

# **ESTUDIO PARA EL DISEÑO DEL DEPÓSITO DE RELAVES**

## **PROYECTO PICHITA- CALUGA**

### **CAPITULO I**

#### **INTRODUCCION**

##### **1.1 GENERALIDADES**

Compañía Minera Los Chunchos S.A.C. es una empresa minera privada que se dedicará a la explotación y procesamiento de minerales polimetálicos, para tal fin iniciaría la explotación de la mina, instalara una planta de beneficio con capacidad de 150 TM/día, construirá un, depósito de relaves e instalaciones auxiliares en el área del proyecto Pichita-Caluga, ubicado en el distrito de San Ramón, provincia de Chanchamayo, Departamento de Junín durante la etapa de construcción y operación contemplara las normas ambientales vigentes.

##### **1.2 OBJETIVOS**

- El objetivo del presente estudio diseñar y construir el depósito de relaves para el almacenamiento de relaves que se generaría por el tratamiento metalúrgico.
- Evaluar las características geotécnicas del suelo de la cimentación del vaso de la presa y las propiedades físico-mecánicas del material de de relave que conformara el dique del depósito.
- Evaluar la condición de la estabilidad física, para luego proyectar obras de estabilización física.
- Diseñar las obras de drenaje de las aguas superficiales y sub-superficiales.
- Establecer las especificaciones técnicas de las partidas que contemplan las obras de construcción del depósito de relaves.
- Proponer un programa de monitoreo durante la operación del depósito de relaves.
- Establecer un cronograma de Actividades para la construcción.

##### **1.3 ALCANCES**

Los alcances del presente estudio son:

- Caracterización del terreno de cimentación desde el punto de vista geológico-geotécnico, determinación de las propiedades físicas y mecánicas y parámetros que gobiernan la resistencia y compresibilidad del área de estudio.

- Evaluación de las condiciones hidrológicas y sistemas de drenaje del área de estudio.
- Evaluación de las condiciones de peligro sísmico del área de estudio.
- Diseño para construcción del dique de arranque, vaso del depósito de relaves y obras para la estabilización del depósito.

#### **1.4 BASE LEGAL**

El marco legal bajo la cual se realiza el presente informe, contempla las principales normas legales vigentes.

- D.S. N° 016-93 EM, Reglamento para la Protección Ambiental en las Actividades Minero-metalúrgicas del título decimoquinto del Texto Único Ordenado de la Ley General de Minería sobre Medio Ambiente. Modificado por D.S. 059-93. EM.
- D.Leg. N° 613 Código del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales.
- D.S. N° 014-92-EM. T.U.O de la Ley General de Minería.
- R.M. N° 011-96-EM/VMM Niveles Máximos Permisibles para efluentes líquidos minero metalúrgicos.
- D.Leg. N° 17752. Ley General de Aguas y las modificaciones a los Títulos I, II y III promulgados por el D.S N° 007-83-SA, que establecieron los límites para proteger el agua superficial de acuerdo con una clasificación de usos.
- R.D. N° 440-96-EM/DDGM Normas a fin de garantizar la estabilidad de los depósitos de relaves

#### **1.5 BASE TÉCNICA**

- Guía Ambiental para el Cierre y Abandono de Minas.
- Guía Ambiental para la Estabilidad de Taludes de los Depósitos de Residuos Sólidos Provenientes de Actividades Mineras.
- Guía Ambiental para el Manejo de Relaves Mineros.
- Guía Ambiental de Manejo de Aguas en Operaciones Minero-Metalúrgicas.
- Guía Ambiental de Manejo de Drenaje Ácido de Minas.

#### **1.6 METODOLOGÍA**

- **Trabajo de Campo**

Personal técnico se ha constituido a la zona del proyecto para verificar *in-situ* las condiciones físicas del área donde se proyecta construir el depósito de relaves.

Se realizó la evaluación geotécnica para determinar las características físico-mecánicas de la cimentación y del material de relave que se depositara en la presa, empleando diversos métodos de investigación de campo. Uno de los principales métodos se basa en la medida de la resistencia que ofrece el suelo al avance del sondaje de Penetración Dinámica Ligera (DPL), también se realizó las excavaciones de calicatas con la finalidad de evaluar las características del suelo del vaso de la presa, dique de arranque *in-situ*; así mismo se tomaron las correspondientes muestras para llevar a cabo las pruebas de laboratorio y determinar los parámetros geotécnicos. También se realizaron ensayos *in-situ*, tanto en el suelo de cimentación, a través del método del Cono de Arena para determinar la densidad natural del material.

Para el diseño del sistema de drenaje se tomó la información del Estudio Hidrológico realizado por la empresa.

- **Trabajo de Gabinete**

Comprende la recopilación y clasificación sistemática de la información de campo, elaboración de planos, evaluación de los resultados de los ensayos geotécnicos y análisis físico-químicos de los materiales de la relavera.

El informe final, tiene carácter reservado, y será proporcionado a la empresa conteniendo la información del diseño del depósito de relaves con los planos de diseño respectivo.

## **1.7 UBICACION Y ACCESO AL DEPÓSITO DE RELAVES**

Las instalaciones del depósito de relaves se encuentra ubicado en el paraje de Mina Pichita, Sector Pichita-Caluga, distrito de San Ramón, provincia de Chanchamayo, departamento de Junín

El acceso por vía Terrestre desde la ciudad de Lima a las instalaciones del proyecto minero Pichita Caluga, es relativamente fácil a través de la Carretera Central y una carretera afirmada, con un recorrido total de 326 Km. el itinerario se detalla en el Cuadro N° 1-01.

**Cuadro N° 1-01 Itinerario de acceso de Lima a Proyecto Minero**

<b>De</b>	<b>A</b>	<b>Distancia Km.</b>	<b>Tipo de vía</b>
Lima	La Oroya	181	Carretera Asfaltada
La Oroya	Tarma	57	Carretera Asfaltada
Tarma	San Ramón	65	Carretera Asfaltada
San Ramón	Proy. Pichita	23	Carretera Afirmada
<b>TOTAL</b>		326	Carretera Asfal- Afirm.

La ubicación de la mina y el acceso al depósito de relaves se muestra en la Lámina **P-1**.

## **CAPITULO II**

## **GEOLOGIA DEL AREA DE ESTUDIO**

### **2.1 RELIEVE TOPOGRAFICO**

El área donde se ubica el depósito de relaves corresponde a las laderas del cerro Pichita. Esta situada en la cordillera oriental de los Andes. El relieve presenta una superficie ondulada con pendientes moderadas a fuertes, debido a la composición litológica del área.

Gran parte del área se presenta semi accidentado en la cual discurren ríos que conforman las cuencas hidrográficas del Perené, Palcazu, Pichis, y Pachitea. Las unidades geográficas que caracterizan al área estudiada, corresponden a la Cordillera Oriental, selva alta (Faja Subandina), valles y Selva baja.

### **2.2 GEOLOGIA LOCAL**

El área comprendida está ubicada dentro de los límites de los cuadrángulos de Chuchurras, Ulcumayo, Oxapampa y La Merced, y que abarca parte de los departamentos de Junín y Cerro de Pasco con una extensión aproximada de 12,000 km<sup>2</sup>; ubicados en la parte central de la Cordillera Oriental y la Faja Subandina, entre los 10°00' y 11°00' (latitud Sur) y 75°00' y 76°00' (longitud Oeste). Sus desniveles se encuentran comprendidos desde los 300 msnm (valle del Palcazu) hasta los 5,723 msnm (nevado Tarata).

La columna litoestratigráfica comprende una secuencia de rocas metamórficas, sedimentarias e ígneas que se han formado desde el Neoproterozoico hasta el Cuaternario reciente.

La unidad más antigua en la zona en general (Neoproterozoico) es el Complejo de Maraynioc conformado esencialmente por micaesquistos y gneis, formando parte del núcleo de la Cordillera Oriental.

Sobre las metamorfitas y metasedimentitas del sustrato antiguo, sobreyace el Grupo Ambo, conformado por rocas conglomerádicas y niveles pelíticos, que se encuentra cubierto por rocas clásticas y carbonatadas de los grupos Tarma y Copacabana. Las rocas continentales del Grupo Mitu (que rodean a la zona de estudio) representan la etapa final de la sedimentación en el Paleozoico superior.

Hacia la Cordillera Oriental y vertiente Subandina afloran los principales plutones y stocks con variación petrográfica de microdioritas a sienogranitos que han intruido principalmente rocas formadas durante el Neoproterozoico al Paleozoico superior.

Representan el magmatismo Permo -Triásico, que ha formado el batolito de la Cordillera Oriental. Justamente en el sector de las intrusiones se aprecia la zona que contiene al sector de estudio correspondiente a elementos de granodiorita (Ps-Tr-gd-tu)

Así mismo, Existen ocurrencias de sustancias metálicas (Zn, Pb) destacándose los depósitos de San Vicente, Pichita-Caluga y Shalipayco; cuyo modelo genético es descrito como depósitos del tipo "Mississippi Valley".

La Formación a la que pertenece la mina es la llamada Formación Aramachay del Grupo Pucará; compuesta por calizas y niveles de areniscas bituminosas intercaladas con lutitas, este segmento es rico en fósiles como los amonites, que nos indican de edad sinemuriano medio.

Localmente se ha reconocido en el área de estudio limolitas, areniscas y conglomerados a brechas arcósicas de color rojizo a moderado, con niveles de yeso hacia el techo por correlación estratigráfica correspondería al Grupo Mitu que aflora en los alrededores generado relieves suaves conformando cerros con crestas subredondeadas de flancos moderados

El Grupo Mitu esta conforma mayormente una secuencia clástica de origen continental, asociada a eventos vulcanoclásticos desarrollada en ambientes epicontinental. Existe variabilidad en la composición litológica del Grupo Mitu, encontrándose constituida por conglomerados, areniscas y limoarcillitas intercaladas con vulcanitas (lavas andesíticas) y piroclastitas de color verdoso a violáceo.

En esta secuencia estratigrafía se encuentran emplazados las estructura mineralizadas se trata de una brecha de matriz calcárea con fragmentos angulosos de caliza y dolomita de color grisáceo presenta carbonatos de zinc rellenando pequeñas fracturas también se alojan traza de plomo. En la Lámina **P-2** se muestra la Geología Local.

### **2.3 GEOLOGIA ESTRUCTURAL**

En el plano geológico Regional se muestra el estilo estructural que está definido por pliegues amplios y comprimidos, normales e invertidos, así como la presencia de escurrimientos, de otro lado usando las imágenes SLAR se ha definido dos sistemas de lineamientos uno NE paralelo al río Tarma o Palca y otro NNW paralelo al río Oxabamba, lo que indica que las megas estructuras controlan el

drenaje actual pero también tuvieron control en el desarrollo de la cuenca, lo cual está puesto en evidencia al observar en la que el cambio de fácies y espesores está en relación directa con los lineamientos.

La secuencia Pre-Uncush de la Mina San Vicente tiene un espesor de más o menos 1250 metros mientras que en la Mina Pichita tiene no más de 150 metros aunque el adelgazamiento es progresivo el cambio de facies es marcado

### **2.3.1 Patrón Estructural**

En el área de la Mina Pichita se ha determinado dos zonas estructurales que se muestran en el plano geológico local que se ha denominado zona estructural normal y zona estructural invertida.

La primera se caracteriza porque las capas están en posición normal de otro lado se tiene abundantes fallas, estructuralmente es un homoclinal buzante hacia el NE.

La segunda tiene dos sub zonas uno de buzamientos altos mayores a 60° y está cerca del contacto con el Mitu y la otra de buzamientos menores en promedio de 30° a 40° en forma general es una flexura invertida buzante hacia el SW.

## **2.4 GEOMORFOLOGIA DE LA ZONA DE ESTUDIO**

El área del proyecto donde se ubicara el depósito de relaves tiene dos unidades geomorfológicas principales:

La unidad geomorfológica de colina, presentándose en la cumbre del cerro Pichita, con pendientes moderadas, cubierto por vegetación.

La unidad geomorfológica de quebradas, las que se ubican en las zonas bajas de las colinas, estas presenta zonas de quebradas abruptas con valles encañonados, con presencia de fuerte pendiente, lo que indica levantamiento tectónico reciente de la cordillera y zonas de quebradas con pendientes convexas con menor grado de inclinación, en esta unidad se instalara el depósito de relaves.

## **CAPITULO III**

### **HIDROLOGIA**

#### **3.1 INTRODUCCIÓN**

Para fines del presente estudio se ha tomado la información del estudio hidrológico realizado por la empresa ACOMISA, se ha tomado el régimen pluvial en la zona de emplazamiento del depósito de relaves y las quebradas que inciden en ella, para el cálculo de los caudales de diseño de las obras de drenaje, ante condiciones de precipitaciones máximas.

El estudio hidrológico ha estimado las descargas máximas, a partir un análisis de frecuencia de las precipitaciones máximas en 24 horas registradas en las estaciones pluviométricas ubicadas en áreas adyacentes a la zona del proyecto.

#### **3.2 DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO**

El área de estudio del proyecto se encuentra a una altitud promedio de 2,165 msnm y a 8 kilómetros en línea recta hacia el NW de la ciudad de San Ramón.

La zona del proyecto, se caracteriza por la ocurrencia de altas precipitaciones principalmente entre los meses de Octubre a Marzo.

#### **3.3 HIDROGRAFÍA DE LA ZONA**

En el área de influencia del proyecto se ha reconocido a la quebrada Pichita y el río Casca como sistemas de drenaje natural principales.

La quebrada Pichita es un afluente del río Casca, la parte mas alta de su línea divisoria de aguas se ubica a una altitud de 2720 msnm, esta quebrada es de naturaleza intermitente, y discurre su flujo de aguas de NW a SE hasta llegar a la confluencia con el río Casca.

La subcuenca del río Casca pertenece a la cuenca del río Oxabamba, este río presenta un flujo de aguas de manera constante, el caudal promedio de este río es de 320 L/s.

EL flujo de aguas que discurre en el área de proyecto tiene influencia sobre ambos cauces. Asimismo dichas cuencas pertenecen a la Cuenca del Atlántico.

En la Lamina P-3 se muestra las quebradas y cauces en el área de influencia del proyecto.

### 3.4 CAUDAL DE DISEÑO

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, como se indica a continuación:

El concepto básico del Método Racional, asume que el máximo porcentaje de escurrimiento de una cuenca pequeña ocurre cuando la intensidad de tal cuenca está contribuyendo el escurrimiento y que el citado porcentaje de escurrimiento es igual a un porcentaje de la intensidad de lluvia promedio. Lo anterior en forma de ecuación resulta:

$$Q = 0.278 * C * I * A$$

Donde:

Q : caudal de diseño en m<sup>3</sup>/seg.

