Neutralización en interior mina satisface los requerimientos de la Planta de Tratamiento porque recoge todo el agua ácida proveniente de la mina San Cristóbal y de la mina Carahuacra. Asimismo también se aprovecharía el uso de la locomotora y la falta de espacio en superficie.

La ubicación de la Planta de Sedimentación queda bien determinada porque aprovecha la gradiente del Túnel Victoria y la cota en que se encuentran las pozas de sedimentación con respecto al tanque de agua que abastece a la Planta Concentradora Victoria. La diferencia de cota entre el tanque de agua y las pozas de sedimentación es de 0.74 m. Por lo cual ya no se utilizaría el agua proveniente de Chumpe (agua ácida) y del Túnel Victoria en épocas de sequías.

Con el aprovechamiento de la gradiente negativa de la cuneta del Túnel Victoria se generará la turbulencia necesaria para la neutralización de las aguas ácidas. Con esto se evitará el uso de tanques de neutralización y el consumo de energía.

El uso de los lodos de sedimentación en el futuro, como relleno de las labores mineras. Esto conjuntamente con el relave de la Planta Concentradora Victoria, ya que actualmente solo se utiliza relave en el relleno de la mina Carahuacra.

El agua clarificada de la Planta de Tratamiento sería utilizado no solamente en la Planta Concentradora Victoria , sino también en las labores mineras en trabajos de perforación. Esto se debe ha que en épocas de sequía el agua escasea en la

mina Carahuacra. También sería posible que con un estudio más detallado esta agua se utilizaría en superficie ya sea en lavandería, en consumo humano y de animales.

El costo de tratar las aguas ácidas en el Túnel Victoria es definitivamente menor que el costo de hacer un tratamiento por separado en la minas de San Cristóbal y Carahuacra, como estaba dispuesto antes de la privatización. Por lo que hacer un tratamiento en forma conjunta ahora que las dos unidades pertenecen a una sola compañía, resulta muy ventajoso.

Con el tratamiento de las aguas ácidas mejoraríamos de manera muy significativa la ecología del valle, ya que este se encuentra muy deteriorado. En el río Yauli no existe flora y fauna por encontrarse muy contaminado, y a la vez contamina al río Mantaro. Por lo cual significa una importante inversión para el medio ambiente de la zona central del país.

El aprovechamiento de las áreas adyacentes a la bocamina del Túnel Victoria resultaría muy ventajoso para las labores de tratamiento, porque allí encontramos un área apropiada para la construcción de la Planta de Sedimentación. También porque se tendría las facilidades en el uso de la locomotora para el transporte de la cal a interior mina, el uso de la carretera para el abastecimiento de la cal a granel, para el secado de los lodos y el transporte de lodos secos .

En el Cuadro N° 14 se observan los parámetros que se deben utilizar para una mezcla eficiente de las aguas ácidas con lechada de cal. Asimismo se instruirá a los operadores sobre el uso adecuado del vertedero circular, para poder calcular que cantidad es necesaria de mezcla en el uso diario. Ellos tendrán que determinar la altura H en el vertedero para diferentes caudales de agua ácida en el Túnel Victoria.

La ubicación de la Planta de Neutralización a 1224 m de la bocamina es importante porque se puede efectuar una buena neutralización y sedimentación. A lo largo de este recorrido los sedimentos ya se encuentran dispuestos para una buena sedimentación en la poza adyacente a la bocamina. Si no contáramos con esta longitud de 1224 m para la neutralización y sedimentación a lo largo de la cuneta del Túnel Victoria tendríamos que diseñar una poza de sedimentación más extensa, y por lo tanto necesitaríamos más área adyacente a la bocamina.

Partiendo del ciclo de trabajo planteado teóricamente para la Planta de Tratamiento es necesario adecuarlo a la operación con fines de encontrar los parámetros de eficiencia, considerando que el sistema es de operación continua.

