

**MINA SANTA ROSA
SANTIAGO DE CHUCO, LA LIBERTAD**

INFORME DE DISEÑO

PAD DE LIXIVIACIÓN N° 14

Revisión 0

Preparado para:
CIA. MINERA AURÍFERA SANTA ROSA S.A.
Av. Nicolás Ayllón 1928, Ate
Lima 3, Perú
(51-1) 326-7003

Preparado por:
VECTOR PERÚ S.A.C.
Jorge Vanderghen 234
Miraflores, Lima 18, Perú
(51-1) 441-2300

J02.82.06.02

Julio 2004

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO.....	1
1.0 INTRODUCCIÓN	3
1.1 Resumen del Proyecto	3
1.2 Objetivos.....	3
1.3 Alcances del Trabajo	4
1.4 Alcance del Informe	5
1.5 Información Proporcionada	5
2.0 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	6
2.1 Generalidades	6
2.2 Instalaciones Propuestas	6
2.2.1 Pad de Lixiviación N° 14.....	6
2.2.2 Colección, Conducción y Distribución de la Solución	6
2.2.3 Poza de Pregnant.....	7
2.2.4 Poza de Grandes Eventos.....	7
3.0 CRITERIOS DE DISEÑO	8
4.0 DESCRIPCIÓN DEL LUGAR.....	11
4.1 Condición Climática y Altitud.....	11
4.2 Geología y Geomorfología	11
4.3 Sismicidad	11
4.3.1 Aceleración de Diseño	12
4.3.2 Coeficiente Sísmico	13
5.0 HIDROLOGÍA.....	14
5.1 Objetivos.....	14
5.2 Área de Estudio	14
5.3 Información Básica.....	14
5.4 Precipitación	17
5.4.1 Precipitaciones Mensuales y Anuales.....	17
5.4.2 Precipitaciones Máximas	20
5.5 Evaporación	23
5.6 Hidrología de Canales y Conductos de Derivación.....	25
5.6.1 Flujos Pico del Pad 14	26
5.6.2 Flujos Pico en las Laderas de los Terrenos Circundantes.....	26
5.7 Balance de Aguas	27
5.7.1 Datos Climáticos.....	27
5.7.2 Modelo Balance de Aguas	27
5.8 Criterios de la Simulación	27
5.9 Resultados y Conclusiones del Balance de Aguas	29
6.0 INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS	32
6.1 Excavación de Calicatas	32

6.2	Perforaciones	32
6.3	Ensayos de Laboratorio	34
6.4	Condiciones Geotécnicas.....	35
6.4.1	Área del Pad de Lixiviación.....	35
6.4.2	Área de las Pozas	36
7.0	CONSIDERACIONES DEL DISEÑO GEOTÉCNICO	37
7.1	Análisis de Estabilidad Taludes.....	37
7.1.1	Metodología de Análisis	37
7.1.2	Criterios de Diseño	37
7.1.3	Condiciones a Corto y Largo Plazo	38
7.1.4	Condiciones Analizadas.....	38
7.1.5	Propiedades de los Materiales.....	41
7.2	Resultados Obtenidos	43
7.3	Asentamientos en el Apilamiento.....	44
7.3.1	Asentamiento de la Cimentación	44
7.3.2	Asentamiento del Apilamiento	44
8.0	DISEÑO CIVIL DE LAS INSTALACIONES	46
8.1	Pad de Lixiviación	46
8.1.1	Sistema de Sub-Drenaje.....	46
8.1.2	Movimiento de Tierras.....	47
8.1.3	Plataforma de Nivelación.....	47
8.1.4	Aliviadero de Emergencia	47
8.1.5	Capa de Suelo de Baja Permeabilidad	48
8.1.6	Sistema de Revestimiento con Geomembrana.....	48
8.1.7	Anclaje de la Geomembrana.....	49
8.1.8	Sobre-Revestimiento.....	50
8.2	Sistema de Colección de la Solución.....	50
8.2.1	Espaciamiento de Tuberías Laterales	51
8.2.2	Dimensionamiento de Tuberías Laterales.....	52
8.2.3	Dimensionamiento de Tuberías Principales	52
8.3	Distribución y Conducción de la Solución	53
8.4	Desarenador	53
8.5	Plan de Apilamiento de Mineral.....	54
8.6	Poza Pregnant	54
8.6.1	Movimiento de Tierras.....	54
8.6.2	Sistema de Revestimiento.....	54
8.6.3	Sistema de Detección de Fugas	54
8.6.4	Salida de la Solución.....	55
8.6.5	Aliviadero	55
8.7	Poza de Grandes Eventos	55
8.7.1	Movimiento de Tierras.....	55
8.7.2	Aliviadero	55
8.7.3	Sistema de Revestimiento.....	56

8.8	Drenaje Superficial	56
8.9	Áreas de Préstamo	56
8.10	Monitoreo Geotécnico	57
8.10.1	Instrumentos de Monitoreo	57
8.10.2	Control de Instrumentación	57
8.11	Cantidades y Costos del Proyecto	58
9.0	INSPECCIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN Y LIMITACIONES	60
9.1	Inspección de la Construcción	60
9.2	Limitaciones	60
	REFERENCIAS	61

LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1	Aceleraciones en la zona en estudio (Según Castillo y Alva, 1993)
Figura 5.1	Ubicación del área del proyecto y estaciones meteorológicas cercanas
Figura 5.2	Periodo de registro de estaciones meteorológicas
Figura 5.3	Precipitación media anual versus altitud con banda de confianza al 90%
Figura 5.4	Precipitaciones anuales en Quiruvilca y Huangacocha, extrapoladas a Santa Rosa
Figura 5.5	Precipitación típica mensual asignada a Santa Rosa
Figura 5.6	Precipitaciones máximas versus altitud. Ajustes Gumbel y Lognormal
Figura 5.7	Precipitaciones máximas en 24 horas - Ajuste EV1 (Gumbel)
Figura 5.8	Serie de tiempo de evaporaciones anuales
Figura 7.1	Análisis de estabilidad. Pad de lixiviación. Planta
Figura 7.2	Análisis de estabilidad. Pad de lixiviación. Sección 1-1'
Figura 7.3	Análisis de estabilidad. Pozas. Planta
Figura 7.4	Análisis de estabilidad. Pozas. Sección 2-2'
Figura 7.5	Análisis de estabilidad. Pozas. Sección 3-3'

LISTA DE TABLAS

Tabla 5.1	Relación de Estaciones Meteorológicas
Tabla 5.2	Precipitación Típica Mensual Asignada a la mina Santa Rosa
Tabla 5.3	Precipitación-Duración-Frecuencia. Extrapolación de la Relación IILA
Tabla 5.4	Intensidad-Duración-Frecuencia. Según Relación IILA
Tabla 5.5	Datos Climáticos y de Evaporación
Tabla 5.6	Evaporación Típica Mensual Asignada a la mina Santa Rosa
Tabla 5.7	Flujos Pico de Diseño
Tabla 5.8	Criterios de Diseño Usados en el Balance de Aguas
Tabla 5.9	Secuencia de Desarrollo del pad
Tabla 5.10	Resultados del Balance de Aguas. Fase I, 36 Meses de Operación
Tabla 5.11	Resultados del Balance de Aguas. Fase II, Siguiendo 48 Meses de Operación
Tabla 6.1	Resumen de Calicatas
Tabla 6.2	Resumen de Perforaciones

Tabla 7.1 Resumen de Propiedades de Materiales para los Análisis de Estabilidad

Tabla 7.2 Resultados de los Análisis de Estabilidad

Tabla 8.1 Frecuencias de Monitoreo Geotécnico

LISTA DE ANEXOS

Anexo A	Investigaciones de Campo Registro de Excavaciones Registro de Perforaciones
Anexo B	Ensayos de Laboratorio Resultados de Ensayos de Laboratorio, Vector Resultados de Ensayos de Laboratorio, UNI Resultados de Ensayos de Laboratorio, California
Anexo C	Cálculos Hidrológicos
Anexo D	Resultados del Análisis de Estabilidad
Anexo E	Memorias de Cálculo del Diseño Civil Cálculo de Trincheras de Anclaje Espaciamiento de Tuberías Laterales Salidas del Programa FlowMaster
Anexo F	Cantidades, Estimado de Costos y Cronograma
Anexo G	Especificaciones Técnicas
Anexo H	Manual de Aseguramiento de la Calidad de la Construcción (CQA)
Anexo I	Registro Fotográfico
Anexo J	Planos de Construcción

LISTA DE PLANOS

GENERALES

100-01	Lámina de Títulos y Mapa de Ubicación
100-02	Arreglo General de las Instalaciones
100-03	Plano Geológico
100-04	Investigaciones Geotécnicas De Campo
100-05	Secciones Geotécnicas - Lámina 1
100-06	Secciones Geotécnicas - Lámina 2
100-07	Vista Isométrica Sur - Este, Movimiento de Tierras - Zona del Pad
100-08	Vista Isométrica Nor - Este, Movimiento de Tierras - Zona de Pozas
100-09	Vista Isométrica Nor - Este - Apilamiento de Mineral

PAD DE LIXIVIACIÓN 14

200-01	Arreglo General
200-02	Limpieza y Desbroce
200-03	Sistema de Sub-Drenaje
200-04	Movimiento de Tierras
200-05	Secciones
200-06	Plataforma de Nivelación

200-07	Sistema de Revestimiento
200-08	Sistema de Colección de Solución
200-09	Pozo de Colección y Aliviadero
200-10	Detalles Generales
200-11	Detalles Generales
200-12	Plan de Apilamiento

SISTEMA DE CONDUCCIÓN

300-01	Arreglo General
300-02	Limpieza y Desbroce
300-03	Movimiento de Tierras
300-04	Sección y Perfil Longitudinal
300-05	Sistema de revestimiento
300-06	Detalles Generales

POZAS

400-01	Arreglo General
400-02	Limpieza y Desborde
400-03	Movimiento de Tierras
400-04	Secciones
400-05	Sistema de Revestimiento
400-06	Sistema de Detección de Fugas
400-07	Sistema de Salida de Solución
400-08	Detalles de Aliviaderos
400-09	Detalles Generales

OBRAS DE DERIVACIÓN & OTROS

500-01	Sistema de Drenaje Superficial
500-02	Detalles Generales
500-03	Plano de Instrumentación

DISEÑO DEL PAD DE LIXIVIACIÓN N° 14

Y POZAS

RESUMEN EJECUTIVO

Este informe de diseño enfoca principalmente los aspectos geotécnicos y de diseño civil para la construcción de Pad de Lixiviación N° 14, Poza Pregnant y Poza de Grandes Eventos de la mina Santa Rosa, que Vector ha desarrollado para la Cía. Minera Aurífera Santa Rosa S.A. Las instalaciones de lixiviación se ubican en el Sector Cochavara donde se procesará el mineral proveniente del tajo Cochavara.

El alcance de los servicios de Vector incluye el diseño geotécnico y civil del pad de lixiviación N° 14 de 22.5 millones de toneladas métricas, canal de conducción, desarenador, poza pregnant, y poza de grandes eventos, así como la elaboración de las cantidades de materiales y movimiento de tierras, estimado de costos de construcción, especificaciones técnicas, manual de CQA y planos de construcción.

Para el desarrollo del presente estudio Vector recopiló información de diversas fuentes la que sirvió de base para el desarrollo de los estudios básicos de sismicidad e hidrología. Asimismo, se llevó a cabo un programa de investigaciones geotécnicas, consistentes en trabajos de campo y laboratorio, con la finalidad de obtener parámetros geotécnicos para el análisis y diseño de las instalaciones proyectadas. Los trabajos de campo consistieron en la ejecución de calicatas y obtención de información de las perforaciones llevadas a cabo por COMARSA en el área, así como la obtención de muestras para realizar ensayos de laboratorio.

El pad de lixiviación será construido en un área donde no existe actualmente ninguna instalación minera, será llevado a cabo con un tipo de relleno en valle y tendrá una capacidad última de 22.5 millones de toneladas métricas para almacenar mineral ROM hasta una cota de 3525 msnm. Las operaciones serán divididas en dos o más fases, lo cual está fuera del alcance del presente estudio de ingeniería y será llevada a cabo bajo la responsabilidad de COMARSA.

Por debajo del pad se construirá un sistema de sub-drenaje consistente en una red de tuberías de HDPE de pared doble laterales y principales de 150 y 300 mm de diámetro respectivamente, las cuales coleccionarán, transportarán y evacuarán los flujos subterráneos provenientes de las partes altas de la quebrada Cochavara. Dada la configuración del terreno existente en la zona del pie del pad, se construirá una plataforma de nivelación y una berma de pie en esta zona para proporcionar soporte y estabilidad a toda la estructura del pad de lixiviación.

El pad de lixiviación tendrá un sistema de revestimiento simple compuesto, consistente en geomembranas texturadas de LLDPE y HDPE de 2 mm de espesor sobre una capa de suelo de

baja permeabilidad. Entre la última banqueta y el límite del pad se podrá utilizar geomembrana texturada de HDPE de 1.5 mm de espesor.

El sistema de colección de la solución estará compuesto de tuberías perforadas de HDPE de pared doble, laterales de 100 mm de diámetro y principales de 300 mm, diseñadas para contener el máximo flujo de aplicación de las operaciones de lixiviación. Las tuberías perforadas descargarán los flujos en tuberías sólidas de HDPE SDR 17 de 300 mm de diámetro, las cuales conducirán la solución hacia el desarenador. Estas tuberías serán colocadas en el interior de un canal de contención. Tanto el canal, como el desarenador llevarán láminas de protección de HDPE para evitar algún daño a la geomembrana debido a las tuberías o por la voladura en la mima ubicada hacia el norte.

El proyecto también contempla la construcción de una poza pregnant y una poza de grandes eventos. El dimensionamiento de la poza pregnant ha sido efectuado de acuerdo a los datos de operación proporcionados por Comarsa. La poza pregnant tendrá una capacidad neta de 28,200 m³, tendrá un sistema de doble revestimiento de geomembrana lisa de HDPE de 1.5 mm y un sistema de detección de fugas consistente en una geonet entre las dos geomembranas. Las fugas de solución serán conducidas hasta el pozo de detección de fugas, ubicado en el extremo sur-este de la poza, y de allí bombeadas de vuelta hacia la poza a través de una bomba sumergible instalada dentro de una tubería elevadora. La solución será evacuada hacia la planta de procesos a través de dos tuberías de pared sólida de HDPE SDR 17 de 200 mm de diámetro que penetrarán el doble revestimiento de la poza. La entrada de solución se ubicará por encima de la parte superior del pozo de detección de fugas.

La poza de grandes eventos ha sido dimensionada a partir del balance hidrológico realizado por Vector. Esta poza tendrá una capacidad neta de 40,200 m³, llevará un sistema de revestimiento simple y un vertedero de emergencia. Los flujos de grandes eventos serán manejados por las dos pozas, que en conjunto tienen una capacidad de 68,400 m³. La capacidad de almacenamiento del sistema permite el manejo de los flujos hasta el tercer año de operación del pad, más allá del cual se tendrá que implementar una planta de tratamiento de agua de purga, ampliar la capacidad de la poza de grandes eventos, o construir una nueva poza.

1.0 INTRODUCCIÓN

1.1 Resumen del Proyecto

Cía. Minera Aurífera Santa Rosa S.A. (COMARSA) está desarrollando actualmente las operaciones de lixiviación para la obtención de minerales de oro en el Sector Cochavara, debido a lo cual encargó a **Vector Perú S.A.C.** (Vector) el diseño del Pad de Lixiviación N°14, Poza Pregnant y Poza de Grandes Eventos de la mina Santa Rosa.

El proyecto minero incluye la construcción y operación de sistemas de lixiviación en pilas (pad de lixiviación y pozas), y recuperación del mineral aurífero por medio del proceso de adsorción. El Proyecto Cochavara se encuentra ubicado en el Distrito de Angasmarcha, Provincia de Santiago de Chuco, Departamento de La Libertad, a 180 km al Este de la ciudad de Trujillo hacia el norte de las actuales instalaciones de la mina. El área de influencia del proyecto comprende altitudes que varían entre 3,400 a 3,500 msnm, aproximadamente.

Como parte de este proyecto aurífero, COMARSA ha requerido la ejecución de estudios y diseños a nivel de Ingeniería de Detalle de los siguientes componentes del proyecto:

- Pad de Lixiviación N° 14 de 22.5 millones de toneladas métricas de capacidad.
- Canal de contención para las tuberías de conducción de la solución y desarenador.
- Poza de solución rica (pregnant) para el almacenamiento temporal de las soluciones provenientes de la lixiviación del pad.
- Poza de grandes eventos para el control de los flujos de precipitaciones sobre el pad de lixiviación.

Vector ha completado el diseño civil de las instalaciones antes indicadas, lo cual se presenta en los siguientes documentos del proyecto:

- Informe de diseño de las instalaciones de lixiviación;
- Planos de diseño, en Revisión 0, Emitido para Construcción;
- Especificaciones técnicas de construcción;
- Manual de aseguramiento de la calidad de la construcción;
- Estimado de cantidades de materiales y movimiento de tierras; y
- Estimado de costos de ingeniería.

1.2 Objetivos

Los objetivos del proyecto del presente estudio fueron:

- Llevar a cabo los estudios básicos que permitan el desarrollo del proyecto.
- Llevar a cabo las investigaciones geotécnicas en el área del pad y pozas.
- Desarrollar el arreglo general de todas las instalaciones involucradas en el proyecto.
- Diseñar las instalaciones necesarias para la construcción del pad de lixiviación de 22.5 millones de toneladas métricas de capacidad.
- Diseñar el sistema de conducción de la solución y desarenador.
- Diseñar las estructuras de almacenamiento de flujos de operación y de grandes eventos del Pad 14.
- Desarrollar la Ingeniería de Detalle de las obras a proyectarse, que permita ejecutar la construcción de las mismas.

1.3 Alcances del Trabajo

Vector desarrolló el proyecto llevando a cabo las siguientes tareas:

- Realización de investigaciones geotécnicas dentro del área de lixiviación y pozas, consistentes en calicatas, perforaciones y ensayos de laboratorio.
- Elaboración de los arreglos del pad de lixiviación N° 14 de 22.5 millones de toneladas de capacidad, sistema de conducción de la solución, poza pregnant y poza de grandes eventos.
- Análisis de estabilidad del apilamiento del pad último, en diferentes secciones que evalúen el comportamiento global de esta instalación.
- Diseño civil del Pad de Lixiviación N° 14, sistema de conducción, desarenador y pozas.
- Elaboración de las especificaciones técnicas de construcción del pad y pozas.
- Elaboración del manual de Aseguramiento de la Calidad de la Construcción (CQA).
- Preparación de las cantidades estimadas de movimientos de tierras y materiales.
- Preparación de los estimados de costos de construcción.
- Elaboración de los planos de diseños civiles del pad y de las pozas en Revisión 0, formato Emitido para Construcción.

1.4 Alcance del Informe

El alcance de este informe es proporcionar los análisis y detalles de ingeniería para el diseño y construcción las instalaciones relacionadas con el pad de lixiviación N° 14, poza pregnant y poza de grandes eventos. Los planos, especificaciones y costos relacionados, se consideran como parte de este informe, de modo que en conjunto presentan información de detalle y de diseño para la construcción de las instalaciones proyectadas.

1.5 Información Proporcionada

Para el desarrollo del presente estudio COMARSA proporcionó una serie de trabajos técnicos desarrollados por diversos consultores, relacionados con los proyectos previos de lixiviación y almacenamiento de flujos de grandes eventos y de soluciones lixiviadas.

Adicionalmente, Vector obtuvo información de diversas fuentes acerca de datos de hidrología y sismicidad. La información de la geología del área fue proporcionada por COMARSA. Toda esta información ha servido de base para el desarrollo de los estudios básicos, tales como Hidrología, Sismicidad y Geotecnia, los que a su vez han servido de base para el diseño de las instalaciones proyectadas.

2.0 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

2.1 Generalidades

El proyecto desarrollado comprende la elaboración del arreglo general de todas las instalaciones involucradas, y el diseño de detalle de las mismas. Las instalaciones consideradas en el presente estudio fueron: pad de lixiviación N°14, sistema de conducción de la solución, desarenador, poza de solución pregnant, poza de grandes eventos.

En el Plano 100-01 se presenta la relación de los planos del proyecto, mientras que en el Plano 100-02 se presenta el arreglo general de las instalaciones propuestas. Se presenta a continuación un resumen de dichas instalaciones.

2.2 Instalaciones Propuestas

2.2.1 Pad de Lixiviación N° 14

El pad de lixiviación estará ubicado en el sector Cochavara ubicado al norte del Tajo Seductora. La mina se ubica hacia el norte de las instalaciones de lixiviación. La operación del pad de lixiviación será llevada a cabo con un tipo de relleno en valle. El suelo de cimentación del pad corresponde a suelos arenosos arcillosos, sobre yaciendo al basamento rocoso. En la zona del pie del pad, el terreno natural presenta una pendiente variando entre 9 y 21%, debido a lo cual se construirá una plataforma de nivelación para dar soporte a toda la estructura del pad. En las partes más altas de la quebrada la pendiente es del orden de 22 a 45%.

El Pad 14 ha sido diseñado para una capacidad de aproximadamente 22.5 millones de toneladas métricas, lo cual será alcanzado en sucesivas etapas de expansión anual que será programado por COMARSA sobre la base de la producción de mineral del proyecto Cochavara.

