

# Proyecto presa de colas para la planta hidrometalúrgica de la Cooperativa “Comprosin” Ltda.

**Ing. Renato Chambi Colque**  
renatochambicolque@hotmail.com

**M. Sc. Ing. Napoleón Jacinto Eulate**  
Carrera de Ingeniería Metalúrgica  
Universidad Técnica de Oruro  
napojacinto@gmail.com

## Resumen

La Cooperativa Multiactiva Producción y Servicios Industriales “COMPROSIN” Ltda., construirá una planta hidrometalúrgica para el tratamiento de minerales de plata, con una capacidad de 10 TPD, que incluye procesos de tostación, lixiviación, y electrólisis. Los residuos metalúrgicos (colas) producidos en la planta, deben ser depositados en una presa de colas.

La presa de colas se construirá con material de préstamo, se encuentra a una distancia de 1 km de la planta, tiene la forma rectangular y tendrá una vida útil de 10 años.

El valor presente del costo total del proyecto de la presa de colas durante su vida útil de 10 años es de \$us 800,059.32, que incluye el costo de construcción, operación y cierre.

Finalmente, se ha efectuado la evaluación de impactos y se ha encontrado que el proyecto de la presa corresponde a la categoría II “requiere de evaluación de impacto ambiental específica”.

**Palabras clave:** Medio ambiente, presa de colas, dique de colas.

## Project of tailings dam for hydrometallurgical plant of the Cooperative “Comprosin” Ltd.

### Abstract

The Multiactive Cooperative of Industrial Production and Services “COMPROSIN” Ltd., will construct a hydrometallurgical plant for the treatment of silver minerals, with a capacity of 10 TPD, which includes processes of roasting, leaching an electrolysis. The metallurgical residues (tailings) produced in the plant should be deposited in a storage dam.

The tailings storage dam will be constructed with borrowed material, it will be located at 1 km from the plant, its form will be rectangular, and it will has a useful life of 10 years.

The present value of total costs of the project during its useful life of 10 years is \$us 800,059.32, which includes the construction, operation and closure costs.

Finally, it has been assessed the environmental positive and negative impacts and it was found that the project corresponds to category II “it requires the specific environmental impact assesment”.

**Keywords:** Environment, tailings dam, tailings dikes.

# Projeto de barragem de rejeitos para a planta hidrometalúrgica "Comprosin" Ltda.

## Resumo

A "Cooperativa Multiactiva Producción y Servicios Industriales COMPROSIN Ltda" construirá una planta hidrometalúrgica para o tratamento de minerais de prata, com uma capacidade de 10 TPD, que inclui os processos de torrefação, lixiviação e eletrólise. Os resíduos metalúrgicos produzidos na fábrica devem ser depositados numa barragem de rejeitos.

A barragem de rejeitos que será construída com materiais de empréstimo está localizada a uma distância de 1 km da planta, é retangular e terá uma vida útil de 10 anos.

O valor presente do custo total da proposta de barragem de rejeitos durante sua vida útil de 10 anos é de \$us 800,059.32, que inclui o custo de construção, operação e fechamento.

No final, foi realizada a avaliação dos impactos e se encontrou que o projeto da barragem se enquadra na categoria II: "requer uma avaliação específica do impacto ambiental".

**Palavras chave:** Meio ambiente, barragem de rejeitos.

## Introducción

Toda planta metalúrgica produce residuos sólidos como resultado de operaciones y procesos de lixiviación, electrolisis, etc., con una razón X agua / Y sólidos. Este tipo de residuos metalúrgicos se denominan colas o relaves, y deben descargarse en una presa de colas que permita su almacenamiento seguro, ya que por razones obvias no es posible su descarga directa a terrenos naturales adyacentes a una Planta.

Las actuales tendencias en el manejo de colas en operaciones metalúrgicas, están orientadas a la protección del Medio Ambiente, estableciendo fuertes restricciones para impedir la contaminación. De esta forma el manejo de las pulpas de colas representa un problema complejo tanto para su acondicionamiento de densidad y transporte, como la localización de un sitio adecuado para su almacenamiento respectivo. Por tal razón, cumplir con las condiciones expuestas representa para los responsables de las operaciones mineras, el desembolso de importantes sumas de dinero en la construcción de las obras civiles y costos de operación necesarias para disponer las colas con la seguridad adecuada.