El estudio del Diseño de la Planta de Tratamiento se ha dividido en Planta de Neutralización y Sedimentación para efectuar una mejor evaluación y análisis en todos sus aspectos técnicos.

Es necesario observar el cumplimiento de las medidas de seguridad en la construcción de las instalaciones de la Planta de Sedimentación, dado el espacio reducido en donde se ubicará y además por que estará próxima a la Planta Concentradora Victoria, al campamento Victoria y a obras civiles adyacentes a la bocamina.

La mejora de la eficiencia en la operación de la Planta de Tratamiento se hará en base a una preparación constante de su personal, a pruebas constantes en el laboratorio, a una supervisión técnica y al conocimiento diario que se irá adquiriendo en el manejo de esta.

8.2 : Recomendaciones

Como resultado del estudio efectuado se formulan las siguientes recomendaciones:

Considerando la importancia e incidencia de las aguas subterráneas que actualmente son evacuadas por las bocaminas de los niveles 370 , 500 y el Túnel Victoria, se recomienda hacer un programa de medición de caudales y niveles freáticos por el período mínimo de un año. Con este estudio se determinarán con mayor precisión las fuentes de recarga, la dirección de los flujos, el volumen del acuífero y las zonas más propensas a la contaminación.

Teniendo la ubicación de todos los lugares de origen de las aguas ácidas se puede tener un conocimiento más exacto de los elementos contaminantes, así como se podrán encontrar soluciones más eficientes y de esta manera disminuir su costo de tratamiento.

Como el agua ácida de la mina San Cristóbal forma parte del caudal del río Yauli, y estas aguas son aprovechadas para la generación de energía eléctrica en las Centrales Hidroeléctricas de Pachachaca y Malpaso, así también SEDAPAL viene llevando a cabo diversos estudios tendientes a derivar las aguas de la

cabecera del río Yauli hacia el río Rimac. Por lo cual se debe aprovechar el uso de estas aguas para llegar a un acuerdo en forma conjunta para compartir los costos de inversión y tratamiento. Con este acuerdo se beneficiaría la mina San Cristóbal porque sus costos en el tratamiento de estas aguas ácidas sería menor.

- Se deben ubicar puntos de monitoreo antes y después de la Planta de Tratamiento para poder hacer un estudio detallado de la neutralización de las aguas. Este estudio servirá para saber si la neutralización de las aguas es óptima, si la lechada de cal se está proporcionando eficientemente, si se está cumpliendo con las normas dictadas por el gobierno, con referencia a los niveles máximos permisibles.
- Analizar el agua clarificada que sale de las pozas de sedimentación, medir el nivel de pH y cuánto de sólidos en suspensión contiene. Esto nos servirá para ir mejorando el proceso de sedimentación y si es necesario añadir nuevos elementos y métodos.
- Reutilizar parte de las aguas clarificadas, bombeándolas a la cámara de neutralización o vaciarlas al curso de las aguas ácidas antes de llegar a la Planta de Tratamiento. Se aprovechará de esta forma el nivel alto del pH en que se encuentran las aguas ayudando así en la neutralización. Hacer un análisis más detallado de este procedimiento para determinar en qué proporción es beneficioso.
- Se debe considerar colocar tuberías con aire comprimido en el fondo de la cuneta del Túnel Victoria y dejar salir parte de este aire con el fin de ayudar en el proceso de neutralización a lo largo de los 1224 m de cuneta.
- Hacer un análisis más complejo de estas aguas clarificadas para determinar qué otro proceso se debe aplicar para su utilización en consumo humano y de los animales.
- Se recomendaría darle todos los usos necesarios a estas aguas ya sea en minería, Planta Concentradora, lavanderías, para el riego de carreteras con el fin de controlar el polvo en épocas de verano, etc.
- Con los análisis que se irán realizando se podrá perfeccionar el manejo de la Planta de Tratamiento y se podrán disminuir los costos de tratamiento. También se pueden aplicar estudios adicionales como construir de concreto toda la cuneta

del Túnel Victoria con el fin de evitar que el agua ácida reaccione con la roca adyacente y disminuya más su pH. Otro estudio a realizar sería el de colocar rocas carbonatadas a lo largo de la cuneta del túnel desde su inicio hasta llegar a la Planta de Tratamiento y así aumentar el pH.