El pad llevará un sistema de revestimiento simple (geomembrana) sobre una capa de suelo de baja permeabilidad. El pad recibirá mineral ROM (run-of-mine) hasta una altura máxima de aproximadamente 105 metros, la cual será alcanzada en el lapso de aproximadamente 6 años después del inicio de las operaciones de apilamiento de mineral aun ritmo de producción de 10,000 toneladas métricas por día. El mineral será colocado al volteo formando taludes externos cuya inclinación corresponderá al ángulo de reposo del mineral. El talud global será conseguido mediante banquetas entre cada capa de modo de conseguir una configuración estable del apilamiento, tal como se detallan en los planos de construcción.

2.2.2 Colección, Conducción y Distribución de la Solución

La colección de la solución consistirá de un sistema por gravedad utilizando una combinación de tuberías perforadas laterales y principales de HDPE de pared doble localizadas sobre el revestimiento de geomembrana, las cuales colectarán la solución proveniente de la lixiviación del mineral. La solución colectada por las tuberías perforadas será conducida al pozo de colección ubicado en la zona más baja del pad. Desde este punto la solución será conducida a través de tuberías sólidas de HDPE hacia el desarenador, las cuales estarán instaladas dentro

de un canal de contención. Desde los desarenadores la solución será descargada en la poza pregnant mediante canal revestido. Todos los canales de contención de las tuberías estarán revestidos en toda su longitud con geomembrana.

2.2.3 Poza de Pregnant

La poza pregnant estará ubicada aguas abajo del pad, tendrá una capacidad neta de 28,200 m³, y ha sido dimensionada para almacenar temporalmente los flujos provenientes de la lixiviación del pad de lixiviación, desde donde la solución será conducida por gravedad hacia la planta de procesos ubicada a una cota inferior. Esta poza tendrá una capacidad suficiente para cubrir las necesidades operativas de producción de soluciones y los volúmenes de contingencia durante la operación del pad. La poza tendrá un sistema de doble revestimiento de geomembrana sobre una capa de suelo de baja permeabilidad, con sistema de detección de fugas, además se ha previsto la construcción de un vertedero amplio para descargar los excesos hacia la poza de grandes eventos.

2.2.4 Poza de Grandes Eventos

La poza de grandes eventos tendrá 40,200 m³ de capacidad y ha sido dimensionada de modo de contener los eventos de máximas avenidas que ocurrirán en el pad de lixiviación para los tres primeros años de operación, después de los cuales se requerirá eventualmente la construcción de una segunda poza de grandes eventos o la evacuación de los excedentes mediante bombeo o descarga al medio ambiente con tratamiento previo del agua. Esta poza estará ubicada adyacente a la poza pregnant. La poza tendrá un sistema de revestimiento simple (geomembrana) sobre una capa de suelo de baja permeabilidad y un vertedero de emergencia como contingencia.

3.0 CRITERIOS DE DISEÑO

Se presenta a continuación los criterios de diseño que han sido utilizados para este proyecto. Estos criterios han sido desarrollados a partir de: información proporcionada por Comarsa, práctica industrial estándar en la industria minera, recomendaciones de Vector y criterios a partir de cálculos de proceso.

Descripción	Unidad	Criterio Usado	Fuente
PAD DE LIXIVIACIÓN			
Tonelaje de alimentación de mineral	TM	22,500,000	A
Tiempo de operación	años	6.0	A
Producción promedio mineral	TM/día	10,000	A
	TM/mes	300,000	A
Ciclo de lixiviación	días	60	A
Características del Mineral de Mina (ROM)			
Humedad	%	2.0	A
Densidad ROM in-situ	T/m ³	2.5	A
Sistema de Transporte al Pad de Lixiviación			
Método de transporte		Camiones	A
Capacidad camiones	T	23	A
Unidades	unid	15	A
Producto		ROM	A
Densidad, por peso (roto)	T/m ³	1.80	A
Parámetros del Pad de Lixiviación			
Densidad promedio mineral	T/m ³	1.80	A
Periodo de retorno sismo de diseño	años	500	C
Evento sísmico de diseño	g	0.31 ¹	C
Coeficiente sísmico		0.15	C
Estabilidad estática largo plazo, mínimo	F.S.	1.4	C
Estabilidad estática corto plazo, mínimo	F.S.	1.3	C
Estabilidad pseudo-estática, mínimo	F.S.	1.0	C
Análisis de deformación ²		si FS Pestático<1.0	C
Periodo de retorno tormenta de diseño ³	años	100	C
Lluvia para el evento de diseño	mm	70	C
Terraplén de estabilidad	S/N	Sí	C
Vertedero	S/N	Si	C
Periodo de retorno evento diseño canal derivación	años	20	C
Lluvia para evento de diseño de canal	mm	20	C
Sistema revestimiento pad de lixiviación	simple/doble	simple	B
Revestimiento pad de lixiviación	tipo	LLDPE, HDPE	C
	textura	lisa-texturada, lisa-lisa	C
Espesor del revestimiento	mm	1.5, 2.0	C
Detección de fugas	S/N	No	C
Sistema de colección de la solución	S/N	Sí	B
Tipo de sistema de colección	gravedad/ bombeo	gravedad	B
Tuberías de colección de la solución	tipo	pared doble perforada	C
Tamaño tubería principal colección de solución	mm	300	C

Descripción	Unidad	Criterio Usado	Fuente
Tamaño tubería lateral colección de solución	mm	100	C
Espaciamiento de tuberías laterales	m	13	C
Altura típica de capa	m	8	A
Máxima altura del apilamiento	m	105	C
Parámetros de Lixiviación			
Tasa de aplicación	lt/hr/m ²	8	A
Área bajo irrigación	m ²	40,000	A
Flujo de solución de lixiviación total	m ³ /h	292 ⁴	D
Pérdida de solución total	%	8.5 - 10	A
Contenido de humedad residual	%	6.0 - 7.0	A
Contenido de humedad bajo lixiviación	%	12.5 - 13.5	A
Porosidad del Mineral	%	34 - 57	C
Tamaño de boquilla de aspersores	Nº	7	A
Presión de trabajo de aspersores	psi	20 - 25	A
Solución de Lixiviación			
Volumen producido total	m ³ /h	267	D
Volumen recirculado	m ³ /h	0	D
POZA PREGNANT			
Poza pregnant	S/N	Sí	A
Distribuidor PLS/ILS ⁵	S/N	No	A
Transporte de solución	S/N	Sí	A
Tipo del sistema de transporte	gravedad/ bombeo	gravedad	A
Tipo tuberías de conducción de solución	tuberías	HDPE SDR 17	C
Tamaño tuberías conducción solución	mm	300	C
Revestimiento de poza	S/N	Sí	B
Sistema revestimiento poza	simple/doble	doble	B
Material de revestimiento primario y secundario	tipo	HDPE	B
Espesor revestimiento primario pozas	mm	1.5	A
	textura	lisa	A
Sistema detección de fugas pozas	S/N	Sí	A
Borde libre pozas	m	1.0	A
Vertedero	S/N	Sí	A
Flujo a planta o pad	gravedad/bombeo	gravedad	A
Tiempo de retención por parada de bomba	hr	24	A
Sistema de solución nominal	días/semana	7	A
Volumen almacenamiento sedimentos	S/N	No	A
Volumen muerto poza	m ³	200	C
Volumen operativo poza	m ³	2,000	C
Flujo total de solución	m ³ /h	267	D
Capacidad total poza pregnant	m ³	8,600	D
Capacidad de diseño poza pregnant ⁶	m ³	28,200	C
POZA DE GRANDES EVENTOS			
Poza de grandes eventos	S/N	Sí	A
Diseño sísmico poza mayores eventos	g	0.31 ¹	C

Descripción	Unidad	Criterio Usado	Fuente
Periodo de retorno tormenta de diseño	años	100	C
Revestimiento poza	S/N	Sí	B
Sistema revestimiento poza	simple/doble	simple	B
Material de revestimiento primario	tipo	HDPE	B
Espesor revestimiento primario pozas	mm	1.5	A
	textura	lisa	A
Sistema detección de fugas pozas	S/N	No	A
Borde libre poza	m	1.0	B
Vertedero	S/N	Si	B
Volumen almacenamiento sedimentos	S/N	No	A
Capacidad máxima poza	m ³	40,200	A

Código Fuente Descripción

A	Información o Criterio proporcionado por COMARSA
B	Práctica Industrial Estándar
C	Recomendaciones de Vector
D	Criterios a partir de Cálculos de Proceso

Notas:

1. La aceleración atenuada en el lugar de la mina es aproximadamente 0.31g, considerando un tiempo de exposición de 50 años y un periodo de retorno de 475 años.
2. Ningún daño significativo deberá producirse en las instalaciones de procesos debido a la ocurrencia de un terremoto severo.
3. El evento de la tormenta de diseño es la tormenta donde el 100% de la escorrentía dentro del pad de lixiviación es transitada a través del pad y en las pozas de pregnant/barren/grandes eventos.
4. COMARSA indicó un flujo máximo operativo de aproximadamente 7,000 metros cúbicos por día.
5. No se ha previsto la separación de soluciones pregnant (PLS) o intermedias (ILS).
6. Se ha previsto una capacidad de diseño de la poza pregnant mucho mayor que la capacidad total, para un mejor manejo de los flujos de tormentas.

4.0 DESCRIPCIÓN DEL LUGAR

4.1 Condición Climática y Altitud

El clima en el área de estudio es seco, caracterizado por una alternancia de una estación de estiaje (mayo-octubre) y otra estación de lluvias (noviembre-abril). La zona donde se han proyectado las instalaciones del proyecto se encuentra a una altitud variando entre 3490 y 3520 msnm.

4.2 Geología y Geomorfología

La geomorfología del área en estudio es el resultado de procesos tectónicos y de geodinámica interna y externa. Las unidades principales son: áreas glaciares, valles, superficies de erosión.

Las rocas expuestas en el área de estudio corresponden principalmente a rocas sedimentarias y metamórficas de la Formación Chicama. En el área de los tajos es típico encontrar rocas cuarcitas formadas por procesos metamórficos a partir de rocas areniscas. En el área del pad de lixiviación se presentan principalmente rocas cuarcitas y areniscas, así como suelos cuaternarios en la mayor parte del área que sobre yacen a las rocas antes indicadas. Hacia el oeste de las pozas se observa un afloramiento de rocas cuarcitas que constituyen un contrafuerte natural, mientras que en la misma zona de las pozas se observa principalmente suelos cuaternarios, principalmente arcillas limosas, que sobre yacen a las cuarcitas.

Dentro de la zona en estudio también se reporta la presencia de algunos afloramientos de limonitas y lutitas carbonosas. Asimismo, dentro del área en estudio se han detectado algunas fallas geológicas que no presentan evidencias de actividad reciente, no constituyendo riesgo para las instalaciones proyectadas.

Los materiales cuaternarios están conformados por una secuencia de arenas arcillosas con grava y arcillas limosas de diferente espesor y estado de compactación o consistencia. La potencia de estos suelos es de hasta 13 metros de espesor. En algunas zonas se observa el afloramiento del material rocoso. Los mayores espesores se presentan hacia las partes inferiores de la quebrada Cochavara.

Cerca al área del proyecto se reporta la existencia de la Falla Angasmarca, sin embargo, la mayor actividad sísmica esta relacionada a la zona de subducción.

4.3 Sismicidad

Dentro del territorio peruano se han establecido diversas zonas, las cuales presentan diferentes características de acuerdo a la mayor o menor presencia de los sismos. Esta sismicidad es producto principalmente de la subducción de la Placa de Nasca debajo de la Placa Continental a lo largo de la costa peruana, con un índice de convergencia de aproximadamente 10 cm por año. Según el Mapa de Zonificación Sísmica propuesto en la Norma de Diseño Sismorresistente E.030, del Reglamento Nacional de Construcciones (1997), el área de estudio se encuentra comprendida en la Zona 3, correspondiéndole una alta sismicidad, habiendo ocurrido en el área cercana al proyecto sismos de intensidades de hasta VI grados en la Escala

de Mercalli Modificada, según la información de sismicidad histórica recopilada por Silgado (1978). Asimismo, en el área cercana al proyecto se han registrado sismos de hasta VII grados según la misma fuente.

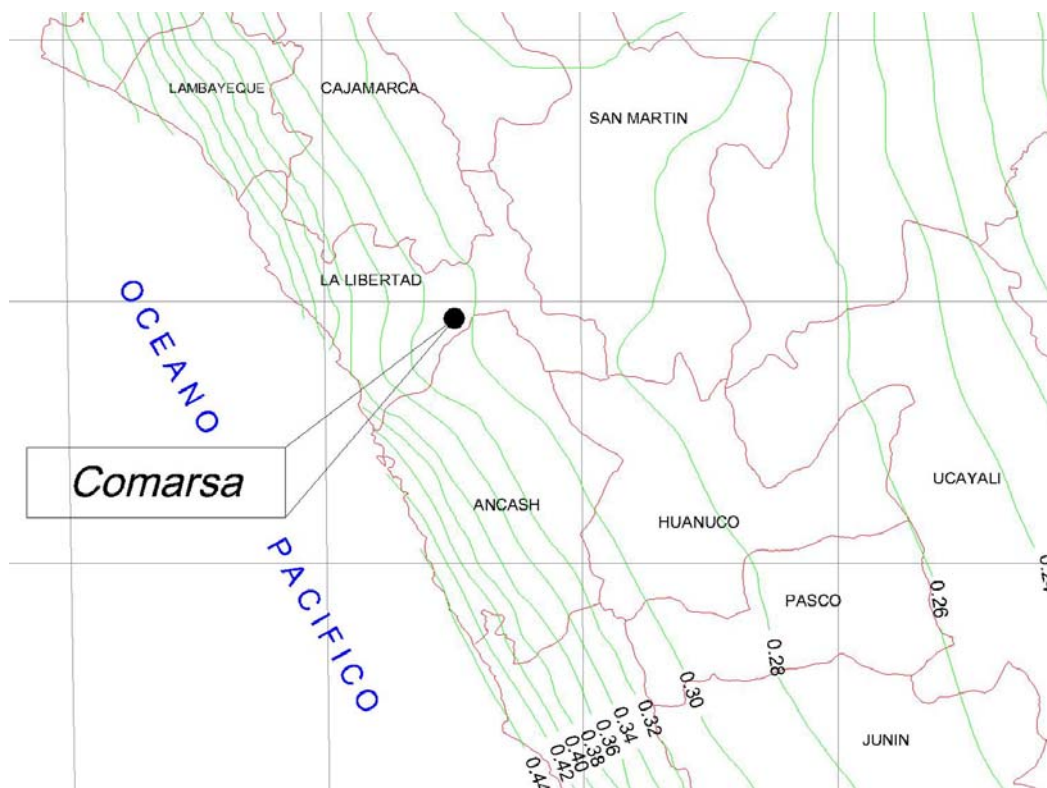
4.3.1 Aceleración de Diseño

De acuerdo al estudio de sismicidad realizado por Knight Piésold (2000) en la mina Santa Rosa, para el estudio del Pad 8 y Poza 10, se reporta que la mayoría de los sismos ocurridos en el área de influencia fueron eventos en zonas de subducción con pocos eventos superficiales provenientes de fallas activas en los alrededores. Los sismos más grandes de la historia, con una magnitud de $M_s=8.6$ en 1319 y $M_s=8.7$ en 1907, fueron eventos producidos en la zona de subducción. Desde 1619 hasta 1998 se reportaron un total de cuatro eventos en la zona de subducción de magnitud 7 o mayor, dentro de un radio de 150 km de la mina Santa Rosa. Otro evento de magnitud 7 ó mayor ha sido reportado en un registro como un evento superficial ocurrido a una profundidad de 15 km y otro registro con una profundidad desconocida, mientras que en los alrededores del lugar fueron registrados pocos eventos indicando que existe poca actividad de fallas capaces de producir eventos superficiales en la región. El estudio de sismicidad citado recomienda utilizar eventos de diseño de $M_s=7.2$ y aceleración de 0.20g para una vida del proyecto de 10 años y $M_s=7.5$ y aceleración de 0.25g para una vida de 20 años. No se establece criterios de diseño a largo plazo, considerando la etapa post-cierre de las instalaciones.

Por otro lado, según el Mapa de Fuentes Sismogénicas Superficiales, propuesto por Castillo y Alva (1993), la máxima magnitud que puede ocurrir en el área del proyecto asociada a estas fuentes es de 7.4. Asimismo, los mismos autores han presentado un mapa de Isoaceleraciones determinadas a partir de criterios probabilísticos, considerando un porcentaje de excedencia de 10% para una estructura cuya vida útil será de 50 años, lo cual corresponde a un tiempo de retorno del sismo máximo probable de 475 años. Para el área en estudio, los autores proponen una aceleración máxima de 0.31g, tal como se muestra en la Figura 4.1. El periodo de retorno antes indicado es consistente con lo estipulado por el Ministerio de Energía y Minas para el análisis sísmico de depósitos de relaves en condición de abandono y puede ser extrapolado para el caso de un pad de lixiviación considerando el periodo de vida operativo y la etapa post-cierre del mismo.

Por lo tanto, para el análisis sísmico de las instalaciones proyectadas se recomienda la utilización de criterios a largo plazo para la definición del evento sísmico de diseño. En ese sentido, Vector recomienda utilizar un valor de **0.31g** como aceleración máxima esperada en la zona del proyecto.

Figura 4.1
Aceleraciones en la Zona en Estudio (Según Castillo y Alva, 1993)



4.3.2 Coeficiente Sísmico

De acuerdo a la literatura técnica existente ampliamente aceptada internacionalmente, se recomienda que el coeficiente sísmico a ser considerado en el análisis en la condición pseudo-estática de diseño de taludes, sea obtenido como una fracción que varía entre 1/2 a 1/3 de la máxima aceleración esperada. Esta recomendación es consistente con las recomendaciones del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (U.S. Army Corps of Engineers), quienes sugieren el uso de un coeficiente sísmico pseudo-estático igual al 50% de la aceleración pico de diseño. Debido a distorsiones de los algoritmos de cómputo, es una práctica común utilizar una aceleración reducida para el análisis pseudo-estático. La recomendación del Cuerpo de Ingenieros está basada en estudios de numerosos terraplenes y su comportamiento durante eventos sísmicos.

Por lo tanto, a partir de lo indicado anteriormente Vector recomienda utilizar un coeficiente sísmico de **0.15** para el análisis pseudo-estático de diseño de taludes del Pad 14 y de los taludes de corte en la zona de las pozas. Este valor se encuentra en el límite superior del rango antes mencionado.

5.0 HIDROLOGÍA

5.1 Objetivos

El presente estudio hidrológico tiene dos objetivos. El primero está dirigido a determinar los flujos y volúmenes de diseño de las obras de drenaje, derivación y grandes eventos que corresponden al pad de lixiviación 14 en el área de la mina Santa Rosa. El segundo propósito del estudio es efectuar un balance para determinar y verificar el tamaño de los volúmenes de operación y de contención de las pozas de operación y de manejo de grandes eventos, para condiciones normales y extremas; y estimar la cantidad de agua excedente y las demandas de agua fresca según sea el caso, para el periodo de trabajo del Pad 14.

Las evaluaciones presentes aprovecharon la información y conclusiones extraídas de estudios previos hechos para el desarrollo minero del área o de áreas cercanas (Vector Perú S.A.C., Julio 2003; Vector Perú S.A.C., 2003; Knight Piésold Consulting, 2000; SGS, 1999; Cambior Chile S. A., 1998; Klohn Crippen-SVS S.A., 1998). Los criterios hidrológicos mencionados en estudios previos han sido revisados, actualizados y adaptados.

La información básica determinada en el estudio previo de Vector Perú en el área (Ingeniería de Detalle de Pad de Lixiviación N°11 y Poza de Grandes Eventos N°11, Mina Santa Rosa, Julio 2003) ha sido actualizada al igual que los parámetros hidrológicos de diseño. La actualización correspondió a los nuevos registros que el Senamhi tiene disponibles y que fueron adquiridos para este estudio, y que incumbieron a variables de precipitaciones y evaporaciones de las estaciones de Huangascocha y Cajabamba, y Santiago de Chuco. Es importante notar que el efecto de la actualización en el valor de los parámetros fue marginal.

En el Anexo C se presenta el resumen de la información dispuesta para el presente estudio. Los criterios principales de la hidrología están resumidos en las siguientes secciones.

5.2 Área de Estudio

El área del proyecto se refiere a la ampliación de las instalaciones de lixiviación de la mina Santa Rosa, denominadas pad de lixiviación N° 14. Al igual que las demás instalaciones de lixiviación de la mina el área se ubica en las cumbres de las subcuencas de los ríos Ucumal y Sacalla, entre 3435 y 3558 msnm. Estos ríos pertenecen a la cuenca del río Angasmarca, tributario del río Tablachaca. El río Tablachaca es un afluente del río Santa, el cual pertenece a la vertiente del Pacífico.

5.3 Información Básica

La información básica proviene de registros de estaciones meteorológicas del Senamhi cercanas al área del proyecto. La Tabla 5.1 indica la posición, altitud y tipo de las estaciones consideradas. En la Figura 5.1 se muestra la posición geográfica del área de estudio y de las estaciones meteorológicas cercanas.

La información relevante para el estudio consiste en registros de precipitaciones mensuales, anuales, y máximas diarias, registros de evaporaciones mensuales y anuales, y datos

climáticos. La Figura 5.2 indica las series de datos que se han dispuesto de cada estación, para cada una de las variables mencionadas.

Complementan la información básica, las conclusiones y apreciaciones indicadas en estudios hidrológicos regionales, sobre precipitaciones y evaporaciones, de los cuales cabe resaltar: el Estudio de la Hidrología del Perú, UNI-SENAMHI; la Caracterización Hidrológica del Perú, Salzgitter-ELECTROPERU; y el Mapa de Evaporación en el Perú, Senamhi.

