

# **“GESTIÓN DE UN PROYECTO APLICANDO UN MODELO DE SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE INGENIERIA PARA LA CONSTRUCCION DEL RECRECIMIENTO DE UNA PRESA DE RELAVES EN EL PERU”**

## **RESUMEN**

**La gestión de un proyecto aplicando un modelo de selección de alternativas de ingeniería para la construcción del recrecimiento de una presa de relaves en el Perú, pretende explotar las buenas prácticas de gestión de proyectos, el marco metodológico FEL (*“Front End Loading”*) y los diseños de ingeniería, aplicándolos en la valoración entre varias propuestas para seleccionar una mejor alternativa, y obtener una aprobación al más alto nivel que permita iniciar el proceso constructivo.**

**La presa de relaves es un factor clave para la sostenibilidad de la operación, permitiendo el continuo trabajo del planeamiento de largo y corto plazo para sostener el LOM (*“Life Of Mine”*).**

## **PALABRAS CLAVE**

***FEL, LOM, Project Management, Operations, Maintenance.***

## INTRODUCCION

El Perú es un país cuyo principal motor de su desarrollo y sostenimiento, es el Minero. Dentro de esta industria extractiva, existe una serie de Operaciones mineras que coadyuvan a lograr este objetivo como estado-nación. En este sentido, el presente trabajo, estará basado sobre una de las Minas más grandes (la primera en producción de cobre en el Perú), que la vamos a denominar “Mina de Cobre”, a fin de mostrar dos (02) grandes entregables que permitirán demostrar un caso de éxito tanto en aspectos de Gestión de Inversiones en Proyectos de Capital, así como en el desarrollo de un proceso disciplinado de Selección de alternativas de ingeniería para presentar la mejor opción o propuesta a ser ejecutada; en este caso demostrando en el proyecto, “La gestión de un proyecto aplicando un modelo de selección de alternativas de ingeniería para la construcción del recrecimiento de una presa de relaves en el Perú”.

El presente trabajo esperamos que sirva como material de consulta, para conocer un proceso un proceso robusto de Gestión de Inversiones de Proyectos de Capital que asegura el cumplimiento disciplinado y sostenible de cada etapa (“*Stage Gate*”) para plantear alternativas de ingeniería y de gestión con la finalidad de continuar con un proceso continuo de desarrollo y ejecución de proyectos asegurando de esta manera las inversiones de los accionistas y demás *stakeholders*.

### 1. MARCO TEÓRICO

#### 1.1. Marco histórico y referencial

Compañía “Mina de Cobre”, es un complejo minero que actualmente produce concentrados de Cobre, Zinc, Molibdeno y subproductos de Plata y Plomo. La mina está ubicada en el distrito de San Marcos, en la región de Ancash, Perú, a aproximadamente 200 km. de la ciudad de Huaraz y a una altitud promedio de 4300 metros sobre el nivel del mar (msnm).

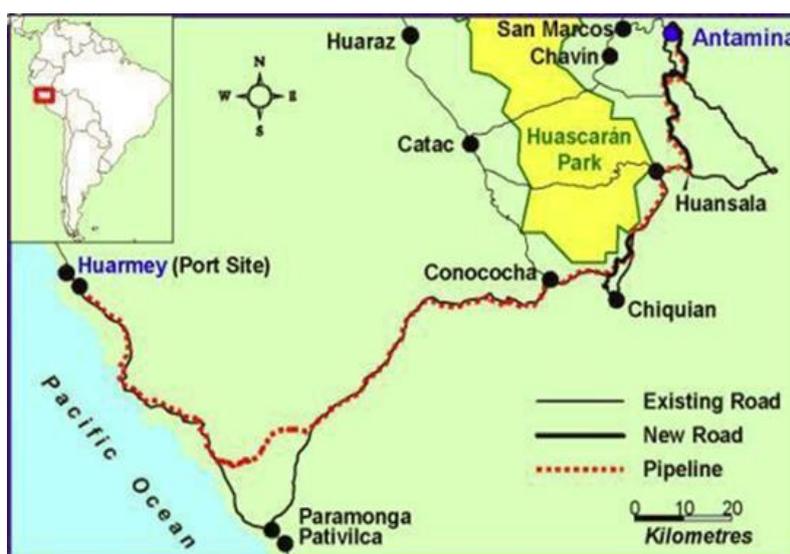


Figura 1: Mapa del Sitio

En el año 2008 se inició la evaluación para la expansión de la Compañía Mina de Cobre considerando elevar la cota final de la presa a Elevación 4165 msnm, con lo cual la capacidad final del depósito será de 1,100 Millones de toneladas de relaves (M Tons).

Las instalaciones de almacenamiento de relaves (*“Tailing Main Facilities”* – TMF) actualmente en operación están localizadas en un valle cercano a la comunidad de Ayash, donde se ha construido gradualmente el dique principal de la presa de relaves.

El dique principal de la Presa de Relaves se encuentra en construcción de la “Fase V” de recrecimiento hasta la cota Elevación 4120 msnm y con una capacidad de almacenamiento de aproximadamente 570 millones de toneladas (M Tons) de relaves (Ingeniería de detalle desarrollada por la Compañía consultora Golder Associates, 2011). Actualmente, se ha decidido que la “Fase V” recrezca hasta la cota Elevación 4113 msnm.

Adicionalmente, se está desarrollando el estudio de Factibilidad por la Compañía consultora Golder Associates para la construcción hasta la “Fase VIII” de la presa (Elevación 4165 msnm), con una capacidad total de aproximadamente 1100 M Tons. a alcanzarse en el año 2027.

A esta fecha Compañía “Mina de Cobre” venía recreciendo la presa usando el método Aguas-Abajo (*“Down-Stream”* – DS) y lo seguiría haciendo hasta una cota de cresta de Elevación 4120 msnm como estaba proyectado. Sin embargo, debido a la necesidad de crecer con la presa se genera la necesidad de adquirir nuevos terrenos para continuar con este método constructivo, por lo que se plantea la necesidad de analizar otros posibles escenarios de negocios.

## 1.2. Generalidades

La zona de estudio está ubicada en la vertiente occidental de la cordillera de los andes en altitudes del orden de los 4000 m.s.n.m. Este sector se encuentra deformado por el alzamiento de la cordillera, lo que genera fallas y pliegues, lo que posibilita el emplazamiento de cuerpos intrusivos que generan mineralización de carácter económico como el pórfido monzonítico que controla la mineralización de Compañía “Mina de Cobre”. Toda la zona ha sido erosionada, desde el pleistoceno por glaciares, que generan el relieve y depositan grandes morrenas.

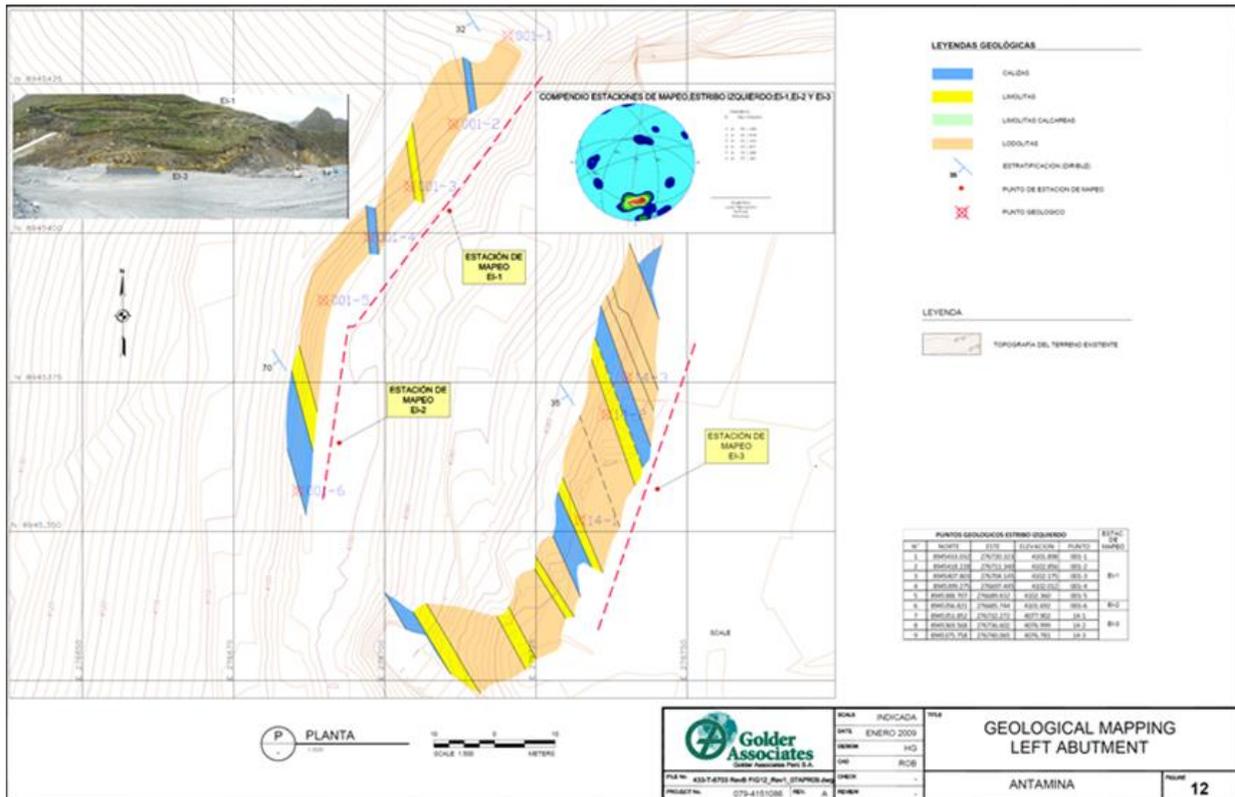


Figura 2: Planta Geológica Estribo Izquierdo.

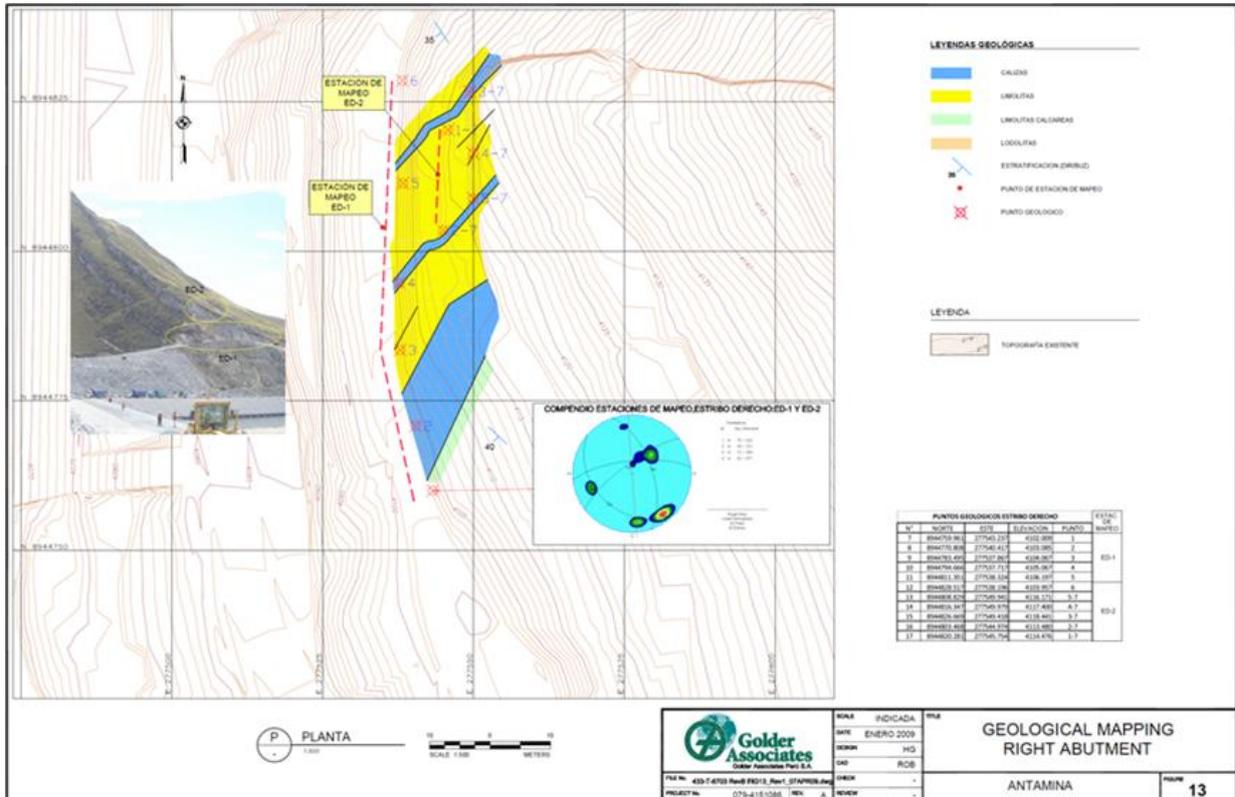


Figura 3: Planta Geológica Estribo Derecho.