En la actualidad, al no haber implementado desde sus inicios medidas que puedan preservar la calidad del medio ambiente, muchas plantas metalúrgicas han descuidado casi totalmente el tema ambiental, constituyéndose en verdaderas fuentes de contaminación de agua, suelo y aire, con la consiguiente contaminación y peligros a la salud humana.

## Antecedentes

La planta hidrometalúrgica de tratamiento de minerales de plata, se ubicara en la localidad de Vinto, zona este de la ciudad de Oruro, provincia Cercado. Actualmente el proyecto está en la fase de diseño final.

En la planta se procesarán concentrados de alta y baja ley de plata para la obtención de plata metálica. La capacidad de tratamiento es de 10 TPD. El flujograma esquemático de la planta, se muestra en la siguiente figura.

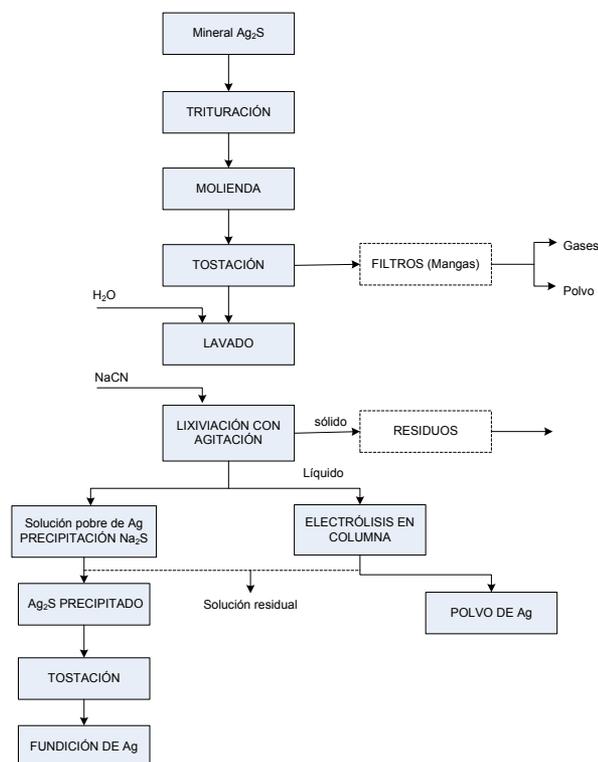


Figura 1. Flujograma de la planta hidrometalúrgica de plata.

## Justificación del proyecto

El proyecto está siendo encarado por la Cooperativa Multiactiva de Producciones y Servicios Industriales (COMPROSIN Ltda.). En el proyecto, es necesaria la construcción de un depósito donde se almacenen los residuos sólidos (colas), sin producir contaminación alguna a la zona circundante del proyecto. Por esta razón, se ha visto la necesidad de elaborar un proyecto a diseño final de una presa de colas en los predios de planta hidrometalúrgica.

La presa de colas evitara la generación de efectos negativos en el ecosistema y en la población. El diseño se efectuará en el marco de la Ley del Medio Ambiente 1333 y sus reglamentos pertinentes [1, 2, 3, 4, 5].

## Objetivo

El objetivo principal del presente proyecto es diseñar una presa para la disposición de colas provenientes de la planta hidrometalúrgica de tratamiento de plata de la Cooperativa "COMPROSIN" Ltda., bajo las normas técnicas y ambientales vigentes, que garanticen su estabilidad física, química y ambiental.