Figura 5.1
Ubicación del Área del Proyecto y Estaciones Meteorológicas Cercanas

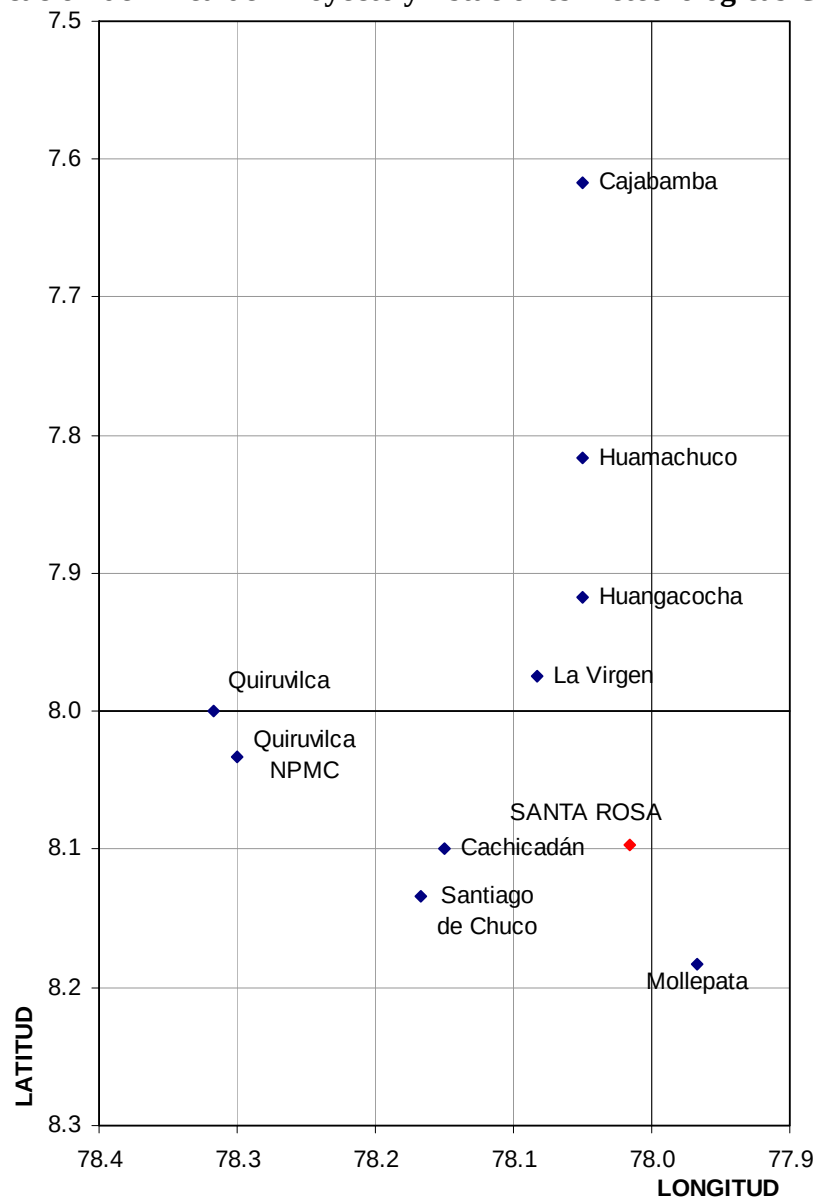
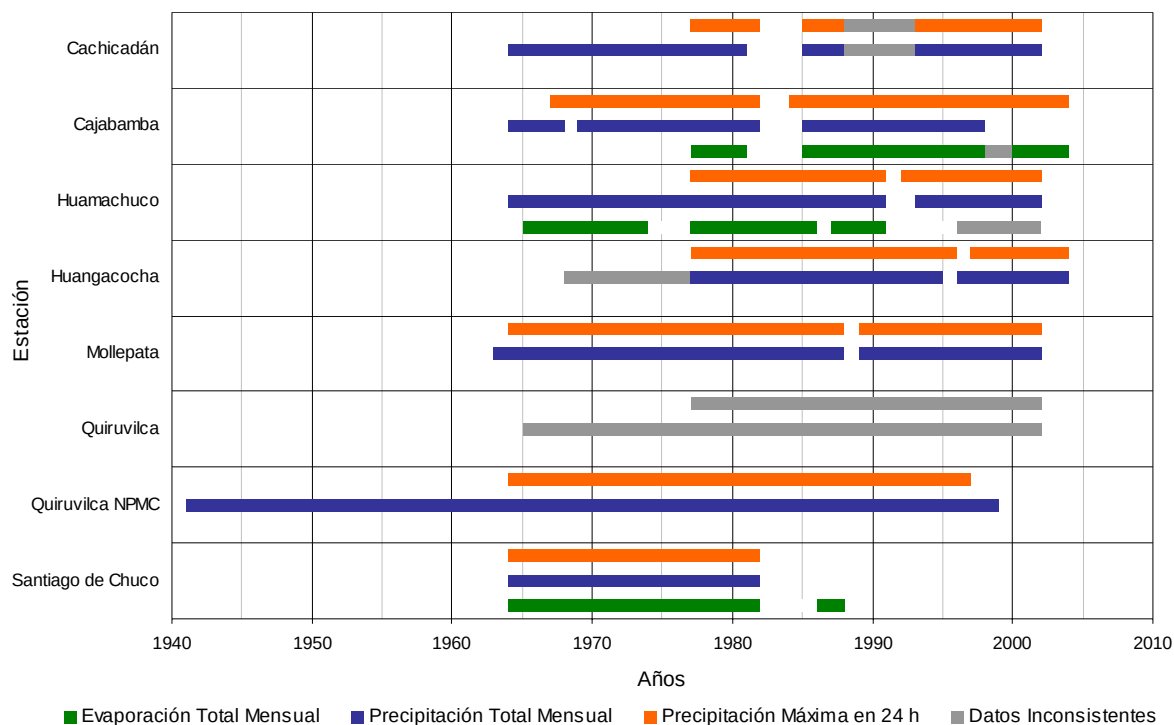


Tabla 5.1
Relación de Estaciones Meteorológicas

Estación	Tipo	Propietario	Latitud Sur	Long. Oeste	Altitud (msnm)	Ubicación		
						Departam.	Provincia	Distrito
Cajabamba	CO	Senamhi	07°37'	78°03'	2491	Cajamarca	Cajabamba	Cajabamba
Cachicadan	PLU	Senamhi	08°06'	78°09'	2892	La Libertad	S. Chuco	Cachicadán
Santiago de Chuco	CO	Senamhi	08°08'	78°10'	3129	La Libertad	S. Chuco	S. Chuco
Huamachuco	CO	Senamhi	07°49'	78°03'	3200	La Libertad	Sánchez Carrión	Huamachuco
Mollepata	PLU	Senamhi	08°11'	77°58'	3758	La Libertad	S. Chuco	Mollepata
Huangacocha	PLU	Senamhi	07°55'	78°03'	3920	La Libertad	Sánchez Carrión	Huamachuco
Quiruvilca	PLU	Senamhi	08°00'	78°19'	3950	La Libertad	S. Chuco	Quiruvilca
Quiruvilca NPMC	CO	Northern Perú Mining Corp.	08°02'	78°18'	3950	La Libertad	S. Chuco	Quiruvilca

Figura 5.2
Periodo de Registro de Estaciones Meteorológicas



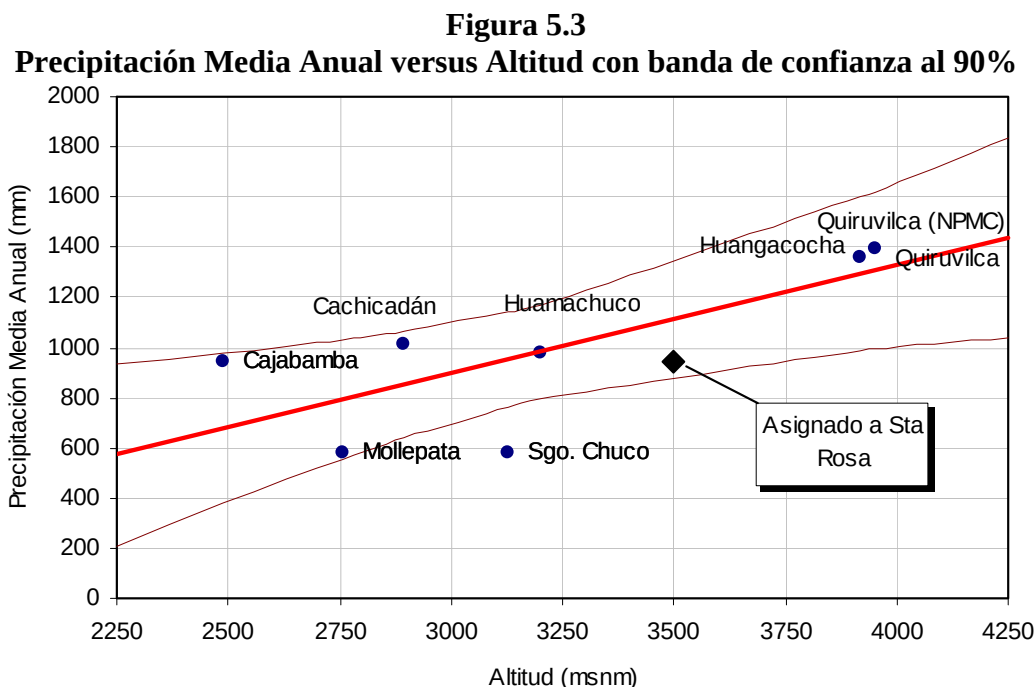
5.4 Precipitación

5.4.1 Precipitaciones Mensuales y Anuales

La precipitación se origina de masas de aire de tipo tropical con alto contenido de humedad, provenientes de la cuenca Amazónica, las cuales son elevadas por los vientos del Noreste sobre la Cordillera de los Andes traspasando el macizo andino y ocasionando la pluviosidad en la zona. Las masas son de características inestables acentuándose estas condiciones de inestabilidad durante el verano austral como resultado del desplazamiento hacia el Sur de la zona de convergencia intertropical.

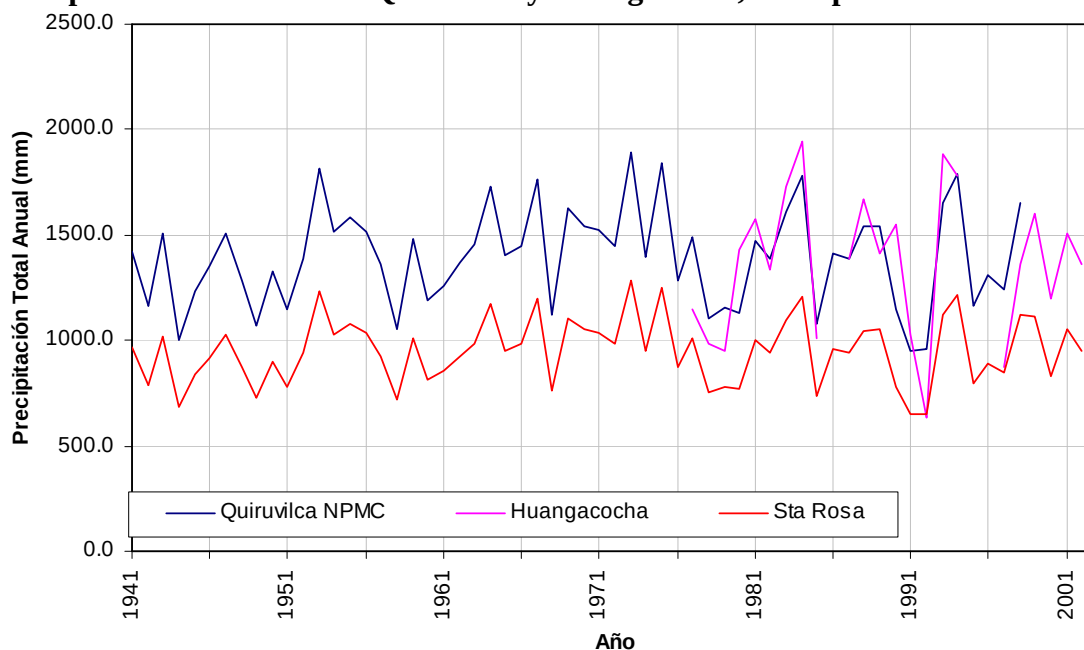
El régimen de las precipitaciones es estacional registrándose los valores más altos de octubre a marzo originando el denominado periodo de lluvias coincidente con el periodo de avenidas o creciente de ríos. Los valores mínimos anuales ocurren en los meses de junio y julio debido a las masas de aire superior que tienen su origen en los valles interandinos. Estas masas son frías, secas y estables y dan origen a un periodo de cielos despejados.

Las precipitaciones anuales en la región del proyecto están fuertemente influenciadas por el factor orográfico, advirtiéndose una relación creciente de la precipitación media anual con la altitud. La Figura 5.3 muestra dicha relación basada en los registros de 7 estaciones cercanas al área de estudio con datos consistentes (Cachicadán, Cajabamba, Huamachuco, Huangacocha, Mollepata, Senamhi, Quiruvilca NPMC, Santiago de Chuco). Es de remarcar que previo al desarrollo de la relación se efectuó un análisis de consistencia de las series de precipitaciones anuales. En la Figura 5.2 también se muestran las longitudes de registro consideradas inconsistentes.



Las precipitaciones mensuales en la región, en la época de lluvias, están comprendidas entre 0.04 y 0.23 respecto a la precipitación anual; y se han registrado tan altas como 718.4 mm. (Huangacocha, Febrero 1984). El padrón de las fluctuaciones de las precipitaciones mensuales del sitio del proyecto se considera representado por las precipitaciones en Quiruvilca NPMC y Huangacocha, por la cercanía en posición geográfica y altitud. Dichas estaciones muestran una gran coincidencia en sus respectivos ciclos de precipitaciones anuales, como se puede observar en la Figura 5.4.

Figura 5.4
Precipitaciones Anuales en Quiruvilca y Huangacocha, Extrapoladas a Santa Rosa



Las precipitaciones asignadas al sitio del proyecto fueron obtenidas interpolando la relación precipitación anual media versus altitud, y a la vez realizando una calibración mediante un balance de agua, en base a la experiencia de que en el año 2001, un año húmedo, las pozas de las instalaciones de lixiviación existentes fueron suficientes para el almacenamiento de los drenajes de lluvias. El factor de calibración resultó ser 0.85, el cual ubica la extrapolación de precipitaciones dentro del 90% de la banda de confianza de la relación precipitaciones anuales versus altitud, ver Figura 5.3.

La serie de precipitaciones obtenida resultó muy conveniente por permitir gran continuidad y extensión de los datos (1941-2001). La información generada, a nivel mensual (ver Tabla C-1 del Anexo C), fue usada para realizar el Balance de Aguas de los pads de lixiviación y pozas.

Bajo el supuesto anotado, la Figura 5.5 muestra la distribución típica de las lluvias anuales en el sitio del proyecto, en términos de cantidades promedio. Asimismo, la Tabla 5.2 muestra las

precipitaciones promedio, desviación estándar, mínimas y máximas mensuales consideradas representativas para el área del proyecto.

Figura 5.5
Precipitación Típica Mensual Asignada a Santa Rosa

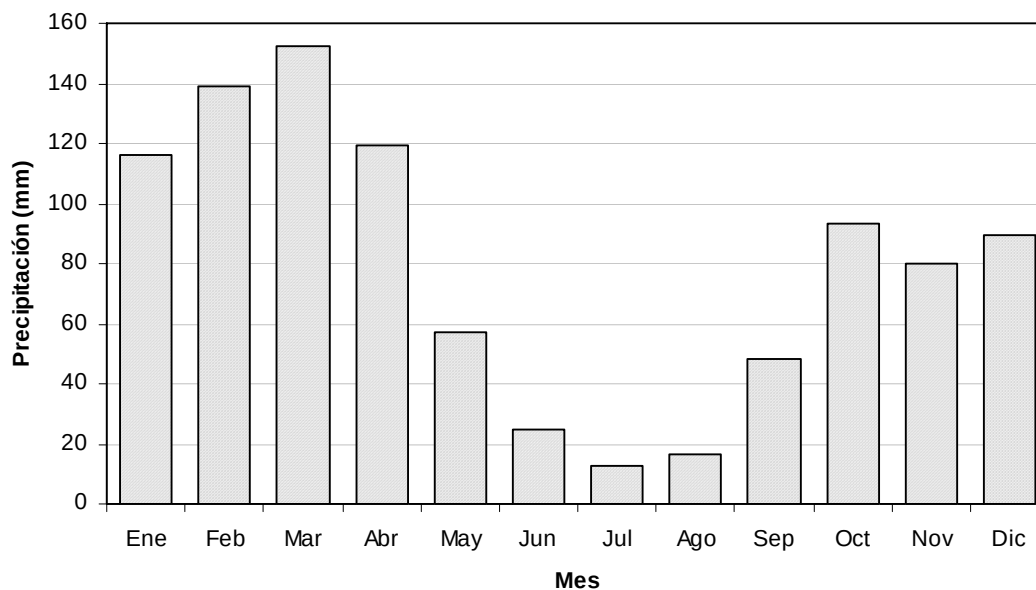


Tabla 5.2
Precipitación Típica Mensual Asignada a la mina Santa Rosa

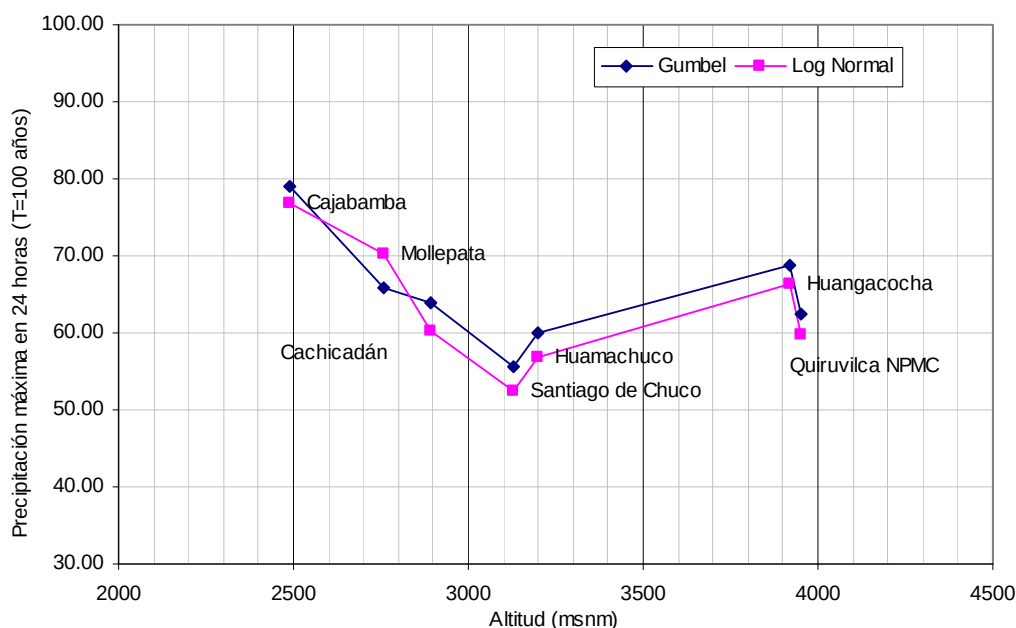
Mes	Promedio mm	Desviación estándar mm	Máxima mm	Mínima mm	% anual %
Enero	116.0	53.3	242.3	36.0	12%
Febrero	138.8	59.6	325.6	34.7	15%
Marzo	152.3	47.1	244.2	67.3	16%
Abril	119.6	38.6	214.1	26.0	13%
Mayo	57.0	31.5	170.7	10.3	6%
Junio	24.8	18.9	85.9	0.0	3%
Julio	12.4	11.3	46.9	0.0	1%
Agosto	16.2	14.9	60.5	0.0	2%
Septiembre	48.5	27.2	131.6	0.0	5%
Octubre	93.4	40.6	174.8	17.0	10%
Noviembre	80.2	31.1	165.6	3.5	8%
Diciembre	89.2	41.6	163.9	0.0	9%
Anual	951.7	156.8	1285.9	648.7	100%

5.4.2 Precipitaciones Máximas

a) Precipitaciones Máximas en 24 horas

Las precipitaciones máximas en la región son independientes del factor orográfico. En un estudio anterior (“Pad de Lixiviación N°11 y Poza de Grandes Eventos N°11”, Vector Perú SAC, 2003) sobre la hidrología de la zona con fines de diseños de pilas de lixiviación determinó que no es apreciable relación alguna entre las precipitaciones máximas y la altitud, para las estaciones situadas sobre 2800 msnm, como se ilustra en la Figura 5.6.