C : coeficiente de escorrentía.

I : intensidad de la lluvia en mm/hr.

A : área de la cuenca en Km<sup>2</sup>.

**Tabla 3.01. Coeficiente de Escorrentía C del Método Racional**

FACTORES DE CLASIFICACION		VALORES c' *
TOPOGRAFIA	Terreno plano, con pendiente de 0.15%	0.30
	: Terreno ondulado, con pendiente de 0.35%	0.20
	Terreno accidentado, con pendiente de 4.00%	0.10
SUELOS	Arcilloso - firme	0.10
	: Arcillo - arenoso	0.20
	Arcillo - arenoso suelto	0.40
COBERTURA	Terrenos cultivados	0.10
	: Bosques	0.20

\* El coeficiente de escurrimiento C se obtiene restando a la unidad la suma de los c' para cada uno de los tres factores

**Tabla 3.02. Coeficiente de Escorrentía C**

TOPOGRAFIA	DESCRIPCION DE SUELOS O TIPOS DEL SCS	COBERTURA	COEFICIENTE
LLANA	Arcilloso firme impenetrable (D)	Cultivo	0.50
		Bosque	0.40
	Arcillo - arenoso firme (C y B)	Cultivo	0.40
		Bosque	0.30
Arcillo - arenoso abierto (A)	Cultivo	0.20	
	Bosque	0.10	
ONDULADA	Arcilloso firme impenetrable (D)	Cultivo	0.60
		Bosque	0.50
	Arcillo - arenoso firme (C y B)	Cultivo	0.50
		Bosque	0.40
Arcillo - arenoso abierto (A)	Cultivo	0.30	
	Bosque	0.20	
ACCIDENTADA	Arcilloso firme impenetrable (D)	Cultivo	0.70
		Bosque	0.60
	Arcillo - arenoso firme (C y B)	Cultivo	0.60
		Bosque	0.50
Arcillo - arenoso abierto (A)	Cultivo	0.40	
	Bosque	0.30	

**Tabla 3.03. Coeficiente de Escorrentía C**

TIPOS DE SUELOS SEGÚN U.S.S.C.S.	(P <sub>24h</sub> ) mm	COEFICIENTE DE ESCORRENTIA PARA AREAS EN Km <sup>2</sup>				
		= 0.1	0.1 - 1.0	1.0 - 10	10 - 100	< 100
TIPO (D)	= 80	0.60	0.70	0.65	0.65	0.60
	81 - 150	0.90	0.85	0.80	0.80	0.80
	151 - 200	0.95	0.90	0.90	0.90	0.90
	> 200	0.95	0.95	0.95	0.90	0.90
TIPO (C)	= 80	0.70	0.60	0.55	0.50	0.45
	81 - 150	0.85	0.80	0.75	0.65	0.65
	151 - 200	0.85	0.85	0.80	0.70	0.70
	> 200	0.90	0.90	0.80	0.75	0.75
TIPO (B)	= 80	0.55	0.55	0.40	0.35	0.20
	81 - 150	0.65	0.63	0.56	0.45	0.30
	151 - 200	0.75	0.70	0.65	0.55	0.40
	> 200	0.80	0.75	0.70	0.65	0.50
TIPO (A)	= 80	0.35	0.28	0.20	0.20	0.15
	81 - 150	0.45	0.35	0.25	0.25	0.20
	151 - 200	0.55	0.45	0.40	0.35	0.30
	> 200	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40

En base a las características físicas del área drenante, se determinaron de las tablas 2.01, 2.02 y 2.03, tres coeficientes de escurrimiento, los cuales se promediaron para obtener el definitivo a utilizar. En este caso el coeficiente de escurrimiento C se tomó igual a 0.60.

El caudal pico específico en las laderas, para un período de retorno de 500 años será de:

$$Q_p = 117.00 \text{ Lt/seg/hectárea}$$

## CAPITULO IV

### ASPECTOS SISMICOS DEL AREA

#### 4.1 GENERALIDADES

El Perú es considerado como una de las regiones de más alta actividad sísmicas. Forma parte del cinturón circumpacífico, de esta forma es necesario considerar la influencia de los sismos sobre la estabilidad del talud de la relavera.

##### a) Zonificación Sísmica

Dentro del territorio peruano se ha establecido diversas zonas sísmicas, las cuales presentan diferentes características de acuerdo a la mayor o menor ocurrencia de los sismos. Según el Mapa de Zonificación Sísmica propuesto por la nueva Norma de Diseño sismorresistente E-030 del reglamento nacional de construcciones (1997), presentado en la **Figura 4.1**, el área de estudio se encuentra comprendida en la zona 2 clasificada como zona de mediana sismicidad.

##### b) Intensidad

Según el análisis sísmo tectónico, existen en el mundo dos zonas muy importantes de actividad sísmica conocidas como el Círculo Alpino Himalayo y el Círculo Circumpacífico. En esta última, donde se localiza el Perú, han ocurrido el 80% de los eventos sísmicos en el mundo. Por lo tanto, nuestro país está comprendido entre una de las regiones de más alta actividad sísmica.

La fuente de datos básica de intensidades sísmicas que describe los principales eventos sísmicos ocurridos en el Perú, ha sido presentada por Silgado (1978). En la **Figura 4.2** se muestra el mapa de distribuciones de máximas intensidades sísmicas observadas (Alva et al, 1984), de acuerdo a esta información, se concluye que según la historia sísmica del área de estudio (400 años), han ocurrido sismos de intensidades altas como V – VI en la escala Mercalli Modificado.

#### 4.2 EVALUACION PROBABILISTICA DE PELIGRO SISMICO

Se han realizado varias evaluaciones probabilísticas de peligro sísmico utilizando el método de Cornell McGuire (1976), los sismos son modelados ya sea como áreas de fuerte sísmica o como zonas de fuerte lineal (fallas). Los sismos son tratados como eventos independientes ubicados en fuentes puntuales aleatorias. La relación magnitud-recurrencia y magnitud máxima para cada zona son estimadas a partir de la sismicidad registrada dentro de cada zona de fuente. Casaverde y

Vargas (1980), Castillo y Alva (1993) fig.4.3, y Ceresis (1996) han efectuado evaluaciones similares. De acuerdo al mapa de distribución de isoaceleraciones (Alva et al. 1993) indican que la aceleración máxima del terreno (AMT) para la zona de estudio sería aproximadamente 0.28g para un 10% de excedencia en 50 años, lo que representa un periodo de retorno de 500 años, ver **Figura 4.3**.

#### **4.3 CARACTERISTICAS DEL SISMO MAXIMO Y DE DISEÑO**

Los Sismos Máximos a suceder en un periodo de retorno de 500 años serán de Intensidad V y VI respectivamente en la escala de Mercalli Modificado según (Gutenberg y Richter).

Los Sismos Básicos de Diseño serán asumidos por el mismo valor anterior, es decir presentan una intensidad de V y VI en la escala de Mercalli, pero se afectara y corregirá el valor de sus aceleraciones respectivas.

En tal sentido, el valor de la aceleración máxima de diseño para los análisis de estabilidad, de acuerdo al mapa de isoaceleraciones, considerando una vida útil de 50 años y un periodo de retorno de 500 años, se indica a seguir:

$$a_{\max} = 0.28 \text{ g (para un periodo de retorno de 500 años)}$$

Es aceptada internacionalmente, que el coeficiente sísmico a ser considerado en el análisis de condiciones pseudoestáticas de diseño de taludes, sea obtenido como una fracción que varia 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. En consecuencia, para el caso del análisis pseudo-estático de estabilidad del depósito de relaves se considera un valor de aceleración básica de diseño horizontal de 1/2 de aceleración pico, es decir 0.14g se utilizara como el valor de la aceleración básica de diseño.

$$a_{\text{diseño}} = 0.14 \text{ g (para un periodo de retorno de 500 años)}$$

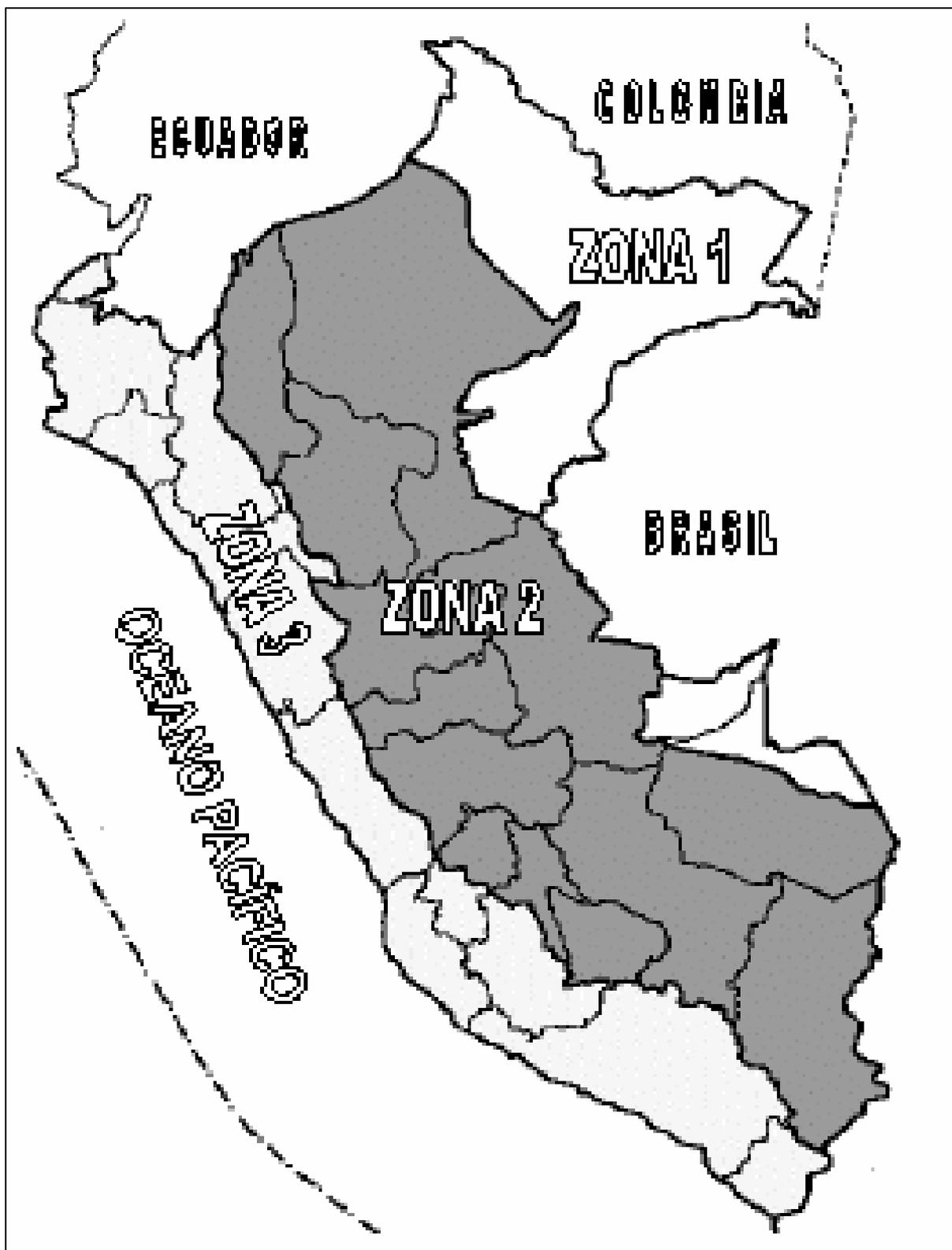


Figura Nº 1. Zonificación sísmica del Perú  
(Reglamento Nacional de Construcciones, 1990)

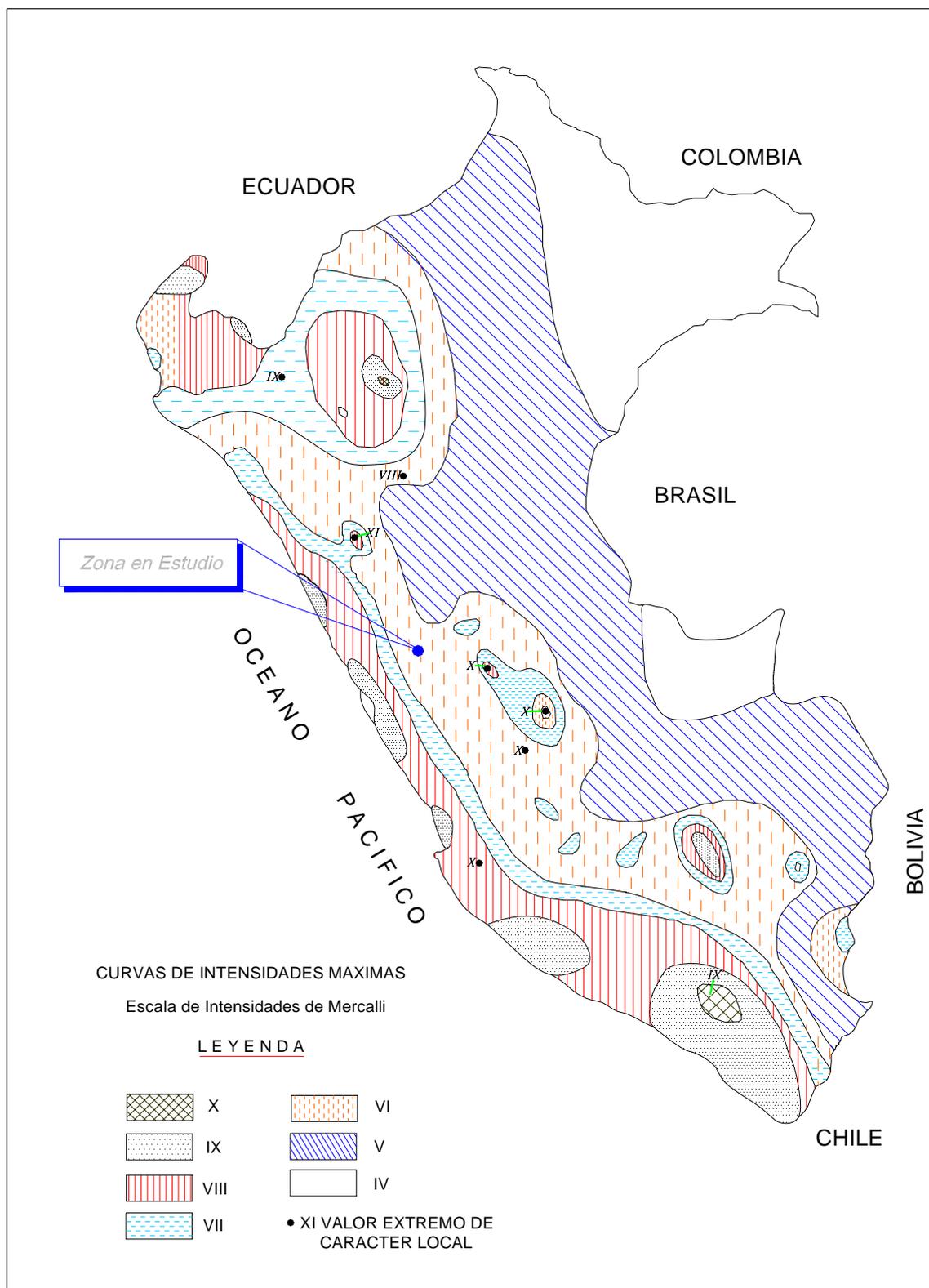


Figura Nº 2. Mapa de Distribución de Máxima Intensidad Sísmica (Alva 1984)