## 1.2. Alcance

El alcance del proyecto de construcción para el recrecimiento de la presa de relaves de Compañía “Mina de Cobre”, contempla el determinar la mejor opción de construcción. Para esto se hará una síntesis de la información existente, para luego hacer una comparación entre todas las alternativas, las cuales se van a detallar en el capítulo de la metodología.

Para la elaboración del presente capítulo se tomaron los datos proporcionados por los estudios realizados por Compañía Consultora Golder Associates.

### 1.2.1. Declaración de Requerimientos

El estudio fue desarrollado de acuerdo con los estándares de los accionistas y alineados al Sistema de Gestión de Inversiones de Proyectos de Capital de Compañía “Mina de Cobre” para el desarrollo de proyectos en esta fase.

A continuación, se presentan los principales requerimientos de los “*stakeholders*”, tanto internos como externos para la fase de selección del proyecto. Un mayor detalle sobre la identificación y clasificación de los “*stakeholders*” puede ser encontrado en el futuro Plan para la Dirección del Proyecto a desarrollarse.

#### 1.2.1.1. Requerimientos “*Stakeholders*” Internos:

Accionistas de Compañía “Mina de Cobre” (BHP Billiton, Glencore, Teck, Mitsubishi)

- Requerimientos de cumplimientos de estándares, presupuestos y programáticos, ya que el crecimiento de la presa permite asegurar la continuidad operacional de la mina.

CEO Compañía “Mina de Cobre” & CFO

- Cumplimiento de presupuestos de construcción y operacionales de la presa para asegurar continuidad y seguridad operacional

Vicepresidencia de Operaciones

- Cumplimiento de plazos de construcción de la presa para asegurar continuidad operacional.

Gerencia de Ingeniería y Proyectos

- Requerimientos sobre gestión de Recursos, Mano de Obra, Costos, Plazos.

Gerencia de Salud y Seguridad Industrial

- Velar por el cumplimiento de los estándares de seguridad y salud durante la construcción y puesta en marcha del proyecto; y posteriormente en su traspaso a operaciones.

Vicepresidencia de Asuntos Corporativos

- Comunicación Efectiva con las diferentes partes interesadas externas del proyecto.

Vicepresidencia Legal y Cumplimientos

- Conformidad del proyecto con las exigencias legales para construcción y operación.

#### Gerencia de Gestión Social

- Consensuar las expectativas de Compañía “Mina de Cobre” y exigencias sociales para el éxito del proyecto.

#### Vicepresidencia de Planificación y Desarrollo de Negocios

- Requerimientos de cumplimientos de plazos.

#### Superintendencia de Control de Proyectos

- Requerimientos de cumplimientos de plazos.

#### Superintendencia Construcción

- Requerimientos de cumplimientos

#### *1.1.2.2. Requerimientos “Stakeholders” Externos:*

#### Ministerio de Energía y Minas (Legislador – Dirección General de Minas)

- Cumplimiento del proyecto con los estándares para construcción y operación.

#### OEFA (Organización de Evaluación y Fiscalización Ambiental)

- Cumplimiento de los requerimientos ambientales por parte del proyecto

#### OSINERGMIN (Organismo Superior de la Inversión en Energía y Minería)

- Cumplimiento de las regulaciones existentes en el país para inversiones mineras por parte del proyecto.

#### GORE (Gobierno Regional) ANCASH

- Cumplimiento de las normativas que aseguren que el proyecto no tenga efectos negativos sobre la región, tanto en lo social como en lo ambiental.

plazos, recursos.

#### Superintendencia de Agua y Relaves

- Continuidad Operacional de la presa para contención y manejo de relaves.

#### Gerencia de Medio Ambiente

- Conformidad del proyecto con las exigencias ambientales para construcción y operación.

#### Vicepresidencia de Recursos Humanos

- Empleos, Gestión de Recursos.

#### Gerencia de Logística

- Empleos, Gestión de Recursos.

#### Municipalidad del Distrito de San Marcos

- Cumplimiento de las normativas que aseguren que el proyecto no tenga efectos negativos sobre la región, tanto en lo social como en lo ambiental.

#### ASODESO (Asociación Multisectorial para el Desarrollo Sostenible de Ayash) y Santa Cruz de Pichiu

- Requerimientos asociados a que no se afecten los intereses de la comunidad en temas de salud, seguridad y accesibilidad, por otro lado, generar beneficios para la comunidad por parte del proyecto. Expectativas Ambientales (no afectación ambiental), empleabilidad, inversión social, cumplimiento de compromisos previos y futuros del nuevo proyecto.

#### ALA (Autoridad Local del Agua) y ANA (Autoridad Nacional del Agua)

- Adecuado manejo de recursos hídricos y

desechos (no afectación ambiental) por parte del proyecto.

PCM (Presidencia del Consejo de Ministros)

- Cumplimiento del proyecto con los estándares para construcción y operación.

ITRB (Independent Talings Dam Review

Board)

- Cumplimiento del proyecto con los estándares para construcción y operación.

Golder Associates

- Proveedores de Construcción y Supervisión

### *1.2.2. Alcance del Trabajo*

El alcance del trabajo en la presente fase de selección de “Gate” 2 es seleccionar la mejor alternativa de proyecto para los objetivos de Compañía “Mina de Cobre” y cumplimiento de LOM, incluye el desarrollo de las alternativas del proyecto que han sido levantadas como parte de la fase de identificación y complementadas durante la presente fase. Estas alternativas han sido desarrolladas por Golder Associates, considerando las necesidades del proyecto para la continuidad operacional de la presa y del depósito existente de relaves.

Este estudio considera elevar el dique principal de la presa completando su construcción hasta el nivel 4,165 msnm desde la cota 4,113 msnm correspondiente a la finalización de la “Fase V” del actual diseño de recrecimiento del muro, con una capacidad total de almacenaje estimada de aproximadamente 1,100 Mt. a alcanzarse el año 2027.

Se consideraron tres (03) alternativas para continuar con el recrecimiento de la presa, estos métodos son: “Down-Stream”, “Center-Line” y “Up-Stream”. A continuación, se describe el alcance de trabajo de cada una de estas opciones, presentando la información más relevante, que contribuya a la elección de la mejor alternativa de inversión.

#### *1.2.2.1. Método “Down-Stream”*

El método “Down-Stream” (método por el que se ha construido la presa hasta la actualidad) considera un recrecimiento progresivo por etapas del proyecto e incluye el peraltamiento de la cresta de la presa hasta la cota 4,165 msnm considerando como inicio la construcción desde la cota 4,105 msnm.

A partir de dichas cotas, se han identificado y descrito 5 etapas de construcción. Las etapas de proyecto se identifican de acuerdo con las cotas finales de la cresta de la presa para este método en particular.

- Etapa V: Comienza con la cota 4,105 y continua hasta la cota 4,120.
- Etapa VI: Comienza al finalizar la etapa V y continúa hasta la cota 4,135.
- Etapa VII: Comienza al finalizar la etapa VI y continua hasta la cota 4,150.

- Etapa VIII: Comienza al finalizar la etapa VII y continua hasta la cota 4,165.

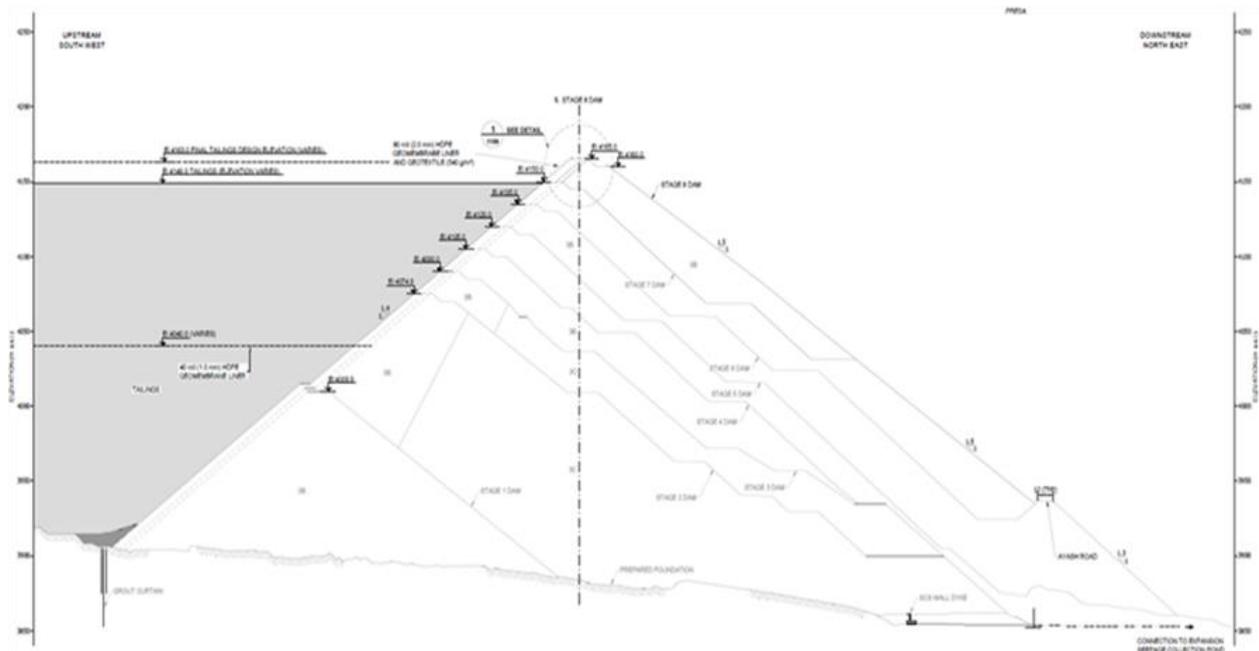


Figura 4: Etapas de Construcción por Método “Down-Stream”

Adicionalmente a esta elevación del muro, el proyecto contempla una serie de actividades y obras complementarias, definidas a continuación:

- Preparación de cimientos para rellenos de la Presa.
- Preparación de cimientos y construcción del plinto a través del pie aguas arriba de la presa.
- Extensión del tapón del túnel de decantación y consolidación de *grouting*;
- Extensión de la estructura de decantación del “Sidehill”.
- Extensión de Poza Colectora “Seepage” de la Fase 5. También contemplaba la reubicación y ampliación de capacidad de la poza a 15,000 m<sup>3</sup>.
- Sistema de Rebombeo de “Seepage”, incluyendo bombas, tuberías y alineamiento desde la cresta al pie de la presa.
- Sistema de distribución de relaves, incluyendo bombas, tuberías y alineamiento desde la zona oeste del valle hasta la presa en el norte y el extremo sur del embalse.
- Construcción y modificación de caminos.
- Identificación de la infraestructura de mina que será inundada por el relave, y programa de inundación.

#### 1.2.2.2. Método “Center-Line”

El método de Eje Central o “Center-Line” (el cual modificaría el método de elevación “Down-Stream” utilizado hasta la Fase V de construcción) considera un recrecimiento progresivo por etapas del proyecto y considera el peraltamiento de la cresta del tranque hasta la cota 4165 msnm

desde la cota 4,113 msnm y la cota de playa de relaves 4,100.

A partir de dichas cotas, se han identificado y descrito 5 etapas de construcción. Las etapas de proyecto se identifican de acuerdo con las cotas finales de la cresta del muro y la cota del relleno de enrocado del área ganada a la playa de relaves. Las etapas de construcción corresponden a:

- Etapa V: Comienza con la cota señalada previamente y termina con la cota de cresta 4,113 y con cota de enrocado de playa 4,015 y considera elementos de transición para el desarrollo del método de eje central.
- Etapa VI-A: Comienza al finalizar la etapa V y continua hasta la cota de cresta 4,115 y cota de enrocado de playa 4,115.
- Etapa VI-B: Comienza al finalizar la etapa VI-A y continua hasta la cota 4,135.
- Etapa VII: Comienza al finalizar la etapa VI-B y continua hasta la cota 4,150.
- Etapa VIII: Comienza al finalizar la etapa VII y continua hasta la cota 4,165.