## Ingeniería del proyecto

### Balance metalúrgico general de la planta hidrometalúrgica

El balance metalúrgico general de la planta hidrometalúrgica de plata se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 1. Balance Metalúrgico General [6]

Producto	Peso (tn)	Finos Ag, DM	Distribución %
Ag metálica	0.041	9,999	83.81
Precipitado de Na <sub>2</sub> S	0.017	3,147.76	10.94
Escoria	0.001	6,856.81	1.40
Polvos	0.210	60.95	2.62
Colas*	9.730	0.59	1.17
Solución residual**	0.001	306.40	0.06
<b>Alimentación</b>	<b>10.00</b>	<b>48.92</b>	<b>100.00</b>
Ley de cabeza analizada		48.90	

\* Colas que serán depositados en la presa de colas

\*\* Solución residual que será depositada en las piscinas

## Características de las colas

### Análisis granulométrico

El análisis granulométrico de las colas muestra que el 100% de las partículas tiene un tamaño menor a 212 µm.

### Análisis de humedad

i) Las colas descargadas del filtro prensa y que serán depositadas en la presa de colas tienen una de humedad de 12%.

ii) Por otro lado, la planta generará una solución residual con un contenido de sólidos mínimo en suspensión, la cual será depositada en dos piscinas.

### Análisis químico de las colas y la solución residual

La tabla 2 muestra el análisis químico de las colas que se descargan de la etapa de lixiviación de plata.

Tabla 2. Análisis químico de las colas [6].

Elemento	Ley	
Zn	8,80	%
Pb	9,56	%
Sn	3,53	%
Ag	0,59	DM
Sb	6,97	%
Cu	1,90	%
S	1,14	%
As	0,68	%
Au	1,00	g/tn
Fe	12,19	%
SiO <sub>2</sub>	14,20	%
CaO	5,53	%

Las colas que se generan en la etapa de lixiviación son principalmente minerales oxidados.

La tabla 3, muestra las leyes de la solución residual que se descarga y los límites permisibles establecidos en el reglamento en materia de contaminación hídrica.

Tabla 3. Comparación de efluentes: COMPROSIN y límites permisibles para descarga de soluciones [1, 6].

Parámetro	Unidad	Límites permisibles	Colas planta
pH		6,9	8,45
Fe total	mg/l	1	0,10
Cu	mg/l	1	<0,02
Pb	mg/l	0,6	<0,02
Zn	mg/l	3,01	0,03
Cd	mg/l	0,3	<0,05
Hg	mg/l	0,002	-
Sn	mg/l	2	-
Cr total	mg/l	1,1	0,20
As	mg/l	1	0,38
Cianuro libre	mg/l	0,5	<0,010

Las soluciones que se descargan en la etapa de precipitación con Na<sub>2</sub>S tienen un contenido de metales pesados menores a los límites permisibles.

## Características del lugar

### Descripción del lugar

El lugar más apropiado para la construcción de la presa de colas, está situado aproximadamente a una distancia de 50 m del sitio donde se emplazara la planta hidrometalúrgica de plata.

## Clima y Meteorología

El clima es frío por la altitud a que se encuentra Oruro, que se contrarresta en parte por la baja latitud, de 18-20° S. El nivel de los lagos se halla por encima de los 3,500 m. En verano la temperatura es semi-templada.

Los datos climatológicos de la ciudad de Oruro proporcionados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología regional Oruro de las gestiones 2007 al 2011, se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 4.** Resumen de datos climatológicos [6].

Gestión	Temperatura máxima °C	Temperatura mínima °C	Precipitación mm	Humedad relativa %	Evaporación mm	Dirección del viento	Velocidad del viento Km/hr
2007	25	-9.9	371.6	34.7	63	N	15.3
2008	25	-14	295	32.5	64	W	39.1
2009	26	-15	466	39.2	60	W	36.2
2010	25.5	-13.7	360		62.9	W	38.8
2011	26	-10	395		56	W	34

Los datos climatológicos indican que en la zona se tiene temperaturas bajas de hasta -15 °C, con una precipitación máxima de 466 mm por año y una evaporación de hasta 64 mm, el viento proviene de oeste con una velocidad de hasta 39.1 Km/h.

## Sismicidad

Datos del área de fuentes sísmicas, la magnitud máxima registrada de terremotos, la magnitud máxima seleccionada de terremotos, y la aceleración estimada pico de la tierra son las siguientes:

**Tabla 5.** Resumen de los parámetros de riesgo sísmico y aceleración horizontal pico estimado para el lecho de roca [6, 7, 8].