Los trabajos en la mina San Cristóbal se deben hacer en forma más planificada, rellenando y taponeando todas las labores ya terminadas. En el relleno de estas labores se debe usar roca carbonatada y en la colocación del tapón se debe clausurar totalmente esta labor no dejando ninguna entrada hacia ellas. Este método de clausura consiste en aplicar un tapón de hormigón en la entrada de la labor para encerrar totalmente el agua dentro de ella. Con esto se logrará conseguir los siguientes beneficios:

1. Se conseguirá reducir el caudal del drenaje ácido, mejorando la calidad del agua y reduciendo la carga de metales pesados que constituyen la causa de la contaminación.
2. Se recuperará el nivel de agua subterránea previo a la apertura de la mina.
3. El agua subterránea dejaría de pasar por la zona del yacimiento y se previene la contaminación.
4. Con este fin se logra restringir la afluencia de aguas de lluvias hacia los frentes de excavación de las labores y la efluencia de aguas contaminadas desde las labores hacia las galerías.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1.- Programa de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA), U.P. San Cristóbal – Mahr Túnel. Centromín Perú S.A. Agosto 1997.
- 2.- Evaluación Ambiental Preliminar (EVAP), U.P. San Cristóbal – Mahr Túnel. Centromín Perú S.A. Marzo 1995.
- 3.- F.D. Pooley: Desarrollos en Bio – Hidrometalurgia para el procesamiento de minerales. XXI Convención de Ingenieros de Minas del Perú 1993.
- 4.- Environmental Control of Mining Activities in the Mantaro River Valley. Chapter 4, Victoria Tunnel Mine Water Treatment. Proyecto BID Mantaro , mayo 1997.
- 5.- Estudio de Factibilidad para el Manejo de Aguas Ácidas de las Operaciones Mineras y Plan de Cierre de la mina Subterránea San Cristóbal. LAGESA Ingenieros Consultores. Junio 1993.
- 6.- Programa de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA), U.P. Carahuacra y Planta Concentradora Victoria. Minconsult SRL. Agosto 1996.
- 7.- Control de la Contaminación de Origen minero de los ríos. Textos de Conferencias de Expertos de la Organización Minera Metálica del Japón y JICA en el Ministerio de Energía y Minas del Perú. Noviembre 1998.
- 8.- Christopher R. Schulz and Daniel A. Okun. Surface Water Treatment for Communities in Developing Countries. Great Britain, 1992.
- 9.- Control de Calidad y Tratamiento del Agua. Manual de Abastecimientos Públicos de Aguas. The American Water Works Association, INC. Madrid, 1975.
- 10.- I Conversatorio de Medio Ambiente y Asuntos Ecológicos. Operadores Mineros de las Cuencas de Yauli y Morococha. Mahr Túnel, mayo 1997.
- 11.- Dr. Juan Carlos Huyhua. Plenary Lectures, Economics, Applications and Fabrication of Copper. Setiembre 1995.
- 12.- Linda Broughton. Protocolo de Monitoreo de Calidad de Aguas. Lima – Perú.
- 13.- Dr. Thomas Shepherd, Dr. Juan Carlos Huyhua, Ing. José Mogrovejo Castillo y Ing. Luis Calzado Palomino. Guía Ambiental de Manejo de Aguas en Operaciones Minero – Metalúrgicas. Lima, mayo 1995.
- 14.- Dra. Linda Summers Broughton, Ing. Julio Bonelli Arenas, Ing. José Mogrovejo