Figura 5.6
Precipitaciones Máximas versus Altitud
Ajustes Gumbel y Lognormal



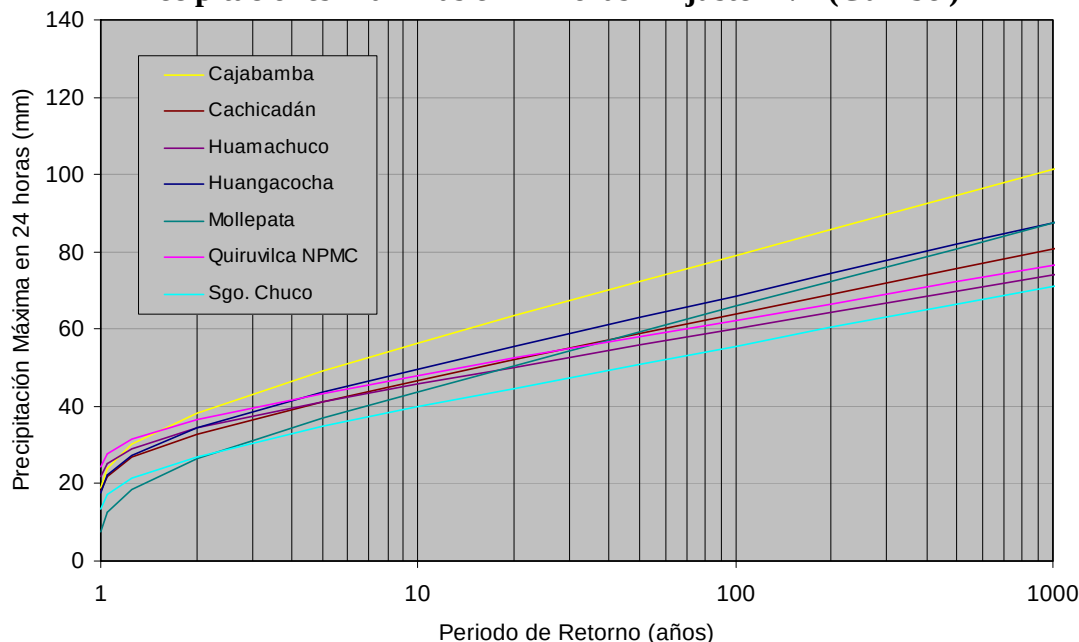
Las precipitaciones máximas diarias para el sitio de la mina fueron determinadas en el estudio mencionado. La serie de precipitaciones máximas de las estaciones mostradas en la Tabla 5.1 fueron ajustadas a diversos modelos probabilísticos, seleccionándose el modelo de Gumbel (EV1) en base a índices estadísticos de bondad de ajuste. Otra distribución, la lognormal, proporcionaba índices estadísticos semejantes, pero ofrecía estimados 5% menores en promedio; ver Figura 5.6. Con criterio conservativo y de uniformidad la distribución Gumbel fue seleccionada para todas las estaciones.

Es importante señalar que los registros con datos incompletos fueron adaptados utilizando métodos de análisis histórico (Historical Flow Threshold), asumiendo que la precipitación no registrada era del orden de la máxima precipitación registrada en las otras estaciones en el mismo año.

Finalmente, para obtener las precipitaciones máximas en 24 horas, las precipitaciones máximas diarias fueron ajustadas por el factor 1.12, con el fin de corregir los sesgos de subestimación de mediciones tomadas en intervalos fijos cada 24 horas, dado que los datos provienen de registros pluviométricos.

Las precipitaciones máximas calculadas para diversos periodos de retorno desde 2 a 1000 años para las estaciones disponibles se muestran en la Figura 5.7. La Tabla 5.3 muestra las precipitaciones máximas de 24 horas características para el área del estudio. Se consideró fuera del grupo regional la estación de Cajabamba, debido a su lejanía, y las precipitaciones máximas fueron asignadas como la envolvente de las calculadas en las restantes estaciones. De hecho, Cajabamba se ubica en la subregión hidrológica 5_{a8}, mientras las demás en la 5_{a7}, según la zonificación de la “Hidrología del Perú” (IILA-SENAMHI-UNI, 1983). La tabla también incluye el estimado para la Precipitación Máxima Probable, PMP, la cual fue calculada por el método de Hershfield, ya que no hay disponible información acerca del patrón de las tormentas en la región.

Figura 5.7
Precipitaciones Máximas en 24 horas – Ajuste EV1 (Gumbel)



b) Intensidades Máximas

Puesto que no hay estaciones pluviográficas cercanas, la curva intensidad duración se ha determinado aprovechando el modelo IILA (Estudio “La Hidrología del Perú”, Senamhi-UNI-IILA, 1983) considerando que el sitio se encuentra en la subregión hidrológica 5_{a7}.

Las precipitaciones máximas correspondientes, extrapolando la relación del IILA a los resultados de precipitaciones máximas son presentadas en la Tabla 5.3. Por otro lado, las

intensidades máximas correspondientes, aplicando la relación del IILA, son presentadas en la Tabla 5.4.

Tabla 5.3
Precipitación-Duración-Frecuencia. Extrapolación de la Relación IILA

Periodo [años]	10	20	50	100	500	0.5 PMP
P24 [mm]	50	56	64	70	83	130
Duración t [horas]	P [mm]					
0.08	3.2	3.5	4.1	4.4	5.3	8.2
0.17	5.5	6.2	7.1	7.7	9.2	14.4
0.25	7.4	8.3	9.5	10.3	12.3	19.2
0.50	11.4	12.7	14.5	15.9	18.9	29.5
1.00	16.2	18.1	20.7	22.6	26.9	42.1
2.00	21.7	24.3	27.8	30.4	36.0	56.4
3.00	25.3	28.3	32.4	35.4	42.0	65.7
6.00	32.2	36.0	41.2	45.0	53.4	83.6
12.00	40.3	45.1	51.5	56.4	66.8	104.7
18.00	45.7	51.2	58.5	64.0	75.9	118.9
24.00	50.0	56.0	64.0	70.0	83.0	130.0

Tabla 5.4
Intensidad-Duración-Frecuencia. Según Relación IILA

Periodo [años]	10	20	50	100	500	0.5 PMP
P24 [mm]	50	56	64	70	83	130
Duración t [horas]	I [mm/hora]					
0.08	38.0	42.6	48.7	53.2	63.1	98.9
0.17	33.1	37.1	42.4	46.4	55.0	86.2
0.25	29.5	33.1	37.8	41.4	49.0	76.8
0.50	22.7	25.5	29.1	31.8	37.7	59.1
1.00	16.2	18.1	20.7	22.6	26.9	42.1
2.00	10.9	12.2	13.9	15.2	18.0	28.2
3.00	8.4	9.4	10.8	11.8	14.0	21.9
6.00	5.4	6.0	6.9	7.5	8.9	13.9
12.00	3.4	3.8	4.3	4.7	5.6	8.7
18.00	2.5	2.8	3.3	3.6	4.2	6.6
24.00	2.1	2.3	2.7	2.9	3.5	5.4

5.5 Evaporación

Los datos de evaporación en la zona son más escasos que los datos de precipitaciones. Se cuentan con datos de evaporación sólo en las estaciones de Huamachuco (1965-2001), Santiago de Chuco (1967-1981), y Cajabamba (1977-1997). Los registros tienen las inconveniencias de su discontinuidad, poca longitud (ver Figura 5.2), años con mediciones inconsistentes (Huamachuco 1996-2001, Cajabamba 1998-1999) y el haber sido medidos con evaporímetros tipo Piché en caseta y no en tanques. Las evaporaciones anuales medidas en dichas estaciones oscilan entre 809 y 1336 mm, 1000 y 1774 mm, 721 y 1392 mm, respectivamente en el orden mencionado.

Tabla 5.5
Datos Climáticos y de Evaporación

Estación	Periodo	Altitud msnm	Temp. Media °C	Humedad Relativa %	Evaporación Anual mm	Velocidad de Viento Km/h
Cajabamba	1965-2001	2941	16	77	925	ND
Huamachuco	1977-2001	3200	12.3	85.4	1018	ND
La Arena	Ene 98-Feb 99	3312	10	84	ND	10
La Virgen	Ago 98-Ene 99	3445	11.3	77	ND	ND
Mina Santa Rosa	Mar 04-May 04	3500	9.7	ND	ND	5.3
Santiago de Chuco	1965-1981	3113	12	69	1303	ND

ND: No Disponible

En el estudio Evaluación del Potencial Hidroeléctrico Nacional (Consortio LahMeyer-Salzgitter LIS, 1980) se condujo un extenso análisis de las evaporaciones observadas en el Perú, consiguiéndose definir regiones de evaporación. Según dicho estudio la zona del proyecto se ubica vecina a la región de evaporación 2, en la cual se definió una leve relación con la altitud, que para 3500 msnm, la altitud de las instalaciones de lixiviación, indica envoltentes de evaporaciones medias anuales entre 800 y 1350 mm, pero con un trazo conservativo que llega hasta 1900 mm. El amplio margen de variación es explicable por las diversas condiciones locales de radiación solar y vientos dentro de la región.

El estudio de Salzgitter también provee un factor de corrección de evaporaciones medidas con evaporímetro Piché para convertirlas a evaporaciones en tanque A. Según dicho estudio, aprovechando 35 estaciones que tenían ambos instrumentos se determinó el factor de corrección 1.1. La Figura 5.8 muestra las series de tiempo de las evaporaciones anuales en las estaciones arriba mencionadas, apreciándose una gran similitud en sus tendencias y oscilaciones.

Debido a la proximidad en altitud entre Huamachuco, Santiago de Chuco y el sitio del proyecto (ver Tabla 5.5) se decidió utilizar el promedio de los registros de las estaciones mencionadas como el representativo del área del proyecto.

El promedio conseguido coincide muy bien con las isolíneas del Atlas de Evaporación del Perú, mencionado en el estudio de Knight Piésold (2000), las cuales estiman la evaporación anual en el área del proyecto en 1200 mm. Para extender los datos a los años en que la estación de Cajabamba los tiene más completos, se factorizó los registros de esta estación para hacerlos del orden de magnitud de las asignadas al área del proyecto.

Evaporaciones estandarizadas como provenientes de tanques tipo A fueron obtenidas usando el factor de corrección 1.1; esta información utilizada en el balance de aguas se muestra en la Tabla C-2 del Anexo C. La Tabla 5.6 muestra las evaporaciones típicas asignadas al sitio del proyecto.

Figura 5.8
Serie de Tiempo de Evaporaciones Anuales

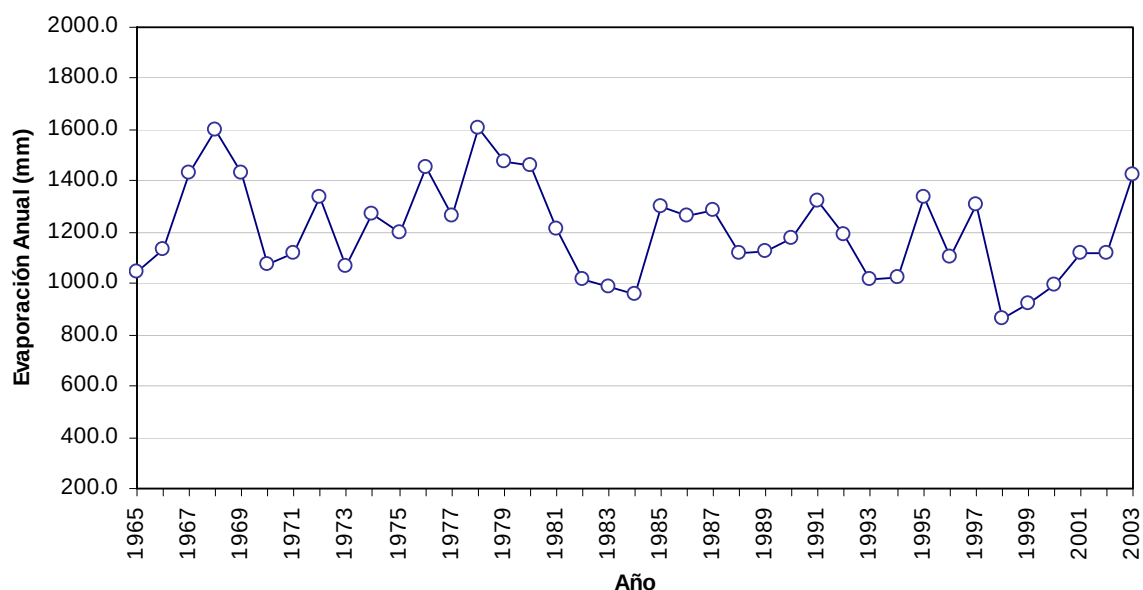


Tabla 5.6
Evaporación Típica Mensual Asignada a la mina Santa Rosa

Mes	Promedio (mm)	Desviación estándar (mm)	Máxima (mm)	Mínima (mm)	% Anual (%)
Enero	80.7	27.9	149.8	19.3	6.7%
Febrero	58.2	20.5	94.6	15.4	4.8%
Marzo	60.1	20.4	114.4	25.4	5.0%
Abril	67.5	23.6	130.2	16.1	5.6%
Mayo	96.6	28.4	149.1	32.5	8.0%
Junio	118.8	33.0	180.9	35.1	9.8%
Julio	147.9	30.6	235.4	99.6	12.2%
Agosto	149.3	31.8	214.8	63.1	12.4%
Septiembre	126.7	28.8	187.3	75.4	10.5%
Octubre	103.5	29.1	165.7	64.3	8.6%
Noviembre	103.8	29.8	173.9	31.6	8.6%
Diciembre	95.5	30.5	176.8	38.8	7.9%
Anual	1208.6	187.1	1605.8	861.7	100.0%

5.6 Hidrología de Canales y Conductos de Derivación

Para determinar el caudal de diseño de los canales y conductos de derivación se utilizó la precipitación máxima en 24 horas para un periodo de retorno de 100 años. Se considera este criterio lo suficiente conservativo, dado que la vida útil de las instalaciones planteadas alcanza el orden de 6 años. Los flujos pico para el cierre, que serán calculados usando eventos de mayor periodo de retorno, se considera que serán menores, debido a que los trabajos de restauración con cobertura vegetal y medidas de retención reducirán las tasas de escorrentía, y porque los flujos de las pilas ya lavadas podrán orientarse y repartirse hacia otros sectores.

La Tabla 5.7 indica los flujos pico calculados, y las situaciones de diseño considerados.

Tabla 5.7
Flujos Pico de Diseño

Instalación	Situación de Diseño	Evento de Diseño	Caudal Pico m ³ /s
Derivación de Pad 14 Fase I	Área con revestimiento, sin mineral encima, en el momento de la mayor ampliación en el periodo, 6.5 Has.	24h - 100 años	1.30
Derivación de Pad 14 Fase II	Área con revestimiento, sin mineral encima igual a la mayor ampliación en el periodo, 5.5 Has.	24h - 100 años	1.14
Cunetas perimetrales y Canales de coronación	Condición húmeda del suelo, de acuerdo al tiempo de retorno	24h - 20 años	62 lt/s/Ha

Los demás criterios principales que se emplearon para la determinación de los flujos pico se exponen en las siguientes secciones.

5.6.1 Flujos Pico del Pad 14

Los flujos máximos que saldrán del pad de lixiviación es la suma de los flujos de escorrentía, los flujos base proveniente de las lluvias infiltradas en el cuerpo de la pila, y los flujos de lixiviación.

Los flujos de escorrentía han sido calculados para el evento de precipitación máxima de 24 horas de 100 años de periodo de retorno, así como los flujos base corresponderán a una estación húmeda del mismo periodo de retorno.

Las escorrentías fueron calculadas mediante el método de hidrograma unitario. A la tormenta de diseño se le ha asignado una duración de 6 horas, de acuerdo a la experiencia de Vector, en base a registros meteorológicos horarios que ha tenido a su disposición de otras zonas de la sierra peruana. La tormenta de diseño fue determinada aplicando el método de bloque alternante a la relación precipitación-duración- frecuencia.

En este caso por ser el Pad 14 uno nuevo, el escenario desfavorable de diseño consistió en suponer que la lluvia máxima cae cuando parte del revestimiento esté recién colocado sin mineral sobre él. Así tanto para la Fase I como la Fase II, se consideró la situación desfavorable, el momento en que la mayor ampliación dentro de cada fase esté recién desplegada. Lo anterior implica aproximadamente 6.5 y 5.5 Has de revestimiento, respectivamente.

Según COMARSA, los flujos infiltrados en el área de lixiviación descienden con una velocidad de 4 m por día. En la situación de diseño, se espera que el flujo descienda en 7.5 días, considerando que las pilas tuvieran 30 m en promedio. Siguiendo este orden de magnitud, conservadoramente se estimó que las precipitaciones infiltradas en las áreas no lixiviadas descenderán en el doble de ese tiempo. En la Tabla C-27 del Anexo C, se exponen más detalles del cálculo.

5.6.2 Flujos Pico en las Laderas de los Terrenos Circundantes

Los flujos máximos debidos a tormentas descendiendo desde las laderas adyacentes fueron calculados utilizando el método racional, dada la poca extensión de las áreas de drenaje, tal como se indica a continuación:

Método aplicado:	Racional
Parámetros	
Coeficiente de escorrentía:	0.60
Tiempo de concentración:	10 minutos
Tiempo de retorno:	20 años
<u>Caudal Pico:</u>	62 litros / segundo / hectárea

5.7 Balance de Aguas

5.7.1 Datos Climáticos

Los datos de precipitaciones provenientes de las estaciones Quiruvilca NPMC (Altitud: 3950 msnm Latitud: 08°02' Sur Longitud 78°18' Oeste) y Huangacocha (Altitud: 3920 msnm Latitud: 07°55' Sur Longitud 78°03' Oeste), ubicadas a 32 km y 13 km respectivamente del sitio del proyecto, fueron establecidos como representativos de las condiciones del sitio del proyecto. Los datos de precipitaciones fueron extrapolados al sitio del proyecto, en función de la relación precipitación anual versus altitud obtenida para la región, y un factor de corrección basado en un balance de aguas de la situación llevada en el año 2001 en la mina. Los registros de precipitaciones mensuales de las estaciones Quiruvilca y Huangacocha permiten tener información desde el año 1941.

Las evaporaciones en el sitio del proyecto fueron obtenidas a partir de los registros de las estaciones de Cajabamba (Altitud: 2491 msnm Latitud: 07°37' Sur Longitud 78°03' Oeste), Huamachuco (Altitud: 3200 msnm Latitud: 07°49' Sur Longitud 78°03' Oeste), y Santiago de Chuco (Altitud: 3129 msnm Latitud: 08°08' Sur Longitud 78°10' Oeste). Los datos de evaporación, provenientes de registros de evaporímetros Piche, fueron convertidas a equivalentes de tanque evaporímetro tipo A por medio del factor 1.1, determinado en el estudio de Salzgitter (1980). Luego fueron extrapolados a las condiciones propias del sitio, tal como se describió en el acápite precedente.

El registro de evaporaciones mensuales en las estaciones mencionadas permite tener información desde el año 1965.

5.7.2 Modelo Balance de Aguas

El propósito del balance aguas fue determinar lo siguiente:

- El tamaño de los volúmenes de operación, para condiciones normales y extremas.
- Las necesidades de ingreso de agua fresca al proceso de operación, o las cantidades excedentes de agua.

Para alcanzar dichos propósitos se desarrolló una aplicación de cómputo por medio de una hoja de cálculo.

5.8 Criterios de la Simulación

Los criterios considerados en el balance de aguas se exponen en las dos tablas siguientes:

Tabla 5.8
Criterios de Diseño Usados en el Balance de Aguas

Descripción	Fase I	Fase II	Unidad
Tasa de Producción del mineral	300,000	300,000	TM/mes
Tiempo de Operación	36	48	meses
Densidad del mineral	1.7	1.7	TM/m ³
Tasa de aplicación	8	8	l/hr/m ²
Área bajo lixiviación	41,667	41,667	m ²
Área Pad 14	7.8 a 17.6	17.6 a 27.9	ha
Duración de averías, tiempo de percolación libre	24	24	hr
Tormenta de 24 h – 100 años	70	70	ha
Altura de pila típico	8	8	m
Rotación de riego	60	60	días
Capacidad de las pozas PLS	28,200	28,200	m ³
Capacidad de las poza de Grandes Eventos	40,200	40,200	m ³
Capacidad Total de pozas	68,400	68,400	m ³
Humedad natural del mineral	2.0	2.0	%
Capacidad de campo del mineral	6.0 a 7.0	6.0 a 7.0	%
Factor de evaporación de pozas	0.80	0.80	
Factor de evaporación de área de lixiviación	0.90	0.90	
Factor de evaporación de área no lixiviada	0.15–0.35	0.15–0.35	
Pérdidas por aspersión (Enero - Diciembre)	2.3 – 2.6	2.3 – 2.6	%
Pérdida de solución total	8.5 a 10	8.5 a 10	%
Mes de Inicio de la simulación	Octubre	Octubre	
Volumen inicial en pozas	4,000	Volumen Final de Fase I	m ³
Tamaño de boquilla de aspersores	7	7	Nº
Presión de trabajo de los aspersores	20 - 25	20 – 25	psi

Tabla 5.9
Secuencia de Desarrollo del Pad

Mes de instalación	Área Pad Desplegado Ha	Ampliaciones m ²
1	7.8	--
7	14.3	6.5
13	16.5	2.2
25	17.6	1.1
37	23.1	5.5
49	25.2	2.1
61	27.9	2.7

La capacidad de las pozas ha sido determinada para manejar lo siguiente en cualquier momento de la vida útil del proyecto:

- Volumen de operación.
- Volumen de contingencia ante averías en el sistema, para almacenar la percolación libre proveniente de la pila durante el tiempo que toma la vuelta a operación del sistema de reciclado y aplicación de la solución.
- Volumen de contingencia para la tormenta de diseño.

Por forma de operación se entiende que se realizará la lixiviación en los pads, desde donde la solución cargada será dirigida a la Poza PLS. Los flujos de drenaje de lluvias serán dirigidos a la Poza de Grandes Eventos.

Se ha adoptado 24 horas como duración de la contingencia por averías y mal funcionamiento; esta asunción se considera aceptable, debido a la proximidad con la ciudad de Trujillo, donde recursos técnicos y materiales podrían obtenerse rápidamente para restituir las operaciones.

El volumen de contingencia por lluvias extremas ha sido establecido de acuerdo a la Guía Ambiental para Proyectos de Lixiviación en Pilas, utilizando los dos criterios ahí planteados: uno como el volumen correspondiente a la tormenta de 100 años de periodo de retorno que debe ser adicionado a las fluctuaciones mensuales de un año promedio, y el otro, incluyendo en las evaluaciones de balance de agua, los registros de precipitaciones mensuales, dado que se cuenta con registros generados prolongados.