La siguiente figura refleja las etapas del método “Center-Line”:

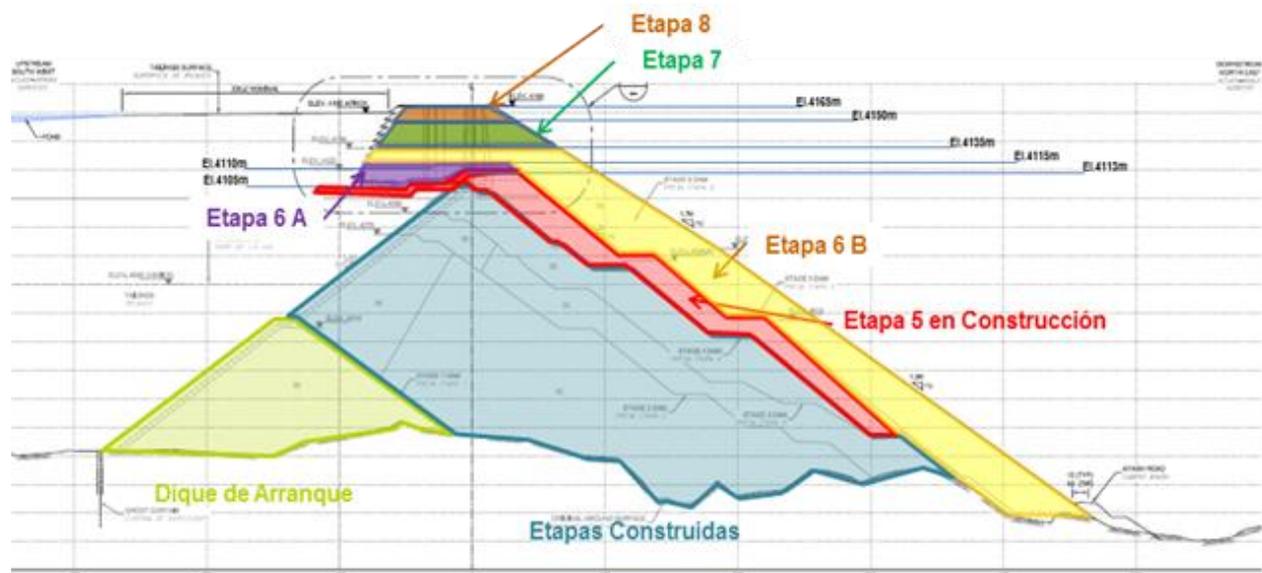


Figura 5: Etapas de Construcción por Método “Center-Line”

En cuanto a carreteras y accesos, el método “Center-Line” considera lo siguiente:

- Caminos públicos y de acarreo deben ser reubicados y elevados a medida que la cota de elevación de la presa aumenta.
- El pie de presa será extendido hasta la huella final (cresta 4,165 m) durante la construcción del recrecimiento a la cresta 4,135 m. Mientras que esto incrementa la cantidad de enrocado requerido en el corto plazo, también completa rápidamente la construcción en esta reducida área y permite establecer la configuración final del camino comunitario, eliminando futuras interferencias.

- Durante las etapas 6, 7 y 8, el camino acarreo Tucush será elevado para permitir acceso continuo entre la presa y el tajo.
- Todas las carreteras totalmente dentro de los actuales límites de propiedad o usufructo de Compañía “Mina de Cobre”. Pendiente y ancho limitado según criterios definidos.
- Accesos cuentan con un 100% de libre disponibilidad para los residentes locales de Ayash, Llata y Contonga.

A continuación, se detalla la configuración de los caminos asociados al proyecto:

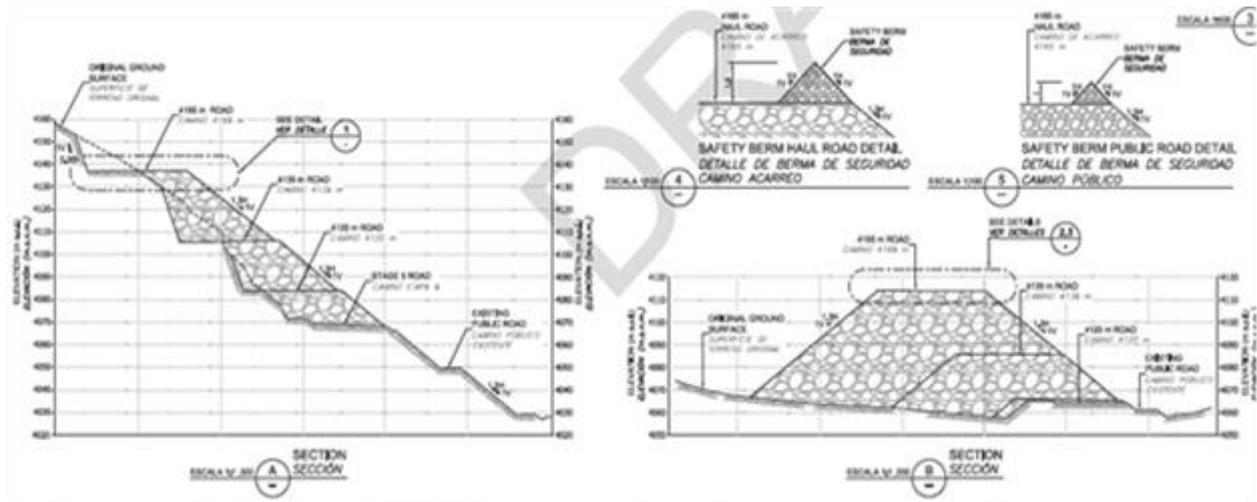


Figura 6: Configuración por Etapas de Caminos (Comunitario y Acarreo)

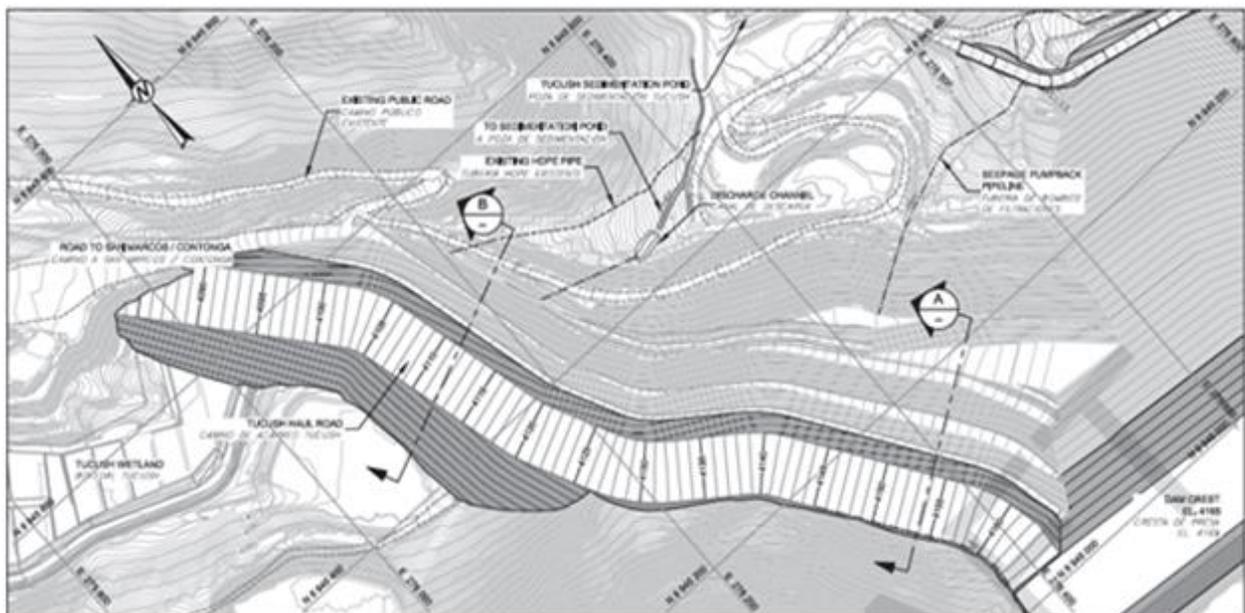


Figura 7: Configuración Final de Caminos (Comunitario y Acarreo)

Adicionalmente a esta elevación del muro, el proyecto contempla una serie de obras anexas,



Crecimiento a Nivel 4,165 de Presa de Relave, e incluye el peraltamiento de la cresta del tranque hasta la cota 4,165 msnm considerando un como inicio la construcción desde la cota 4,110 msnm y la cota de playa de relaves 4,100.

La construcción de la presa mediante este método considera una plataforma de trabajo en la playa de relaves, que permita el mejoramiento de las características del relave mediante la instalación de un sistema de drenaje o densificación de este, con el fin de realizar la construcción de la presa sobre esta plataforma de relave más densa, y la descarga del relave sobre la cara de la presa. El relave depositado sobre la cara de la presa es fundamental para la estabilidad de este método ya que ejerce la presión necesaria que limita el movimiento de la presa en dirección aguas arriba. En cuanto a caminos y accesos, la construcción basada en este método disminuye el efecto de reubicación de caminos de comunitarios de acceso aguas abajo y conservaría la configuración de los caminos de acarreo reubicados durante la Fase V de construcción según el método “*Down-Stream*”. La siguiente figura refleja las etapas del método “*Up-Stream*”.

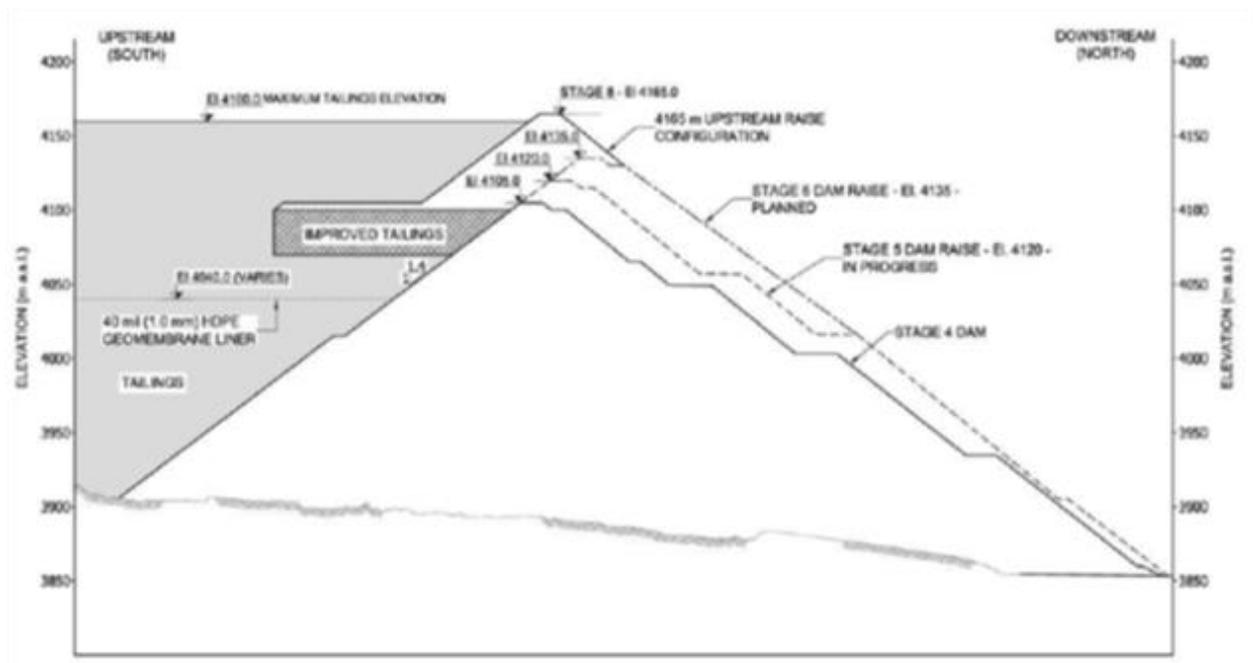


Figura 9: Etapas de Construcción por Método “Up-Stream”

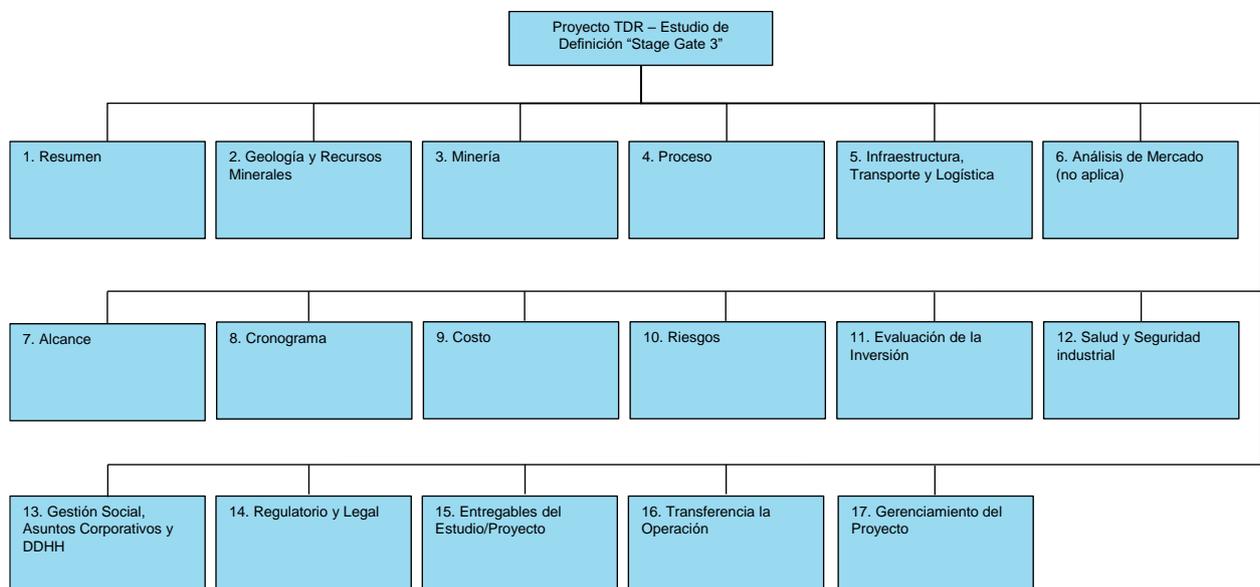
- Peralte del Muro a Cota 4,165 msnm, empleando materiales de características impermeables y tecnología específica para el proyecto.
- Impermeabilización de la cara aguas arriba de la presa.
- Modificación de la Impulsión de Agua de la Piscina de Filtraciones debido a la traza del muro y caudales proyectados.
- Repotenciamiento del sistema de bombeo de la piscina de infiltraciones.
- Instalación de nueva Instrumentación Geotécnica.
- Construcción y modificación de caminos.
- Manejo del sistema de depositación de relaves.