- Castillo. Guía Ambiental para el Manejo de Drenaje Acido de Mina Lima, mayo 1995.
- 15.- Dr. Dirk Van Zyl, Ing. Carlos Villachica, Ing. José Mogrovejo C.. Guía Ambiental para el Cierre y Abandono de minas. Lima, julio 1995.
 - 16.- Dr. Donald W. Gentry, Ing. Jorge Saavedra H. , Ing. José Mogrovejo C., Ing Cosme Serrano G. .Guía Ambiental para Actividades de Exploración de Yacimientos Minerales en el Perú. Lima, mayo 1995.
 - 17.- Ing. Luis A. Castillo Maravi. Tecnología del Relleno Hidráulico Cementado en minas Subterráneas. Lima, 1988.
 - 18.- Informe Mensual U.P. San Cristóbal. Julio, 1998.
 - 19.- Plan y Presupuesto Operativo. Superintendencia General U.P. San Cristóbal. Abril 1996.
 - 20.- Manual de Producción y Costos de Equipos para movimientos de suelos. Terex GM.
 - 21.- Ranald V. Giles, B.S., M.S. en C.E. Mecánica de los Fluidos e Hidráulica.
 - 22.- Código del Medio Ambiente y los Recursos Naturales. Decreto Legislativo N° 613. Lima, setiembre 1990.
 - 23.- Aprueban el Reglamento del Título Décimo Quinto del Texto Único Ordenado de la Ley General de Minería, sobre el Medio Ambiente. D.S. N° 016-93 EM.
 - 24.- Ley General de Aguas. Decreto Ley N° 17752.
 - 25.- Compendio de Geología General. Lima, 1982.
 - 26.- Ing. José Zurita Ruiz. Formulario para la Construcción.
 - 27.- Annual Report '95 . Empresa Minera del Centro del Perú S.A.
 - 28.- George J. Young. Elementos de Minería. Editorial Gustavo Gile, S.A.. Barcelona, 1950.

INDICE

MATERIAS

Páginas

PARTE I : GENERALIDADES

Capítulo 1 : Introducción

1.1 : Objetivo	04
1.2 : Reseña Histórica.....	04
1.2.1.- Resumen de las Alternativas Propuestas en cada Estudio.....	05
1.2.2.- Comentarios sobre las Alternativas.....	08
1.2.3.- Resumen de los Últimos Estudios Disponibles.....	09
1.3 : Base Legal :	14
1.3.1.- Decreto Ley N° 17752.....	14
1.3.2.- Decreto Legislativo N° 613.....	15
1.3.3.- Decreto Supremo N° 016-93-EM.....	17
1.3.4.- Resolución Ministerial N° 011-96- EM/VMM.....	21

Capítulo 2 : Aspectos Generales

2.1 : Introducción.....	26
2.2 : Ubicación Política y Acceso.....	26
2.3 : Topografía y Fisiografía.....	27
2.4 : Clima y Meteorología.....	27
2.5 : Caracterización Ecológica.....	29
2.5.1.- La Fauna	29
2.5.2.- La Flora.....	30

Capítulo 3 : Descripción de las Operaciones Mineras

Geología

3.1 : Introducción.....	31
3.2 : Yacimiento	31
3.3 : Mineralogía	32

Minería

3.4 :	Introducción.....	34
3.5 :	Minado Subterráneo	34
3.5.1.-	Diseño de Mina.....	35
3.5.2.-	Métodos de Explotación Subterránea.....	35
A)	Método de Reducción Estática.....	35
B)	Método de Corte y Relleno Ascendente Mecanizado	36
3.5.3.-	Cuadros Resumen de Labores Antiguas y Problemas de Estabilidad	37
3.6 :	Tajo Abierto	37