Área de fuente sísmica	Magnitud máxima seleccionada de diseño de terremoto	Aceleración horizontal pico estimada del lecho de roca (g)
Zona Occidental	6,3	0,04
Zona Oriental	6,7	0,01
Zona del Proyecto	6,2	0,009

Las aceleraciones horizontales pico de la tierra estimadas para el sitio del proyecto están aproximadamente en 0.009 g.

## Rocas y suelos

Las rocas presentes en la zona son de feldespatos potásicos y cálcicos, con presencia de sodio y calcio, también las mismas se encuentran relacionadas con micas mayoritarias de moscovita y sílice. Las rocas son de origen sedimentario.

Los suelos en su mayoría son cuaternarios aluviales y coluviales, con presencia mayoritaria de suelos finos con estratificación variada de acuerdo al muestreo aleatorio que se realizó en la zona, de acuerdo al método de las calicatas de observación directa.

## Agua subterránea

La tendencia general del flujo de agua subterránea es hacia el sud, está aproximadamente a 2,000 metros del lugar de emplazamiento. Los resultados del estudio de magnetometría en el lugar sugieren que no existen flujos de agua subterránea.

## Diseño de la presa de colas

### Volumen de almacenamiento requerido

Una primera consideración para diseñar la presa de colas, es determinar el volumen de almacenamiento, tanto el requerido como el disponible, este último garantizará la acumulación de las colas durante el tiempo de vida útil. En la tabla 6 se presentan los datos para el dimensionamiento de la presa de colas.

### Volumen de almacenamiento disponible

De acuerdo al levantamiento topográfico realizado, el volumen de almacenamiento disponible para la capacidad calculada es suficiente debido principalmente a que el terreno con que se cuenta es de aproximadamente de dos hectáreas.

**Tabla 6.** Datos para el dimensionamiento de la presa [6, 8].

Capacidad de tratamiento por día	10 TPD
Tonelaje de colas por día	9.73 TPD
Días laborales al año	312 días
Vida útil del proyecto	10 años
Densidad aparente de sólidos	2.20 Tn/m <sup>3</sup>
Volumen requerido por año	1,373.65 m <sup>3</sup> /año
Volumen total requerido en 10 años	13,736.5 m <sup>3</sup>

### Tipo de construcción de la presa de colas

La presa de colas se construirá con material de préstamo en la forma rectangular como muestra la figura 2.

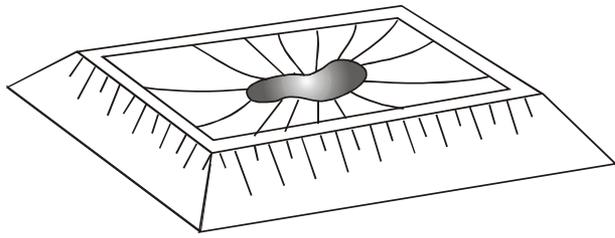


Figura 2. Presa de colas en forma de anillo.

Una vez acondicionado el terreno, se construirá la presa de colas que es un muro de material de préstamo, permeable, ancho y muy bien fundado en el suelo. Dicho muro se construye a lo largo de todo el perímetro.

El método a emplearse para la construcción de la presa es el del eje central, con taludes aguas arriba y el talud aguas abajo, tal como se muestra en la figura 3.

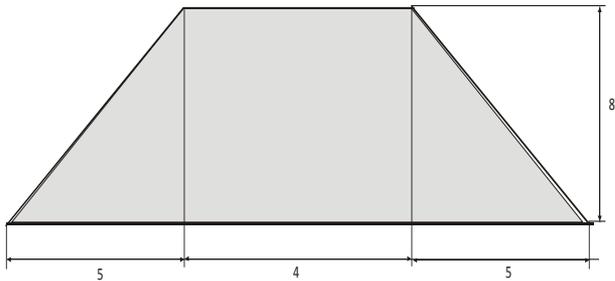


Figura 3. Dimensiones del dique.

### Dimensiones de la presa de colas

Las dimensiones de la presa de colas son las siguientes:

Tabla 7. Dimensiones de la presa de colas [6].