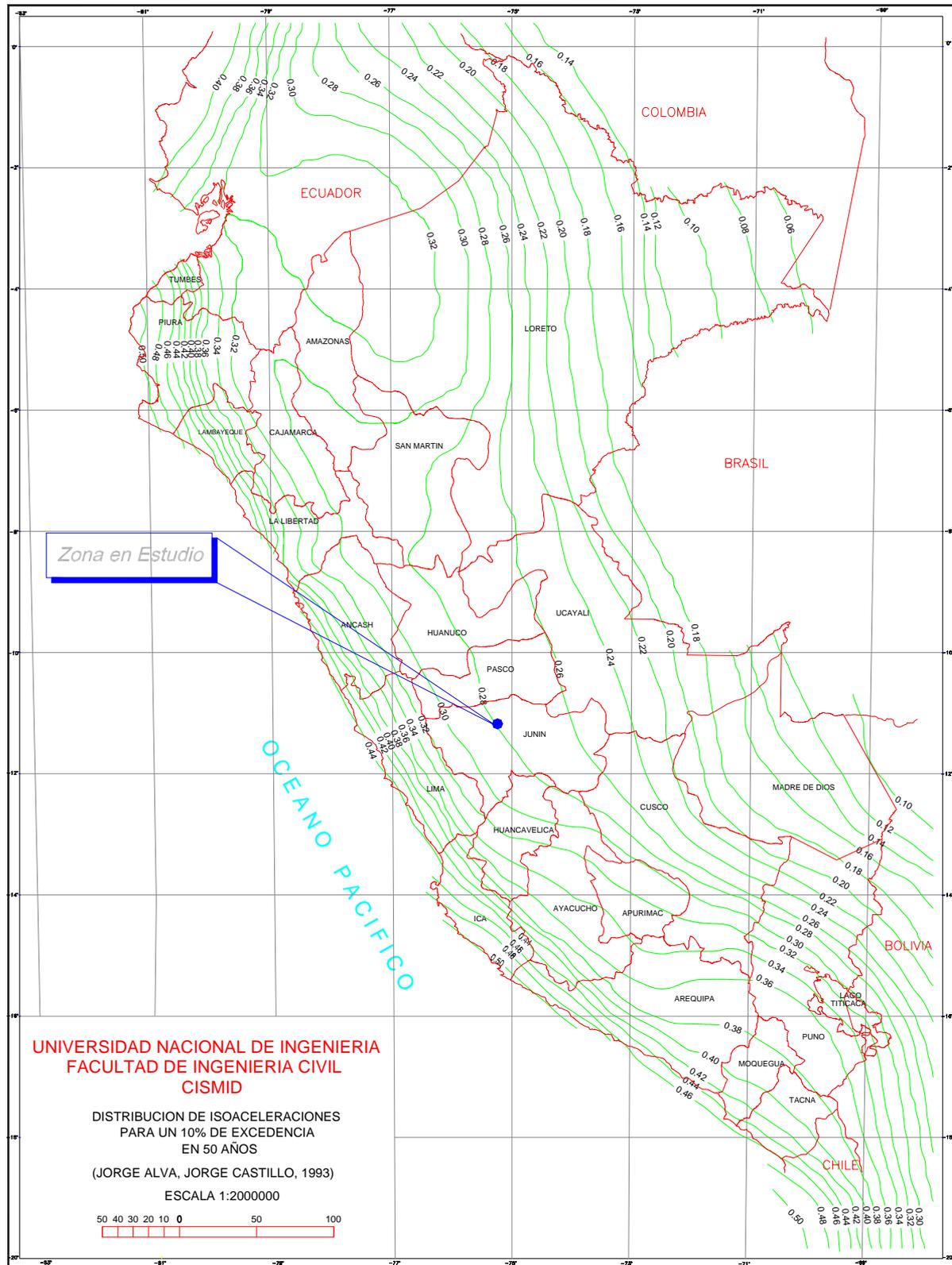


Figura N° 3. Mapa de Isoaceleraciones para 475 años de Periodo de Retorno

## **CAPITULO V**

### **INVESTIGACIONES GEOTECNICAS**

#### **5.1 GENERALIDADES**

Para la ejecución del presente estudio la Empresa ACOMISA llevo a cabo un programa de investigaciones geotécnicas de campo con la finalidad de evaluar las características y propiedades de los materiales de la cimentación del área de emplazamiento de la presa de relaves. Para la ejecución de las investigaciones se ha realizado sondajes de Perforación Dinámica Ligera (DPL), excavación de calicatas, así mismo se tomaron muestras representativas de suelo de cimentación y material de la relavera para llevar a cabo las pruebas de laboratorio y determinar los parámetros geotécnicos de resistencia.

#### **5.2 INVESTIGACIONES GEOTECNICAS DE CAMPO**

Para determinar las características físico-mecánicas más representativa de la cimentación y del material de la relavera se ha empleado diversos métodos de investigación de campo. Uno de los métodos utilizados se basa en la medida de la resistencia que ofrece el suelo al avance del sondaje DPL. También se realizó excavaciones de calicatas, trincheras para elaborar el perfil estratigráfico del suelo y la correspondiente toma de muestras de suelo para llevar a cabo las pruebas de laboratorio y determinar los parámetros geotécnicos.

##### **5.2.1 Sondajes DPL**

Para determinar las características de resistencia de los suelos se ejecutaron un total de dos (02) sondajes DPL, (norma DIN – 4094), convenientemente ubicadas dentro del área de estudio con la finalidad de evaluar las condiciones geotécnicas, los parámetros resultantes nos permitirá correlacionar con la densidad relativa de las muestras en anillos con el fin de determinar los pesos volumétricos y su posterior remoldeo de los mismos. Los sondajes de DPL nos han permitido realizar las investigaciones hasta una profundidad de 4.00m.

Los registros efectuados en cada una de los sondajes DPL se detallan en los Anexos y a continuación en el Cuadro 5-01 se enumera los ensayos DPL.

**Cuadro 5-01 Ensayos DPL**

Ensayo (DPL)	Profundidad (m)
DPL-1	4.00
DPL-2	4.00

### 5.2.2 Calicatas

Con la finalidad de conocer las propiedades y condiciones geotécnicas (humedad, densidad, resistencia la corte y permeabilidad) del suelo de cimentación se ha excavado seis (06) calicatas hasta una profundidad 3.00m, desde donde se ha extraído las muestras para los respectivos ensayos de laboratorio. Los resultados nos han permitido determinar los parámetros geotécnicos para el análisis de la estabilidad y determinación del talud de diseño de la presa de relaves.

**Cuadro 5-02 Calicatas**

Calicata	Profundidad (m)
C-1	3.20
C-2	2.00
C-3	2.00
C-4	2.50
C-5	2.20
C-6	2.20

### 5.2.3 Registros de Investigación de los Suelos

De acuerdo a los materiales identificados en las excavaciones de las calicatas se ha elaborado un registro de sondajes donde se indica las características físicas encontradas en los suelos como color, humedad, compacidad clasificación y simbología grafica (ver anexos).

### 5.2.4 Resultados de Ensayos de Penetración y Sondajes

Los sondajes de penetración dinámica ligera alcanzaron una profundidad máxima de 4.00 m. La ubicación de los sondajes se encuentra en la Lamina correspondiente y los resultados de los registros de los sondajes de DPL se adjunta en los anexos respectivos, juntamente con los sondajes de excavación.

### 5.2.5 Determinación de la Profundidad del Nivel Freático

Durante la evaluación geotécnica de campo mediante los sondajes DPL y la excavación de calicatas en el área donde se emplazara el depósito de relaves no se ha detectado la presencia de filtraciones ni el nivel freático de las aguas subterránea se sospecha que esta se encuentra a cotas inferiores

## 5.3 INVESTIGACIONES Y ENSAYOS DE LABORATORIO

### 5.3.1 Ensayos de Laboratorio

Con las muestras disturbadas e inalteradas extraídas de las calicatas de exploración se determinó las características físico mecánicas del suelo de cimentación y material de la relavera mediante los ensayos estándar de laboratorio, los resultados determinaron la gradación y por consiguiente la clasificación SUCS. Los ensayos se realizaron en el Laboratorio de Geotécnico del CISMID de la Universidad Nacional de Ingeniería, bajo las normas de la American Society for Testing and Materials (A.S.T.M.), se describe a continuación:

• Análisis granulométrico por tamizado	ASTM D-422
• Contenido de humedad	ASTM D-2216
• Densidad máxima	ASTM D-4253
• Densidad mínima	ASTM D-4254
• Limite Liquido	ASTM D-423
• Limite Plástico	ASTM D-424
• Peso volumétrico	ASTM D-2937
• Peso Especifico Relativo de Sólidos	ASTM D-854
• Corte Directo	ASTM D-3080
• Permeabilidad Pared Flexible	ASTM D-5084
• Ensayo de Consolidación Unidimensional	ASTM D-2435

### 5.3.2 Clasificación de Suelos

Los ensayos de laboratorio efectuados a las muestras de los estratos encontrados en las excavaciones, considerados como representativos del área del depósito de la relavera, han determinado la clasificación de suelos según SUCS permitiendo elaborar la sección de los suelos encontrados en el terreno. En general los materiales encontrados en el suelo de

cimentación y el cuerpo que constituyen la relavera, de acuerdo a la clasificación SUCS, están descritos a continuación:

- MH = Limo de alta plasticidad
- ML = Limo de baja plasticidad
- CL = Arcilla de media plasticidad
- SM = Arena limosa
- GM = Grava limosa
- GC = Grava arcillosa
- GP-GM = Grava mal graduada limosa

Las características del suelo de cimentación y el material de la relavera se detallan en el cuadro de resumen adjunto en el Anexo de Tablas del presente estudio.

### **5.3.3 Perfil del Suelo**

Según los datos de exploración mediante excavaciones se ha podido determinar diferentes tipos de suelos, que se presentan en áreas definidas por la topografía y geomorfología, se muestran en las secciones 1-1 y 2-2 de las láminas P-04.

Según las investigaciones de campo se ha encontrado dos zonas de diferentes tipos de suelos localizados en las laderas y en la plataforma de terraza del vaso del depósito de relaves

**Zona Geotécnica I**, plataforma de la terraza se ha encontrado superficialmente suelos fino que van de limos de alta plasticidad hasta arcillas de baja plasticidad, con alto contenido de humedad, existen zonas de consistencia blanda intercaladas con zonas de consistencia suelta, en la parte central de la plataforma del depósito se ha determinado un estrato de suelo fino que profundiza varios metros.

**Zona geotécnica II**. Se encuentra localizado en las laderas de la terraza superficialmente presenta suelos arenosos y mediante las excavaciones se ha determinado suelos de origen residual alternados suelos coluviales de 1.0m de potencia, a mayor profundidad se han encontrados gravas angulosas producto de la desintegración del basamento rocoso, de consistencia densa y algo humedad.

### 5.3.4 Ensayos Especiales

#### 5.3.4.1 Ensayo de Permeabilidad

Con las muestras extraídas de las calicatas del suelo de cimentación de las zonas geotécnicas I y II se ha realizado los ensayos para determinar la capacidad de flujo, mediante la prueba de permeabilidad de pared flexible y rígida los resultados indican que el material tiene dos grados de infiltración alto y bajo.

#### 5.3.4.2 Ensayo de Corte Directo

Para fines del presente estudio se ha realizado ensayos de corte directo tipo humedecido, ASTM D-3080 con muestra remoldeada y muestra inalterada, del suelo de cimentación y del material de la relavera, la que servirá para calcular los factores de seguridad de los taludes proyectados.

#### 5.3.4.3 Ensayo de Consolidación

Se ha realizado pruebas de consolidación para determinar la compresibilidad del suelo fino de la cimentación, del dique de arranque a fin de determinar la compresibilidad ante la carga impuesta cuando se alcance la máxima altura.

En los anexos respectivos se presenta los reportes de los ensayos de laboratorio. El Cuadro 5-03 resume los resultados de los ensayos especiales de laboratorio.

**Cuadro 5-03 Resultados de los Ensayos de Laboratorio**

Sondaje		C - 1	C - 1	C - 4
MUESTRA		Relave	M - 3	M - 3
Clasificación (SUCS)		ML	SM	MH
<b>Parámetros de resistencia Mecánica</b>				
Corte Directo	$\phi$	28.30	34.50	17.00
	$c$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	0.00	0.00	0.35
<b>Permeabilidad</b>				
$k$ (cm/seg)			6.60E-04	1.70E-04
<b>Ensayo de Consolidación</b>				
Pc (kg/cm <sup>2</sup> )		1.24	-	1.64
Cc (kg/cm <sup>2</sup> )		0.164	-	0.438
Cs (kg/cm <sup>2</sup> )		0.025	-	0.043

## CAPITULO VI

### PROPIEDADES DE LOS MATERIAL DE LA CIMENTACION, MATERIAL DE RELAVE Y MATERIAL DE PRESATMO

#### 6.1 MATERIALES DE LA CIMENTACION DEL AREA DE LA PRESA DE RELAVES

A partir de la zonificación geotécnica y el mapeo geológico en el área de estudio, se ha determinado dos zonas geotécnicas con características propias y bien definidas.