PARTE II : ANALISIS Y SOLUCION DEL DAM

Capítulo 4 : Estudio Básico Hidrológico

4.1 :	Introducción.....	39
4.2 :	Reconocimiento de Campo	39
4.2.1.-	Reconocimiento de las Características Hidrofisiográficas.....	39
4.2.2.-	Identificación de Usos Actuales	40
4.2.3.-	Aforos.....	40
4.3 :	Climatología.....	40
4.3.1.-	Precipitación	40
4.3.2.-	Temperatura.....	41
4.3.3.-	Evaporación.....	42
4.3.4.-	Humedad Relativa	42
4.4 :	Parámetros Hidrofisiográficos.....	42
4.4.1.-	Forma de la Cuenca.....	42
a)	Coefficiente de Compacidad.....	43
b)	Factor de Forma.....	43
4.4.2.-	Pendiente de Superficie	43
4.5 :	Hidrometría	44
4.5.1.-	Información Básica.....	44
4.5.2.-	Caudales Medios.....	44
4.5.3.-	Análisis de Infiltración	45
4.5.4.-	Área Superficial.....	46

4.5.5.- Volumen Precipitado	46
4.5.6.- Escorrentía Superficial	46
4.5.7.- Retención de la Cuenca	47
4.5.8.- Balance de Agua.....	48
4.5.9.- Máximas Avenidas	49

Capítulo 5 : Análisis del Problema Ácido

5.1 : Introducción.....	50
5.2 : Temas de Interés.....	51
5.2.1.- Predicción del Drenaje Ácido.....	51
5.2.2.- Geología y Mineralización	51
5.2.3.- El Drenaje Ácido de Mina.....	51
5.2.4.- Oxidación del Sulfuro de Hierro	52
5.2.5.- Oxidación de otros Sulfuros de Metales Bases y otras formas Sulfurosas.....	53
5.2.6.- Procesos de Consumo de Ácido	53
5.3 : Impacto Sobre el Agua.....	54
5.3.1.- Calidad del Agua.....	54
5.3.2.- Vertimientos Mineros.....	54
5.3.3.- Características de los Vertimientos Mineros.....	54
5.4 : Parámetros de Diseño y de Procesos.....	55
5.4.1.- Análisis Preliminar de las Aguas Ácidas de Mina	56
5.4.2.- Parámetros de Diseño y de Procesos.....	56

Capítulo 6 : Solución del Problema Ácido

6.1 : Memoria Descriptiva.....	57
6.2 : Plan Maestro	60
6.3 : Pruebas de Aguas Ácidas	61
6.3.1.- Pruebas de Neutralización	61
6.3.2.- Pruebas de Sedimentación.....	68
6.4 : Diseño de Procesos.....	69
6.4.1.- Selección del Sitio.....	69
6.4.2.- Diseño del silo de cal.....	70

6.4.3.- Selección de Bomba	72
6.4.4.- Cálculos para el diseño del Vertedero Circular.....	72
6.4.5.- Operación Neutralización	73
6.4.6.- Operación Sedimentación.....	74
6.4.7.- Cálculo para el diseño de la Planta de Sedimentación	75
6.5 : Fuerza Laboral.....	79

Capítulo 7 : Aspecto Económico

7.1 : Introducción.....	80
7.2 : Costo de Inversión.....	80
7.2.1.- Costo de Equipos y Materiales.....	80
7.2.2.- Depreciación de la Planta de Tratamiento	81
7.3 : Costo de Operación	81
7.3.1.- Costos de Directos.....	81
7.3.1.1 .- Personal.....	81
7.3.1.2 .- Materiales y Análisis.....	82
7.3.2.- Costos Indirectos	82
7.3.2.1 .- Personal.....	82
7.3.2.2 .- Varios	82
7.3.3.- Relación Costo / Beneficio.....	82