Descripción	Cantidad	Unid.
Altura de diseño	H	8.00 m
Largo de la presa superior	A	56.00 m
Ancho de la presa superior	B	48.00 m
Área de la parte inferior de la presa	-	1,748.00 m <sup>2</sup>
Altura económica	He	7.00 m
Largo de la presa inferior	C	46.00 m
Ancho de la presa inferior	D	38.00 m
Área de la parte superior de la presa	-	2,688.00 m <sup>2</sup>

### Balace de aguas

La figura 4, muestra el ciclo hidrológico de la presa de colas.

El balance de agua en la presa de colas permite determinar el volumen de infiltración al piso de la presa, que es igual a 2.52 m<sup>3</sup>/día [6].

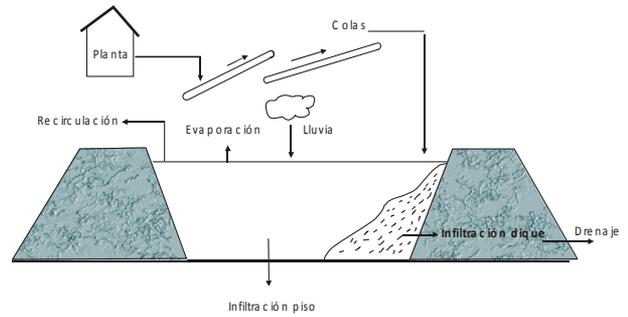


Figura 4. Ciclo hidrológico de la presa de colas.

### Estabilidad

Los taludes de la presa de colas son diseñados a 1:1.6 en ambos lados. Para establecer la estabilidad física de la presa de colas se ha calculado 3 factores de seguridad utilizando diferentes métodos [1, 2 y 5], mismos que se muestran a continuación.

Factor de seguridad al volcamiento	= 19.03
Factor de seguridad al deslizamiento	= 1.75
Factor de seguridad dinámico	= 1.92

Estos factores muestran que la estabilidad estática y dinámica de la presa es segura.

### Construcción

#### Presa de colas

En la figura 5, se ilustra el diseño y los materiales a ser utilizados en la construcción de la presa [6].

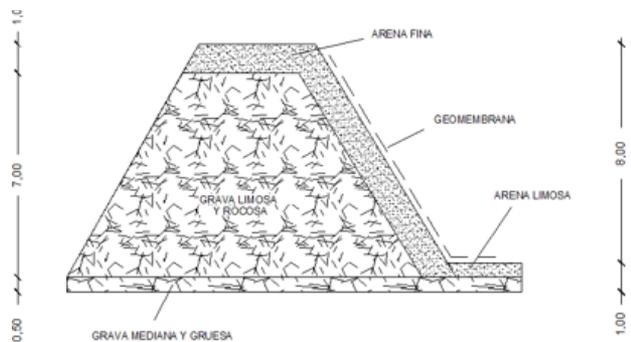


Figura 5. Diseño de la presa de colas.

### Tipos de materiales

Los materiales a ser usados son materiales de préstamo, se encuentran en lugares cercanos al proyecto y se muestran en la tabla 8 [6].

### Construcción de la presa de colas

La formación de la presa de colas se lleva a cabo sujetándose a las líneas, niveles y taludes descritos en el proyecto. A

continuación se describe las etapas en la construcción de la presa de colas.

- Preparación del material de los bancos de préstamo
- Equipos de construcción
- Etapa de construcción de la presa de colas
- Etapa de colocación y compactado
- Control de calidad en la construcción de la presa de colas
- Control de la construcción de la presa de colas
- Coronamiento
- Compactación de taludes

**Tabla 8.** Materiales de construcción de la presa.

Material	Descripción	Tipo
Arena fina	Coronamiento presa	A
Arena limosa	Plataforma central de la presa	E
Grava mediana y gruesa	Cimiento de la presa	D
Grava arenosa limosa y rocosa	Núcleo de la presa	C

### Dimensionamiento de la correa transportadora

Las correas que se deben utilizar para el transporte de las colas tienen las siguientes dimensiones:

Una correa fija horizontal:

Ancho de la banda = 16" Motor de 3 HP

Una correa móvil con inclinación de 22o

Ancho de la banda = 16" Motor de 2 HP

### Recuperación de agua

Uno de los objetivos principales del proyecto es minimizar los impactos ambientales resultantes de las actividades que se realizarán en la planta de tratamiento. Se considera que la descarga del efluente de la presa también se debería minimizar, y por otro lado la carencia de agua es otro factor que obliga a la recuperación de la mayor cantidad posible de solución líquida. Por tanto, se propone que toda la solución líquida de decantación y filtración bajo condiciones de operaciones normales sea reciclada.