La *zona geotécnica I*, ubicado en la plataforma de la terraza donde se construirá el depósito de relaves, en esta se presenta materiales finos, de compacidad blanda principalmente, las muestras presentan alto contenido de humedad, la potencia estimada de estas capas se estima en más de 10.0m de profundidad. La clasificación SUCS de los materiales presentes en esta área son: arcilla de baja plasticidad (CL), limo de baja plasticidad (ML), y limo de alta plasticidad (MH).

La *Zona Geotécnica II* ubicada en las laderas de la terraza, caracterizado por materiales de origen residual y coluvial, superficialmente se ha encontrado materiales arenosos, debajo de esta capa se encuentra material gravoso y anguloso, se estima que esta capa de material cuaternario alcanza una profundidad de 3.00m.

Mediante las investigaciones geotécnicas de campo y los resultados de laboratorio, se ha determinado los parámetros geotécnicos para el suelo de fundación que se detallan en el Cuadro 6-01.

#### 6.2 MATERIALES DE RELAVE

Como resultado de las pruebas de investigación metalúrgica realizado por la CMCHSAC, se ha obtenido un material de relave de tipo limoso arenoso (ML).

El material de relave grueso que conformara parte del dique de la presa de relaves esta compuesta por arenas finas obtenida mediante la clasificación del hidrociclón.

#### 6.3 MATERIAL DE PRESTAMO

El material préstamo es un tipo de suelo natural que se encuentra en las inmediaciones del depósito de relaves presenta gravas pobremente graduada arcillosas con limo, alcanzando una potencia de tres metros de potencia, este material según la clasificación SUCS corresponde GP-GC.

### 6.3 DETERMINACION DE LOS PARAMETROS GEOTECNICOS

Con los resultados de las investigaciones geotécnicas de campo y los ensayos de laboratorio, se determinó los parámetros físicos y de resistencia para cada tipo de material o suelo que conforma la presa de relaves. En el cuadro 6.1 se muestra los parámetros geotécnicos de resistencia utilizados para el análisis de estabilidad del talud de la relavera, ver Cuadro 6-01.

**Cuadro 6-01 Parámetros Geotécnicos para el Análisis de Estabilidad de Taludes de la presa de relaves.**

Suelo o Material	$\gamma_t$ KN/m <sup>3</sup>	$\gamma_{sat}$ KN/m <sup>3</sup>	$c$ KN/m <sup>2</sup>	$\phi(^{\circ})$
1: Cimentación	16.0	18.0	35.0	17.0
2: Relave Grueso	18.0	19.0	0.0	28.50
3: Relave Fino	15.0	17.0	0.0	19.0
4: Material de préstamo (Dique de Arranque)	20.0	22.0	5.0	36.0

## **CAPITULO VII**

### **ANALISIS DE CIMENTACION**

#### **7.1 HIPOTESIS DE ANALISIS**

Para realizar el análisis de la capacidad de carga y asentamiento de la cimentación se presenta a continuación algunas de las hipótesis básicas que han sido consideradas.

- El análisis de la capacidad de carga del terreno natural se ha realizado considerando que la cimentación de la presa de relaves se comportara como una base flexible, homogénea e isotropica.
- Se considera que la máxima carga actuante en el suelo de cimentación corresponde al tramo central donde alcanzara mayor altura.
- Para simular la distribución de la carga se ha considerado un área rectangular.
- Las cargas en la cimentación de la relavera se distribuirán en la superficie del terreno natural, y actuaran como una carga de tipo trapezoidal.
- La cimentación es superficial.

#### **7.2 CARGAS TRANSMITIDAS**

La densidad promedio del material de relave considerado para los cálculos de las cargas transmitidas es de  $1.8 \text{ KN/m}^3$ .

La potencia promedio del material de relave que transmite carga a la cimentación es 20 m. Esta cargas se presentan en las condiciones proyectadas, es decir hasta la altura máxima de crecimiento. Por lo tanto el esfuerzo aplicado por cada metro cuadrado es  $3.6 \text{ Kg/cm}^2$ , en la zona central del dique de arranque del depósito de relaves. Estas cargas se distribuirán en una base cuadrada de 200 x 200m.

La carga del material de relave se disipara a través de la cimentación por la teoría elásticas de Boussines. Asimismo, debido a la configuración geométrica del depósito, las mayores sollicitaciones se concentran en la parte central de los diques.

#### **7.3 TIPO Y PROFUNDIDAD DE LA CIMENTACION**

Según las exploraciones de campo se ha determinado en el área superficialmente suelo orgánico compuesto por cobertura vegetal y troncos de árboles este material deberá desbrozarse, escarificar y compactar el área a fin de construir el depósito

de relaves. En la zona geotécnica I, deberá colocarse 0.30m, de material arcilloso compactado, así mismo en la zona geotécnica II se colocara 0.50m, de material arcilloso debidamente compactado.

#### 7.4 CALCULO DE LA CAPACIDAD PORTANTE

La cimentación del depósito de la relaves presenta características de un material fino y blando y cuyo espesor promedio es mayor 10 m. de potencia. Las características de resistencia esta dado principalmente por el ángulo de fricción interna del suelo ( $\phi$ ) y su cohesión ( $c$ ), obtenidos a través del ensayo de corte directo, con muestras inalteradas, alteradas y saturadas, encontrándose el siguiente resultado:

##### Cimentación de Relavera

Angulo de fricción interna	$\phi = 17^\circ$
Cohesión	$c = 0.35 \text{ Kg/cm}^2$
Peso Volumétrico	$\gamma = 1.60\text{gr/cm}^3$

Luego aplicando la teoría de Terzaghi modificado por Vesic la capacidad portante admisible será de:

$$Q_{ult} = c.N_c.S_c + q.N_q.S_q + 0.5\gamma.B.N_\gamma.S_\gamma$$

$$Q_{adm} = \frac{Q_{ult}}{FS}$$

Donde:

Profundidad de Cimentación	Df = 0.10m.
Ancho de cimiento	B = 200.00m.
Factores Adimensionales	$N_c = 12.34$
	$N_q = 4.77$
	$N_\gamma = 3.5$
Factor de seguridad	FS = 3

Se ha determinado el valor de capacidad de carga para el área descrita anteriormente (ver memoria de cálculos en los anexos).

Reemplazando valores se obtiene:

Cimentación cuadrada:

$$B= 200m.$$

Entonces:

$$Q adm = 13.3 kg/cm^2$$

## 7.5 ANALISIS DE ASENTAMIENTO TOTALES

### 7.5.1 Asentamiento Elástico

Asimismo se realiza la predicción de asentamientos, calculada con la teoría elástica aplicada por Lambe y Whitman (1969), para los tipos de cimentación analizadas y el esfuerzo neto que transmite un asentamiento uniforme que se puede evaluar por la fórmula que se muestra continuación (ver memoria de cálculo en anexo)

$$\delta = \frac{q_s \cdot B \cdot (1 - \nu^2) I_w}{E_s}$$

Donde:

$\delta$	=	Asentamiento (cm.)
$\Delta q_s$	=	Esfuerzo neto transmitido (Kg/cm <sup>2</sup> )
$B$	=	Ancho de cimentación (cm.)
$E_s$	=	Módulo de elasticidad (Kg./cm <sup>2</sup> )
$\nu$	=	Relación de Poisson
$I_w$	=	Factor de influencia que depende de la forma y la rigidez de la cimentación (Bowles, 1977)

### 7.5.2 Asentamiento por Consolidación

Este asentamiento ocurrirá en el suelo de cimentación del depósito de relaves por presentar suelos finos con presencia de arcillas debido a la reducción de los vacíos en el suelo, el asentamiento se producirá lentamente a través del tiempo. Debido a su baja permeabilidad, en la cual la disipación de presión de poros es lenta, esta teoría fue propuesta por Terzaghi.

La carga aplicada por el material de relave que producirá el asentamiento no generaran momentos adicionales, sin embargo las

deformaciones excesivas en la cimentación si podrían ocasionar debilitamiento en los taludes, cabe mencionar que la carga mayor se encuentra ubicada mayormente en la parte central de la presa de relaves y el dique .

Finalmente en base a los valores de capacidad, el asentamiento total se obtiene como la suma de asentamiento elástico y asentamiento por consolidación, en el área donde se construirá la relavera el asentamiento elástico es 23.50cm., mientras que el asentamiento por consolidación es 43.43cm. Por lo tanto el asentamiento total es 66.94 cm. (ver memoria de cálculos en los anexos).

En resumen, el depósito de relaves después de alcanzar su máxima capacidad de almacenamiento tendrá un asentamientos en el rango de 60 cm. a 70 cm.

## **7.6 CIMENTACION EN ROCA**

Geológicamente en el área afloran rocas de composición calcárea (calizas y dolomitas), caracterizados por presentar buenas resistencia cortante y baja compresibilidad, gran parte del área presenta rocas meteorizadas donde la capacidad de la carga del basamento rocoso será superior a las cargas transmitas por la acumulación del material de relave, se ha evidenciado que el estrato rocoso de la zona geotécnica I se encuentra muy profundo y superficialmente en la zona geotécnica II.

## CAPITULO VIII

### ANALISIS DE ESTABILIDAD FISICA Y DISEÑO DE TALUDES

#### 8.1 METODO DE CALCULO

Para el análisis de la estabilidad de los taludes se ha utilizado la sección transversal de la topografía del depósito de relaves en el punto mas critico, la proyección del talud del dique de la presa y el programa de cómputo PCSTABL (Siegel, 1975) versión 6. Este programa de cómputo permitirá determinar el Factor de Seguridad en condiciones estáticas y pseudo estáticas.

Para calcular el Factor de Seguridad se lleva a cabo un análisis bidimensional usando el concepto de equilibrio límite y empleando el método de Bishop modificado, el programa permite determinar la superficie potencial de falla mas critica.

#### 8.2 FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS

Para el caso de presas de tierra el U.S. Corp of Enginners propone que los factores de seguridad mínimos requeridos para considerar un talud estable, son aquellos propuestos en el Cuadro 8-01.

**Cuadro 8-01 Factores de Seguridad Mínimos para Análisis de Estabilidad en Presas de Tierra.**

CONDICION	Talud Aguas Arriba	Talud Aguas Abajo
I) Al final de la construcción para presas de mas de 15m.	1.3	1.3
II) Estado de infiltración constante	--	1.5
III) Desembalso rápido	1.5	--
IV) Sismo - Solo condiciones I y II	1.0	1.0

Si se considera a la presa de relaves como una estructura cuyo comportamiento es bastante similar al de una presa de tierra para almacenamiento de agua, en la condición "final de la construcción", se puede concluir que los factores de seguridad arriba indicados pueden servir como parámetros comparativos para la evaluación del comportamiento estático y pseudo estático de los taludes.

### **8.3 CONDICIONES DE ANALISIS**

Para llevar a efecto el análisis de estabilidad se consideraron las siguientes condiciones de análisis:

- Para el análisis se ha considerado la sección topográfica 1-1'
- Se ha analizado las condiciones el talud de la relavera, en la sección 1-1, según la configuración proyectada considerando una altura de 28.0m y un ángulo de talud de 2.25:1.0 (H:V).
- En toda esta sección, la relavera ha sido proyectada a la altura máxima de crecimiento, y evaluados en proyección tridimensional según su disposición de almacenamiento y proyectada en el campo, el análisis ha sido efectuada interactivamente para alcanzar el máximo volumen de almacenamiento, la optimización del acumulación del material y el talud que asegure la estabilidad de la presa de relaves.
- En el perfil analizado se consideran cuatro tipos de suelos: suelo de la cimentación, relave grueso, relave fino, y material de préstamo para el dique de arranque.
- Se consideran que las propiedades de los materiales que conforman el talud de la presa de relaves son homogéneos e isotrópicos y que la ruptura del talud se produciría como resultado de fallas simultáneas y progresivas a lo largo de la superficie de deslizamiento.
- Las propiedades de resistencia cortante del material de relave, suelo de cimentación y material de préstamo descrito en el Cuadro 6-01.
- Se ha considerado como solo tipo de falla, a la superficie circular, que se presentaría en los tipos de suelos encontrados en la evaluación geotécnica.
- Se ha tratado de simular las condiciones reales de campo, es decir, se incluyen el efecto gravitatorio de los diferentes materiales y el efecto sísmico a través del análisis seudo estático. En este sentido, el coeficiente sísmico de diseño aplicado es de 0.14 g para un periodo de retorno de 500 años.
- Se esta considerando la compactación de la estructura de recrecimiento con una densidad mayor de 80% del valor de la densidad relativa, ya que al compactar aumenta la resistencia a la licuación, se sabe que un material compactado con una densidad relativa mayor de 70% no es susceptible de sufrir licuación.
- Se esta considerando la existencia de una napa freática para el análisis de estabilidad física del depósito de relaves.

#### 8.4 ANALISIS DE LA PRESA DE RELAVES

La estabilidad dinámica del depósito de relaves está asociada a la eventual ocurrencia de deformaciones limitadas durante un evento sísmico, manteniendo su integridad y funcionamiento después de la ocurrencia de un movimiento sísmico. Por lo tanto, una eventual falla por flujo no podrá ser admisible en una estructura de esta naturaleza. En consecuencia, para garantizar un adecuado comportamiento de estas estructuras es necesario evaluar la estabilidad de sus taludes y verificar si los factores de seguridad determinados se encuentran por encima de los valores mínimos recomendados.

Se han realizado los análisis de estabilidad de los taludes para determinar el *Factor de Seguridad* en condiciones estáticas y pseudo estáticas teniendo en cuenta las condiciones proyectadas del talud de la presa de relaves. En tal sentido se ha considerado una sección crítica de análisis.

El Cuadro 8-02 muestra los resultados del análisis de estabilidad considerando la condición proyectada.

**Cuadro 8-02: Análisis de Estabilidad de Taludes de la presa de relaves condición proyectada – Sección 1 - 1**

SECCIÓN 1 – 1	CONDICION DE ANÁLISIS	FACTOR DE SEGURIDAD EN CONDICIONES FINAL	FACTOR DE SEGURIDAD MÍNIMO ACEPTABLE
TALUD DEL DEPÓSITO	Estática	1.64	1.3
	Seudo-Estática a=0.14	1.04	1.0

De acuerdo a los resultados de los análisis de estabilidad se ha determinado que el depósito de relaves alcanzaría un factor de seguridad aceptable, los resultados se describen en el Cuadro 8-02.