- Modificación de los canales de contorno.

### 1.2.3. Estructura de Desglose del Trabajo “WBS”

Se ha creado una estructura de quiebre para el proyecto. El WBS fue desarrollado para proporcionar un marco general para la gestión y control de todos los elementos de la programación y costos del proyecto en varios niveles de detalle. El WBS sirve como base para la recopilación y presentación ordenada de la información del proyecto. El progreso y costos detallados de los elementos del proyecto a niveles inferiores pueden ser desglosados para propósitos específicos de información.

El WBS describe el proyecto en distintos niveles de detalle para una gestión y visibilidad adecuada, desde la elaboración de los Estudios hasta el detalle de la Construcción (7.).



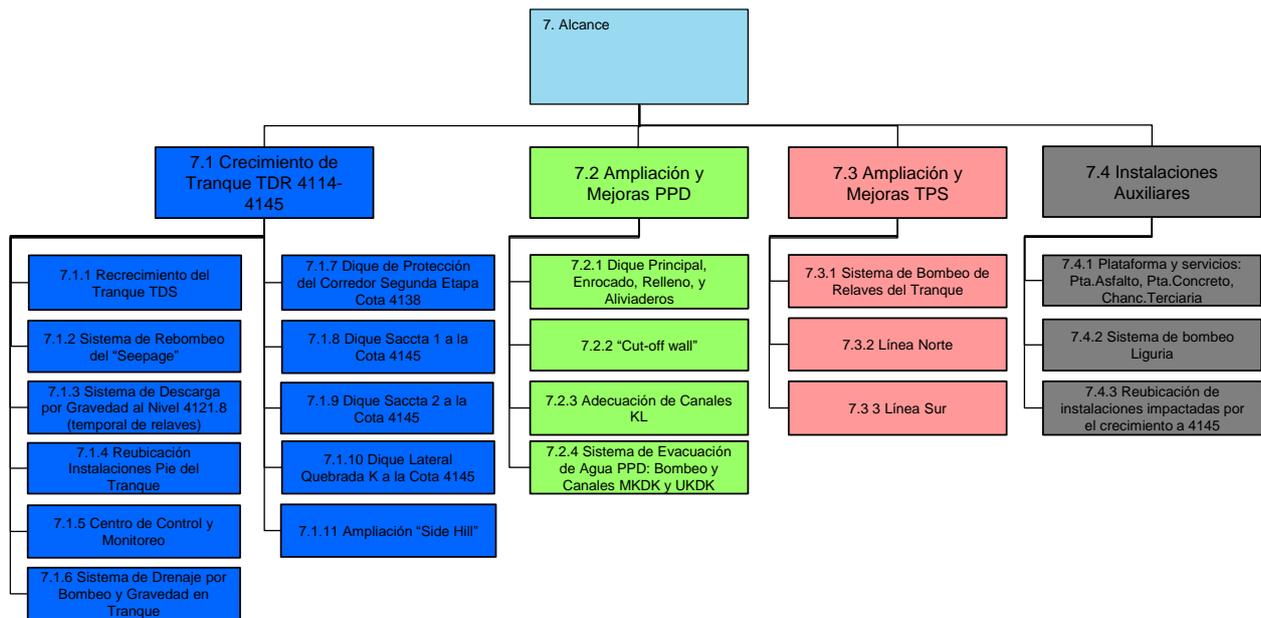


Figura 10: WBS

### 1.3. Riesgos

Para la alternativa recomendada se establece un perfil de riesgos, incluyendo registro de eventos, evaluación de riesgos y plan de respuesta de los riesgos materiales. Adicionalmente se establece un plan de gestión de riesgo para las siguientes fases del proyecto.

Como resultado del análisis, 36 riesgos de negocio fueron identificados, de los cuales 9 son considerados riesgos materiales para el proyecto indicados en la figura siguiente:



Figura 11: Perfil de Riesgo.

Como se puede observar en la Figura anterior, fueron identificados riesgos calificados como “ALARP” o “Top Risk”. Desde el punto de vista de riesgos de negocios, han sido identificados riesgos materiales para la organización.

De manera recíproca se ha identificado una oportunidad relevante asociada al manejo oportuno del nivel del espejo de agua de la presa a través de la implementación de una planta de tratamiento de agua de tal forma de controlar la revancha y el crecimiento de la presa.

En la siguiente tabla se muestra el resumen de los riesgos evaluados y que son considerados relevantes para el Recrecimiento de la Presa a la Cota 4165 por el Método Línea Central.

Id	Evento de Riesgo	Nivel de Riesgo Residual	Máxima Pérdida Estimada		Criterio de Materialidad	Acciones adicionales para el Control del Riesgo
			US \$ M	Número de Pérdidas		Acción
EV 12	Reacción negativa de las comunidades	90	201	0	Material	1. Habilitar accesos alternos temporales durante la construcción. 2. Enviar a RRCC los cronogramas de los trabajos a detalle, donde se especifique las fechas de inicio y cierre de cada una de las fases, así como las áreas afectadas.
EV 01	Cambio de alcance de Ingeniería.	90	195	0	Material	1. Estimación de la contingencia del plazo y costo para estudio de factibilidad etapa VIA. 2.- Control y monitoreo de la planificación del proyecto. 3.- Contratación de un QA de ingeniería externo. 4. Solicitar a la presidencia que las coordinaciones con el ITRB, IPR, ADCOM, etc. sean directamente con la gerencia del proyecto.
EV 10	Demora en el otorgamiento de permisos gubernamentales (ITS, licencias de construcción, ANA, licencia de funcionamiento)	90	146 M	0	Material	1. Seguimiento y control del cronograma.
EV 21	Baja producción de material 3B, 2B y 3A	90	146 M	0	Material	1. Plan preventivo de reparación de la chancadora secundaria y terciaria. 2. Utilización de un pull de equipos menores para carguío, transporte y alimentación de la chancadora secundaria. 3. Re manejo de materiales desde stock piles hacia chancadora secundaria. 4.- Incremento de la capacidad de producción de material 3ª. 5. Instalación de la nueva planta de tratamiento de agua para disminuir nivel de espejo de agua.
EV 27	Accidente con daños materiales y/o personales con interacción con equipos y/o maquinarias.	90	0.9	1	Material	1.- Instalación de mallas geodinámicas. 2.- Reconocimiento de los mayores GG y stand by del contratista. 3.- Contar con una cuadrilla de equipos y personal permanente para limpieza. 4.- Incrementar recursos para acelerar trabajos y recuperar el atraso del proyecto.

Id	Evento de Riesgo	Nivel de Riesgo Residual	Máxima Pérdida Estimada		Criterio de Materialidad	Acciones adicionales para el Control del Riesgo
			US \$ M	Número de Pérdidas		Acción
EV 14	Retraso en la entrega de material	30	291	0	Material	1. Considerar contingencia para cubrir mayores costos de contratistas por stand by. 2. Considerar contingencia para recuperar avance (aceleración-incremento de recursos) 3. Planeamiento y ejecución de explotación de canteras de material tipo C por VPIP 4. Considerar contingencia de costo por contratación de servicios de elevación de 1m de filtro. 5. Instalación de la nueva planta de tratamiento de agua para disminuir nivel de espejo de agua.
EV 36	Falla del Dique de la Presa de Relaves	10	745	0	Material	1. Reactivación del monitoreo en línea de estabilidad de la presa de relaves. Incluye habilitar el SW para procesamiento de data de instrumentación y unificar para estribo izquierdo y derecho. 2. Elaborar un procedimiento para el monitoreo de instrumentación en la presa de relaves incluyendo la definición de rangos meta y alarmas. 3. Actualización de Manuales de Mantenimiento y Operación de la Presa de Relaves para "Center-Line"
EV 35	Atrasos en la conformación de la playa de relaves de acuerdo al plan de deposición por parte de aguas y relaves	10	156	0	Material	1. Incorporación de mayores recursos para acelerar trabajos. 2. Contratación de servicios de elevación de 1 m
EV 26	Deslizamientos de talud	10	2.4	1	Material	1. Reconocimiento de los mayores GG y stand by del contratista. 2. Contar con una cuadrilla de equipos y personal permanente para limpieza 3. Incrementar recursos para acelerar trabajos y recuperar el atraso del proyecto. 4. Reconocimiento de mayor costo directo por mayores metrados en trabajos de estabilización. 5. Implementación de mallas geodinámicas o bermas en el talud.
EV 37	Incumplimiento de estándares de calidad de agua	100	20	0	Material	1. Gestión Social: Monitoreo participativo y entrega de datos. 2. Gestión Legal: Comunicar a la autoridad de incumplimiento y hacer seguimiento de los posibles procesos legales.

Tabla 2: Eventos de Riesgos Materiales.

Para controlar estos riesgos importantes para el proyecto, se han propuesto acciones de control o estrategias de respuesta, que en su mayoría se llevarán a cabo durante la etapa de ejecución. Adicionalmente se incluyen los riesgos materiales de Seguridad y Salud Ocupacional (10), Ambientales y Comunitarios (3).

### 1.3.1. Registro de Riesgos

#### 1.3.1.1. Análisis Comparativo de Riesgos de las Alternativas

Como parte del estudio de pre-factibilidad para el recrecimiento línea central de la Presa de Relaves de Compañía “Mina de Cobre” se consideró la evaluación de riesgo utilizando el método de Análisis de Modo y Efectos de Falla (FMEA). Durante el desarrollo de la fase de selección del proyecto, diversas opciones fueron evaluadas y descartadas de acuerdo con criterios técnico-económicos, las dos alternativas descartadas tienen relación al método constructivo aguas arriba y un nuevo depósito en una ubicación alternativa. El análisis comparativo de riesgos desarrollado con la metodología FMEA fueron para las alternativas de método constructivo aguas abajo y de línea central. Para cada modo potencial de falla identificado, se calculó el Riesgo Residual mediante:

$$\text{Riesgo Residual} = \text{Factor de Gravedad (Consecuencia)} \times \text{Factor de Probabilidad}$$

El FMEA fue realizado usando las definiciones de Factor de Gravedad y Probabilidad, presentadas en el proceso de evaluación de riesgos SIGRA BHP-Billiton. La metodología seleccionada resultó una variación en la aplicación del FMEA convencional, y no debería ser considerado equivalente al proceso de evaluación de riesgo SIGRA completo.

La evaluación de consecuencias incluida en el método SIGRA de Compañía “Mina de Cobre”, considera los siguientes Factores de Consecuencia:

- Impacto Financiero;
- Salud y Seguridad;
- Medio Ambiente;
- Patrimonio Social/Cultural;
- Comunidad/Gobierno/Reputación/Medio de Comunicación y;
- Aspectos Legales.

### 1.3.1.2. Registro de Riesgos Comparativo

La siguiente tabla presenta el resultado del análisis comparativo de riesgos listando los eventos con riesgo residual igual o superior a una magnitud de 30.