Siguiendo el segundo criterio, fueron simuladas 37 series, considerando el inicio de las operaciones ocurriendo en cualquiera de los años del registro generado, aprovechando la longitud común de registros de precipitaciones y evaporaciones (1965-2002).

5.9 Resultados y Conclusiones del Balance de Aguas

Los resultados indican que el procedimiento empleando los registros de precipitaciones generadas, producen resultados más conservativos.

Los resultados, comparando los métodos aplicados, se muestran en las Figuras C-1 a C-4 del Anexo C. Las figuras muestran la secuencia de demandas de agua fresca, requerimientos de purga, y almacenamiento total, tanto para la Fase I, como para la Fase II.

También se presentan en el Anexo C, resúmenes de las simulaciones, en las Tablas CA-1 y CA-2, donde están anotados las demandas de agua fresca, las descargas de purga, y los almacenamientos en las pozas, medios y máximos. También se indican el nivel de probabilidad esperada en que estas cantidades máximas ocurran, y el número de meses con necesidades de agua fresca y purga.

En términos de cantidades para el diseño, los cuadros siguientes son un resumen del balance de aguas para las diversas fases consideradas, indicando las capacidades necesarias pronosticadas por las simulaciones. En estos cuadros las cantidades entre paréntesis corresponden a los estimados con el criterio del año medio, es decir, las fluctuaciones del año promedio más volumen de tormenta de 24h-100 años y contingencia por parada de bombas.

Las columnas de mínimo y máximo corresponden aproximadamente a años secos y húmedos de 100 años de periodo de retorno.

Tabla 5.10
Resultados del Balance de Aguas
Fase I, 36 Meses de Operación

Variable	Unidad	Mínimo	Promedio	Máximo
Demanda de agua fresca	m ³ /h	33.1	35.7	38.0
Meses con demanda agua fresca	mes	24	29	34
Descargas de agua de purga	m ³ /h	0	0	0.8
Meses con necesidades de purga	mes	0	0	1
Volumen total	m ³	12,968	37,934	68,400

Tabla 5.11
Resultados del Balance de Aguas
Fase II, Sigüientes 48 meses de Operación

Variable	Unidad	Mínimo	Promedio	Máximo
Demanda de agua fresca	m ³ /h	28.2	34.8	38.0
Meses con demanda agua fresca	meses	11	21	32
Descargas de Agua de purga	m ³ /h	0	33.3	61.0
Meses con necesidades de purga	meses	0	4	7
Volumen total	m ³	65,141	68,295	68,400

En síntesis, como resultado de las simulaciones, puede apreciarse que, en la Fase I de 3 años:

- El volumen de las pozas en conjunto, 68,400 m³, es suficiente para que no haya necesidad de realizar purgas de agua durante esta fase.

- Si la ampliación del pad a 14.3 Has se hiciera luego de la primera temporada de lluvias, la poza PLS sería suficiente para manejar los flujos de la primera temporada de lluvias. Esto se advierte en la Figura C-3 en el Anexo C.

Con respecto a la Fase II, puede concluirse que:

- El volumen en conjunto de 68,400 m³ es insuficiente para evitar la necesidad de ejecutar purgas. Se nota el crecimiento del riesgo de tener que hacer descargas de purga conforme el mayor tiempo de operación del pad. Así el riesgo de tener que hacer descargas es moderado el 4to año (16%), es alto el 5to año (43%), y muy alto el 6to y 7mo año (>50%).
- En caso de seguirse utilizando las pozas de 68,400 m³, la capacidad de la planta de tratamiento necesaria sería de 61 m³/hora.
- Si no se implementase una planta de tratamiento, la capacidad en conjunto de las pozas debería ser del orden de 165,000 m³, para no tener riesgo de necesidad de descargas de purga en la Fase II (ver Figura C-4 en el Anexo C). Esto implicaría la necesidad de construir una poza adicional de grandes eventos.

6.0 INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS

Para la ejecución del presente estudio Vector llevó a cabo un programa de investigaciones geotécnicas en la zona de Cochavara donde se proyecta la construcción del pad de lixiviación N°14 y las pozas pregnant y de grandes eventos; consistentes en la ejecución de calicatas, perforaciones, muestreo de los materiales de cimentación y ensayos de laboratorio en muestras representativas. El programa de muestreo también incluyó la obtención de muestras de mineral, material para relleno estructural, sobre-revestimiento (“overliner”) y suelos de baja permeabilidad. Se describen a continuación las investigaciones desarrolladas.

6.1 Excavación de Calicatas

En el mes de Abril del 2004, Vector ejecutó un total de 28 excavaciones a cielo abierto (calicatas) convenientemente ubicadas dentro de la zona del pad y de las pozas, con la finalidad de evaluar las condiciones geotécnicas de los materiales de cimentación de las instalaciones proyectadas. Las calicatas denominadas TP-101 a la TP-114 fueron realizadas para evaluar la cimentación en la zona del pad de lixiviación, mientras que las calicatas TP-201 a la TP-214 sirvieron para caracterizar la cimentación de las pozas pregnant y de grandes eventos. En cada una de las calicatas se llevó a cabo una detallada descripción de los tipos de suelos encontrados. Asimismo, se tomaron muestras disturbadas representativas, las cuales fueron identificadas, almacenadas en bolsas plásticas y trasladadas a Lima para efectuar ensayos de caracterización física y mecánica de laboratorio de Mecánica de Suelos.

Las calicatas fueron llevadas a cabo utilizando una retroexcavadora de propiedad de Comarsa. La Tabla 6.1 presenta un resumen de las calicatas realizadas. Como se puede observar la profundidad máxima alcanzada fue de 10 metros. Sólo en algunas calicatas se alcanzó el nivel del lecho rocoso. En cada una de las calicatas excavadas se realizó un detallado registro y muestreo de los diferentes tipos de materiales existentes, habiéndose adicionalmente, obtenido fotografías en cada ubicación. En el Anexo A se presentan los registros de las excavaciones ejecutadas. En el Plano 100-04 se presenta la ubicación de las calicatas llevadas a cabo en este estudio.

6.2 Perforaciones

COMARSA realizó 16 perforaciones condenatorias en el área del pad y de las pozas en el sector Cochavara, con la finalidad de descartar la existencia de zonas mineralizadas en el área. Las perforaciones fueron realizadas íntegramente por COMARSA utilizando el sistema de perforación por circulación reversa utilizando el equipo disponible en la mina, debido a lo cual no se realizó un registro geomecánico del macizo rocoso. Las características generales del macizo han sido estimadas a partir de la inspección visual en los afloramientos de roca cuarcita que aparecen dentro del área estudiada.

En la Tabla 6.2 se presenta un resumen de dichas perforaciones, mientras que los registros de perforaciones son presentados en el Anexo A. En el plano 100-04 se presenta la ubicación en planta de las perforaciones. Como se puede observar en la Tabla 6.2 las perforaciones

alcanzaron un máximo de 101 metros de profundidad, habiendo atravesado las formaciones rocosas del área.

Tabla 6.1
Resumen de Calicatas

Excavación	Ubicación	Profundidad (m)	Coordenada N	Coordenada E	Altitud (mnsn)
TP-101	Pad	8.05	9'105,551.88	828,145.37	3,395.6
TP-102	Pad	10.00	9'105,525.12	828,058.60	3,408.5
TP-103	Pad	5.00	9'105,393.68	828,123.43	3,385.2
TP-104	Pad	6.70	9'105,401.58	828,028.61	3,398.6
TP-105	Pad	6.70	9'105,358.25	827,980.12	3,404.7
TP-106	Pad	6.80	9'105,271.00	828,037.00	3,405.3
TP-107	Pad	6.75	9'105,527.22	827,755.73	3,448.7
TP-108	Pad	6.90	9'105,413.11	827,831.90	3,429.8
TP-109	Pad	6.80	9'105,306.56	827,867.37	3,422.1
TP-110	Pad	6.20	9'105,160.00	827,871.00	3,448.0
TP-111	Pad	6.70	9'105,026.04	827,749.55	3,473.5
TP-112	Pad	6.70	9'105,152.44	827,705.00	3,468.8
TP-113	Pad	6.50	9'105,296.28	827,707.71	3,457.5
TP-114	Pad	7.15	9'105,410.39	827,686.47	3,470.3
TP-201	Pozas	4.90	9'105,588.02	828,199.60	3,393.8
TP-202	Pozas	5.85	9'105,474.73	828,281.58	3,366.7
TP-203	Pozas	5.70	9'105,542.62	828,290.03	3,362.4
TP-204	Pozas	3.40	9'105,480.66	828,335.63	3,364.3
TP-205	Pozas	6.75	9'105,412.30	828,335.48	3,372.2
TP-206	Pozas	1.40	9'105,567.00	828,273.00	3,381.1
TP-207	Pozas	5.70	9'105,360.69	828,409.82	3,361.9
TP-208	Pozas	6.55	9'105,242.00	828,390.00	3,364.0
TP-209	Pozas	6.15	9'105,286.45	828,383.46	3,367.8
TP-210	Pozas	5.30	9'105,359.66	828,289.58	3,386.7
TP-211	Pozas	6.95	9'105,294.78	828,280.61	3,385.4
TP-212	Pozas	5.10	9'105,314.50	828,236.21	3,391.6
TP-213	Pozas	7.20	9'105,232.69	828,261.34	3,393.0
TP-214	Pozas	6.55	9'105,302.23	828,335.64	3,383.9

Tabla 6.2
Resumen de Perforaciones

Perforación	Ubicación	Profundidad (m)	Coordenada N	Coordenada E	Altitud (mnsn)
04-DES-RCD-01	Pad	100.0	9°105,027.28	827,922.04	3,465.3
04-DES-RCD-02	Pad	54.0	9°105,241.98	828,183.73	3,407.3
04-DES-RCD-03	Pad	48.0	9°105,366.15	828,071.33	3,393.3
04-DES-RCD-04	Pad	45.0	9°105,224.91	827,963.45	3,414.6
04-DES-RCD-05	Pad	84.0	9°105,355.97	827,861.46	3,424.2
04-DES-RCD-06	Pad	59.5	9°105,161.51	827,731.28	3,462.3
04-DES-RCD-07	Pad	101.0	9°105,571.36	827,665.64	3,486.6
04-DES-RCD-08	Pad	63.5	9°104,878.92	827,770.80	3,490.9
04-DES-RCD-09	Pad	58.0	9°105,593.30	827,921.71	3,454.1
04-DES-RCD-10	Pad	100.0	9°105,577.59	828,059.08	3,419.0
04-DES-RCD-11	Pad	55.0	9°105,566.73	828,201.50	3,385.1
04-DES-RCD-12	Poza	46.0	9°105,303.38	828,315.55	3,387.4
04-DES-RCD-13	Poza	20.5	9°105,261.28	828,258.71	3,388.5
04-DES-RCD-14	Poza	19.0	9°105,350.59	828,263.37	3,387.5
04-DES-RCD-15	Pad	8.5	9°105,430.52	828,117.11	3,382.0
04-DES-RCD-16	Pad	15.0	9°105,469.06	828,069.75	3,387.8

El programa de muestreo también incluyó la obtención de muestras de mineral, sobre-revestimiento (“overliner”) y suelos de baja permeabilidad. Las muestras de mineral fueron proporcionadas por COMARSA, las cuales fueron obtenidas de un programa previo de muestreo de mineral el cual había sido chancado por debajo de 2”. Las muestras de overliner fueron tomadas de un banco de mineral ubicado al norte del sector Cochavara. La muestra de suelo de baja permeabilidad fueron obtenidas de las calicatas llevas a cabo en la zona de las pozas.

Todas las muestras fueron enviadas a Lima para la realización de ensayos índices y especiales de laboratorio de Mecánica de Suelos. Algunas de estas muestras fueron también enviadas al laboratorio de Vector en California para la realización de ensayos de resistencia cortante, conductividad hidráulica y ensayos de punzonamiento.

6.3 Ensayos de Laboratorio

Las muestras obtenidas de las calicatas y perforaciones, fueron seleccionadas y enviadas al Laboratorio de Mecánica de Suelos de Vector en Lima para realizar los ensayos estándar de clasificación en los suelos encontrados. Algunas de las muestras fueron enviadas al Laboratorio Geotécnico del CISMID de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), con la

finalidad de evaluar las propiedades de resistencia, las que son requeridas para propósitos de análisis y diseño. Las muestras de mineral, relleno estructural, sobre-revestimiento y suelo de baja permeabilidad fueron enviadas al laboratorio de Vector en Grass Valley, California, EU, para la ejecución de ensayos especiales no disponibles en nuestro medio.

Todos los ensayos en suelos fueron llevados a cabo siguiendo los procedimientos recomendados según las versiones actualizadas de los métodos de ensayo de la American Society for Testing and Materials (ASTM). Los datos resumidos de los ensayos de laboratorio y los reportes de laboratorio son presentados en el Anexo B.

6.4 Condiciones Geotécnicas

En el plano 100-03 se presenta el plano geológico del área con indicación de los suelos cuaternarios presentes. En los planos 100-05 y 100-06 se presentan los perfiles geotécnicos elaborados a partir de toda la información de calicatas y perforaciones desarrollada para fines del presente estudio. A continuación se presenta una breve descripción de la estratigrafía del área del pad y poza.

6.4.1 Área del Pad de Lixiviación

Las condiciones geotécnicas de la zona del pad de lixiviación están caracterizadas por la presencia de una cobertura de material orgánico y suelos orgánicos de hasta 1.35 metros de espesor. Por debajo de esta cobertura vegetal se presentan una secuencia de suelos arenosos clasificados según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) como arenas limosas y arenas arcillosas (SC, SM, SC-SM), en estados sueltos a medianamente densos, de coloración marrón, marrón amarillento y marrón rojizo, con partículas sub-angulosas de hasta 150 mm y con humedad variando de ligera a media. La matriz fina de estos suelos arenosos presenta baja a mediana plasticidad. Hacia el norte del terraplén de nivelación se ha reportado la presencia de estratos de arcillas limosas de baja compresibilidad (CL) de hasta 4.5 metros de espesor. Dentro de la zona de influencia del pad no se han detectado suelos arcillosos en las calicatas, solo algunos lentes de poco espesor.

En algunas calicatas se ha reportado la presencia de estratos de poco espesor de suelos gravosos clasificados según SUCS como grava pobremente graduada con limo y arcilla (GP, GP-GC, GC, GM), con partículas sub-angulosas de hasta 200 mm.

Es importante indicar que en ninguna de las calicatas investigadas se reportó la presencia del nivel freático. Sin embargo, es de esperar el incremento del nivel freático durante la temporada de lluvias en la zona.

En las perforaciones ejecutadas por COMARSA se observa que por debajo de estos suelos cuaternarios se presenta el macizo rocoso. Dado el tipo de perforación realizada con fines de descartar la presencia de mineral (circulación reversa), no se pudo determinar las características geomecánicas de la roca. Sin embargo, a partir de la observación de los afloramientos de roca en el área y del tipo de formación predominante en la zona, se puede afirmar que el macizo se presenta muy meteorizado superficialmente y en contacto con los

suelos cuaternarios, siendo su calidad regular. En la perforación denominada 04-DES-RCD-04 se puede observar que los suelos cuaternarios presentan hasta 10.5 metros de espesor, sin embargo en otras perforaciones la roca fue alcanzada a menores profundidades. El tipo de roca predominante en el área corresponden a cuarcitas de color grisáceo de grano grueso sobre yaciendo a rocas lutitas, areniscas y limonitas. En algunas perforaciones se presentan intercalaciones entre las cuarcitas y las areniscas.

6.4.2 Área de las Pozas

En el área de las pozas también se presenta una cobertura orgánica y vegetal de hasta 2 metros de espesor, tal como se observa en la calicata TP-205. Por debajo de esta capa se presentan suelos arenosos de las mismas características de los descritos anteriormente (SC, SM), con presencia de estratos de gravas pobremente graduadas con arcilla y limo (GP-GC, GP-GM). Además de los suelos antes indicados se observa la existencia de espesores de relativamente gran potencia de suelos arcillosos de baja compresibilidad (CL), los cuales podrán ser utilizados como fuente de préstamo para la construcción de la capa de suelo de baja permeabilidad. También se han observado la presencia de limos de baja compresibilidad (ML), pero en poca proporción.

Por debajo de estos suelos cuaternarios se presentan el macizo rocoso de las mismas características que el descrito anteriormente en el área del pad de lixiviación.

7.0 CONSIDERACIONES DEL DISEÑO GEOTÉCNICO

7.1 Análisis de Estabilidad Taludes

Los análisis de estabilidad de taludes han sido llevados a cabo para el apilamiento de mineral en el Pad 14 considerando la sección de mayor altura y el apilamiento último. Asimismo, se han analizado los taludes que serán generados por la excavación y corte en la zona de las pozas. Se presenta a continuación una descripción de las consideraciones del diseño geotécnico tomadas en cuenta para la ejecución de los análisis de estabilidad.

7.1.1 Metodología de Análisis

Para el análisis de la estabilidad de taludes en general, se utilizó el programa de cómputo SLIDE (Rocscience, 2003) versión 6, el cual es ejecutado en una computadora personal. Este es un programa de análisis de estabilidad de taludes completamente integrado, que permite desarrollar la geometría del talud interactivamente y la definición de los tipos y propiedades de los materiales de manera muy amigable para el usuario.

El análisis para calcular el factor de seguridad se lleva a cabo en forma bi-dimensional usando el concepto de equilibrio límite, aproximando el problema a un estado de deformación plana. El programa tiene la opción de utilizar diferentes métodos de análisis de estabilidad de manera simultánea, sin embargo, para el presente análisis se ha utilizado el Método de Bishop Modificado de dovelas para el cálculo de la superficie de falla. La superficie de falla crítica, definida como aquella que proporciona el menor factor de seguridad, fue encontrada en forma interactiva modificando las condiciones de búsqueda de la misma. Se evaluaron superficies de falla tanto circulares, como no circulares.

Como hipótesis del análisis se consideran que las propiedades de los materiales que conforman las diferentes estructuras analizadas, son homogéneas e isotrópicas y que el colapso se produciría como resultado de fallas simultáneas a lo largo de la superficie de deslizamiento. Cada material tiene sus propiedades y características físicas y mecánicas

Para el análisis pseudo-estático se considera que la masa involucrada en la falla está sometida a una aceleración horizontal igual a un coeficiente sísmico multiplicado por la aceleración de la gravedad, de modo de tomar en cuenta el efecto de las fuerzas inerciales producidas por el terremoto de diseño. El coeficiente sísmico horizontal utilizado fue de 0.15, asimismo, se considera un coeficiente sísmico vertical igual a 0.075, es decir el 50% del coeficiente horizontal.

7.1.2 Criterios de Diseño

Los criterios de diseño establecidos para el presente análisis fueron los siguientes:

- Mínimo factor de seguridad estático a corto plazo igual a 1.3;
- Mínimo factor de seguridad estático a largo plazo igual a 1.4; y
- Mínimo factor de seguridad pseudo-estático a largo plazo igual a 1.0, ó,

- Desplazamientos inducidos por sismo que no comprometan la seguridad del apilamiento ó la integridad del sistema de revestimiento.

Se debe indicar que un factor de seguridad pseudo-estático mayor que 1.0 no significa que el apilamiento de mineral no se moverá durante un terremoto. Lo que probablemente ocurrirá es que los desplazamientos serán mínimos y no se producirán daños permanentes en el sistema de revestimiento, asociados al terremoto de diseño.

7.1.3 Condiciones a Corto y Largo Plazo

Dada la presencia de la plataforma de nivelación, el análisis de la primera capa, que típicamente presenta las condiciones más críticas de estabilidad de una pila de lixiviación a corto plazo, no será efectuado.

Asimismo, para la ocurrencia de un evento de precipitación intensa que genere incrementos del nivel de la solución en la base del pad hasta la cota de salida del aliviadero de emergencia, se ha analizado como condiciones a corto plazo, dado el carácter temporal del evento.

Para cualquier otra condición analizada para el pad de lixiviación o para la zona de las pozas, el análisis será considerado a largo plazo.

7.1.4 Condiciones Analizadas

Se ha tomado en cuenta las siguientes condiciones para el análisis:

- Para el análisis del Pad 14 se ha considerado la condición más crítica representada por la sección de mayor profundidad de la quebrada. Esta sección ha sido analizada tanto para la primera capa, como para la configuración última del pad, con una cota de la cresta igual a 3525 msnm. En las Figuras 7.1 y 7.2 se presentan la planta y sección analizadas.
- El análisis de la zona de corte para la construcción de las pozas, fue efectuado en dos secciones para verificar las condiciones de estabilidad del talud de corte permanente. La planta y secciones son mostradas en las Figura 7.3, 7.4 y 7.5.
- Para el análisis del pad de lixiviación, se ha asumido que el nivel de la solución estará como máximo a 1 metro por encima del fondo del revestimiento de geomembrana, lo cual es una hipótesis típica para instalaciones revestidas que colectarán solución mas no la almacenarán. Este nivel de solución actuará como una cota piezométrica afectando principalmente las propiedades del mineral y overliner colocados en el fondo del pad y eventualmente de la interfase.
- Para el pad de lixiviación se ha analizado una condición crítica correspondiente a la posición de la solución hasta el nivel del aliviadero de emergencia. Este hecho se puede presentar durante un evento de precipitación intensa y de corta duración, por lo que es considerado con condiciones a corto plazo y han sido analizadas solo para el caso estático, debido a que representan condiciones temporales.