#### 8.5 DISEÑO DE TALUDES

El diseño del talud del depósito de relaves se ha considerado tres parámetros principales:

- Tipo de material de la presa de relaves.
- Características físico mecánicas del suelo de cimentación, material de relave y material de préstamo.
- Análisis de estabilidad del talud de la presa de relaves.
- En la práctica usual de construcción de relaves.

En el área de estudio se han determinado tres tipos de suelos que según la clasificación SUCS corresponde a arcilla de plasticidad media (CL), limo (ML), material de préstamo grava pobremente graduada con arcilla (GP-GC),

La caracterización físico mecánica de los suelos ha sido determinada en el laboratorio Geotécnico del CISMID de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Con los parámetros de geotécnicos de campo y ensayos de laboratorio y con apoyo de un programa de cómputo PCSTABL se ha realizado el análisis de estabilidad física del talud proyectado, para condiciones estáticas y pseudo estáticas.

El cuerpo del dique de arranque estará conformado por material de préstamo debidamente compactado y se recomienda que sea de grava limosa con arcilla, la altura máxima del dique será de 10.0m con una inclinación de 1.75:1.00 (H:V).

La presa de relaves recrecerá con el método de línea central con la fracción gruesa de relave clasificado por el hidrociclón.

El talud final propuesto del depósito de relaves tendrá una inclinación de 2.25:1.00 (H:V), con el cual alcanzara condiciones estables.

## CAPITULO IX

### CARACTERIZACION DEL MATERIAL DE RELAVE

#### 9.1 OPERACIONES METALURGICAS PROYECTADAS

La implementación y construcción de la Planta de Beneficio tendrá una capacidad de 150 TMSD para los procesos de flotación y gravimetría de minerales polimetálicos, principalmente los de plomo, zinc, plata y cobre provenientes de la explotación del tajo abierto.

##### 9.1.1 Producción Proyectada

La Planta de Beneficio del Proyecto Pichita-Caluga se implementara y construirá para una capacidad operativa de 150TMSD, lo que permitirá alcanzar una producción anual de 45,000 TM de mineral. En siete años de producción alcanzara 63% de las reservas del mineral.

##### 9.1.2 Volumen de Producción de Relave Durante la Vida Útil

El tratamiento metalúrgico generara 128 TMSD a este ritmo de producción el depósito de relaves tendrá una capacidad proyectada para siete años. Según su configuración de diseño y construcción será de 137,130 TMS relave fino y 131,670 TMS de relave grueso.

La producción de relave de la planta dará lugar a un relave de fracción gruesa y fina ver cuadro N° 9.01

**Cuadro N° 4-01 Volúmenes de producción durante la vida útil**

Materiales	TMS/día	Años						
		1	2	3	4	5	6	7
Producción Total	128	29,628	60,696	91,044	121,392	150,740	182,088	224,979
Producción de Relave Fino	65.3	17,805	35,610	53,415	71,220	89,025	106,830	137,178
Producción de Relave Grueso	62.7	12,543	25,086	37,629	50,172	61,715	75,258	87,801
Volumen de Agua de Pulpa	725.3	217590	435180	652770	870360	1087950	1305540	1523130

**Volumen por día**

Relaves Finos en 65.3TMS/día.

Relaves Gruesos en 62.7TMS/día.

Volumen de Agua en Pulpa de Relaves: 725.3 TN/día

**Volumen para 1 Año:**

Relave fino: 17,805 TMS

Relave Grueso: 12,543 TMS

Agua de pulpa: 217,590 m3

**Volumen para 7 años:**

Relave fino: 137,178 TMS

Relave Grueso: 87,801 TMS

Agua de pulpa: 1'500.96. m3

**9.1.3 Características de Relave Producido en Planta**

El relave general se ha estimado mediante la clasificación por tamizado y la fracción fina por sedimentación, obteniéndose la granulometría que se muestra en el cuadro 9-02

**Cuadro 9-02 Granulometría de Relave General**

RELAVE GENERAL				
#	TMSD	%	Ac (+)	AC (-)
50	3.49	2.73	2.73	97.27
70	9.01	7.04	9.77	90.23
100	17.45	13.63	23.40	76.60
140	8.20	6.41	29.81	70.19
200	24.05	18.79	48.60	51.40
270	16.00	12.05	61.10	38.90
400	9.60	7.05	68.60	31.40
-400	40.20	31.40	100.00	00.00
<b>TOTALES</b>	128.00			

Según la clasificación granulométrica se ha obtenido una fracción fina que alcanza el 51% del relave producido y un 49% corresponde a relave grueso es decir la fracción fina alcanza un ligero mayor porcentaje.

Se ha considerado como relave fino a los limos debajo de la malla # 200 y como relave grueso a arenas finas con limos partículas retenidas en la malla # 200.

La pulpa de relave presenta un flujo de 32.6 m<sup>3</sup>/h, con un porcentaje de 15% de sólidos suspendidos, y 85% corresponde al agua es decir 8.4 lt/seg, se dispondrá como agua de pondaje en el depósito de relaves. Ver cuadro N° 4.03.

El volumen de producción estimada de relaves tiene relación directa con la capacidad de almacenamiento de depósito de relaves.

En cuadro N° 9.03 se detalla el volumen de relave para siete años de operación teniendo en cuenta la fracción fina y gruesa.

Cuadro N° 9-03 Volumen de relaves producidos

CALCULO DE VOLUMEN DE RELAVES				
<b>Producción de Relave</b>				
<b>Total</b>	128	TMSD	(Para una Producción de Mineral de 150TMSD)	
Gravedad Especifica de Relave	3.0			
% de Sólidos en peso	15	%		
Flujo de Agua	725.3	m3/día	8.4	lt/seg
Flujo de pulpa de relaves	782.4	m3/día	9.1	lt/seg
Densidad de Pulpa	1.2	TN/m3		
<b>Over Flor (relave fino)</b> 51%      65.3      TMSD      27				
Gravedad especifica de relave	3.00			
Densidad seca de relave depositado	1.1		300	
Volumen de almacenamiento	59.35		X 300 Días/Año	17804
Volumen total 7 años				124625
<b>Under Flow (relave grueso)</b> 49%      62.7      TMSD				
Gravedad especifica de relave	3.00			
Densidad Húmeda de relave grueso	1.8			
Humedad	27%			
Densidad seca de relave Grueso	1.5			
Volumen de relave grueso	41.81		X 300 Días/Año	12544
Volumen total 7 años				87808
				<b>Total</b>
				<b>212433.5</b>

Según el cuadro anterior el Volumen de Relave Fino es de 124,625 m3, y 87,808 m3 de relave grueso.

#### 9.1.4 Balance Metalúrgico

El balance metalúrgico para un tratamiento de 150 TMSD de mineral procedente de la mina, con una ley de cabeza de 4.2% Pb, 5.48% Zn, 5.24% ZnOx, 1.09% Fe y 4.8 Onz/TM Ag es el siguiente:

**Cuadro 9-04 Balance Metalúrgico**

Componente	TMSD	Leyes		Contenido Metálico (TMSD)		Distribución porcentual	
		% Pb	% Zn	Pb	Zn	Pb	Zn
Cabeza	150	4.2	5.48	6.3	8.22	100	100
Conc. PbOx-Ag	8.4	60	5	5.04	0.42	80	5.11
Conc. ZnOx	13.6	2	47.8	0.27	6.5	4.28	79
Relave	128	0.75	1	0.99	1.3	15.71	15.82

El relave final está constituido por el rebose del Hidroclasificador y las colas de las mesas vibratorias.

Radio de concentración **Pb-Ag** = 17.86

Radio de concentración **Zn** = 11.03

#### 9.1.5 Suministro de Agua para Uso Industrial

El agua para uso industrial será captada en la Quebrada “El Condor” con un caudal promedio de 15 lt/seg este será conducida por una tubería de 6” de polietileno en un tramo de 5 Km. de longitud aproximadamente hasta el tanque de almacenamiento de 130 m<sup>3</sup>. de capacidad la que se encuentra ubicado en la parte superior de la planta.

El agua requerida inicialmente para el tratamiento metalúrgico de 150 TMSD es de 13 l/s, A continuación se detalla el uso del agua en las diferentes secciones de la Planta.

**Cuadro N° 4-03 Consumo de Agua en planta**

SECCION	USGPM	m <sup>3</sup> /hora	l/s	%
Molienda	48.4	11	3.1	23.9
Flotación	39.6	9	2.5	19.6
Gravimetría	75	17	4.8	37
Agua para sellos de Bombas	17.6	4	1.2	8.7
Otros	22	5	1.4	10.8
<b>Total</b>	<b>202.7</b>	<b>46</b>	<b>13</b>	<b>100</b>

Se instalara un sistema de recirculación de aguas residuales del depósito de relaves este alcanzara un caudal de 8.4 lt/seg, que retornara a la planta para el proceso metalúrgico de tal manera solo se repondrá 4.6 lt/seg de agua proveniente de la quebrada El Cóndor.

## CAPITULO X

### CRITERIOS PARA EL DISEÑO DEL DEPÓSITO DE RELAVES

#### 10.1 CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DEL DEPÓSITO DE RELAVES

Se contemplan principalmente las siguientes consideraciones:

- Ubicación del área para el depósito de relaves
- Caracterización geológica del área
- Condiciones climáticas e hidrológicas del área de emplazamiento del depósito de relaves.
- Condiciones Sísmicas del área del proyecto
- Determinación de las condiciones geotécnicas.
- Selección del tipo de presa
- Balance metalúrgico
- Características granulométricas del relave general

#### 10.2 CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DEL DEPÓSITO

La capacidad de almacenamiento de la relavera se ha estimado en función de la producción de la mina y de las condiciones topográficas del vaso de la presa con apoyo del programa Auto CAD. Land.

De acuerdo a su configuración geométrica el depósito de relaves tendrá una capacidad para almacenar 150,096 m<sup>3</sup>, teniendo en cuenta que la producción de relave fino en los siete años alcanzaría un volumen de 124,625 m<sup>3</sup>.

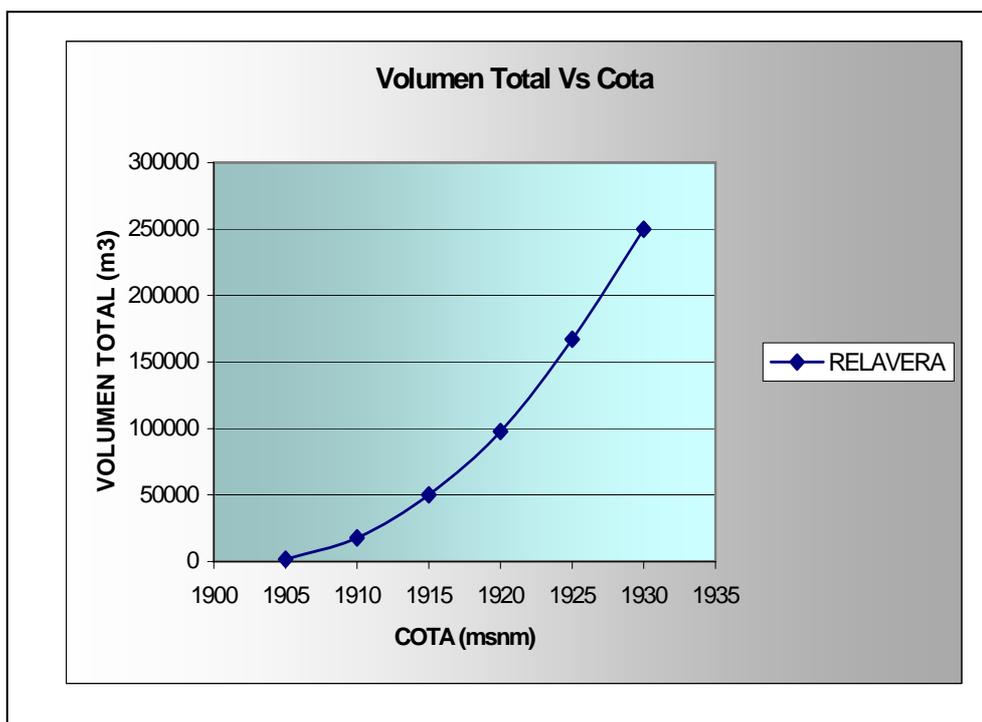
#### 10.3 VOLUMEN TOTAL DE ALMACENAMIENTO EN LA PRESA DE RELAVES

Se ha determinado el volumen de almacenamiento total de la presa de relaves (fracción fina y gruesa), se ha considerado desde la cota 1902 msnm, (pie del depósito de relaves), hasta la cota 1930 msnm, (cresta de la presa), el volumen de la presa es de 249,936 m<sup>3</sup>, en el cuadro N° 10-1, se muestra los valores de almacenamiento según la altitud.