Alcance (Componente)	Evento (Modo de Falla)	de	Riesgo	Riesgo Residual	
				Alternativa Método Línea Central	Alternativa Método Aguas Abajo
Accidentes de Tráfico	Accidente de vehículo de mina (793) con vehículo público (por ejemplo minibus).			100	100
Presa de Relaves	Falta de disponibilidad de filtros o suministro muy lento (chancadora terciario inoperable, secundario inoperable enrocado Clase C insuficiente).			90	90
Permisos y General	Imposibilidad de obtener los permisos requeridos del MEM (incluyendo el acuerdo de beneficios con las comunidades locales).			30	30
Permisos y General	Imposibilidad de compra de terrenos: 1) Aguas debajo de la presa - carretera Ayash; 2) Lago Valle Este - Karst derivación y 3) Lago 3) Valle Ay B - Derivación “Polishing Pond”.			30	30
Permisos y General	Transgresión del permiso de operación (por ejemplo protesta de ONG, calidad del agua, cumplimiento ambiental).			30	30

Alcance (Componente)	Evento (Modo de Falla) de Riesgo	Riesgo Residual	
		Alternativa Método Línea Central	Alternativa Método Aguas Abajo
Permisos y General	Fondos no aprobados por Compañía "Mina de Cobre" (o no disponibles) para un recrecimiento.	30	30
Presa de Relaves	Suministro de enrocado muy lento o no disponible.	30	100
Presa de Relaves	Falta de concreto - abastecimiento inadecuado de cemento.	30	30
Presa de Relaves	Falta de concreto - no existe una planta de concreto en la mina.	30	30
Presa de Relaves	Inestabilidad de taludes / Desprendimientos de rocas durante la construcción del acceso Ayash.	30	30
Presa de Relaves	Desprendimientos de rocas durante la construcción del acceso Ayash.	30	30
Presa de Relaves	Brecha en la presa (borde libre inadecuado más gran tormenta y/o deslizamiento de tierra en el embalse).	30	30
Sistema de rebombeo de Filtraciones	Mejoras del sistema de rebombeo de filtraciones no implementadas.	30	30
Sistema de rebombeo de Filtraciones	Falla mecánica de bombas, vandalismo, falla eléctrica (estación de bombeo o en estaciones de rebombeo secundario) - varias horas.	30	30
Sistema de Decantación	Colapso del Sistema de decantación (liberación de relaves y agua de depósito).	30	30
Sistema de Decantación	Falla del tapón del túnel de desvío.	30	30
Sistema de Decantación	Falla del tapón del túnel MCD.	30	30
Sistema de Decantación	Falla del tapón del túnel etapa 1 y contrapozo etapa 1.	30	30
Presa "Polishing Pond"	Recrecimiento de la presa del "Polishing Pond" no terminada cuando sea requerida.	30	30
Accidentes de Tráfico	Accidente de vehículo mina (camioneta) con vehículo público.	30	30
Accidentes de Tráfico	Accidente de vehículo público (1 víctima fatal)	30	30
Accidentes de Tráfico	Accidente de vehículo de mina con ganado.	30	30

Tabla 3: Registro de Riesgos Comparativo.

### 1.3.1.3. Perfil de Riesgo comparativo

El perfil de riesgos para ambas alternativas se presenta en la siguiente gráfica:

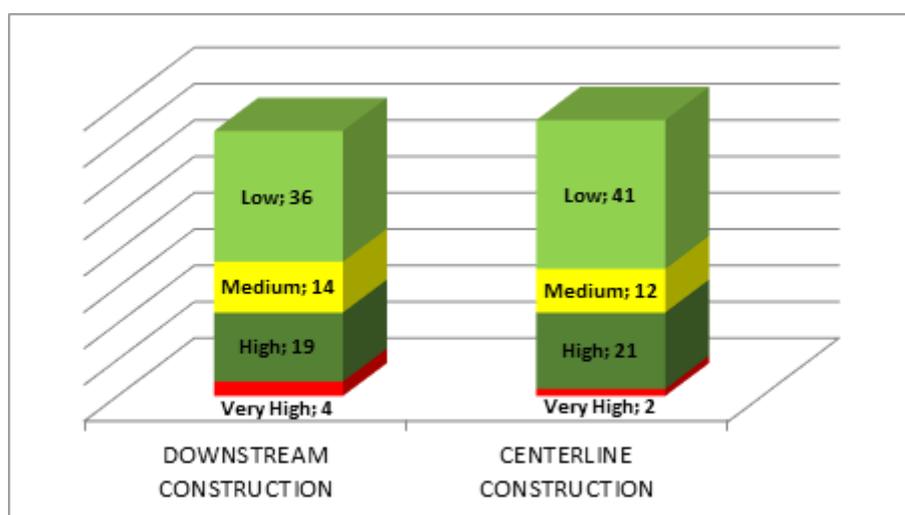


Figura 12: Perfil de Riesgo comparativo.

Del resultado del análisis comparativo podemos concluir que el nivel de riesgos de la metodología constructiva del muro del depósito de relaves de línea central es menor al de la metodología de aguas abajo.

## **2. METODOLOGÍA**

La metodología que vamos a emplear para la definición de los resultados está muy alineada con el proceso principal de la Compañía “Mina de Cobre”, que es el procesamiento minero-metalúrgico, el cual permitirá que, ante una mayor producción de mineral, se debe contar con una mayor dimensión de la presa de relaves, que es la razón principal de este estudio como planteamiento del problema.

### *2.1. Estrategia basada en el procesamiento minero-metalúrgico*

La compañía “Mina de Cobre” produce principalmente concentrado de cobre, zinc, molibdeno y subproductos de plata y plomo. El concentrado es transportado mediante un mineroducto al puerto de Huarmey. Los relaves son descargados por gravedad hasta una presa de relaves cercana a la planta concentradora.

Las instalaciones de almacenamiento de relave se encuentran en un valle cercano a la comunidad Ayash, donde se ha construido el dique principal de la presa de relaves.

La planta concentradora posee una capacidad de proceso de 145 ktpd. El concentrado se transporta por un mineroducto a la planta de filtros Puerto Punta Lobitos cercana al puerto de Huarmey. Las tuberías se extienden 320 km desde la planta concentradora a la planta de filtros. Antes de ser embarcado, el concentrado se filtra y se recupera el agua, despachándolo con un porcentaje de humedad promedio menor al 9%.

El presente proyecto no cambiará el proceso actual y normal de la Planta. El presente proyecto solamente aumentará la capacidad de almacenamiento del depósito de relaves de manera de poder mantener la operación actual de procesamiento de material. Este proyecto mitiga los riesgos de escurrimiento y rebalse de la presa de relaves, pudiendo contener situaciones de índole operacional o fuerza mayor. Se estima que la elaboración de este proyecto aumentará la capacidad de la presa de relaves a 1100 Mton, a alcanzarse el año 2027.

Se han considerados las siguientes alternativas de metodología de construcción para el recrecimiento del depósito de relaves de la Compañía “Mina de Cobre”.

#### *2.1.1. Aguas arriba – “Up-Stream”*

Esta alternativa considera la construcción del muro de la presa de relaves en el sentido de la descarga de relaves. El método constructivo “*Up-Stream*” es bastante conveniente en términos del costo del material, pues es la metodología convencional de construcción que utiliza menor cantidad de material. Además, esta alternativa es aventajada comparada con “*Down-Stream*” y “*Center-Line*”, pues para su operación se requiere menos espacio y menor cantidad de maquinarias.

La principal desventaja de este proceso constructivo es que los muros son susceptibles a licuefacción de material debido a que gran porcentaje de material de la nueva etapa se apoya sobre el relave depositado, disminuyendo la resistencia del muro y aumentando la probabilidad de infiltraciones. Esto implica que la obra se ve muy afectada por movimientos sísmicos, los que son relativamente comunes en la zona donde se ubica la mina. Actualmente en el Perú, por legislación, está prohibida la construcción de presas por el método aguas arriba “*Up-Stream*”.

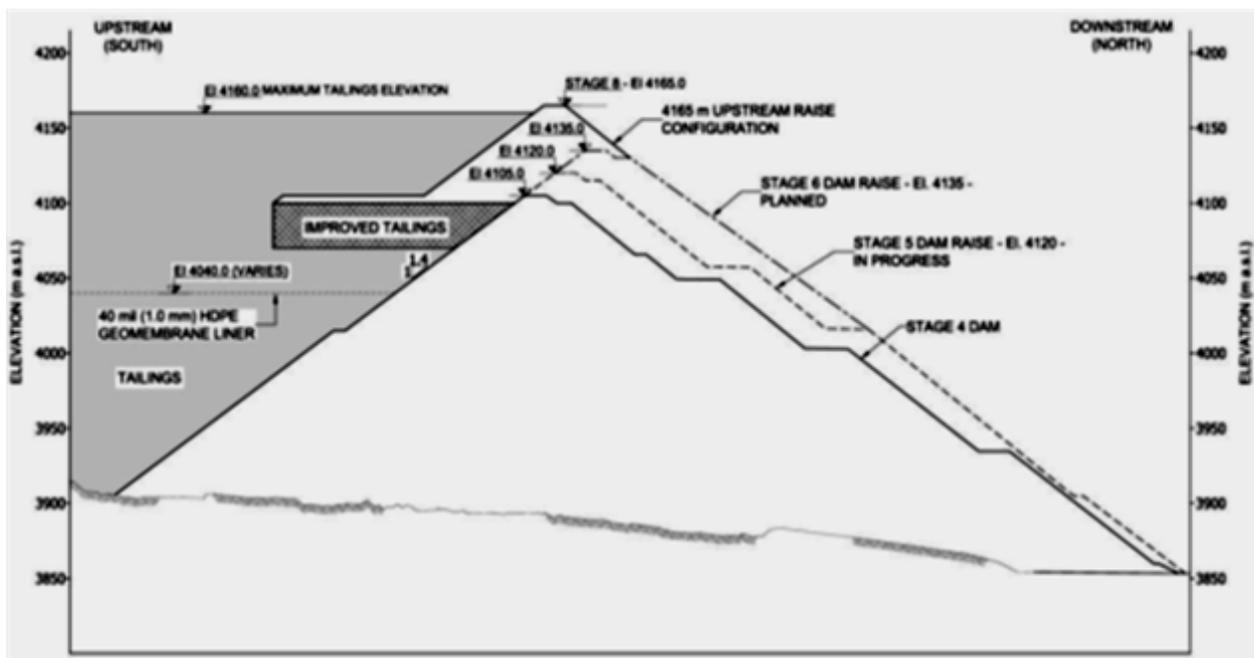


Figura 13: Esquema de Construcción Aguas Arriba – “*Up-Stream*”

### 2.1.2. Aguas abajo – “*Down-Stream*”

Esta alternativa contempla la construcción del muro aguas abajo de la descarga de relaves. Este método es bastante costoso en términos los volúmenes de material a utilizar. Por otro lado, este método constructivo requiere espacios de operación bastante grandes, por lo que en general no es una metodología conveniente en términos de la viabilidad económica dadas las alturas que presenta la presa de relaves. Ambientalmente el método no es ventajoso, pues la construcción de la presa mediante el método aguas abajo aumentaría el área de impacto.

La principal ventaja de esta metodología de constructiva es su estabilidad estructural y que el

factor de licuefacción del material no es considerable como una amenaza. Los depósitos de relave que utilizan esta metodología son muy resistentes a los sismos.

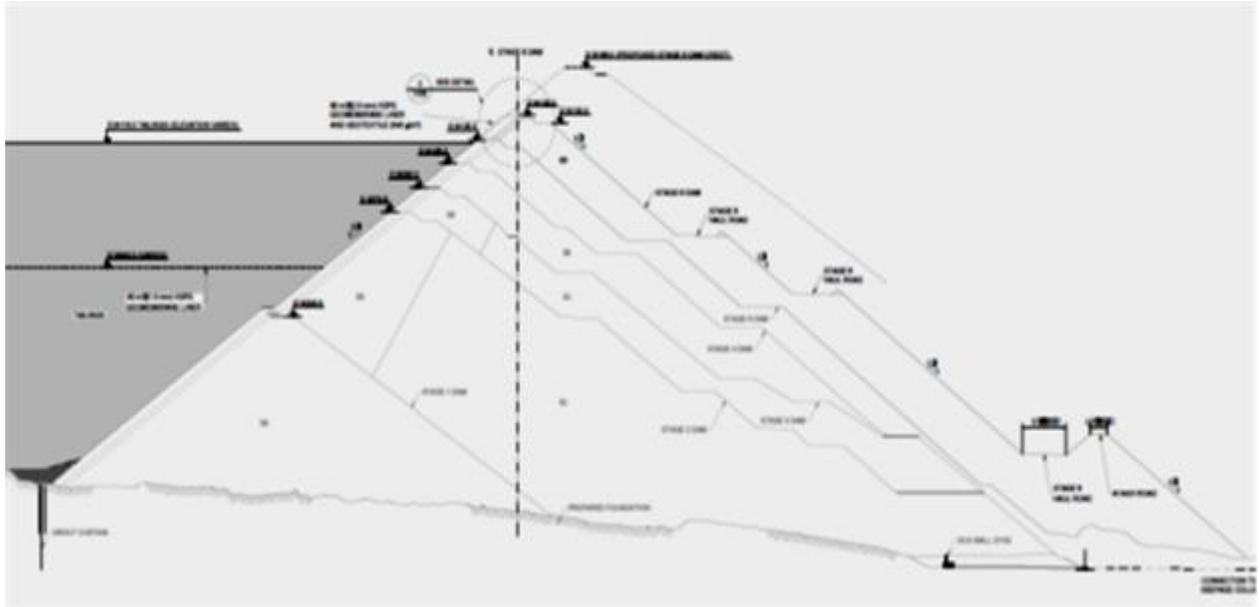


Figura 14: Esquema de Construcción Aguas Abajo – “Down-Stream”

### 2.1.3. Línea/eje central – “Center-Line”

Esta alternativa establece que la construcción del muro sigue una línea central desde la primera construcción. Esta forma de construir es en esencia una mezcla entre las dos (02) alternativas anteriores y posee las características de ambas. Es más costosa que “Up-Stream” y menos costosa que “Down-Stream”, en términos de la cantidad de material a utilizar. Se requiere más espacio que en “Up-Stream” y menos que en “Down-Stream” para la construcción.