## Diseño de las piscinas para las soluciones de cianuro

Las dimensiones y el diseño de las piscinas se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 9.** Parámetros de la piscina de solución residual [6].

Descripción	Cantidad	Unid.
Altura de diseño	H	4.00 m
Largo de la piscina superior	A	26.00 m
Ancho de la piscina superior	B	20.00 m
Area parte inferior de la piscina		400.00 m <sup>2</sup>
Altura económica	He	3.0 m
Largo de la piscina inferior	C	20.00 m
Ancho de la piscina inferior	D	14.00 m
Área de la parte superior		280.00 m <sup>2</sup>

### Construcción de las piscinas

Las piscinas están diseñadas para una elevación de 4 m por encima del nivel del piso y tendrán 20 x 14 metros de largo y ancho, respectivamente. La piscina retendrá 1,118 m<sup>3</sup>/piscina de solución residual y se llenará en 2 meses.

Los materiales con que se construirá la piscina son: el núcleo formado de arcilla con baja permeabilidad, recubierta con una capa arcillosa fina, la cual está recubierta por geomembrana de polipropileno flexible, para evitar infiltración de solución al piso.

### Manejo y operación de las piscinas

El objetivo de la construcción de las dos piscinas con un tiempo de almacenamiento de dos meses cada uno, es para que en el lapso de este tiempo vaya disminuyendo la concentración de cianuro y pueda retornar esta solución a la planta hidrometalúrgica.

Una vez que la primera piscina se llene, entra en funcionamiento la segunda piscina y en el lapso de dos meses se bombea la solución de cianuro que sale de la etapa de lixiviación de la planta a esta segunda piscina, en tanto que en la primera piscina los iones presentes en solución van precipitando y después de los dos meses esta solución está lista para su recirculación a la planta.

### Recuperación de agua de las piscinas

La recuperación del agua se realizará con una bomba sumergible serie LB flotante, su capacidad de bombeo es de 25.2 m<sup>3</sup>/hora, el caudal requerido en el proceso es de 23 m<sup>3</sup>/día de agua.

## Cierre de la presa de colas

Una vez finalizada la vida útil de la presa de colas, se realizarán estudios y tareas adicionales para estabilizar químicamente las colas y físicamente los taludes. Se retirarán todas las estructuras del terreno.

La solución residual acumulada en las piscinas será bombeada a la presa de colas, debido a que una vez concluida la vida útil del proyecto se levantará la geomembrana que recubre a la parte superior de la piscina. Posteriormente las piscinas serán recubiertas con material que se encuentra en el lugar.

La cobertura de la presa de colas, se construirá con tres capas de acuerdo al siguiente orden:

**Capa de base:** La más baja de las capas, será de grava gruesa, con un espesor nominal de 0.30 metros, para proveer una cubierta temporal sobre las colas e impedir el ascenso capilar de los líquidos contenidos en las colas.

**Capa de arcilla:** Es una capa impermeable intermedia, colocada en un espesor de 0.40 metros sobre la capa base con el objetivo de impedir las infiltraciones de aguas superficiales y el flujo de oxígeno para minimizar las reacciones químicas al interior de la presa de colas.

**Capa de protección contra la erosión:** Será la capa superior de la cobertura, de un espesor de 0.40 metros, colocada sobre la capa de arcillas, debe estar compuesta por

partículas desde tamaño de piedra manzana hasta arcillas, con el objetivo de minimizar la erosión por escorrentía de aguas superficiales y servir de semillero para el establecimiento de plantas nativas. El espesor de capa de protección contra la erosión puede variar en función de la pendiente de los taludes, el tamaño de partícula mediana de roca.