**Cuadro Nº 10.1 Valores de Acumulación en función de la Altitud**

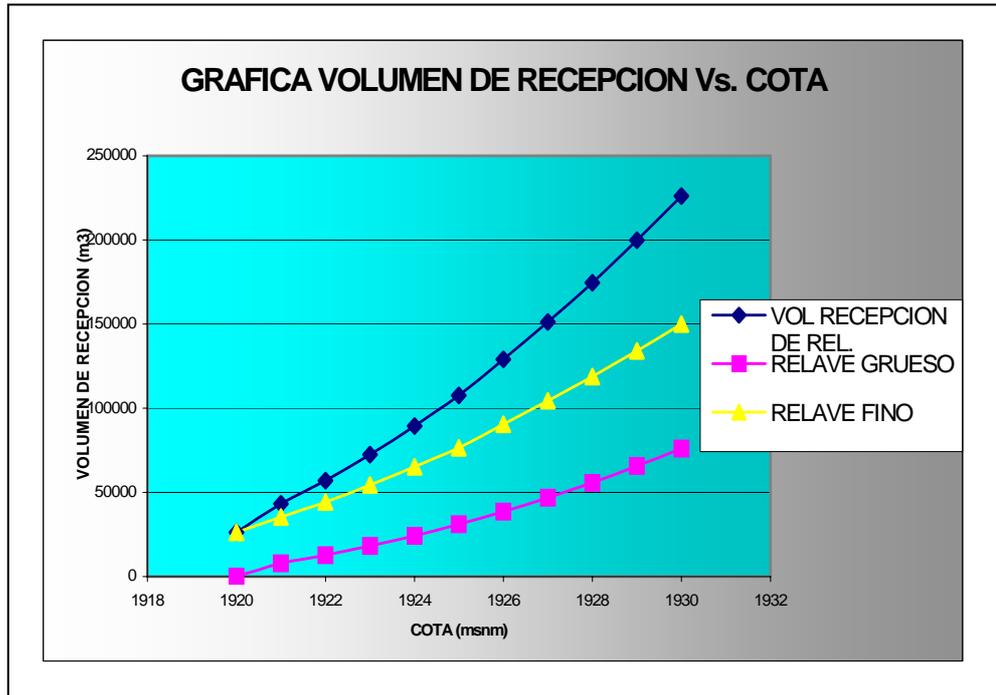
Presa de relaves	
Cota	Volumen del Vaso
1905	1704
1910	17578
1915	50058
1920	97796
1925	167256
1930	249936

**GRAFICA 10-1: Volumen Acumulado del Depósito Vs Altitud**



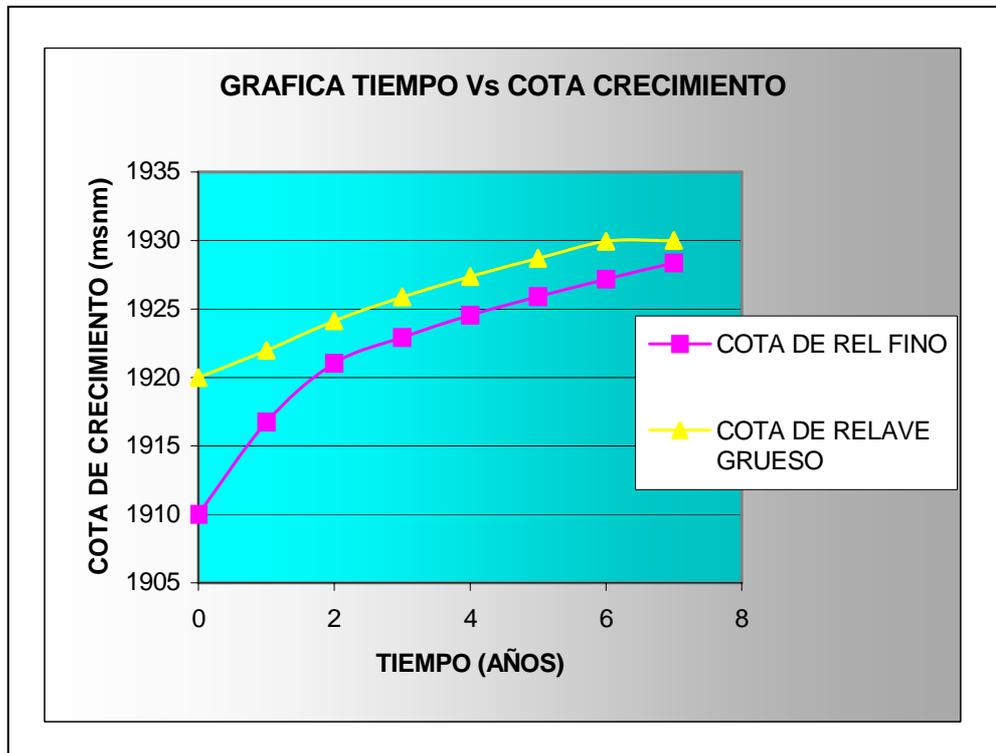
También se presenta la grafica de recepción de relave en la presa diseñada, se observa que el relave grueso se presenta menor cantidad que el relave fino.

**GRAFICA 10-2: Volumen Acumulado de Recepción de Relave Vs Altitud**



Para garantizar la funcionalidad del abastecimiento del relave grueso en la construcción de la presa se muestra el grafico adjunto donde la cota de relave grueso en todos los años de producción se mantiene muy por encima del avance de la cota de relave fino.

**GRAFICA 10-3 Grafica de Comparación Tiempo Vs Cota Crecimiento**



El material de préstamo que se utilizara para la construcción del dique de arranque será de 23,871 m<sup>3</sup>.

La construcción del dique de arranque permitirá almacenar un volumen de 26,347m<sup>3</sup> de relave fino.

#### **10.4 SISTEMA DE PROTECCIÓN DEL VASO DE LA PRESA**

El suelo de fundación de vaso del depósito de relaves deberá ser preparado mediante la impermeabilización y compactación teniendo en cuenta las investigaciones geotécnicas para la zona I donde el material de suelos es fino de consistencia blanda mientras que en la zona II el material es granular

#### **10.5 DIQUE DE ARRANQUE**

Después de ubicar el área para el depósito de relaves, y teniendo en cuenta las consideraciones topográficas se determinó la configuración del vaso para lo cual requiere la construcción de un dique de arranque.

Para el diseño del dique de arranque se ha considerado el levantamiento topográfico, la evaluación geotécnica, la producción de relave, se ha caracterizado el tipo de material que conformara el cuerpo del dique

El dique de arranque tendrá las siguientes características:

- longitud de corona de 153m.
- ancho corona de 4.50m.
- Ancho de base en la parte central de 45m.
- Altura del dique aguas arriba de 10m, y de aguas debajo de 14m.
- Talud de inclinación de 30° aguas abajo y arriba.

El material que se empleara en la construcción del dique será material de cantera seleccionada (grava arcillosa con limo), el grado de humedad deberá estar en el óptimo del valor del proctor estándar, para obtener una compactación del 95%.

Para la construcción del dique de arranque se deberá cortar 7.0m de profundidad como mínimo, teniendo en cuenta las condiciones del suelo según los resultados obtenidos durante la evaluación geotécnica de campo y laboratorio.

## **10.6 SISTEMA DE DRENAJE**

Para proteger y garantizar el funcionamiento del depósito de relaves se diseñara un sistema de drenaje para captar las aguas de escorrentía y evitar el ingreso al depósito de relaves.

En el vaso de la presa se construirá un sistema de subdrenaje a fin de evacuar las aguas de las filtraciones.

Para evacuar las aguas de relave se instalara un sistema de drenaje revestido con geomembrana que se comportara como filtro y sistema de tuberías perforadas (tipo quenás) para evacuar el pondaje de agua que se acumulara en el vaso.

## **10.7 METODO DE DISPOSICION**

El método de disposición permitirá seleccionar y aprovechar la fracción granular del relave para recrecimiento de la presa.

El relave generado por el proceso metalúrgico antes de su disposición será clasificado por un hidrociclón la que estará instalada sobre una estructura móvil para su desplazamiento y descarga, se reubicara periódicamente para formar una serie de deltas adyacentes y traslapadas que permitirán el crecimiento de la presa del depósito de relaves.

## **10.8 RECRECIMIENTO DE LA PRESA**

Para el recrecimiento de la presa se ha elegido el método línea central teniendo en cuenta las condiciones geotécnicas, la producción y porcentaje de relave grueso y fino, el grado de permeabilidad, grado de segregación, la presencia del nivel freático, así como eventos externos de sismicidad y pluviométrica.

## **10.9 BORDE LIBRE OPERATIVO**

El borde libre diseñado para el depósito de relaves será de 1.0m para garantizar la funcionalidad del depósito de relaves y evitar el desbordamiento de la pulpa de relaves almacenado en el vaso.

## **CAPITULO XI**

### **INSTALACIONES PROPUESTAS PARA EL DEPÓSITO DE RELAVES**

#### **11.1 CONSTRUCCION DEL VASO DE LA PRESA DE RELAVES**

La presa de relaves ha proyectado según la máxima capacidad de almacenamiento y de acuerdo con las características de capacidad del suelo de fundación, características propias del sistema de drenaje superficial y subterráneo y producción de relaves de 128TMD

#### **11.2 CONSTRUCCIÓN DEL DIQUE DE LA PRESA**

Para la construcción del depósito de relaves se ha diseñado un dique de arranque, para alcanzar la máxima capacidad de almacenamiento, estos se cimentaran sobre el terreno natural previamente cortado y mejorado mediante compactación del lado húmedo del optimo, estos cortes se realizan debido al estado semi suelto del terreno de fundación, carga de los relaves al suelo de cimentación y para cimentar el dique de arranque.

El material del dique de arranque estará compuesto por grava arcillosa con limo, este material de grava se obtendrá de las canteras seleccionadas por la empresa minera, el material de arcilla y limo se obtendrá de los cortes para la cimentación del dique de arranque.

La mezcla de los materiales será de la siguiente manera, el 30% de material será arcilla de baja plasticidad y el 70% será grava bien graduada a pobremente graduada, estos porcentajes serán en peso.

La compactación del dique se realizara con maquinaria rodillo vibratorio autopropulsado la configuración inicial se muestran en la Lamina P-7.

El dique de arranque tendrá estas características:

- La longitud de la corona es de 150.40m
- Ancho de corona de 4.50m para el transporte de camiones y desplazamiento del hidrociclon.
- La corona tiene una cota de 1920 msnm.
- Los taludes del dique de arranque tendrán una relación de 2.25H:1.00V (24°), tanto en aguas arriba como aguas abajo.
- El área que ocupa este dique es 11,223 m<sup>2</sup>
- El volumen de Material de préstamo para el dique es 23,871 m<sup>3</sup>

La estructura de recrecimiento de la presa se construirá sobre el dique de arranque según se muestra en los planos de secciones correspondientes. (Ver Lamina P-10)

La presa del depósito de relaves recrecerá con material de relave grueso (underflow), separado mediante cicloneo, este sistema deberá ser flexible para el traslado a lo largo del dique de arranque, mientras que el overflow se depositara en el vaso del depósito de relaves, se deberá compactar el relave grueso de tal manera de obtener un material mas compacto, el grado de compactación que se deberá llegar al recrecer el dique estructural será mayor del 80% de la densidad relativa del material de relave las capas a compactar tendrán como máximo un espesor de 0.30m, el extendido se realizara mediante maquinaria como motoniveladora y la compactación se realizara con rodillo vibratorio liso.

El cuerpo del dique de arranque estará conformado por material de préstamo y su recrecimiento se realizaría con material de relave grueso, en este caso se ha optado por el método de línea central.

La presa de recrecimiento tendrá estas características:

El dique tiene un ancho de corona de 4.00m para el transporte de camiones y mantenimiento de estructuras.

- La longitud de la corona es de 241.5m
- La corona tiene una cota de 1930 msnm.
- Los taludes del dique de arranque tendrán una relación de 2.25H:1.00V (24°), este talud se conformara aguas abajo.
- El área que ocupa el dique de arranque con la estructura de estabilidad es 11,223 m<sup>2</sup>.
- El volumen de Material para el dique de estabilidad es 75,970 m<sup>3</sup>

### **11.3 RECUBRIMIENTO DEL SUELO DE CIMENTACION DEL DEPÓSITO (SOIL LINER)**

Según los estudios de geotecnia, el suelo de fundación presenta dos zonas geotécnicas bien definidas, cada una con diferentes grados de permeabilidad diferente, en consecuencia, la zona con el grado de permeabilidad mayor se deberá impermeabilizar con una capa de arcilla compactada cuyo espesor será de 0.50m, las capas a compactarse serán de 0.20m de espesor, el equipo que se utilizara para la compactación será rodillo tipo de cabra y liso auto propulsado.

Se deberán realizar controles para la verificación del grado de compactación, en cada capa compactada, el grado de compactación que deberá llegar será al 95% del valor del proctor modificado.

La zona donde colocara la capa impermeable se ubica principalmente en las laderas de la quebrada, en la zona donde se presenta el material fino, el terreno natural se escarificara hasta una profundidad de 0.30m y luego se procederá a compactar hasta alcanzar el grado de compactación adecuado.

#### **11.4 INSTALACION DEL SISTEMA DE DRENAJE Y SUBDRENAJE**

La instalación del sistema de drenaje permitirá el control del agua presente en el depósito de relaves, así como la recolección de aguas de escorrentía de las laderas adyacentes y el control de los flujos subterráneos.

El drenaje superficial, contempla la instalación de canales colectores en el perímetro de la proyección del depósito de relaves, estos canales se construirán de concreto armado, las dimensiones se muestra en la Lamina P-12, este canal esta diseñado para eventos extremos con periodo de retorno de 500 años.

Para el control y conducción del agua presente en el relave, se instalara un sistema de quenas, la que conducirá el agua decantada en el vaso de recepción de finos, las dimensiones y arreglo en el vaso se muestra en la Lamina P-12.

Para el control del agua presente en los vacíos del relave fino se plantea un sistema de drenes y filtros, la que conducirán el agua de relave hacia el talón de la presa de relaves, estos drenes estarán compuestos por partículas de grava, de tamaño máximo de 4" y recubierta alrededor por un geotextil no tejido.

Se ha considerado la instalación de una capa de material gravoso de 0.30m de espesor y partículas de tamaño máximo de 2" en la cara aguas arriba del dique de arranque, cubiertas exteriormente por una capa de geotextil no tejido para evitar el ingreso del relave fino al dren, esto se esta instalando con el fin de obtener mayor área de drenaje para las aguas presentes en el relave fino.

#### **11.5 SISTEMA DE TRANSPORTE Y DESCARGA DE RELAVES**

El relave de flotación producido en planta y se trasladara hacia la relavera a través de tuberías sólidas de HDPE de 6" de diámetro, este relave será transportado por gravedad hacia aguas abajo de la planta, el flujo que se trasladara diariamente será de 9.1 lt/seg de pulpa de relaves, el porcentaje de sólidos presente en la pulpa de relaves es 15%. La densidad de la pulpa estimada 1.2 kg/cm<sup>3</sup>.

La tubería tendrá una longitud de 370m y 4" de diámetro.

La cota de inicio de la tubería es 2,020 msnsm, la que se ubica en la planta y la cota mas baja de disposición será 1,920 hasta 1,930 msnm, ubicada en la presa de relaves.

Se ha planteado la instalación de dos cámaras de rompe presión para cortar la carga piezométrica, según la resistencia de la tubería, la instalación y distribución en el área del proyecto se muestra en la Lamina P-17.

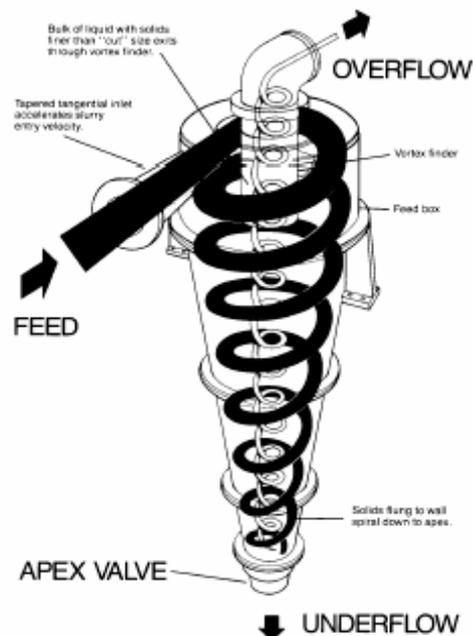
Se hace mención que la tubería deberán tener elementos de anclaje para asegurar su estabilidad, en zonas de cruce con caminos o carreteras en estos casos la tubería deberá ir enterrada.