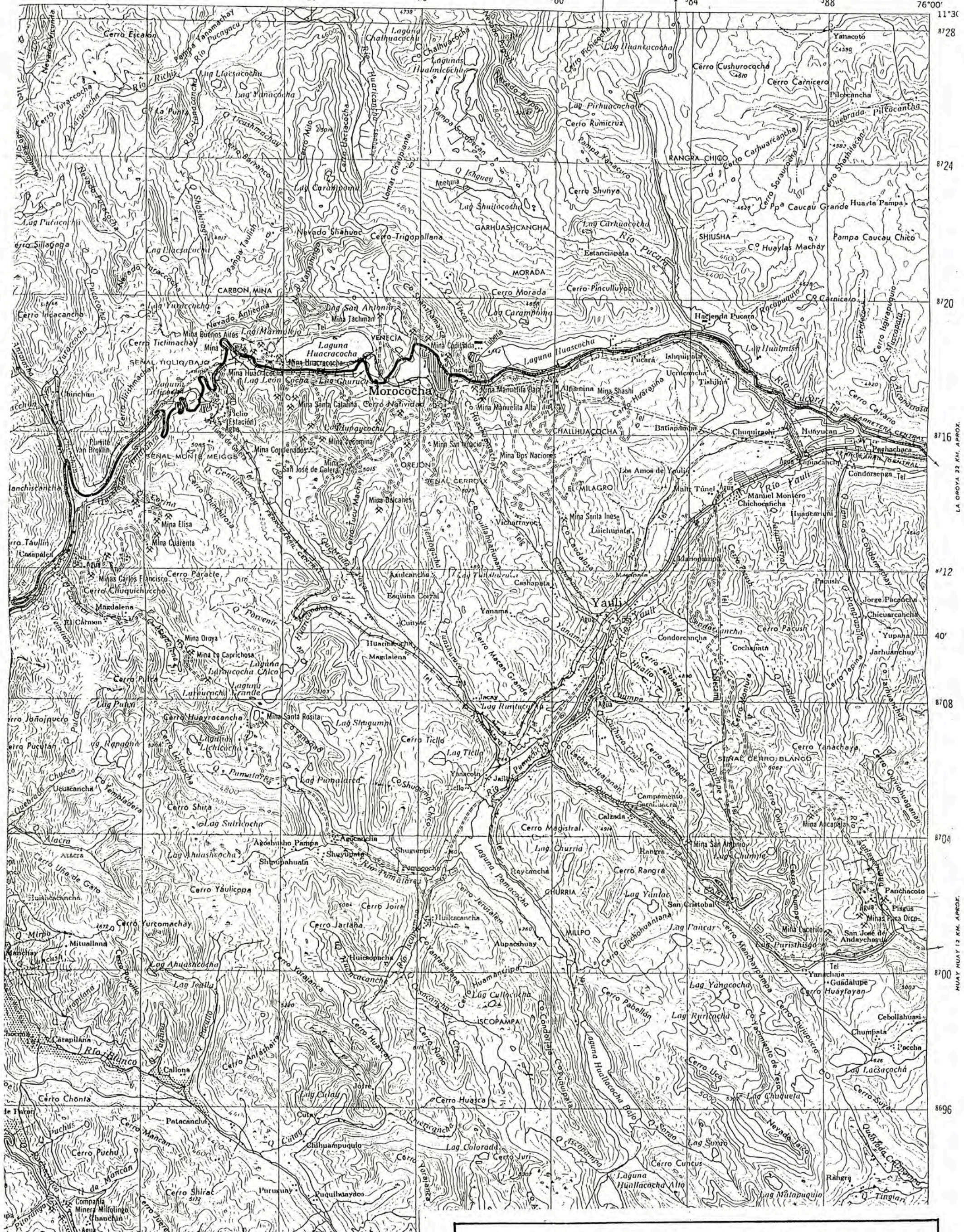
Capítulo 8 : Conclusiones y Recomendaciones

8.1 : Conclusiones	83
8.2 : Recomendaciones.....	85

Referencias Bibliográficas.....	88
--	-----------

Planos.....	90
--------------------	-----------

PLANO 01



MAPA DE UBICACION DE LA CUENCA HIDROGRAFICA
DISTRITOS CARAHUACRA Y MOROCOCHA
 ESCALA : 1 / 100,000 FECHA : ABRIL 1998