- Para el pad de lixiviación con revestimiento de geomembrana se ha analizado superficies de falla circulares y no circulares (tipo bloque). Las superficies circulares fueron analizadas para evaluar la estabilidad a través ya sea del mineral del apilamiento, o de la cimentación arcillosa. Las superficies de falla tipo bloque fueron analizadas para evaluar la estabilidad del apilamiento a través del sistema de revestimiento.

Figura 7.1
Análisis de Estabilidad. Pad de Lixiviación. Planta

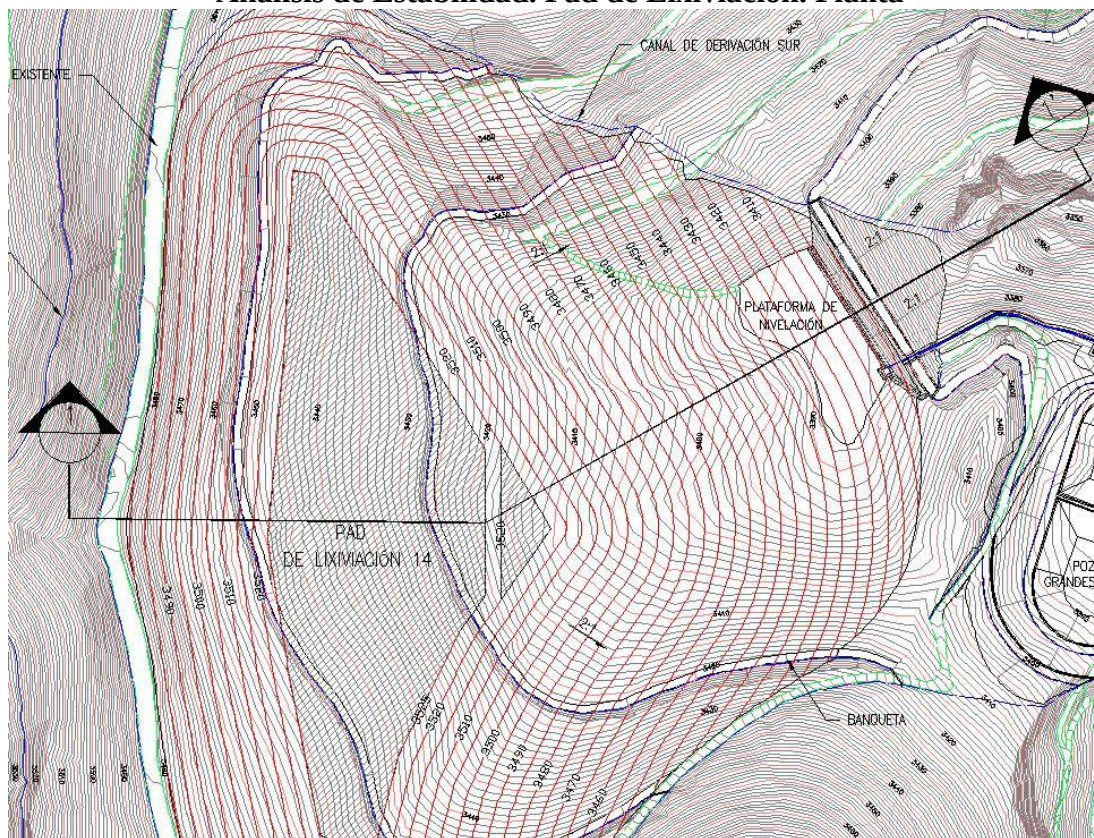


Figura 7.2
Análisis de Estabilidad. Pad de Lixiviación. Sección 1-1'

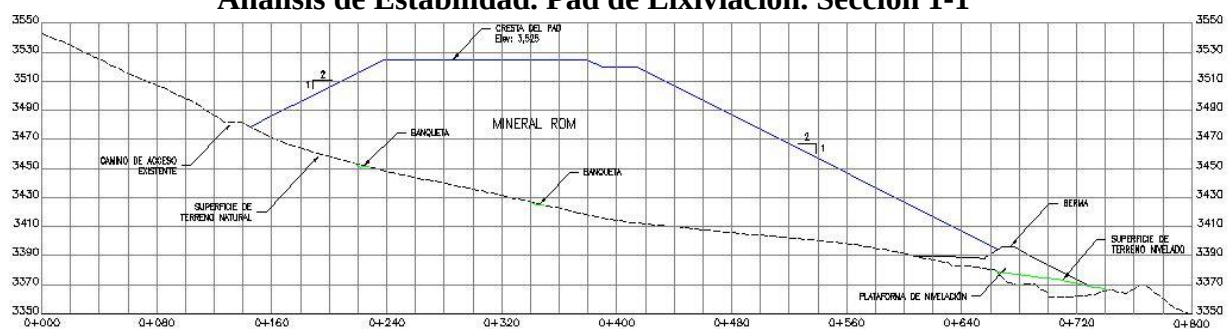


Figura 7.3
Análisis de Estabilidad. Pozas. Planta

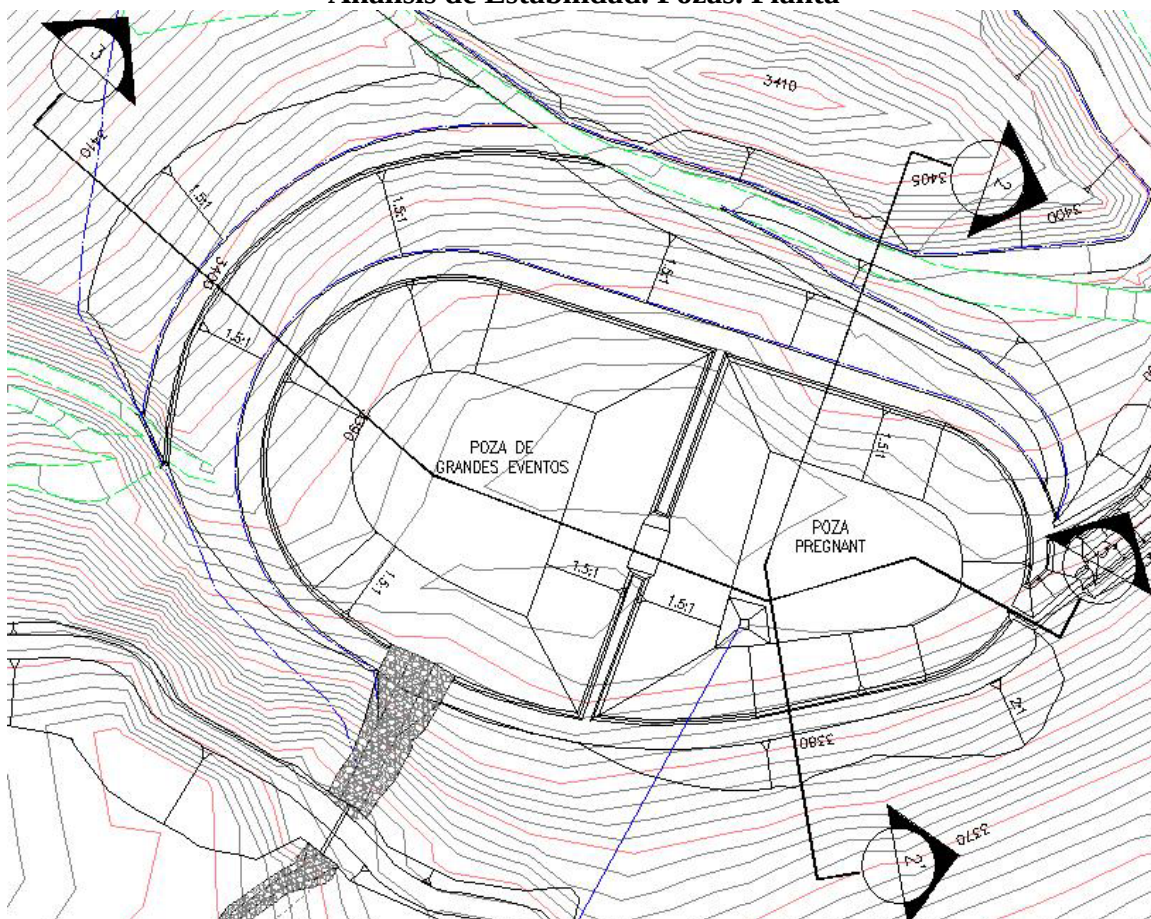


Figura 7.4
Análisis de Estabilidad. Pozas. Sección 2-2'

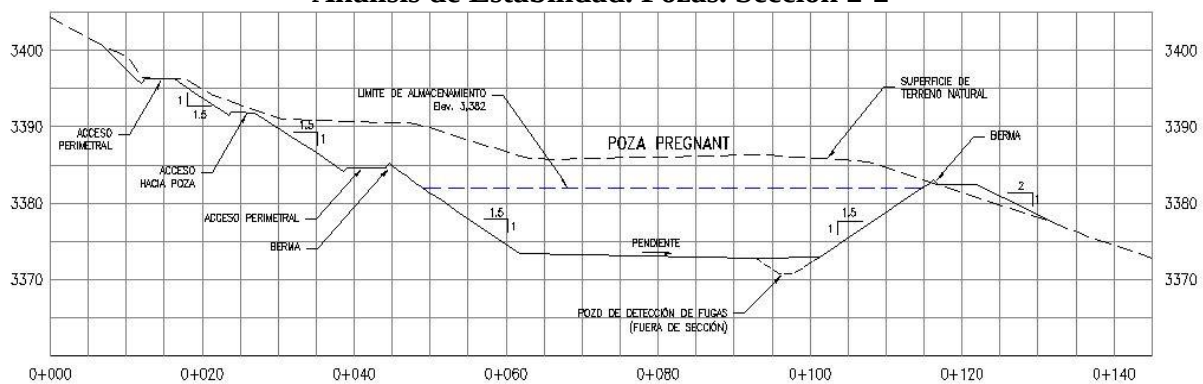
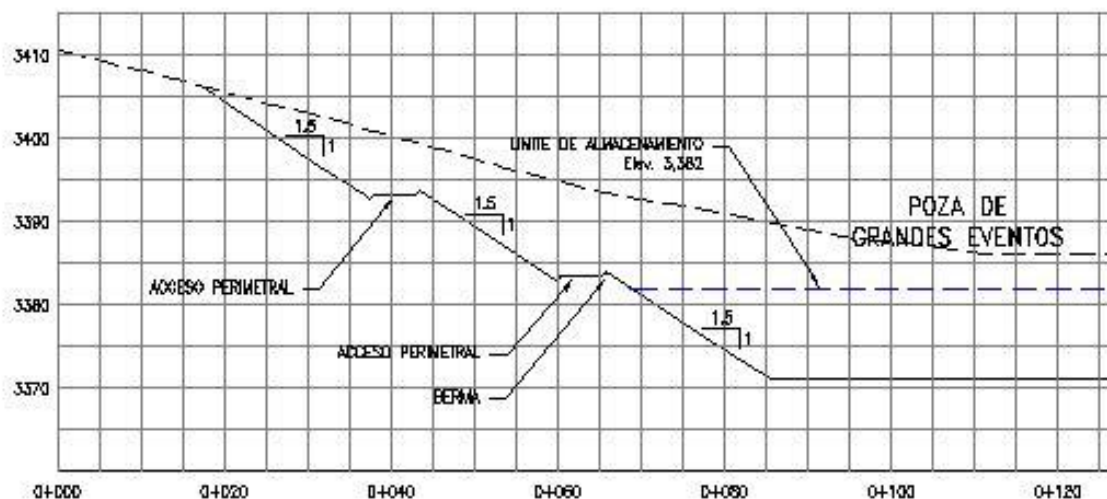


Figura 7.5
Análisis de Estabilidad. Pozas. Sección 3-3'



7.1.5 Propiedades de los Materiales

Las propiedades de resistencia cortante del mineral y de las interfases entre sobre-revestimiento /geomembrana y geomembrana/suelo de baja permeabilidad fueron evaluadas a través de ensayos de corte directo a gran escala llevados a cabo en el laboratorio de Vector en Grass Valley, California.

Mineral ROM

El mineral ROM fue inicialmente tamizado para eliminar las partículas mayores de 38 mm (1.5 pulgadas). En estas condiciones el ensayo de corte directo a gran escala proporcionó un ángulo de fricción bastante alto con esfuerzos que excedieron la capacidad del equipo de corte. Esta aparente anomalía puede deberse a la calidad del mineral utilizado en el ensayo, el cual fue chancado para obtener tamaños menores a 50 mm y proporcionado a Vector para ser ensayado. Para fines de análisis y considerando la variabilidad de este material se asumirá de manera conservadora un ángulo de fricción de 36° y cohesión nula, el cual ha sido utilizado para el análisis del pad 11 en COMARSA.

Interfases

Las propiedades de resistencia cortante del mineral y de las interfases entre geomembrana texturada/suelo de baja permeabilidad y geomembrana lisa/overliner, fueron evaluadas a través de ensayos de corte directo a gran escala llevados a cabo en el laboratorio de Vector en Grass Valley, California. Para la ejecución de este ensayo se utilizó una geomembrana HDPE texturada por un solo lado. Se realizaron dos ensayos de interfase, en el primer ensayo el lado texturado fue ensayado en contacto con el suelo de baja permeabilidad, mientras que en el segundo ensayo el lado liso fue colocado en contacto con el sobre-revestimiento. Los resultados indican que el ángulo de fricción de la interfase conformada por el suelo de baja permeabilidad y el lado texturado de la geomembrana varía de 21° a 19° , para las condiciones

pico y post-pico, respectivamente, mientras que el ángulo de fricción entre el overliner y la geomembrana lisa varía entre 31° a 29° para las mismas condiciones, en ambos casos la cohesión es nula. Por lo tanto, a partir de los ensayos efectuados se confirma que el elemento más débil del sistema lo constituye la interfase entre el la geomembrana texturada de HDPE y el suelo de baja permeabilidad.

Dado los bajos valores de la resistencia de la interfase obtenidos, se realizó posteriormente un ensayo de interfase utilizando una geomembrana LLDPE con el lado texturado en contacto con el suelo de baja permeabilidad. Los resultados proporcionan un ángulo de fricción de 23° y una adhesión de 56 kPa, tanto para las condiciones pico, como post-pico.

Aguas arriba de la “zona de estabilidad” Vector sugiere indistintamente utilizar geomembrana texturada de HDPE o LLDPE. Los parámetros de resistencia de esta geomembrana fueron estimados a partir de los mínimos valores encontrados en los ensayos anteriores. Se ha asumido un ángulo de fricción de 19° y cohesión nula.

Relleno Estructural

La resistencia de los rellenos estructurales para la conformación de la plataforma de nivelación y de los rellenos en general, fueron determinadas a partir de un ensayo de corte triaxial consolidado no drenado (CU), con medición de presión de poros y en condición saturada. Los resultados indican que el ángulo de fricción interna en esfuerzos efectivos es de 39° , siendo la cohesión nula.

Suelos Cuaternarios

Los parámetros de resistencia cortante de los suelos cuaternarios involucrados en los análisis de estabilidad fueron estimados a partir de un ensayo triaxial consolidado no drenado (CU), con medición de presión de poros realizada en una muestra inalterada obtenida de una de las calicatas excavadas en la zona de las pozas. Los resultados indican un ángulo de fricción de 30° y cohesión nula.

Resumen

Para la ejecución de los análisis de estabilidad, las propiedades de resistencia cortante de los materiales ensayados han sido reducidas ligeramente para tomar en cuenta la variabilidad de los materiales. La descripción de los ensayos de laboratorio y los resultados de los mismos son presentados en el Anexo B. Finalmente, las propiedades de los materiales utilizados en los análisis de estabilidad están resumidas en la siguiente tabla.

Tabla 7.1
Resumen de Propiedades de Materiales para los Análisis de Estabilidad

Material	γ_{total} kN/m ³	γ_{sat} kN/m ³	Parámetros de Resistencia	
			Cohesión kPa	Ángulo de Fricción grados
Mineral ROM	17.0	20.0	0	36
Interfase geomembrana texturada LLDPE/suelo baja permeabilidad	16.0	16.0	5	23
Interfase geomembrana texturada HDPE/suelo baja permeabilidad	16.0	16.0	0	19
Relleno estructural	20.0	22.0	0	38
Suelos de cimentación, arenas arcillosas, arcillas limosas	15.7	17.8	10	25-28
Roca meteorizada subyacente	21.0	22.0	50	35

7.2 Resultados Obtenidos

En el Anexo D se presenta las salidas del programa SLIDE, las cuales ilustran los análisis de estabilidad realizados, tanto para el pad de lixiviación, como para la zona de las pozas. Dichas salidas contienen información de la sección transversal, propiedades de los materiales, nivel freático, nivel de solución y ubicación de la superficie de falla crítica con el menor factor de seguridad.

En la Tabla 7.2 se presenta un resumen de los resultados obtenidos de los análisis de estabilidad realizados para el pad y las pozas, representados por las secciones tomadas en cada sector, las que a su vez representan las diferentes condiciones geotécnicas encontradas y las características del apilamiento del pad. En estas tablas se presentan los resultados para las condiciones a corto y largo plazo; para los casos estático y pseudo-estático, según correspondan; y para los análisis con superficies de falla circular y tipo bloque. El análisis de las superficies de falla tipo bloque han sido realizadas para las condiciones de primera capa y apilamiento último del pad.

Como se puede observar los resultados obtenidos de los análisis de estabilidad en todos los casos proporcionan factores de seguridad mayores que los mínimos recomendados en los criterios de diseño asumidos en este estudio, tanto para la condición estática como pseudo-estática y para los dos tipos de superficies de falla analizadas (circular y bloque), por lo que se concluye que la configuración tanto del pad de lixiviación, como de los cortes y excavaciones en la zona de las pozas, presentarán condiciones estables desde una perspectiva geotécnica.

Tabla 7.2
Resultados de los Análisis de Estabilidad

Sector	Sección	Caso	Factor de Seguridad	
			Estático	Pseudo- Estático $\alpha = 0.15$
Pad de Lixiviación	Sección 1	Falla circular, apilamiento último	1.42	1.02
		Falla bloque, apilamiento último	1.41	1.05
	Sección 1 Nivel máximo de solución	Falla circular, apilamiento último	1.42	---
		Falla bloque, apilamiento último	1.34	---
Pozas	Sección 2	Falla circular	1.60	1.22
	Sección 3	Falla circular	1.89	1.43

7.3 Asentamientos en el Apilamiento

7.3.1 Asentamiento de la Cimentación

Los suelos de cimentación del pad corresponden predominantemente a arenas limosas, arenas arcillosas y algunos estratos asilados de gravas arcillosas de partículas sub-angulosas. Durante la ejecución de las calicatas no se detectó el nivel freático en ninguna de las calicatas, por lo que el contenido de humedad de los suelos es de ligero a medio. El espesor de estos suelos es variable, en las perforaciones ejecutadas la roca fue encontrada variando entre unos pocos centímetros hasta 10.5 metros de profundidad aproximadamente, correspondiendo las menores profundidades a las partes más altas del pad y las mayores profundidades a la zona de la plataforma de nivelación, en el pie del pad.

Dada la naturaleza de los suelos de cimentación y su espesor, es de esperar la ocurrencia de asentamientos inmediatos de magnitud relativamente pequeña, los cuales ocurrirán a medida que se produzca el apilamiento de mineral. Estos asentamientos no serán críticos para el comportamiento global del pad de lixiviación.

No es de esperar asentamientos a largo plazo dependientes del tiempo, dada la ausencia de nivel freático cerca de la superficie y de suelos arcillosos en el área investigada.

7.3.2 Asentamiento del Apilamiento

Durante las operaciones de apilamiento de mineral es de esperar típicamente la ocurrencia de deformaciones verticales (asentamientos) de la pila de lixiviación. En la medida que las capas de mineral son apiladas una a continuación de la otra, las capas inferiores sufren asentamientos debido a la sobrecarga impuesta por las capas superiores, y debido además a

que el mineral, por razones obvias de la operación, no es sometido a un proceso de compactación cuando es apilado.

El hecho anteriormente indicado es confirmado en los resultados del ensayo de permeabilidad llevado a cabo en el laboratorio en una muestra de mineral, los cuales son presentados en el Anexo B. En estos resultados se puede observar que para una altura mayor de mineral en el apilamiento el coeficiente de permeabilidad disminuye, debido a la ocurrencia de asentamientos del mineral, representados por un mayor peso volumétrico y una menor relación de vacíos.

Sin embargo, en base a la experiencia en proyectos similares de pilas de lixiviación, algunos de ellos de hasta 130 m de altura, Vector considera que la ocurrencia de asentamientos no constituye un factor crítico para la operación del pad de lixiviación.

8.0 DISEÑO CIVIL DE LAS INSTALACIONES

8.1 Pad de Lixiviación

La operación del pad de lixiviación N° 14 será llevada a cabo con un tipo de relleno en valle, con el transporte de mina y apilamiento de mineral ROM utilizando camiones, los cuales transportarán el mineral desde el tajo Cochavara. En la zona del pie del pad, el terreno natural presenta una pendiente variando entre 9 y 21%, debido a lo cual se construirá una plataforma de nivelación para dar soporte y estabilidad a toda la estructura del pad. En las partes más altas de la quebrada la pendiente es del orden de 22 a 45%. La solución lixiviada será colectada, conducida y almacenada en la poza pregnant. El pad tendrá un sistema de revestimiento simple con geomembrana sobre una capa de suelo de baja permeabilidad y un sistema de sub-drenaje.