Esta metodología constructiva posee resistencia a sismos y no es tan susceptible a la licuefacción como “Up-Stream”.

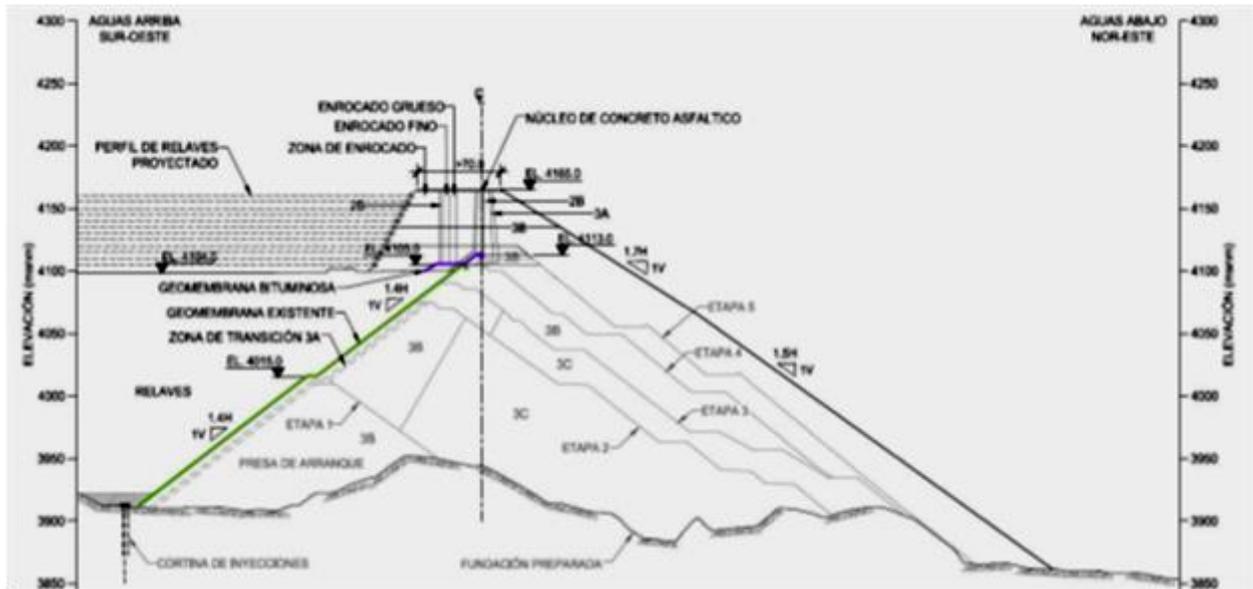


Figura 15: Esquema de Construcción Línea/eje central – “Center-Line”

La decisión para elegir algunas de estas opciones requerirá pasar por una serie de análisis y evaluaciones técnicas, geológicas, geofísicas, geosísmicas, de procesos constructivos, económicas, de riesgos y de gestión de proyectos, las mismas que configurarán un escenario que permita adoptar una mejor alternativa.

Una vez tomada la decisión, se tendrá que asegurar el planteamiento a través de un sólido plan para la dirección del proyecto que permita integrar el alcance de todo el proyecto, gestionar los costos, plazo, calidad, recursos humanos, comunicaciones, riesgos, adquisiciones, *stakeholders*, planes de ingeniería, planes de estrategia de constructibilidad, planes de salud y seguridad industrial-ocupacional, planes de medio ambiente, planes de gestión social y relaciones comunitarias, planes en aspectos regulatorios y legales, entre otros.

Todos estos elementos para analizar y evaluar la mejor alternativa dependerán de la solidez y nivel de madurez de un Sistema de Gestión de Inversiones de Proyectos de Capital, que en el caso de Compañía “Mina de Cobre” se encuentran muy bien socializados e internalizados de manera Corporativa.

### 3. DESARROLLO DEL PROCESO

#### 3.1. Criterios para la selección de la metodología constructiva

Para la selección de la metodología constructiva se deben considerar los siguientes criterios:

- Plazos de construcción asociados al tipo de crecimiento
- Criterio económico sujeto a la Cantidad y tipos de Materiales Requeridos
- Susceptibilidad a la licuefacción

- Resistencia a sismos y estabilidad
- Requerimiento de Espacio y/o límite de propiedad
- Aspectos legales, sociales y ambientales

### *3.2. Procesamiento de datos e información (Taller de Alternativas Técnicas – TAT)*

Los criterios anteriormente definidos, fueron abordados en un Taller de Alternativas Técnicas – TAT, del cual se concluyó lo mostrado en la siguiente Tabla 4.

Criterios Analizados	Porcentaje Incidencia (P %)	Alternativa Crecimiento Aguas Arriba		Alternativa Crecimiento Eje Central		Alternativa Crecimiento Aguas Abajo		Descripción del Criterio
		Nota (N)	P X N	Nota (N)	P X N	Nota (N)	P X N	
Metodología de crecimiento asociado	8%	1	0.08	2	0.08	4	0.32	Criterio asociado a la confianza, la experiencia, el mercado y del método constructivo.
Disponibilidad de Tierras	100%	4	1.2	4	1.2	1	0.3	Disponibilidad de Tierras aguas abajo del muro del depósito. Tierras de propiedad de Antamina, cedidas a comunidad en usufructo para uso a las comunidades.
Disponibilidad de Materiales Intrusivos para dren	8%	4	0.32	3	0.09	4	0.32	Asociado al material inerte necesario para la construcción del dren que impide que las aguas ácidas lleguen al núcleo estético.
Complejidad del Proceso Constructivo	8%	2	0.16	2	0.16	3	0.225	Considere los siguientes factores: 1 Dificultad en la constructibilidad del núcleo y dren (diversidad de materiales) 2 Fosa de colocación de material necesario para la construcción del escape (30) 3 Cobertura de la Fosa de Escape e Interferencia asociada a caminos de comunidad 4 Incremento de capacidad en el sistema de bombas de recirculación 5 Mejoramiento de playa de relave para fundación del masivo rocoso (Definición de relave) 6 Retraso de caminos de escape para las comunidades
Vincencia Social	20%	1	0.2	2	0.4	3	0.6	Asociado a la operación de las descargas de relave para mantener la pose de aguas claras alejada de la zona aguas arriba del muro.
Operación asociada a pose de agua	8%	1	0.08	3	0.24	4	0.32	Asociado a la operación de las descargas de relave para mantener la pose de aguas claras alejada de la zona aguas arriba del muro.
Estabilidad Geotécnica	33%	1	0.33	3	0.99	4	0.48	Relacionado al nivel de ingeniería requerida para solicitar las permisos y las piezas necesarias para ajustarla
Permisos de Construcción	8%	1	0.08	4	0.32	3	0.24	Relacionado al nivel de ingeniería requerida para solicitar las permisos y las piezas necesarias para ajustarla
Permisos Ambientales	12%	1	0.12	4	0.48	1	0.12	Diferencias entre la pertinencia del permiso dependiente del método constructivo que se elija
TOTAL	100%		2.09		3.20		2.39	

**Legenda**

% de incidencia

Corresponde al % de importancia relativa que tiene el tema en el cumplimiento del proyecto

Notas

Se desarrolla en un rango de 0 a 4, siendo 0 valor que implica que no cumple los requerimientos mínimos y se considere falta total, las notas de las soluciones factibles consideren 1 el valor más bajo e implique que no cumple las

Tabla 4: Conclusiones Talleres de Alternativas Técnicas

### 3.3. Análisis de datos e información y discusión general

De las tres (03) alternativas de recrecimiento:

#### 3.3.1. Método Aguas Arriba – “Up-Stream”

Como se mencionó anteriormente, la cantidad de material requerido por la metodología “Up-Stream” es bastante menor a las demás, pero su susceptibilidad a licuefacción por sismos hace que esta metodología no sea conveniente de implementar.

Por otra parte, es aquella que presenta problemas legales de implementación es la de crecimiento por el método Aguas Arriba “Up-Stream” (Gobierno del Perú ha prohibido este tipo de metodología de crecimiento), por lo que sería descartable.

#### 3.3.2. Método Aguas Abajo – “Down-Stream”

Es bueno tener claro que a la fecha Compañía “Mina de Cobre” venía recreciendo la presa usando el método Aguas Abajo – “Down-Stream” y lo seguiría haciendo hasta una cota de cresta de Elevación 4120 msnm como estaba proyectado. Sin embargo, debido a la necesidad de crecer con la presa se genera la necesidad de adquirir nuevos terrenos para continuar con este método constructivo, por lo que se plantea la necesidad de analizar otros posibles escenarios de negocios.

El análisis de decisión y lógico que Compañía “Mina de Cobre” se planteó se grafica de manera general en la siguiente figura:

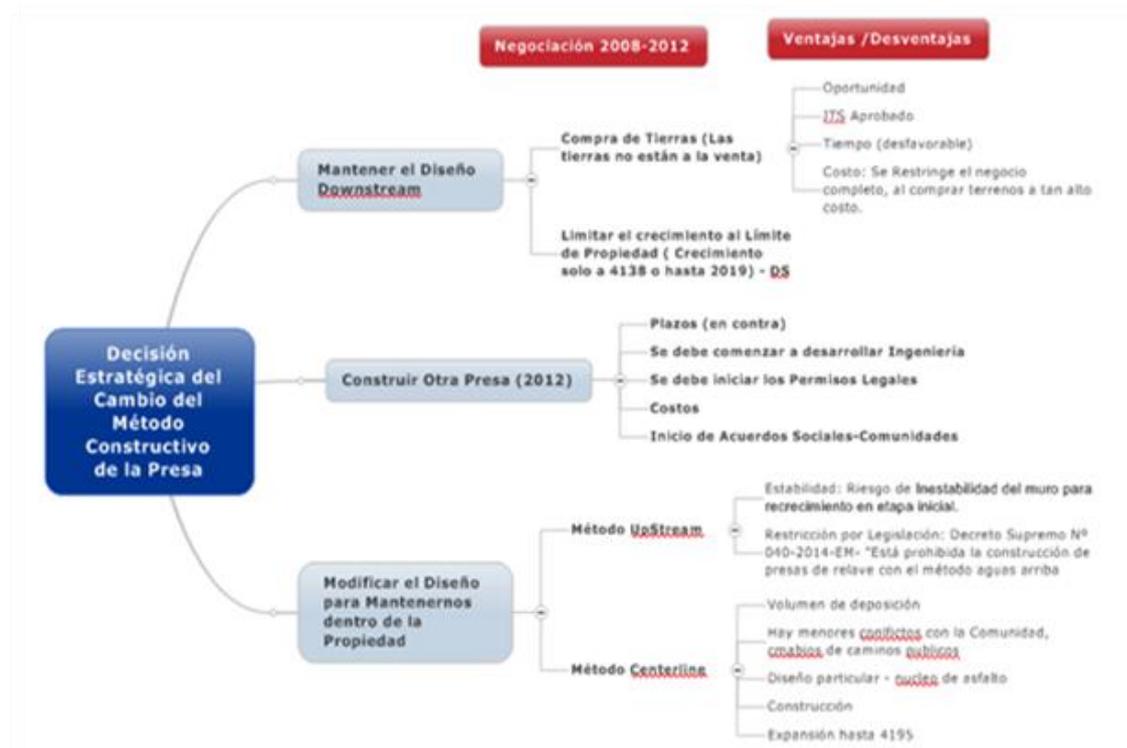


Figura 16: Estrategia de decisión de Método Constructivo

De acuerdo con el programa de producción de Compañía “Mina de Cobre” no es factible el crecimiento de la presa de cierre del depósito de relaves por método constructivo “*Down-Stream*” debido a que los plazos de construcción factibles no son compatibles con el crecimiento del depósito de relaves considerando la producción actual y futura de Compañía “Mina de Cobre”.