La descarga de los relaves será mediante el cicloneo, para separar los materiales arenosos del relave que se utilizara para conformar el dique estructural con el método de construcción de línea central durante la operación de la relavera.

Los porcentajes obtenidos mediante esta separación estarán en el rango de 50% en peso de relave fino y grueso.

Este método de cicloneo es de fácil instalación y bajo costo, estos elementos operan según sistema centrífugo, mostrado en la Figura N° 11-01

**Figura N° 11.01 Sistema de Operación de Hidrociclón.**



## **11.6 POZAS PARA CAPTAR AGUAS RESIDUALES**

Las aguas residuales provenientes de la relavera serán captadas por los sistemas de sub drenaje diseñados para este fin, estos se acumularan para luego ser bombeadas a la planta de procesamiento de mineral. Estas pozas serán de concreto armado y están diseñadas para recepcionar las aguas de los flujos del relave y aguas de precipitación que caen directamente en el vaso.

Los dimensionamientos de estas pozas obedecen a los balances de agua del sistema relave y área de influencia de recepción de aguas de precipitación y otros componentes ambientales.

La poza tendrá 5.50m de largo, 5.50m de ancho y una altura de 5.0m. y será estructural los muros y piso de la poza, según se muestra en los planos de diseño.

Esta se ubicara al pie del talud de estabilidad, tal como se muestran en los planos correspondientes de arreglo hidráulico.

## **11.7 SISTEMAS DE RECIRCULACION**

El sistema de recirculación de las aguas residuales será con el fin de no verter efluentes al medio ambiente. Estos sistemas incluyen la poza de recuperación, tubería de retorno hacia la planta y estación de bombeo.

La poza de recuperación de flujos de la relavera, esta se instalara al pie de la relavera y será construido con concreto armado con reforzamiento. Esta poza se ha dimensionado según las características del balance de aguas.

El sistema de tuberías se han dispuesto de tal manera de que el flujo hacia la planta no sea interrumpido, estas tuberías serán sólidas de HDPE de 6" de diámetro y tendrá una longitud de 470 m, la cota de inicio es 1,906 msnm hasta la cota 2,020 msnm ubicada en la planta de procesamiento de minerales.

El detalle de los sistemas constructivos y consideraciones técnicas se muestran en las presentes especificaciones técnicas.

La caseta de bombeo se instalara a un costado de la poza de recuperación según dimensiones y detalles mostrados en los planos.

## **CAPITULO XII**

### **OBRAS PARA LA CONSTRUCCION DEL DEPÓSITO DE RELAVES**

#### **12.1 GENERALIDADES**

Las estructuras de ingeniería necesarios para la construcción del depósito de relaves son la instalación del dique de arranque, instalación del sistema de revestimiento, conformación de taludes de estabilidad, drenaje de las aguas superficiales y sub-superficiales de la quebrada, canales de coronación, cunetas de recolección, sistema de drenaje general, sistema de recuperación de las aguas de la relavera, sistemas de transporte de relave desde la planta hasta el depósito y sistema de recirculación del agua de relave a la planta.

Cabe mencionar que esta estructura no termina su geometría final sino hasta después de haber alcanzado su máxima capacidad de almacenamiento, en consecuencia esta sujeto a modificaciones y correcciones en cuanto a la estabilidad de taludes y sistemas de drenaje en operación.

Las actividades para la habilitación del depósito de relaves se describen a continuación.

#### **12.2 HABILITACION DEL AREA DEL VASO DEL DEPÓSITO**

Para la habilitación del vaso de acumulación, primeramente se deberá desbrozar la cobertura vegetal hasta una profundidad media de 0.20 m, el excedente se colocara en áreas designadas como depósitos de material orgánico para su posterior reutilización en la instalación de la cobertura.

El área de corte para la extracción del material de cobertura en la zona de relaves es de 27,263 m<sup>2</sup>, con un volumen de 5,452 m<sup>3</sup>, se considera un esponjamiento de 25% para el traslado de material a las zonas asignadas.

Posteriormente se deberá realizar los replanteos para la instalación del dique de arranque, estructuras de drenaje y sub drenaje, proyección del dique de estabilidad, estos replanteos se realizaran con instrumentos de topografía y los limites deberán ser monumentados con hitos para los controles respectivos.

### **12.3 INSTALACION DEL DIQUE DE ARRANQUE**

El dique de arranque se instala para recepcionar y empezar a operar el depósito, cumple la función de contención y como plantilla para la disposición de relave por el método de aguas abajo.

Para empezar a construir el dique de arranque primeramente se deberá cortar el terreno hasta una profundidad media de 7.0 m en la zona donde se presente el material fino, arcilloso y limoso de alta plasticidad, en la zona donde se encuentra el material de grava, arena gravosa o similar, la excavación máxima será de 2.0m.

El material excedente fino se acumulara en lugares para su posterior utilización como capa de material impermeable, el material restante se mezclara con grava graduada a pobremente graduada, hasta obtener un material de grava arcillosa, el porcentaje de mezcla será 30% de material fino y 70% de material de préstamo, se debe indicar que el material de préstamo puede ser el material de desmonte, siempre y cuando no se encuentre saturado, así mismo el material fino.

La colocación y extendido del material estructural del dique de arranque será con maquinarias, como tractores de oruga o motoniveladoras.

Las capas para la compactación serán como máximo 0.20 m de espesor y se compactara con rodillo tandem autopropulsado liso y deberá alcanzar el 95% del valor del proctor estándar.

### **12.4 INSTALACION DEL SISTEMA DE PROTECCION DE SUELO (SOIL LINER)**

La instalación de esta capa sobre el suelo de cimentación obedece a la protección de los flujos de relave hacia al subsuelo, esta capa actúa como barrera protectora ya que este sistema presenta bajo coeficiente de permeabilidad del orden del valor de  $K = 1.0 \text{ E-}06 \text{ cm/seg}$ .

Según las exploraciones geotécnicas en el área se han evidenciado dos zonas con valores de permeabilidad diferente, se ha determinado una zona en el eje de la quebrada compuesto por material fino compuesto por limos y arcillas de compacidad suelta, en esta área la capa de material protectora será de 0.30m de espesor, el suelo natural se escarificara y compactara hasta el 95% del valor del proctor modificado, en capas de 0.15 m, esta área abarca una extensión aproximada de 12,301 m<sup>2</sup>, las zonas adyacentes, es decir en las laderas laterales debido a que en estas áreas encontramos materiales granulares tales como gravas y arenas y estos presenta valores de permeabilidad del orden de  $K=1.0 \text{ E-}04 \text{ cm/seg}$ , entonces en esta zonas se deberá impermeabilizar el subsuelo con

una capa de protección de espesor de 0.50m y compactadas en capas de 0.20 m, la compactación deberá tener una consistencia del 95% del valor del proctor modificado del material de cobertura, el área de esta capa se estima en una extensión de 14,962 m<sup>2</sup>.

## **12.5 INSTALACION DEL SISTEMA DE CONDUCCION DEL RELAVE**

El relave producido en planta será transportado hasta el depósito de relaves mediante una red de tuberías, el flujo de pulpa de relave presenta un contenido de sólidos de 15% y un caudal de 9.1 lt/seg, que atravesará pendientes fuertes del orden del 50% y mínimas en menor proporción de 5% de pendiente.

Cabe mencionar que la línea de conducción atraviesa varias áreas de diferente tipo de material cuaternario, encontrándose principalmente materiales finos y en algunas zonas de material granular.

Se construirá un sistema de conducción por tubería desde la Planta de Procesos hasta el Hidrociclón ubicada en la periferia del Depósito del Relaves. La tubería de conducción será de HDPE de diámetro 6". Asimismo se colocará dos cámaras rompe presiones en la progresiva 0+163 y 0+265. La línea de impulsión será de tubería HDPE de diámetro 6" que tenga una capacidad de carga mínima de 150 Psi.

Para el tendido de tubería se tendrá en cuenta la colocación de anclajes de concreto en una distancia entre no mayor de 20.0 metros y del mismo modo se colocarán en los cambios de dirección de la tubería. Las dimensiones de estos anclajes serán de 0.60x0.60x0.60m.

Al final de la tubería de conducción de relave se colocara un Hidrociclón, el cual tendrá la función de separar el relave fino del grueso.

La geometría del diseño y la ubicación de estos componentes se detallan en la Lamina P-17.

## **12.6 INSTALACION DEL SISTEMA DE DRENAJE**

El estudio de drenaje comprende la proyección de una red de drenaje para que se evacue las aguas superficiales y de subdrenaje para las aguas sub-superficiales que discurren sobre el área de influencia de los depósitos mencionados, para de esta forma mejorar la estabilidad a los taludes evitando la saturación del material. En este sentido, para la evacuación de las aguas superficiales como sub-

superficiales se plantea estructuras adecuadas para cumplir tal propósito, las mismas que serán descritas a continuación.

### 12.6.1 Canales de Coronación

Para captar las aguas de escorrentía de la cabecera del contorno superior del depósito de relaves se ha proyectado la construcción de canales de coronación en la periferia del depósito estabilizado, desde el inicio de operaciones y que estas quedarán de manera definitiva para el Plan de Cierre. Para determinar el caudal de diseño de los canales de coronación se han considerado el caudal pico calculado en el estudio hidrológico, considerando un período de retorno de 500 años. Se han proyectado dos tipos de secciones, las mismas que están indicadas en la Lamina P-12. En el Cuadro 12.1 se indican las secciones para los canales de coronación.

**Cuadro 12.1. Dimensiones de los Canales de Coronación**

Tramo	Sección	Base {B} (m.)	Altura {H} (m.)
IZQUIERDO	Rectangular	0.90	0.70
DERECHO	Rectangular	0.60	0.60

Los canales de coronación serán conformados de material base de 0.15 m de espesor, para luego ser revestido con concreto armado de 0.15m espesor. En general, la sección del canal de coronación será de sección rectangular, ver Figura 11.1, y se proyectarán con una pendiente mínima de 2% y una máxima de 3%. Cabe señalar que se colocarán dentellones de concreto cada 20.00 metros para con el propósito de anclar el canal en el terreno. Los dentellones de concreto serán de un espesor de 0.15m y una profundidad de 0.40m.

De acuerdo a la topografía se construirán caídas. Las dimensiones se especifican en la Lámina P-12. Para el diseño del canal de coronación, de sección rectangular, se ha tenido en cuenta una eficiencia del 75%. El canal de coronación tiene una longitud total de 545.00 m.

### 12.6.2 Filtro al Pie del Dique

Para fines de drenar las aguas que filtren en el cuerpo de la presa se colocará un sistema de filtro al pie del talón de la proyección de la presa.

Este filtro se colocará a todo lo largo del pie de la presa, cuya sección será de tipo trapezoidal, con una altura promedio será de 1.20 m, para facilitar el flujo de aguas se colocará una tubería HDPE de diámetro 8" en la parte central de la sección de conducción.

La geometría, detalles y disposición de estas se observan en la lamina P-13.

### **12.6.3 Dren Vertical (quenas)**

Para el Periodo de Operaciones se colocará un dren vertical conformado por una tubería perforada de HDPE de diámetro 10" para evacuar las aguas de la parte superior del depósito de relaves. Dichas aguas captadas se evacuaran por esta tubería del mismo diámetro hacia la Poza de Recuperación.

La tubería estará sostenida por anclajes de concreto colocados cada 20.0 m para evitar los deslizamientos de estos por la fuerte pendiente de la topografía, asentamientos debido a la carga superior que soportara. Los anclajes tendrán una dimensión de 0.60 m de ancho, 0.60 m de largo y 0.80 m de altura.

La longitud total del dren será de 180.0 m cada uno, la geometría del diseño y su disposición se detalla en la Lamina P-13.

### **12.6.4 Dren Francés**

De manera complementaria se colocará un dren francés para evacuar las aguas de la parte inferior del depósito de relaves, por este motivo se proyectarán un sistema de drenes francés que nos permita evacuar las aguas subsuperficiales de esta zona durante la etapa de operaciones del depósito. Se ha dispuesto dos tipos de drenes que permitirán la evacuación de estas, el dren secundario realizará la función de recolectar las aguas de la parte sólida del relave y las que no capten las quenas, así como también las aguas que se infiltren en el terreno natural, y el dren principal realizara la misma función del dren secundario, pero adicionalmente se encargara de conducir las aguas captadas a la Poza de Recuperación.

Las dimensiones del ambos drenes serán de 1.00 m. de base por una profundidad promedio de 1.0 y un talud de 1:2 a ambos lados, dicho dren estará cubierto externamente con geotextil para evitar que los finos

ingresen al dren y no se produzca fenómenos de tubificación. Para el dren francés principal se le adicionará una tubería HDPE de diámetro de 8". La longitud total del dren francés principal 107.0 m y el secundario de 180.0 m. Dichas dimensiones se indican en promedio, debido a que, por las características topográficas del depósito, la sección puede variar. La geometría del diseño se detalla en la Lamina P-13.

## **12.7 CONFORMACION DEL DIQUE DE ESTABILIDAD**

El dique de estabilidad estará compuesto de relave grueso, con un porcentaje de finos como máximo de 10%, el crecimiento será mediante capas conformando taludes de relación 2.25H:1.00V, conforme el diseño propuesto, estas capas crecerán hasta una altura de 10.0 m a partir de la cresta del dique de arranque, conformando una altura total de talud de 28.0 m, desde el pie del depósito hasta la cresta, el nivel de cresta estará ubicada en la cota 1,930 msnm.

El material de relave se dispondrá directamente del hidrociclón, y este se desplazará a lo largo del talud, sobre una plataforma deslizante.

El dique crecerá formando capas alineadas desde el centro de la cresta del dique de arranque, es decir este crecimiento es conocido como de línea central. Para tener una adecuada capacidad de resistencia, este relave se compactará, con rodillo vibratorio liso, hasta alcanzar una densidad relativa mayor del 80%, las capas de compactación serán como máximo 0.30m de espesor, los controles de compactación se realizarán por cada capa compactada. Ver Lamina P-10.

## **12.8 POZA DE RECUPERACION DE AGUA DE RELAVE Y SISTEMA DE BOMBEO**

El sistema está constituido de tres partes, que son la poza de recuperación, la Línea de Impulsión y la Caseta de Bombeo.