El Pad 14 tendrá una capacidad de 22.5 millones de toneladas métricas o 12.5 millones de metros cúbicos, a una densidad del mineral de 1.80 T/m^3 , de acuerdo al diseño requerido por COMARSA a Vector. El pad será cargado a una tasa de producción máxima promedio de 10,000 T/día o 300,000 T/mes de mineral ROM. De acuerdo a la tasa de producción indicada anteriormente, el pad último será completado en aproximadamente 6 años. El diseño de Vector no contempla el crecimiento de pad por etapas, debido a que esto no fue requerido por COMARSA, quienes internamente se encargarán de dicha construcción por etapas. En el Plano 200-01 se presenta el arreglo general de las instalaciones del pad de lixiviación.

La operación del pad de lixiviación no contempla la separación de soluciones ricas e intermedias o la lixiviación por zonas. La solución lixiviada será captada mediante un sistema interconectado de tuberías de HDPE de pared doble laterales y principales perforadas, las cuales conducirán la solución hasta el pozo de colección localizado en la cota más baja del pie del pad y de la berma de la plataforma de nivelación. Desde este punto la solución será conducida por tuberías sólidas de HDPE instaladas dentro de un canal de contención, fuera de los límites del pad, hacia el desarenador y de allí hacia la poza pregnant.

8.1.1 Sistema de Sub-Drenaje

El sistema de sub-drenaje tiene la finalidad de colectar el agua subterránea que percola por debajo del pad de lixiviación. La descarga de los flujos serán realizados hacia la parte baja de la quebrada Cochavara, aguas abajo de la plataforma de nivelación del pad. Este sistema de sub-drenaje está compuesto por una serie de tuberías perforadas de HDPE de pared doble. Los sub-drenes deberán instalarse después de realizadas la limpieza y desbroce de la quebrada principal y quebradas secundarias y antes de proceder a la nivelación para alcanzar los niveles del proyecto de acuerdo con el esquema general de movimiento de tierras.

Las tuberías de los sub-drenes serán perforadas de HDPE de pared doble. Las tuberías principales serán de 300 mm de diámetro, mientras que las laterales serán de 100 mm. En la zona de la plataforma de nivelación las tuberías principales y laterales estarán instaladas en forma de “espinas de pescado” según el esquema de sub-drenaje presentado en el Plano 200-03. Las tuberías deberán ser colocadas dentro de una zanja la cual deberá rellenarse con grava para

drenaje, la que se envolverá con geotextil no tejido. La pendiente mínima del sub-drenaje será de 2%. En el caso de detectarse ojos de agua y zonas húmedas durante los trabajos de movimiento de tierras, se instalarán sub-drenes adicionales y que no figuran en los planos de construcción.

8.1.2 Movimiento de Tierras

El movimiento de tierras dentro del área del pad de lixiviación nuevo consistirá en la nivelación del terreno mediante corte y colocación de relleno estructural. Se ha previsto un volumen de corte de 215 m³ y relleno estructural de 63,320 m³. El movimiento de tierras en el pad de lixiviación es mostrado en el Plano 200-04.

8.1.3 Plataforma de Nivelación

La plataforma de nivelación será del tipo homogéneo, tendrá una altura máxima de 28 metros aproximadamente, con una berma a modo de cresta que soporte el pie del pad y proporcione adecuadas condiciones de estabilidad al apilamiento de mineral. El ancho de la cresta será de 8 metros para facilitar la circulación de vehículos ligeros. La berma tendrá una longitud de 150 metros aproximadamente atravesando la quebrada Cochavara. La de la cresta será variable entre 3397.8 a 3395 msnm, aproximadamente, dado que tendrá una pendiente de 2% en dirección norte-sur. El talud aguas abajo será de 2:1 (H:V) y el de aguas arriba de 1.5:1 (H:V). La cara aguas arriba de la berma será revestida con geomembrana ya que forma parte del pad de lixiviación. En el Plano 200-06 se presenta la configuración de la plataforma y las secciones transversales.

La construcción de la plataforma de nivelación consistirá de preparación de la cimentación (limpieza, desbroce, desencapado), y colocación del material de relleno estructural. En general, la construcción deberá seguir los procedimientos recomendados en las especificaciones técnicas. La construcción empezará con la remoción del suelo superficial y todo material no apropiado para la cimentación. Esta remoción se realizará desde el límite arriba de la plataforma hasta el pie aguas abajo. Se recomienda llevar a cabo la excavación hasta alcanzar el lecho rocoso de ser posible. Una vez que estos materiales hayan sido removidos, la sub-rasante deberá ser escalonada para proporcionar un apropiado contacto entre la sub-rasante y el relleno. Luego, la superficie deberá ser escarificada, se deberá acondicionar la humedad hasta conseguir la humedad óptima o un valor cercano (+/- 2%) y se deberá compactar hasta alcanzar el 95% de la compactación relativa de acuerdo con la norma ASTM D-698.

Luego se deberá proceder a colocar el material de relleno en capas de 300 mm de espesor como máximo, se deberá acondicionar la humedad a un valor igual o cercano al óptimo, y se deberá compactar al 95% de la compactación relativa según la norma ASTM D-698.

8.1.4 Aliviadero de Emergencia

Para la conducción de los flujos provenientes del pad durante eventos intensos de precipitación se construirá un aliviadero de emergencia a través de la berma de 2 metros de ancho en la zona más baja de la plataforma de estabilidad. Los flujos de tormentas que salgan

por este aliviadero serán conducidos a través de un canal revestido de 1.5 metros de ancho el cual atravesará el pad existente y descargará en la poza ILS. El canal de conducción de los flujos de tormentas permitirá la conducción de manera holgada del caudal pico para 100 años de periodo de retorno, que es de $1.4 \text{ m}^3/\text{s}$. El cálculo de este canal es presentado en el Anexo E de este Informe.

8.1.5 Capa de Suelo de Baja Permeabilidad

La geomembrana será colocada sobre una capa de 300 mm de espesor de suelo de baja permeabilidad compactado. La extensión de la zona donde se colocará suelos de baja permeabilidad es la misma de aquella que corresponde al revestimiento de geomembrana y que está indicada en el Plano 200-07.

Los materiales utilizados para la construcción de la capa de suelo de baja permeabilidad provendrán de la excavación de los suelos arcillosos de la zona de las pozas hacia el sur-este del pad o de alguna fuente aprobada por el Ingeniero. Los materiales utilizados deberán cumplir los requerimientos indicados en las especificaciones técnicas del proyecto. El suelo de baja permeabilidad deberá tener una permeabilidad menor a $1 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$ y deberá ser capaz de soportar la geomembrana sin efectos adversos, tales como punzonamiento o inestabilidad por deslizamiento.

De ser necesario, antes de la colocación y compactación, el revestimiento de suelo deberá ser procesado mediante zarandeo para retirar todas las partículas mayores que 75 mm. Antes de la colocación del material se deberá acondicionar la humedad a valores entre 0% a +4% de la humedad óptima, luego el material deberá ser colocado, esparcido y compactado hasta alcanzar el 95% de la compactación relativa según la norma ASTM D-698.

8.1.6 Sistema de Revestimiento con Geomembrana

El pad de lixiviación ha sido diseñado con un sistema revestimiento simple sobre una capa de suelo de baja permeabilidad. De acuerdo a los ensayos de resistencia y punzonamiento llevados a cabo en diversos tipos de geomembrana y de acuerdo a las características de la cimentación del pad, se recomienda utilizar los siguientes tipos de revestimiento en el pad de lixiviación:

- Geomembrana texturada por un solo lado (SST) de LLDPE de 2.0 mm desde el pie del pad hasta la primera banquetta.
- Geomembrana texturada por un solo lado (SST) de HDPE de 2.0 mm entre la primera y segunda banquetas.
- Geomembrana texturada por un solo lado (SST) de HDPE de 1.5 mm entre la segunda banquetta hasta el camino de acceso o límite del pad.

El lado texturado de las geomembranas SST deberá estar en contacto con el suelo de baja permeabilidad, mientras que el lado liso deberá ser colocado en contacto con el sobre-revestimiento. El límite del sistema de revestimiento es mostrado en el Plano 200-07, mientras

que los detalles típicos de revestimiento simple y trincheras de anclaje se presentan en el Plano 200-11.

8.1.7 Anclaje de la Geomembrana

El Contratista deberá proporcionar anclajes temporales y permanentes a la geomembrana. El anclaje temporal podrá consistir de sacos de arenas u otros materiales de lastre, los cuales son necesarios para que los materiales de revestimiento no se muevan significativamente durante las operaciones de despliegue, soldadura y otras actividades de construcción, que es cuando el revestimiento es más susceptible a la acción del viento, agua, y temperaturas extremas.

El anclaje permanente consistirá en material de sobre-revestimiento, materiales de colección de la solución, y trincheras de anclaje. La cobertura protectora o materiales de colección de la solución serán solamente colocados en áreas llanas en el centro del pad. Los materiales de cobertura no pueden ser colocados en taludes de fuerte pendiente en dirección del avance del plan de apilamiento, por lo tanto, el revestimiento permanecerá expuesto hasta la colocación del mineral producido. En estas áreas, el anclaje de la geomembrana consistirá de trincheras de anclaje. En los planos de diseño se ilustran los detalles de la trinchera de anclaje.

Las trincheras de anclaje cumplen diferentes funciones, las cuales incluyen: 1) anclaje del revestimiento para prevenir movimientos descendentes; 2) anclaje del revestimiento para prevenir movimientos excesivos causados por expansión y contracción debidos a cambios de temperatura; 3) anclaje para prevenir el levantamiento por acción del viento; 4) minimizar la migración lateral del agua bajo el revestimiento proveniente de fuentes externas tales como lluvia, ojos de aguas, etc.; y 5) establecer un límite fijo para la construcción (esto último no constituye un aspecto crítico en la mayoría de los casos).

La migración de agua es más fácilmente controlada construyendo trincheras verticales laterales y soldando las costuras de la geomembrana dentro de la trinchera. La pérdida y deterioro de materiales debido a la acción del viento puede ser muy perjudicial para un proyecto y la experiencia demuestra que la mayoría de las pérdidas ocurren durante la construcción cuando los extremos del revestimiento están expuestos y no anclados para prevenir que el viento penetre por debajo del mismo. Una vez que los extremos son asegurados mediante el relleno de la trinchera, este problema se reduce significativamente.

Las trincheras de anclaje son típicamente dimensionadas para asegurar que el revestimiento sea arrancado de la trinchera antes que los esfuerzos generados produzcan el rasgado de la geomembrana. Sin embargo, las trincheras de anclaje no deberían ser poco profundas, debido al peligro que el revestimiento sea retirado con un mínimo esfuerzo. En este sentido, se realizaron cálculos para asegurar que los materiales de revestimiento no fueran sobre esforzados y sean arrancados de la trinchera antes de que se produzca el rasgado. A partir de estos cálculos se concluye que las trincheras de anclaje de 800 mm de profundidad y 500 mm de ancho cumplen con los criterios anteriormente mencionados. Los cálculos de la trinchera de anclaje son presentados en el Anexo E.

Se debe resaltar que si los materiales de revestimiento son arrancados de la trinchera de anclaje, la mejor forma de remediar la situación es soldar materiales adicionales al revestimiento ya colocado y re-anclar el nuevo revestimiento en la trinchera. Tratar de volver a colocar el revestimiento en su lugar puede causar un daño mayor.

8.1.8 Sobre-Revestimiento

El sobre-revestimiento (“overliner”) tiene por finalidad proteger tanto el revestimiento de geomembrana, como el sistema de tuberías colectoras de solución, del daño a que pueden estar sometidos debido al impacto producido por el mineral ROM de grandes dimensiones durante las operaciones de apilamiento en el pad de lixiviación.

Los materiales de sobre-revestimiento podrán consistir de mineral procesado durable o podrán provenir de una fuente de préstamo aprobada por el Ingeniero de QA y deberán cumplir los requerimientos indicados en las especificaciones técnicas del proyecto. El sobre-revestimiento deberá tener un espesor de 500 mm y deberá ser colocado en toda el área del pad.

La colocación del sobre-revestimiento en la zona del pad debe hacerse utilizando equipos que transmitan baja presión de contacto, de modo de evitar cualquier daño en el revestimiento de geomembrana debido a las operaciones de colocación y esparcido del material de sobre-revestimiento. Para el esparcido del material, de preferencia se debe utilizar un tractor D6, debiéndose evitar cargadores frontales sobre neumáticos, debido a que los movimientos de parada y arranque de estos equipos pueden causar daño en la geomembrana. El tractor D6 deberá operar en trayectorias rectas de ida y vuelta, no permitiendo giros con curvas cerradas, debido a que dichos giros se realizan sobre una de las orugas, pudiendo causar daños en la geomembrana, los cuales no serán visibles después de colocado el sobre-revestimiento. Para el transporte del mineral sobre el pad con camiones de 10 toneladas o más, se deberán habilitar accesos con un sobre-revestimiento de por lo menos 1500 mm de espesor.

8.2 Sistema de Colección de la Solución

El propósito del sistema de colección de la solución que será instalado dentro del apilamiento de mineral, es proporcionar una evacuación relativamente rápida de la solución. Las operaciones en el pad de lixiviación se realizarán mediante el apilamiento de mineral en capas de 8.0 m de altura, las cuales serán irrigadas y lixiviadas en ciclos de 60 días aproximadamente.

La solución lixiviada dentro del pad será captada mediante las tuberías laterales de HDPE perforadas de pared doble, de 100 mm de diámetro, las que estarán colocadas en forma de espina de pescado y conducirán la solución hacia las tuberías principales de HDPE perforadas de pared doble de 300 mm de diámetro. En el Plano 200-08 se presenta la disposición de tuberías del sistema de colección de la solución.

Las tuberías principales y laterales irán colocadas directamente sobre la geomembrana y deberán tener una pendiente mínima de 2%. Las tuberías principales estarán rodeadas por un material de grava de drenaje envuelta en geotextil no tejido de 270 g/m². La capa de sobre-

revestimiento deberá proporcionar un espesor mínimo de 400 mm sobre la parte superior de las tuberías.

La solución de cada zona será conducida hacia el pozo de colección de la solución localizado en la zona de menor cota e la plataforma de nivelación. En este pozo las tuberías perforadas de pared doble serán conectadas a dos tuberías sólidas de HDPE de 300 mm de diámetro que penetrarán la berma de la plataforma de nivelación y conducirán la solución hacia un desarenador y de allí a la poza pregnant.

8.2.1 Espaciamiento de Tuberías Laterales

El espaciamiento de las tuberías laterales es función de los siguientes factores: carga hidráulica permisible sobre el revestimiento, permeabilidad del mineral y tasa de aplicación de la solución. Se asume que la máxima carga hidráulica permisible sobre el revestimiento durante las operaciones normales no debe exceder 1.0 metro. Mayores cargas son tolerables pero sólo para periodos de corta duración.

En el Anexo B se presentan los resultados de los ensayos de permeabilidad realizados en el mineral. Estos resultados indican que el coeficiente de permeabilidad del sobre-revestimiento varía de 7.8×10^{-1} cm/s sin esfuerzo vertical aplicado, a 1.7×10^{-1} cm/s para una carga de mineral de 90 metros. Por otro lado, el coeficiente de permeabilidad del mineral varía de 1.4×10^{-0} cm/s a 2.1×10^{-1} cm/s para cargas equivalentes a 0 y 88 metros de mineral, respectivamente. Sin embargo, para el cálculo del espaciamiento de las tuberías laterales se ha estimado de manera conservadora un coeficiente de permeabilidad de 1.0×10^{-2} cm/s, el cual corresponde a una reducción de hasta un orden de magnitud con relación a la permeabilidad del mineral y del sobre-revestimiento. Este valor de permeabilidad es propuesto en función de lo siguiente: experiencia de Vector en el diseño de pilas de lixiviación; variabilidad que el mineral puede presentar a lo largo de la extensión del apilamiento; posible degradación mecánica que sufrirá el mineral cuando será apilado; y posibilidad de alcanzar alturas de apilamiento mayores a las consideradas en el diseño.

En el diseño de las tuberías laterales también se ha tomado en cuenta la tasa de aplicación de la solución sobre la parte activa del apilamiento de mineral. De acuerdo a COMARSA, la solución será aplicada al apilamiento a una tasa de 8 l/hr/m^2 . Por lo tanto, se determinó que las tuberías laterales deberán estar espaciadas 13 m para mantener una carga hidráulica máxima menor a 1.0 m bajo condiciones de operación normal. El cálculo del espaciamiento está basado en la ley de Darcy y la ecuación elíptica (un procedimiento estándar utilizado en la industria minera). En el Anexo E se presenta una hoja de cálculo mostrando la relación utilizada, los parámetros de entrada y los resultados obtenidos.

La tasa de aplicación máxima fue también determinada para evaluar el incremento temporal de carga de solución sobre la geomembrana después de un evento intenso de precipitación. Se asumió que esta tasa incluía la tasa de aplicación normal de 8 l/hr/m^2 más el evento precipitación de 100 años en 24 horas (70 mm). Asumiendo que la precipitación resulta en un efluente que fluye uniformemente distribuido en un periodo de 24 horas (es decir, el

apilamiento amortigua la precipitación pico), la tasa de aplicación calculada para la tormenta más la operación es 61.2 l/hr/m^2 . Este valor ha sido calculado sobre la base de una precipitación pico de 53.2 mm/hr de intensidad para una duración de 0.08 hr (ver Tabla 5.4). El flujo combinado resulta en una carga hidráulica máxima de 2.7 metros y 1.8 metros en promedio actuando sobre el revestimiento. Este cálculo ha sido realizado a partir de la estimación conservadora del coeficiente de permeabilidad del mineral y un espaciamiento de 13 metros de las tuberías laterales. Estas cargas, aún siendo mayores a 1.0 metro como era de esperarse, son consideradas admisibles debido a que se presentarán en periodos de muy corta duración. En el Anexo E se presenta otra hoja de cálculo mostrando los resultados del análisis.

8.2.2 Dimensionamiento de Tuberías Laterales

El tamaño de las tuberías laterales requeridas es una función del tamaño del área de colección y de su pendiente. Se ha asumido inicialmente que para la colección de la solución serían utilizadas tuberías de 100 mm de diámetro. Se ha asumido que el flujo dentro de las tuberías de colección podría ser restringido por algún efecto asociado con el colapso, deflexión u obstrucción de la tubería, restringiendo el flujo hasta en un 50% . Por lo tanto, la capacidad de la tubería de 100 mm fue calculada para 50% aproximadamente de su diámetro.

Para este análisis se ha asumido que la mínima pendiente de las tuberías laterales deberá ser de 2% . La capacidad de la tubería de 100 mm fue calculada utilizando la ecuación de Manning con el programa FlowMaster (Haested, 1997). La capacidad calculada fue de aproximadamente 3.96 l/s . Dado este valor así como la tasa de aplicación y el espaciamiento de la tubería (13 m), la máxima longitud permisible de la tubería lateral fue calculada en 137 m , para una pendiente mínima de 2% . Los cálculos antes mencionados son mostrados en el Anexo E.

8.2.3 Dimensionamiento de Tuberías Principales

Las tuberías principales de colección de la solución han sido dimensionadas para transportar el flujo de operación normal al 50% de su capacidad. La capacidad requerida de cada tubería principal es función del flujo máximo total de solución que será aplicado a la pila de lixiviación menos las pérdidas totales de la solución.

Las tuberías principales serán colocadas sobre el revestimiento de geomembrana por lo que la pendiente de esta tubería será variable, debiendo la mínima ser de 2% . El sistema de colección de la solución considera tuberías de 300 mm . La capacidad de las tuberías principales fueron calculadas utilizando la ecuación de Manning con el programa FlowMaster (Haested, 1997).

Los criterios de diseño obtenidos por cálculos de proceso, establecen un flujo operacional de $267 \text{ m}^3/\text{hr}$ ($0.074 \text{ m}^3/\text{s}$), el cual considera las pérdidas totales de solución durante la aplicación. El cálculo de la capacidad de las tuberías para 2% de pendiente mínima y 50% de capacidad recomendada, proporciona un caudal de $0.074 \text{ m}^3/\text{s}$ para la tubería de 300 mm , que es el flujo operacional. Las salidas del programa FlowMaster para el cálculo de las tuberías principales de colección de la solución son presentados en el Anexo E.

Es importante también indicar que el sistema de grava con envoltura de geotextil proporciona una capacidad de conducción adicional al sistema de colección de la solución, debido a lo cual es de esperar que esta capacidad adicional permita conducir y evacuar el flujo de los eventos de máximas precipitaciones de corta duración que se puedan presentar durante la operación del pad de lixiviación.

8.3 Distribución y Conducción de la Solución

La solución será evacuada desde el pozo de colección a través de dos tuberías sólidas de HDPE SDR 17 de 300 mm de diámetro externo. Estas tuberías estarán colocadas dentro de un canal de contención. Las tuberías de solución tienen la capacidad de conducir hasta el 40% adicional del máximo flujo operacional de $267 \text{ m}^3/\text{hr}$ ($0.074 \text{ m}^3/\text{s}$), al 50% de su capacidad, considerando el diámetro interno de la tubería de 265 mm. La salida del programa FlowMaster para el cálculo de las tuberías de solución es presentada en el Anexo E.

El canal colector principal tendrá una base de 1.5 m de ancho, altura de 1.0 m y taludes 1.5:1 (H:V). Este canal llevará un revestimiento de geomembrana lisa de HDPE de 1.5 mm de espesor. En la base de los canales y parcialmente en los taludes se colocará doble lámina de protección adicional de HDPE de 1.5 mm de espesor, sobre la cual se apoyarán las tuberías. El canal de contención ha sido dimensionado considerando el caudal pico para 100 años de periodo de retorno, que es de $1.30 \text{ m}^3/\text{s}$. Los cálculos del canal de contención son presentados como salidas del programa FlowMaster en el Anexo E.