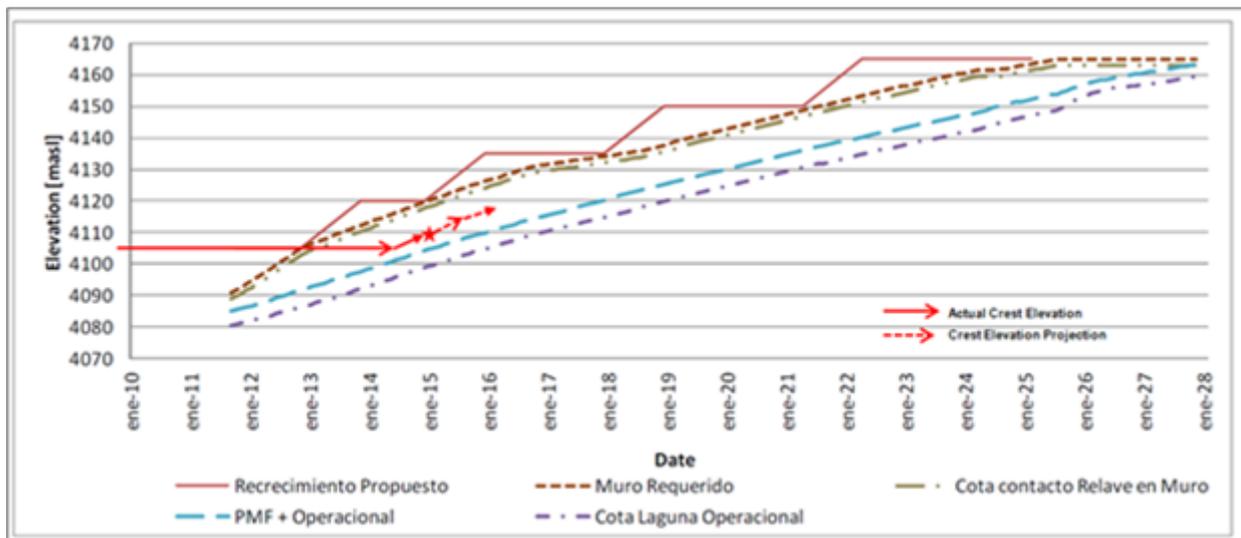


Figura 17: Proyección de Relaves a Largo Plazo por el Método “*Down-Stream*”

### 3.3.3. Método “*Línea/Eje Central* – “*Center-Line*”

Finalmente, el método de crecimiento que presenta una mejor valoración en el Taller de Alternativas corresponde al método de crecimiento por Línea/Eje Central “*Center-Line*” ya que no presenta restricciones legales y su impacto es mucho menor al de los otros métodos.

Este método (el cual modificaría el método de elevación “*Down-Stream*” utilizado desde las etapas posteriores a la Fase V de construcción) considera un recrecimiento progresivo por etapas del proyecto y considera el recrecimiento de la presa hasta la cota Elevación 4165 msnm desde la cota Elevación 4110 msnm por el lado de la cresta de la presa y desde la cota Elevación 4100 msnm por el lado de playa.

El diseño original del depósito de relaves por el método de aguas abajo consideraba la construcción de la presa en Etapas de Construcción que elevaban la cota de la cresta de la Presa en 15 m cada una a partir de la Etapa 3, de esta manera, las etapas de construcción fueron definidas de la siguiente manera:

- Dique arranque; hasta 4010 msnm
- Etapa 2: 4010-4075 msnm
- Etapa 3; 4075-4090 msnm

- Etapa 4; 4090-4105 msnm
- Etapa 5; 4105-4120 msnm
- Etapa 6; 4120-4135 msnm
- Etapa 7; 4135-4150 msnm
- Etapa 8; 4150-4165 msnm

En la actualidad la ingeniería de prefactibilidad del “*Center-Line*”, que ha servido como sustento a este reporte, denomina las etapas constructivas de la siguiente forma:

- |                        |           |
|------------------------|-----------|
| • Elev. 4105-4113 msnm | Fase V    |
| • Elev 4113-4115 msnm  | Fase VIA  |
| • Elev 4115-4135 msnm  | Fase VIB  |
| • Elev 4135-4150 msnm  | Fase VII  |
| • Elev 4150-4165 msnm  | Fase VIII |

Compañía “Mina de Cobre” para facilidad de nombrar las fases debido a la tramitación de permisos internos y externos, aprobaciones de financiamientos y otros, ha utilizado esta nomenclatura para separar los hitos de construcción.

Además del recrecimiento de la presa, el proyecto considera las siguientes obras complementarias para mantener la continuidad operacional de la relavera:

- Modificación de la impulsión de agua de la piscina de filtraciones debido a la traza de la presa y caudales proyectados.
- Cobertura de “*Seepage*”.
- Repotenciamiento del sistema de bombeo de la piscina de infiltraciones. (“*Polishing Pond*”)
- Instalación de nueva instrumentación geotécnica.
- Construcción y modificación de caminos.
- Manejo del sistema de depositación de relaves.
- Reubicación de líneas eléctricas del sistema de bombeo.
- Modificación de los canales de contorno.
- Prolongación refuerzo del “*Decant Tunnel*”.

El presente estudio define un horizonte de ejecución del proyecto de 8 años a partir del 24 de Octubre del 2014.

Existen precedentes del método constructivo “*Center-Line*” tanto en Perú como en Chile. Actualmente ya se han construido o están en proceso de construcción algunos muros por medio de este método. A continuación, se presentan algunos:

- La mina de oro y cobre Cerro Corona, propiedad de Gold Fields “La Cima” (GFLC) ubicada en el distrito de Cajamarca del Perú ha estado en producción desde 2008. Produce alrededor de 400.000 onzas de oro al año. El almacenamiento de relaves considera una presa construida por el método “*Center-Line*” con material de enrocado de baja permeabilidad en el núcleo

morrénico. La presa se encuentra actualmente a una altura aproximada de 100 metros y tiene una altura máxima prevista de 160 metros. La mina se encuentra en una zona sísmicamente activa dentro de Perú que tiene una historia de acontecimientos significativos del terremoto. En el diseño de la presa, una consideración especial fue considerada de modo de mantener la integridad de la zona del núcleo durante las operaciones y bajo sollicitaciones sísmicas.

- En Chile se encuentra en operación la presa de relaves El Torito cuyo proyecto consistió en la ampliación de la capacidad del a 181 millones de toneladas (Mt), prolongando su vida útil en 18 años y permitiendo continuar la operación de la Mina El Soldado, propiedad de Anglo American. El proyecto contempló mantener las condiciones operativas actuales, siendo sus principales actividades el aumento en la disposición de relaves y lamas; modificación del método de crecimiento del muro al método por Eje Central; ampliación del sistema de drenes; nuevo camino y canal de contorno; y reubicación de instalaciones existentes, en una superficie adicional total de aproximadamente 77 hás.
- Finalmente otro ejemplo de este tipo de crecimiento por el método “Center-Line” corresponde a la presa de relaves Talabre, perteneciente a Codelco – División Chuquicamata, Chile, se ubica aproximadamente a 15 km al noreste de la ciudad de Calama. Cuenta con una superficie aproximada de 50 km<sup>2</sup> y posee una longitud total de muros del orden de 7,5 km. Actualmente, recibe una descarga del orden de 180.000 tpd. La VII Etapa de crecimiento del tranque consideró el diseño del peralte de los muros Norte, Oeste y Sur, hasta la cota 2.490 msnm. Esta etapa se construye mediante el método de eje central empleando lastre (estéril de mina) como material de construcción, a diferencia de las etapas anteriores que consideraba el crecimiento según el método de aguas abajo y con el cuerpo de la presa constituido por arenas de relave cicloneado.

### 3.4. Instalaciones del proceso

En lo que se refiere a las instalaciones involucradas en el proyecto de recrecimiento de la presa de relaves se consideran principalmente las siguientes:

- Planta Concentradora, desde donde provienen los relaves
- Sistema de transporte de relaves, actualmente por canaleta-tubería y proyectado para tuberías HDPE.
- Sistema de depositación de relaves, tuberías de descarga, pantalones (derivaciones y *spigots*).
- Sistema de recuperación de aguas provenientes de la laguna del depósito de relaves.
- Sistema de recuperación de aguas de drenaje, “*Polishing Pond*” y estaciones de bombeo
- Sistema colector de aguas lluvias, canal de contorno (Canal de Desvío, Canal Superior de Captación y Derivación y Canal Medio de Captación y Derivación) y “*Decant Tunnel*”.
- Caminos de acceso, Ayash y San Marcos

Los relaves por depositar son generados en la planta concentradora, desde donde mediante un sistema por tuberías HDPE son dispuestos en el depósito mediante líneas de descarga, pantalones (derivación) y *spigots* en el sector de la presa que se extiende en toda su longitud. En la Figura 18 se presenta un esquema de la disposición de relaves considerado.

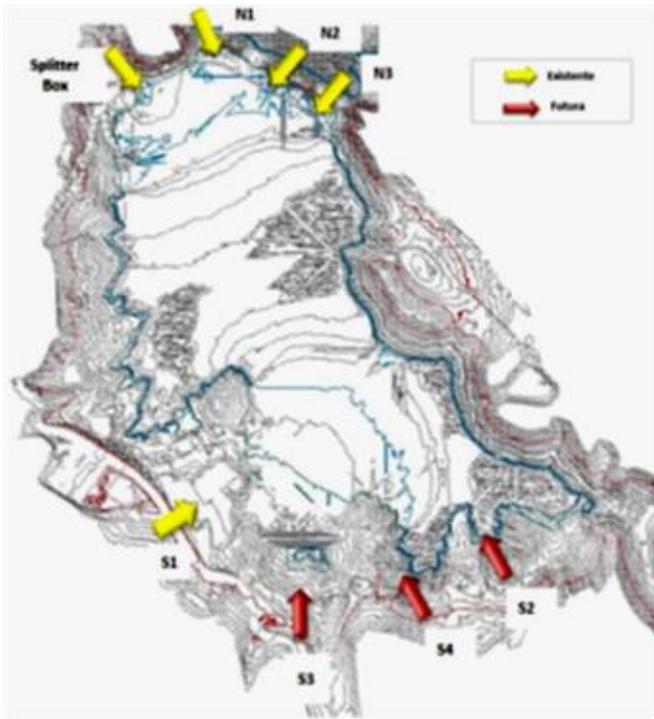


Figura 18: Configuración de Descargas Existentes y Futuras



Figura 19: Planta Sector Presa a Recreer

En lo referente a las instalaciones del proceso, es pertinente mencionar que estas operarán de diferente manera según la etapa en la que se encuentre la construcción.

Respecto a la presa de relaves:

- El recrecimiento implica un corte en la fase 5, que originalmente alcanzaba el nivel 4120 m cambiando al nivel 4113 m. Luego la etapa 6 inicia sobre la etapa 5, en la elevación 4113 m y hasta la elevación 4135 m.
- La etapa 5 que se supone está en construcción y corresponde a la cota 4105.

Zona	Descripción	Unidad	Cantidad
Aguas Arriba	Enrocado	m3	3,960,300
Aguas Arriba	Enrocado Fino	m3	396,700
Aguas Arriba	Enrocado Grueso	m3	396,700
Aguas Arriba	Material de Baja Permeabilidad	m3	300,150
Aguas Arriba	Material de Baja Permeabilidad	m3	118,400
2B	Filtro	m3	667,400
3A	Transición	m3	425,850
3B	Enrocado	m3	11,297,700

Tabla 5: Metrado de Materiales

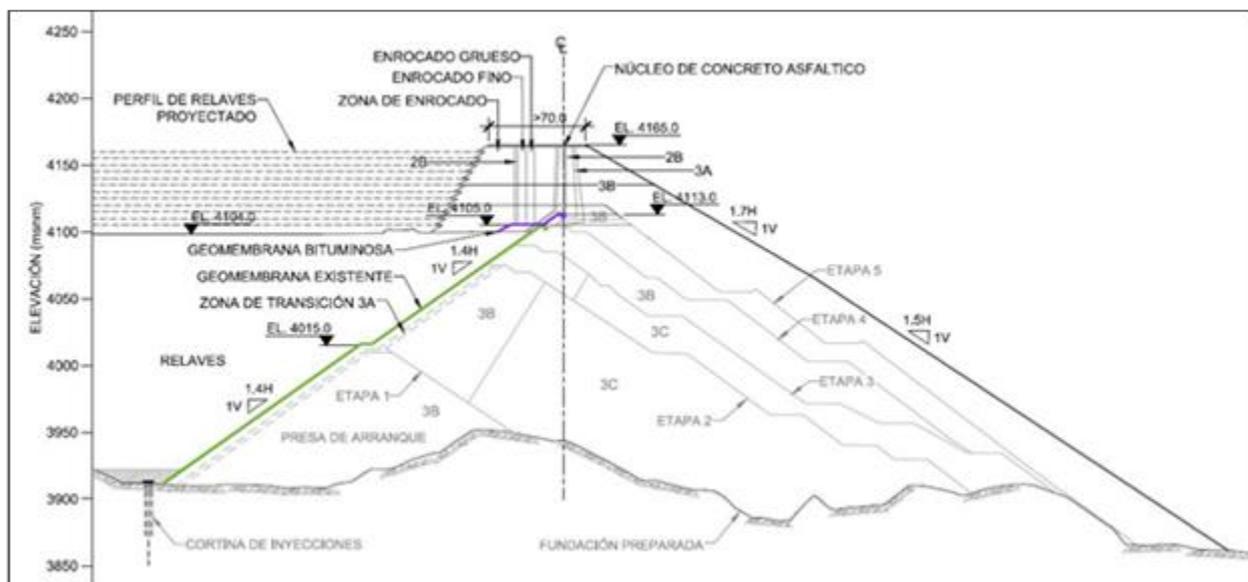


Figura 20: Sección Típica de la Presa desde los 4113 m a los 4165 m

## 4. CONCLUSIONES

### 4.1. Generales

- La Compañía “Mina de Cobre” requiere seguir produciendo el concentrado de cobre y los demás minerales, pues es la primera Mina de Cobre en el Perú y una de las primeras en Latinoamérica, así como en el mundo; siendo sus accionistas mayoritarios las dos (02)

empresas mineras más grandes del mundo. Estos accionistas necesitan seguir rentabilizando sus acciones a través de la venta del concentrado producto de la producción de la Compañía Mina de Cobre.