## Calculo de costos

El valor presente del costo total de construcción de la presa de colas, el costo de operación durante los 10 años de vida útil y el costo de cierre de la presa se muestran a continuación:

**Tabla 10.** Costo total del proyecto [6].

Item	Descripción	Costo total, \$us	%
1	Costo de construcción	494,731.13	61.84
2	Costo de operación	191,048.19	23.88
3	Costo de cierre	114,280.00	14.28
<b>Costo total del Proyecto</b>		<b>800,059.32</b>	<b>100.00</b>

## Consideraciones ambientales

De acuerdo a las regulaciones ambientales en vigencia, se procedió a la elaboración de la ficha ambiental y evaluación de impactos negativos y positivos, para establecer la categoría de impacto ambiental del proyecto. La categoría que se obtuvo fue la CATEGORÍA II "REQUIERE DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL ESPECÍFICA".

## Conclusiones

Según los resultados obtenidos en el presente proyecto, se tienen las siguientes conclusiones:

La selección del tipo y ubicación de la presa de colas se hizo tomado en cuenta tres factores preponderantes: 1) la distancia a la planta hidrometalúrgica de plata para minimizar los costos de transporte de las colas y recirculación de agua; 2) la topografía y tipo de suelo, que son adecuados para el tipo de diseño de la presa; 3) la geología del lugar, que es apta para la construcción de una presa de colas.

El método de construcción de la presa de colas es el de la línea central que es apto para este tipo de presas.

El cierre de la presa de colas se realizara con una cobertura de 3 capas, una primera capa base de grava gruesa con un espesor de 0.20 metros, una segunda capa de arcilla con un espesor de 0.30 metros y una tercera capa que es una mezcla de material grueso y fino con un espesor de 0.30 metros, esto para la protección contra la erosión.

El valor presente del costo total de construcción de la presa de colas, costo de operación durante los 10 años y costo de cierre es de 800,059 \$us.

La elaboración de la ficha ambiental y la evaluación de los impactos ambientales muestra que el proyecto corresponde a la CATEGORÍA II "REQUIERE DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL ESPECÍFICA".

El proyecto de diseño de una presa de colas permitirá a la Cooperativa "COMPROSIN" proseguir con la ejecución del proyecto de implementación de la planta hidrometalúrgica de plata .

## Recomendaciones

La selección de materiales de préstamo y la etapa de compactación de materiales deberá ser ejecutado bajo rigurosas medidas de control y aseguramiento de calidad, para obtener altas resistencias al corte.

La etapa de construcción de la presa de colas se debe iniciar después de la época de lluvias.

El cálculo de costos debe ser actualizado al inicio de la construcción de la presa de colas.

## Referencias bibliográficas

Guía Ambiental para la Construcción de Presa de Colas. Gaceta Oficial de Bolivia, 1997.

FARÍAS PAEZ, Enrique. "Tranques de Relaves". En: Seminario Internacional Minería y Medio Ambiente, Bolivia 1999.

VALLE RODAS, Raúl. Carreteras, Calles y Aeropistas. 6ta Edición. Bs. As: p 90-91, 157-160, 1995

DESIGN OF SMALL DAMS. México D.F: Ed. Continental, 2005

OROZCO COLLAZOS, Samuel. Estudio Técnico Económico y Ambiental de Alternativas para deposición Final de Residuos Sólidos de la E.M. LAMBOL S.A. Abril 2000

CHAMBI CH., Renato. "Proyecto presa de colas para la planta hidrometalúrgica de la Cooperativa "COMPROSIN" Ltda." Proyecto de Grado de Licenciatura. Tutor: Napoleón Jacinto E. Oruro: Universidad Técnica de Oruro, Carrera de Ingeniería Metalúrgica, 2013.

KNIGHT PIESOL AND CO. Diseño final e informe geotécnico del Dique de Colas. Proyecto Kori Kollo INTI RAYMI S.A., 1991

Proyecto a Diseño Final Cooperativa "COMPROSIN" Ltda., Planta de tratamiento de minerales de plata. 2011.