El caudal pico antes indicado tomado para el dimensionamiento del canal de contención corresponde al evento de 100 años de periodo de retorno, considerando el área total del pad de lixiviación. Según lo establecido en la Sección 5.6, la condición más crítica ocurrirá cuando parte del área del pad se encuentre sólo con revestimiento de geomembrana y no con mineral. En este caso, gran parte del flujo no será amortiguado por el apilamiento de mineral, pudiendo incrementarse notablemente. De ser necesario, los flujos provenientes de áreas revestidas, donde aún no se haya colocado mineral, pueden ser derivados a los cursos naturales evitando su ingreso al canal colector principal.

8.4 Desarenador

El desarenador fue dimensionado siguiendo los siguientes criterios: capacidad similar a los existentes construidos por COMARSA y actualmente operativos; una distancia mínima de 30 metros aproximadamente entre el ingreso y la salida de la solución, similar a los existentes. En el Plano 300-01 se presenta el arreglo del sistema de conducción y desarenador proyectados.

El desarenador tendrá un sistema de revestimiento simple sobre una capa de suelo de baja permeabilidad. El revestimiento consistirá de una geomembrana lisa HDPE de 1.5 mm de espesor. La capa de suelo de baja permeabilidad será de 300 mm de espesor. Para evitar el deterioro del revestimiento durante las operaciones de limpieza del desarenador, se recomienda la colocación de una lámina de protección de HDPE de 1.5 mm, Vector sugiere la utilización de una bomba de lodos que permita evacuar los sedimentos periódicamente. Es importante evitar realizar el mantenimiento manual del desarenador para evitar potenciales

daños en la geomembrana. La solución será evacuada por rebose directamente hacia poza pregnant a través de una canal revestido.

8.5 Plan de Apilamiento de Mineral

El mineral será apilado en capas de 8 m de espesor hasta una cota máxima de 3525 msnm. El mineral será colocado por volteo directo de los camiones formando capas con un talud igual al ángulo de reposo del mineral, estimado en 35°, es decir, 1.4:1 (H:V). El mineral será esparcido con equipo de baja presión de contacto (tractores) para evitar el incremento de la densidad y la reducción de la permeabilidad por compactación.

Para mantener la estabilidad del pad de lixiviación el talud global del apilamiento deberá mantenerse en 2:1 (H:V), para lo cual cada capa subsiguiente deberá ser colocada hacia atrás de la anterior de modo de crear banquetas de 5 m de ancho. En el Plano 200-12 se muestra el plan de apilamiento del Pad 14.

8.6 Poza Pregnant

La poza pregnant tendrá una capacidad de 28,200 m³ y almacenará los flujos provenientes de la lixiviación del pad. En el plano 400-01 se presenta el arreglo general de las pozas.

El nivel máximo de operación de la poza pregnant será de 3382 msnm. El borde libre total será de 1000 mm incluyendo una berma de seguridad de 500 mm de altura como mínimo, en todo el borde de las pozas. Las pozas han sido diseñadas considerando taludes de 1.5:1 (H:V).

8.6.1 Movimiento de Tierras

El movimiento de tierras consiste en la excavación masiva de la zona delimitada de modo de conseguir los niveles indicados en el Plano 400-03, lo cual garantizará la capacidad operativa de la poza. Se ha estimado un volumen de corte de aproximadamente 65,960 m³ y un volumen de relleno de 1,130 m³. Estos volúmenes incluyen el corte para la conformación de los accesos perimetrales de la poza.

8.6.2 Sistema de Revestimiento

La poza pregnant tendrá un sistema de doble revestimiento sobre una capa de suelo de baja permeabilidad. Los revestimientos primario y secundario estarán compuesto por una geomembrana lisa HDPE de 1.5 mm de espesor. El sistema de doble revestimiento será colocado sobre una capa de suelo de baja permeabilidad de 300 mm de espesor. La trinchera de anclaje tendrá 800 mm de profundidad y 500 mm de ancho. Los cálculos que justifican el dimensionamiento de la trinchera de anclaje son presentados en el Anexo E.

8.6.3 Sistema de Detección de Fugas

El sistema de detección de fugas de la poza pregnant consistirá en una geonet entre las dos geomembranas, la cual evacuará las posibles fugas en la geomembrana primaria hacia un pozo localizado en el extremo sur-este de la poza, para lo cual el fondo de la poza deberá tener una pendiente mínima de 2% en dirección del pozo. En este pozo la solución proveniente de las fugas será captada por tuberías sólidas de HDPE SDR 17 de 300 mm con agujeros de 5 mm

espaciados cada 50 mm. Estas tuberías se conectarán a un elevador desde donde las fugas serán bombeadas y serán devueltas hacia la poza. El sistema elevador consiste de una tubería sólida de HDPE SDR 17 de 300 mm de diámetro, y estará localizado en el talud de la poza dentro de una zanja, con relleno de grava y envoltura de geotextil no tejido de 270 gr/m². Dentro de esta tubería se colocará una bomba sumergible la cual retornará la solución hacia la poza.

8.6.4 Salida de la Solución

La solución será evacuada hacia la planta de procesos ubicado aguas abajo de la poza a través de dos tuberías sólidas de HDPE SDR 17 de 200 mm de diámetro localizados por encima del pozo de detección de fugas y a 500 mm del fondo de la poza. La cota de salida de las tuberías será 3373.5 msnm. Las tuberías de 200 mm penetrarán el sistema de revestimiento doble a través de botas de HDPE.

8.6.5 Aliviadero

El aliviadero entre ambas pozas consistirá de un canal trapezoidal de 10.0 metros de ancho de la base, 1.0 metros de altura y taludes de 1.5:1 (H:V), y 2% de pendiente. El aliviadero estará revestido con geomembrana lisa de HDPE de 1.5 de espesor.

8.7 Poza de Grandes Eventos

La poza de grandes eventos estará ubicada adyacente a la poza pregnant y tendrá una capacidad de aproximadamente 48,200 m³, para almacenar los flujos de grandes eventos provenientes del pad de lixiviación. En el Plano 400-01 se presenta el arreglo general de las pozas.

El nivel máximo de operación de la poza de grandes eventos será de 3382 msnm. El borde libre total será de 1000 mm, más una berma de seguridad de 500 mm de altura como mínimo en todo el borde de la poza. La poza ha sido diseñada considerando un talud promedio de 1.5:1 (H:V).

8.7.1 Movimiento de Tierras

El movimiento de tierras consiste en la excavación masiva de la zona delimitada de modo de conseguir los niveles indicados en el Plano 400-03, lo cual garantizará la capacidad operativa de la poza. Se ha estimado un volumen de corte de aproximadamente 94,030 m³ no existiendo volúmenes de relleno. Estos volúmenes incluyen el corte para la confirmación de los accesos perimetrales de la poza.

8.7.2 Aliviadero

La operación de la poza de grandes eventos considera la utilización de un sistema de bombeo para las condiciones críticas de operación. Sin embargo, como un sistema de contingencia de la operación de la poza, se ha previsto la construcción de un aliviadero, mostrado en el Plano 400-03. El aliviadero consiste en un canal trapezoidal a manera de badén que sirva para mantener el acceso dentro de las pozas. El aliviadero tendrá de 5 metros de ancho, 0.5 metros de altura y taludes de 10:1 (H:V). El aliviadero descargará hacia la quebrada Maleta.

8.7.3 Sistema de Revestimiento

La poza de grandes eventos deberá tener un sistema de revestimiento simple consistente en una geomembrana lisa de HDPE de 1.5 mm, sobre una capa de suelo de baja permeabilidad de 300 mm de espesor. La trinchera de anclaje tendrá 800 mm de profundidad y 500 mm de ancho. En el Plano 400-05 se muestra la extensión del sistema de revestimiento de la poza de grandes eventos.

8.8 Drenaje Superficial

Para el drenaje de las aguas de escorrentía se ha proyectado la construcción de canales de derivación perimetrales al pad de lixiviación y canales en los caminos de acceso y banquetas en las zonas del pad y pozas. En los Planos 500-01 y 500-02 se presentan la ubicación y detalles de las obras de derivación proyectadas.

Para el caso de las banquetas la máxima área de colección es de 7.5 has para la cual corresponde un caudal de aporte del orden $0.45 \text{ m}^3/\text{s}$ y un canal triangular de 500 mm de profundidad con 2% de pendiente. El caudal de aporte ha sido calculado considerando los flujos pico de las laderas circundantes, los que a su vez han sido calculados según el método racional.

En el caso del canal de derivación ubicado en el camino de acceso superior del pad de lixiviación, el área de aporte es de aproximadamente 10.5 has, esta área relativamente pequeña de aporte de escorrentía se debe a la presencia del canal de agua fresca existente en la ladera y a los caminos de acceso construidos anteriormente que derivan las aguas de escorrentía. Para estas condiciones se ha dimensionado un canal triangular de 1000 mm de profundidad hacia el costado del camino de acceso.

Finalmente para los canales de derivación norte y sur del pad de lixiviación se ha proyectado un canal trapezoidal de 1000 mm de ancho, 500 mm de profundidad y taludes 1:1, de acuerdo al área de aporte cuya escorrentía será derivada por estos canales.

Las salidas del programa FlorMaster con los cálculos de los canales de derivación se presentan en el Anexo E.

8.9 Áreas de Préstamo

Para la construcción de la plataforma de nivelación del pad de lixiviación y rellenos estructurales en general, se podrán utilizar los materiales provenientes de la excavación de los afloramientos de roca cuarcita, existentes hacia el este y sur del pad. En el momento en que se realizaron las investigaciones geotécnicas no se conocía la calidad de los materiales de desmonte de roca de mina, debido a lo cual estos materiales no fueron ensayados; sin embargo, se asume que estos materiales podrán ser utilizados como relleno estructural en caso sean necesarios, previa verificación de sus propiedades de resistencia cortante.

De acuerdo a la información de COMARSA los materiales de drenaje (gravas) y sobre-revestimiento (“overliner”), serán obtenidos por selección del propio mineral. Estos materiales

deberán cumplir con los requerimientos indicados en las especificaciones técnicas, los que han sido recomendados a partir de ensayos realizados en muestras de estos materiales. De ser necesario COMARSA deberá buscar otras fuentes de préstamo, de preferencia de materiales aluviales provenientes de las riberas de los ríos cercanos.

Para la construcción de la capa de suelo de baja permeabilidad se deberán utilizar los suelos arcillosos provenientes de la excavación de la zona de las pozas. Estos materiales deberán ser excavados y apilados en áreas cercanas para ser posteriormente utilizados en la construcción de la capa de suelo.

Se deberá verificar que todos los materiales que serán utilizados para la construcción de los diferentes componentes de las instalaciones a construir, cumplan con los requerimientos indicados en las especificaciones técnicas de construcción. En caso de que por necesidades del proyecto se requiera la utilización de materiales diferentes a los ensayados para fines del presente estudio, se recomienda la verificación de las propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas de estos materiales y evaluar si éstos son apropiados para ser utilizados para este proyecto.

8.10 Monitoreo Geotécnico

8.10.1 Instrumentos de Monitoreo

Vector recomienda a COMARSA la instalación de los siguientes instrumentos de monitoreo geotécnico, los cuales deberán ser instalados en la zona del pad y de las pozas.

- 2 inclinómetros, uno en la cresta de la plataforma de nivelación del pad de lixiviación y otro en la zona de las pozas. La finalidad de estos instrumentos es la medición de los desplazamientos que puedan ocurrir debido a las operaciones de apilamiento de mineral en el pad o de operación de las pozas;
- 1 piezómetro en la cara aguas arriba de la berma de la plataforma de nivelación del pad, con la finalidad de monitorear las variaciones de los niveles de solución de lixiviación.
- 3 piezómetros, 2 en la plataforma de nivelación del pad y 1 en la zona de las pozas para el monitoreo de la variación de los niveles del agua subterránea;

La ubicación en planta de los instrumentos son presentados en el Plano 700-04.

8.10.2 Control de Instrumentación

Los instrumentos de monitoreo geotécnicos propuestos deberán ser monitoreados con las frecuencias indicadas en el siguiente tabla.

Tabla 8.1
Frecuencias de Monitoreo Geotécnico

Instrumento	Frecuencia	
	Estación Lluviosa	Estación Seca
Inclinómetros	dos veces por mes	una vez al mes
Piezómetros	dos veces por mes	una vez al mes

Después del primer año de monitoreo se podrán disponer datos acerca del comportamiento de las instalaciones. A partir de estos datos y si se requiere, se deberán realizar los ajustes respectivos en el diseño de las sucesivas etapas de expansión, de modo de mejorar la estabilidad global del pad y de las pozas. Asimismo, los datos del primer año de monitoreo permitirán definir la necesidad de la instalación de instrumentos adicionales a los ya instalados.

8.11 Cantidades y Costos del Proyecto

Las cantidades de materiales y movimiento de tierras fueron calculados a partir de los diseños elaborados por Vector y de los planos de construcción del proyecto. Se han considerado tareas de movimiento de tierras e instalación de geosintéticos en el pad de lixiviación, sistema de conducción de la solución, poza pregnant y poza de grandes eventos. Los costos unitarios de movimiento de tierras corresponden a aquellos que se utilizan en la industria minera, mientras que los costos de los materiales geosintéticos importados han sido obtenidos a partir de recientes cotizaciones solicitadas a diversos proveedores locales de estos materiales e incluyen flete marítimo, impuestos de aduanas y transporte al lugar de la obra. En el Anexo F se presenta la lista de materiales y movimiento de tierras y el estimado de costos de ingeniería del proyecto.

Las principales actividades de movimiento de tierras fueron: limpieza y desbroce; corte para nivelación; excavación para sub-drenaje; procesamiento, transporte y colocación de grava para sub-drenaje y sistema de colección; relleno estructural de la plataforma de nivelación, nivelación del pad; preparación, transporte y colocación de la capa de suelo de baja permeabilidad; relleno de las trincheras de anclaje; preparación, transporte y colocación del sobre-revestimiento; construcción de bermas de seguridad; excavación de los canales de derivación; entre otras.

Las actividades de instalación de geosintéticos fueron: suministro e instalación del revestimiento de geomembrana en el pad de lixiviación, canal de contención, poza pregnant, poza de grandes eventos; instalación de la geonet de detección de fugas en la poza pregnant; instalación de las tuberías perforadas de pared doble para el sistema de sub-drenaje y detección de fugas; instalación de las tuberías perforadas de pared doble de colección de la

solución en el pad; instalación de accesorios (coplas, yes, codos, etc.); y colocación del geotextil para el sub-drenaje y colección de la solución.

El costo directo del proyecto sin incluir impuestos de ley y gastos de contingencia, asciende a **\$ 3'218,584** dólares norteamericanos. El costo por metro cuadrado de pad de lixiviación es de **\$ 11.53** incluyendo el costo de la construcción de las pozas, lo cual es típico para este tipo de instalaciones de lixiviación.

9.0 INSPECCIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN Y LIMITACIONES

9.1 Inspección de la Construcción

Los datos de ingeniería contenidos en este reporte han sido obtenidos a partir de un número limitado de calicatas, perforaciones, ensayos de laboratorio y de la conceptualización original del proyecto. Es posible que se presenten variaciones de las condiciones sub-superficiales, sobre todo durante la construcción de la obra. Para permitir una correlación entre los datos obtenidos en nuestras investigaciones geotécnicas y las condiciones sub-superficiales reales encontradas durante la construcción y para asegurar el cumplimiento de los planos y especificaciones, se recomienda que un supervisor de una firma consultora especializada en ingeniería geotécnica inspeccione los trabajos de movimiento de tierras, instalación de geosintéticos e instalación de tuberías. El supervisor geotécnico puede tomar mejores decisiones acerca de las profundidades que deberán ser alcanzadas durante la remoción de los suelos superficiales y de calidad de los rellenos estructurales, incluyendo el suelo de baja permeabilidad.

Asimismo, dicho supervisor deberá verificar que la instalación del revestimiento de geomembrana, otras componentes de geosintéticos y sistema de tuberías de sub-drenaje y colección de la solución del proyecto, sea llevada a cabo de la manera como se indican en este Informe, en las especificaciones técnicas y en los planos de construcción.

El supervisor deberá seguir el Programa o Manual de Aseguramiento de la Calidad de la Construcción (CQA) proporcionados en este Informe para llevar a cabo los trabajos. Este Manual deberá ser aprobado por el Propietario y estrictamente seguido por el Contratista encargado de la Obra.

9.2 Limitaciones

Las recomendaciones contenidas en este Informe han sido establecidas a partir de las observaciones de campo, resultados de investigaciones de campo y laboratorio, análisis de ingeniería y de nuestro entendimiento de los diversos componentes del proyecto. Si durante la ejecución de la construcción de la obra, las condiciones difieren de las aquí consideradas, Vector deberá ser notificado, de modo que se lleven a cabo los cambios apropiados a nuestras recomendaciones. Adicionalmente, si las condiciones de cargas de la construcción son diferentes de las descritas en este Informe, o si las características de los materiales empleados en la construcción de la obra o del mineral que será apilado en el pad de lixiviación no son las mismas de las considerados en este Informe, nuestras recomendaciones deberán ser revisadas y modificadas según sea necesario.

Este Informe de ingeniería ha sido preparado de acuerdo con las prácticas de ingeniería aplicables generalmente aceptadas internacionalmente en el momento que el mismo fue preparado. Vector Perú S.A.C. no proporciona otras garantías, ya sea en forma expresa o implícita, más allá de aquellas que se sustentan sobre la base de las hipótesis de un adecuado programa de ensayos e inspección de la construcción que deberán ser llevados a cabo necesariamente durante la construcción de la obra.

REFERENCIAS

Castillo J. y Alva J. (1993). "Peligro Sísmico en el Perú", VII Congreso Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones, Lima, pp.409-431.

Consorcio Lahmeyer Salzgitter LIS (1980). "Evaluación del Potencial Hidroeléctrico Nacional", Ministerio de Energía y Minas - Dirección General de Electricidad.

Gómez D. (1978). "Estudio Hidrotécnico del proyecto de Irrigación Huamachuco - La Libertad", Universidad Nacional Agraria La Molina.

Haestad Methods, Inc. (1997). "FlowMaster Open Channel Flow Module v5.15", Waterbury, Connecticut.

Houston, S.L., Houston, W.N. and Padilla, J.M. (1987). "Microcomputer-Aided Evaluation of Earthquake-Induced Permanent Slope Displacements", Microcomputers in Civil Engineering, Elsevier Science Publishing Company, Inc.

Hynes, M.E., and Franklin, A.G. (1984). "Rationalizing the Seismic Coefficient Method", U.S. Army Corp of Engineers, Department of the Army, Waterways Experimental Station, Miscellaneous Paper GL-84-13.

IILA-SENAMHI-UNI (1983). "La Hidrología del Perú".

Klohn Crippen - SVS S.A. (1998). "Estudio de Impacto Ambiental para la Ampliación de 12,000 TMD de la Planta de Beneficio de Santa Rosa".

Knight Piésold Consulting (2000). "Proyecto Plataforma de Lixiviación 8A y Poza 10-Comarsa". Informe Técnico.

MEM-Dirección General de Asuntos Ambientales (1997). "Guía Ambiental para Proyectos de Lixiviación en Pilas".

MTC-Dirección General de Caminos-Dirección de Estudios Especiales (1978). "Estudio Definitivo Carretera Trujillo - Huamachuco - Juanjui, Sector Calemar - Pte Santa Martha".

Newmark, N.M. (1965). "Effects of Earthquakes on Dams and Embankments", Geotechnique 14(2):139-160.

ONERN (1972). "Inventario, Evaluación y Uso Racional de los Recursos Naturales de la Costa: Cuenca de los ríos Santa, Lacramarca y Empeña".

ONERN (1973). "Inventario, Evaluación y Uso Racional de los Recursos Naturales de la Costa: Cuenca del río Moche".

ONERN (1973). "Inventario, Evaluación y Uso Racional de los Recursos Naturales de la Costa: Cuenca de los ríos Virú y Chao".

ONERN (1975). “Inventario, Evaluación y Uso Racional de los Recursos Naturales de Zona Ssur del Departamento de Cajamarca”.

ProShake (1998). “Ground Response Analysis Program, version 1.1”, User’s Manual. EduPro Civil Systems, Inc. Redmond, Washington

SLIDE (2003). “2D Limit Equilibrium Slope Stability for Soil and Rock Slopes”. User’s Guide. Rocscience.

Schnabel, P., Lysmer, J., and Seed, H. B. (1972). “SHAKE - A Computer Program for Earthquake Response Analysis of Horizontally Layered Sites”, Report No. EERC 72-2, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley.

SILGADO, E. (1978). “Historia de los Sismos más Notables Ocurridos en el Perú”.

USEPA (1987). “Background Document on Proposed Liner and Leak Detection Rule”, EPA/530-SW-87-015, National Technical Information Service, Department. of Commerce, Springfield, Virginia.

Van Zyl, Hutchitson, Kiel (1988). “Introduction to Evaluation, Design and Operation of Precious Metal Heap Leaching Projects”. Society of Mining Engineers, Inc. Littleton, Colorado.

Vector Perú S.A.C. (2003). “Diseño del Pad de Lixiviación, Pozas y Botaderos”. Mina La Virgen. Elaborado para la Compañía Minera San Simón S.A.

Vector Perú S.A.C. (2003). “Pad de Lixiviación N°11 y Poza N°11”. Mina Santa Rosa. Elaborado para la Compañía Minera Aurífera Santa Rosa.

Wilson, S.D. (1973). “Deformation of Earth and Rockfill Dams”, Embankment Dam Engineering, Casagrande Volume, Editors Hirschfeld, R.C., and Poulos, S.J., John Wiley & Sons, New York.