La poza de recuperación se ha diseñado para captar las aguas provenientes del depósito de relaves, esta será de concreto armado cuyas dimensiones se muestran en la lamina P-14 y P-15, y el arreglo en el depósito de relaves se muestra en la lamina P-12.

La línea de impulsión será de tubería HDPE de diámetro 6" que tenga una capacidad de carga mínima de 150 Psi.

Para el tendido de tubería se tendrá en cuenta la colocación de anclajes de concreto en trayectos donde se realizan cambios de pendiente y deberá existir un

máximo de distancia entre anclajes de 5.00 metros. Estos anclajes serán de 0.60x0.60x0.60m.

Se construirá una Caseta de Bombeo para la operación de las bombas. Asimismo se realizará un tendido de redes eléctricas para conducir la energía eléctrica hasta el cuarto de bombas.

Se colocarán dos (2) bombas de impulsión con una potencia de 30 HP cada una, las cuales estarán instaladas en la caseta de bombeo, el cual se encontrará ubicado al lado de la poza de recuperación. El uso de estas bombas se usarán de manera alternada cada mes, para tener un correcto mantenimiento de estos equipos.

La geometría del diseño y la ubicación de estos componentes se detallan en la Lamina P-12 y P-14,15.

## **12.9 POZA DE CONTINGENCIA**

Se ha considerado proyectar una poza de contingencia cuya función es la prever situaciones inesperadas como es el caso de obstrucción de quenas e interrupción del fluido eléctrico.

Para el dimensionamiento de esta poza se ha considerado la situaciones antes mencionadas sean subsanadas dentro de las 24 horas de ocurrido dichos eventos. Se esta considerando para dimensionamiento volumétrico, el bombeo de las aguas de la parte superior del depósito de relaves para un caudal de 8 L/s en un lapso de 24 horas.

Cabe señalar que el depósito de relaves tiene la capacidad de almacenar eventos máximos y deposiciones mayores a las 24 horas, esto quiere decir que es posible que se use al depósito de relaves para el represamiento mayor a este tiempo.  
Lamina P-16

## **CAPITULO XIII**

### **PROGRAMA DE MONITOREO**

#### **13.1 GENERALIDADES**

Durante la fase de construcción del depósito de relaves o durante su periodo de operación, puede surgir la necesidad de monitoreos geotécnicos de los materiales que interactúan con dicha estructura, sean estos materiales de soporte, como suelos de fundación o materiales que forman parte de su entorno, como el caso de taludes o laderas naturales que según su grado de estabilidad pueden representar una amenaza a poblaciones o estructuras cercanas. La puesta en marcha de un monitoreo en particular, depende del grado de seguridad que se requiera para la inversión realizada y para sus usuarios, así como de los parámetros geotécnicos que se deseen evaluar, sean estos deformaciones, presión de poros, esfuerzos totales, entre otros.

Los objetivos de un programa de monitoreo del talud de la relavera son:

- a) Proporcionar un aviso anticipado de la inestabilidad
- b) Proporcionar información geotécnica para analizar los mecanismos de desplazamiento de la pendiente, para designar medidas correctivas.
- c) Mantener los procedimientos operacionales de seguridad con el fin de proteger al personal y los equipos

Un programa de monitoreo permite establecer medidas de prevención para evitar deslizamientos, colapsos de estructuras frente a potenciales fallas por acción dinámica.,

Durante la operación del depósito se instalarán los puntos de monitoreos tales como la instalación de inclinómetros, piezómetros, puntos de control geodésico y puntos de control topográfico.

Durante la construcción del depósito se instalarán los puntos de monitoreos tales como la instalación de inclinómetros, piezómetros, puntos de control geodésico y puntos de control topográfico los puntos estratégicos serán establecidos por consultor.

### **Inclinómetros**

El inclinómetro permitirá determinar los desplazamientos del talud de los bancos del depósito de relaves a diferentes profundidades, así como asentamientos de los materiales. Dichos desplazamientos son de gran utilidad para evaluar el grado de estabilidad.

Los monitoreos inclinométricos, se basan en las deformaciones que puedan sufrir los materiales ante las cargas laterales o gravitacionales, las cuales son determinadas por medio de observaciones.

### **Piezómetros**

Se instalarán 2 piezómetros hidráulicos en diferentes lugares del depósito de relaves para realizar el monitoreo geotécnico con la finalidad de determinar la variación del nivel freático y la calidad de aguas subterráneas.

El monitoreo se realizará después de 2 meses de iniciada la operación de funcionamiento del depósito de relaves, el Ingeniero responsable del manejo de la desmontera determinará la frecuencia de los monitoreos y establecerá las medidas pertinentes del caso.

### **Controles topográficos**

Para monitorear la topografía de los depósitos de relaves se colocaran hitos de control topográfico de concreto en puntos estratégicos del talud y probables zonas críticas para lo cual se establece un sistema de mediciones para cada hito a partir de una línea base enlazada a punto Geodésico de primer orden, desde este punto se ha realizado mediciones de distancia horizontal y vertical a los hitos de control topográfico monumentado. Los cálculos de las mediciones topográficas nos determinarán la variación horizontal y vertical y nos permitirá tomar las medidas del caso.

Los puntos de monitoreo del depósito de relaves se ha fijado con coordenadas UTM y se detalla continuación.

**Cuadro 12.1 Puntos fijos de control geodésico fuera del depósito de relaves**

Puntos	Coordenada UTM	
	Norte	Este
G-1	8'774,948.54	454,566.08
G-2	8'774,940.85	454,719.15

**Cuadro 12.2 Puntos de control topográfico dentro del depósito de relaves**

Puntos	Coordenada UTM	
	Norte	Este
E-1	8'775,109.36	454,654.82
E-2	8'775,051.41	454,572.94

**Cuadro 12.3 Puntos de control de niveles piezometrico**

Puntos	Coordenada UTM	
	Norte	Este
Pz-1	8'775,085.02	454,604.85
Pz-2	8'775,159.17	454,587.26

**Cuadro 12.4 Puntos de control inclinometrico dentro del depósito de relaves**

Puntos	Coordenada UTM	
	Norte	Este
CG-1	8'775,121.98	454,618.29
CG-2	8'775,081.81	454,561.41

## **CAPITULO XIV**

### **CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES Y COSTO PRESUPUESTADO REFERENCIAL PARA LA CONSTRUCCION DEL DEPÓSITO DE RELAVES.**

#### **14.1 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES PARA CONSTRUCCION DEL DEPÓSITO DE RELAVES**

Las actividades que se ejecutaran para la construcción del depósito de relaves esta contemplando las Normas legales vigentes que exigen Reglamento para la protección ambiental en las actividades minero-metalúrgicas y el Código del Medio Ambiente de los Recursos Naturales.

La ejecución de la construcción contempla un conjunto de medidas y actividades que deben ejecutarse con la tecnología apropiada para construir y afectar en lo mínimo posible el área designada para el depósito de relaves

En el Cuadro N° 14-01 se considera un estimado del tiempo para la ejecución de las obras de construcción del depósito de relaves.

#### **14.2 COSTO PRESUPUESTADO PARA LA CONSTRUCCION DEL DEPÓSITO DE RELAVES**

La inversión que realizara la empresa para ejecutar la construcción del depósito de relaves ha sido estimado en US. \$ 564,740.11 Dólares Americanos.

En el Cuadro N° 14-02 se considera un estimado de los costos referencial de las obras que contempla la construcción del Depósito de Relaves.

**CUADRO N° 14-01: CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES PARA CONSTRUCCION DEL DEPÓSITO DE RELAVES**

**Cuadro N° 14-02: COSTO PRESUPUESTADO PARA LA CONSTRUCCION DEL DEPÓSITO DE RELAVES**

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **CONCLUSIONES**

- El Depósito de Relaves se encuentra ubicada en la subcuenca del río Casca este río presenta un flujo de aguas de manera constante, el caudal promedio de este río es de 320 L/s, la que están comprendidas dentro de la cuenca del río Oxabamba que confluyen con el río Tulumayo para dar lugar al río Chanchamayo y en su recorrido toma el nombre de Perené, conformante de la red hidrográfica del Océano Atlántico.
- Se tomado en cuenta tres alternativas para la ubicación del depósito de relaves contemplando las condiciones topográficas, geológicas, hidrológicas y geotécnicas.
- La Planta de Beneficio del Proyecto Pichita-Caluga se implementara y construirá para una capacidad operativa de 150 TMSD, lo que permitirá alcanzar una producción anual de 45,000 TM de mineral.
- Para la configuración del vaso del depósito de relaves se construirá un dique de arranque estará conformado por material de préstamo y su recrecimiento se realizaría con material de relave grueso, en este caso se ha optado por el método de línea central.
- Se ha considerado una producción 128 TMD de relaves de de los cuales 65.3 TMD corresponde a relave fino y 62.7 TMD de relave grueso.
- De acuerdo a su configuración geométrica el depósito de relaves tendrá una capacidad para almacenar 150,096 m<sup>3</sup>. Teniendo en cuenta la vida útil de 7 años la producción de relave fino alcanzaría un volumen de 124,625m<sup>3</sup>.
- El agua para uso industrial será captada en la Quebrada “El Condor” con un caudal promedio de 15 lt/seg. Se instalara un sistema de recirculación de aguas residuales del depósito de relaves este alcanzara un caudal de 8.4 lt/seg, que retornara a la planta para el proceso metalúrgico de tal manera solo se repondrá 4.6 lt/seg de agua proveniente de la quebrada El Cóndor.
- El área de emplazamiento del depósito de relaves está ubicada en una zona de mediana sismicidad (Zona 2) de acuerdo a la zonificación sísmica del Perú, realizada por el Instituto Geofísico del Perú. Según el mapa sísmico del Perú y los registros históricos, el sismo más fuerte ocurrido en el área tuvo una intensidad de VII en la Escala Modificada de Mercalli.

- Para el cálculo de caudales se ha realizado el análisis de frecuencias de eventos hidrológicos máximos, aplicables a caudales de avenida y precipitación máxima pluvial. El caudal pico específico en las laderas, para un período de retorno de 500 años, será de  $Q_p = 117.0 \text{ Lt/seg./hectárea}$ .
- En el área del depósito de relaves construirán canales perimetrales de coronación que permiten captar y derivar las aguas de escorrentía. También se construirá un sistema de subdrenaje para evacuar y drenar las aguas de las precipitaciones pluviales que caen directamente en el área del depósito de relaves y las aguas subterráneas.
- Se ha realizado un programa de exploraciones geotécnicas de campo para conocer las propiedades físico-mecánicas más importantes de la cimentación, material de préstamo y relave. Así mismo durante la evaluación de campo se determinara las propiedades y características del relave o suelo *in-situ* mediante sondajes de Penetración Dinámica (DPL), también se realizo excavaciones de calicatas.
- Durante las evaluaciones de campo no se ha registrado la presencia de agua lo que demuestra que el nivel freático se encuentra ausente.
- Para el análisis de estabilidad física del talud proyectado del depósito de relaves en condición pseudoestático se considera un valor de aceleración básica de diseño de horizontal de 1/2 de Aceleración Máxima del Terreno ó sea 0.14 g como el valor de la aceleración básica de diseño.
- Teniendo en cuenta la ejecución de las obras el talud proyectado, la morfología del dique de arranque, los parámetros de evaluación geotécnica de campo y los resultados del análisis de laboratorio y con apoyo del programa de cómputo PCSTABL5M mediante la corrida se ha determinado un factor de seguridad aceptable en condiciones estáticas y pseudoestáticas.
- Concluida la evaluación geotécnica y ambiental del área propuesto para la construcción del depósito de relaves se ha diseñado los criterios de construcción determinándose un área disponible de 2.73 Hectáreas para una capacidad de almacenamiento de  $212,433 \text{ m}^3$  con vida útil de 7 años.
- La inversión que realizara la empresa para ejecutar la implementación y construcción del depósito de relaves ha sido estimado en US. \$ 564,740.11 Dólares Americanos.

## **RECOMENDACIONES**

- Para construir la base de cimentación del depósito de relaves se excavara y removerá todo el material orgánico; suelo blando, suelo húmedo o saturado, luego se compactara la capa de material arcilloso existente para impermeabilizar la cimentación; así mismo se instalara un sistema de drenaje y subdrenaje que permitirá manejar las aguas superficiales y la probable presencia de aguas subterráneas, cabe indicar que durante la evaluación geotécnica no se ha detectado la presencia de aguas subterráneas.
- Se recomienda que el material de top-soil, se disponga en la zona cercana para su posterior uso en los recubrimientos de los desmontes y cumplir con el cierre según la normatividad ambiental
- Durante la construcción del depósito se instalarán inclinómetros, piezómetros para el monitoreo geotécnico los que serán establecidos estratégicamente por el consultor.
- Debe realizarse el monitoreo topográfico del depósito de relaves mediante un sistema de mediciones ha hitos topográficos monumentado en puntos estratégicos del depósito a partir de un punto geodésico de primer orden, a los hitos de control topográfico en cada uno de los depósitos de relaves.
- Durante la construcción del dique de arranque deberá existir un control geotécnico; asimismo durante su recrecimiento.

## **REFERENCIAS**

- MEM-DGAA. (1997). "Manejo de Relaves Mineros". Guía Ambiental de Minería – Volumen VII.
- MEM-DGAA (1998). "Estabilidad de Taludes de Depósitos de Residuos Sólidos Provenientes de Actividades Mineras". Guía Ambiental de Minería – Volumen XVI.
- Ponce, V. M. Engineering Hydrology, Principles and practices; Prentice Hall, New Jersey, 1989.
- Seed, H.B. and Harder, L. F. (1990). SPT-Based Analysis of Cyclic Pore Pressure Generation and Undrained Residual Strength, Proc., H.
- Bolton Seed Memorial Symp., J. M. Duncan (Ed.), University of California, Berkeley, California, Vol. 2, pp 351-376.
- Stark, T.D. and Mesri. G. (1992). Undrained Shear Strength of Liquefied Sands for Stability Analysis, Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, 118(11), 1727-1747.
- USACE, Engineer Manual EM-1110-2-1417, Flood Runoff Analysis; US Corp of Engineers, 1994.
- USACE, Engineer Manual EM-1110-2-2901, Tunnels And Shafts In Rock; US Corp of Engineers, 1997.
- USBR; Design of Small Canal Structures; Denver, 1978.
- USBR; Design of Small Dams, 3rd ed.; Denver, 1978.