- La Presa de Relaves de la Compañía “Mina de Cobre” requiere de continuar con su recrecimiento, toda vez que, de no hacerlo, la operación de la Mina se vería afectada, pues los relaves no tendrían donde contenerse, es decir, la presa de relaves ya no tendría la capacidad necesaria para albergarlos. El problema es que según la metodología de recrecimiento que hasta la fecha se cuenta es bajo el concepto Aguas Abajo (“Down-Stream” – DS), pero para continuar con esta metodología se requiere contar con tierras hacia abajo, las mismas que la Comunidad ya no quiere ni ceder ni vender.
- Durante todo el ciclo de vida de la presa de relaves, desde que se fundó hasta la actualidad, se ha contado con la participación de una Empresa reconocida de clase mundial como juicio de experto para las propuestas de los diseños de ingeniería. En esta oportunidad, dada la complejidad técnica y la coyuntura que vive la Compañía “Mina de Cobre”, es que se han podido establecer tres (03) posibles alternativas de solución para el problema que se plantea.

#### 4.2. Mantener el diseño Aguas Abajo (“Down-Stream” – DS)

Bajo este método, se tiene las siguientes restricciones:

- Se requiere contar de todas maneras de tierras hacia abajo, pero en la actualidad, en la negociación con las comunidades, se ha llegado a un punto de no retorno en que las comunidades no quieren negociar ni para la venta ni para la concesión.
- De contar continuar con este método de construcción, el límite de crecimiento de la presa de relaves estaría limitado al límite de la propiedad, y solo se estaría creciendo hasta la cota Elevación 4138 msnm y esto significaría hasta el año 2019.

En cuanto a las ventajas y desventajas de este método tendríamos las siguientes:

- Contamos con el Instrumento Técnico Sustentatorio – ITS aprobado, lo cual nos permite trabajar sin problemas gubernamentales.
- Sería aprovechar un costo de oportunidad de continuar el crecimiento aguas abajo sin problemas.
- En cuanto al tiempo, este se presentaría como desfavorable, dada la necesidad de continuar para albergar los relaves cuanto antes.
- Respecto al costo, se restringiría el negocio, dado que las comunidades podrían aprovechar para elevar de manera descomunal los precios de venta de los terrenos.
- La proyección de la presa está dentro de límite de percepción a las comunidades lo que hace inviable utilizar este método, independiente de ello, debido al tiempo transcurrido, ya no es factible cumplir con los hitos de crecimiento por este método debido a los plazos que se requieren para extender el “*Decant Tunnel*”.
- De acuerdo con el programa de producción de la Compañía “Mina de Cobre”, no es factible el crecimiento de la presa de relaves por el método constructivo Aguas Abajo (“*Down Stream*”

– DS), debido a que los plazos de construcción factibles no son compatibles con el crecimiento del depósito de relaves considerando la producción actual y futura.

#### 4.3. *Construir otra Presa de Relaves*

Bajo este método, se tiene las siguientes restricciones:

- Los plazos son muy cortos.
- La restricción implica que se deberían comenzar a desarrollar las ingenierías, ya que es una nueva locación.
- Dado que aún esta locación no cuenta con permisos legales, se tendrían que iniciar los procesos de autorización, los cuales en el mejor de los casos demandan unos dos (02) años. Teniendo en cuenta que el 2016 el Perú vivirá un año pre y electoral.
- Los costos implicarían el trabajar otra presa de relaves.
- Se tendría que iniciar un contrato social de acuerdos socio-comunales con los pobladores de las áreas impactadas, lo cual demandaría unos dos (02) años más aproximadamente, por lo que también esta opción es inviable.

#### 4.4. *Modificar el diseño para mantenernos dentro de la propiedad*

Aquí tendríamos dos (02) opciones:

##### 4.4.1. *Método Aguas Arriba (“Up-Stream” – US)*

Bajo este método, se tiene las siguientes restricciones:

- Existe un riesgo muy grande que tiene que ver con la inestabilidad del muro para el recrecimiento en la etapa inicial.
- Existe una restricción por legislación del Gobierno del Perú, a través del Decreto Supremo N° 040-2014-EM, que indica que “Está prohibida la construcción de presas de relave con el método aguas arriba”. Esto, debido a que ha habido casos de colapso de presas de relave en el mundo, por lo que sería descartable.

##### 4.4.2. *Método Línea Central/Eje Central (“Center-Line” – CL)*

Tendríamos las siguientes ventajas con algunas dificultades:

- Dadas las restricciones que se expusieron en capítulos anteriores, el crecimiento de la Presa de Relaves hasta la cota Elevación 4165 msnm, sólo puede ser sustentado por un cambio en la metodología de construcción de Aguas Abajo (“Down Stream” – DS) a Línea Central/Eje Central (“Center-Line” – CL), los cuales han sido analizados y evaluados en el capítulo correspondiente a manera de alternativas y/u opciones.
- El volumen de deposición seguiría incrementándose, esto, además, debido a que con esta

nueva metodología ya se puede soportar relaves con una mayor densificación (menos agua).

- Habría menores conflictos con las comunidades, ya que lo único que se trabajaría sería para las desviaciones de los caminos públicos.
- El diseño como es particular, si tendríamos un nuevo proceso constructivo que nuestros colaboradores y fuerza de trabajo no está familiarizado con el “núcleo asfáltico”, que es la clave para este tipo de recrecimiento.
- La construcción implica hacer referencia a nuevos procesos constructivos con otro tipo de ingenierías.
- Estaríamos en condiciones de recrecer hasta la cota Elevación 4,195 msnm, esto más o menos hasta el año 2,027.
- Método de crecimiento que presenta una mejor valoración en el Taller de Alternativas ya que no presenta restricciones legales y su impacto es mucho menor al de los otros métodos.
- Las investigaciones geotécnicas realizadas así como los ensayos de laboratorio ejecutados, demuestran un nivel de incertidumbre mínimo acerca de la caracterización del depósito de relaves y sus zonas impactadas, por lo que podemos continuar con el desarrollo de nuestra propuesta y futuro desarrollo y ejecución del proyecto; de esta manera podemos concluir que los estudios presentados validan técnicamente la factibilidad del crecimiento Línea Central/Eje Central (“Center-Line” – CL).

#### 4.5. Oportunidades de mejora y recomendaciones

- Dentro de la propuesta del diseño, existe una relacionada con el conservadorismo en el recrecimiento de la presa de relaves, por lo que se está contemplando el contar con un sistema de contingencia que resguardará la integridad del nuevo crecimiento.
- El mayor reto de la construcción para el recrecimiento de la presa de relaves estará en la concentración del relleno masivo que se dará entre los años 2016 y 2018.
- Una de las restricciones que se presentan está relacionado con la ruta crítica del Programa, el cual considera que durante toda esta fase del proyecto (Fase VI), hasta superar la cota Elevación 4135 msnm.
- Uno de los riesgos de mayor envergadura, el cual contiene el mayor componente de probabilidad de ocurrencia e impacto asociado, recae en la mayor incertidumbre por la negociación con las comunidades.
- Es posible reducir la incertidumbre de costos y presupuestos, si se toma la decisión de adelantar los trabajos de los diseños de las ingenierías de las siguientes fases (Fase VII y VIII).
- Es importante comentar que la decisión para elegir una de estas opciones requirió pasar por un exhaustivo proceso de análisis y evaluaciones técnicas, geológicas, geofísicas, geosísmicas, de procesos constructivos, económicas, de riesgos y de gestión de proyectos, las mismas que configuraron un escenario que permitió decidir por la mejor alternativa.
- Una vez tomada la decisión, se tendrá que asegurar el planteamiento a través de un sólido plan para la gestión del proyecto que permita integrar el alcance de todo el proyecto, gestionar los costos, plazo, calidad, recursos humanos, comunicaciones, riesgos, adquisiciones, *stakeholders*, planes de ingeniería, planes de estrategia de constructibilidad, planes de salud y seguridad industrial-ocupacional, planes de medio ambiente, planes de gestión social y

relaciones comunitarias, planes en aspectos regulatorios y legales, entre otros.

## 5. REFERENCIAS

- Harris, F., and McCaffer, R. (2005). *Modern Construction Management*, London: Blackwell Publishing.
- Radosavljevic, M. and Bennett, J. (2012) *Construction Management Strategies: A Theory of Construction Management*, London: Wiley-Blackwell.
- *Construction Safety Standards*, revised 1987, Bureau of Reclamation, Denver, CO, 1987.
- *Concrete Manual*, vol. 2, “Test Designations,” Bureau of Reclamation, Denver, CO, 1987.
- *Earth Manual*, vol. 2, “Test Designations,” Bureau of Reclamation, Denver, CO, 1987.
- *Concrete Manual*, 8th ed., Bureau of Reclamation, Denver, CO, 1975.
- *Improving Tailings Dam Safety; Critical Aspects of Management Design, Operations and Closure*. ICOLD COMMITTEE ON TAILINGS DAM. UNEP. UNITED NATIONS, 2011.
- 139-415-5001/5820\_RB, Estudio de Pre Factibilidad del Recrecimiento de la Presa “Compañía Minera de Cobre” a la Cota 4165 m por el Método Línea Central, Septiembre 2014.
- 112-1427-0482C/129-415500P, “Up-Stream” Dam Raise Concept, Febrero 2013.
- 08-1427-0482C/089-415019P, Geotechnical and Hydrogeological Investigations for Elevation 4165 m Raise “Compañía Minera de Cobre” Tailings Dam.
- Doc 537 REP 0602\_13, “Up-Stream” Dam Raise Concept, “Compañía Minera de Cobre” Tailings Management Facility, February 8, 2013, Golder Associates.
- VPIP-GSER-CP-EST001, Estándar Control de Proyectos y Requerimientos, Versión 1, “Compañía Minera de Cobre”.
- Informe de Caracterización Geotécnica y Reológica de Relaves, desarrollado en el estudio Conceptual de ampliación a 210 ktpd por SCN-Lavalin (Doc. 101-11251-101108005-000-INF-F-002-15356-0000-49ER-0010) 16 abril 2012.
- Tailings Humidity Cells – Analysis of Standard and Flooded Laboratory Humidity Cells. Desarrollado por “Compañía Minera de Cobre” (doc. 130816 - Tailings HC Results Analysis) 16 agosto 2013.
- Resultados Flow Loop Test para determinar valores de pérdida por fricción en las tuberías durante el transporte de relaves, desarrollado por La empresa consultora Golder Associates (Doc. 149-415-5001 3030 713\_B (2)-JSD) 28 abril 2014.
- Informe de Cierre técnico del Estudio Conceptual de reubicación de infraestructura a nivel 4165, desarrollado por Bisa (Doc. 101-13323-MTE1413-104-IFF-G-001) 22 mayo 2014.
- Estudio de FS de la Presa de relaves “Down-Stream” hasta la El. 4165 (Fases VI, VII y VIII).
- Estudio Técnico-Conceptual “Uptstream” hasta la El. 4165.
- Estudio de FS de la Presa de Relaves “Center-Line” hasta la El. 4165.
- Ref. 1. Estudio de Pre Factibilidad del Recrecimiento de la Presa de Compañía “Mina de Cobre” a la Cota 4165 m por el Método Línea Central, Informe N°: 138-415-5001/5820\_RB, Septiembre 2014.
- Ref. 2. “Up-Stream” Dam Raise Concept, Proyecto Número 112-1427-0482C/129-415500P, Febrero 2013.

- Ref. 3. Geotechnical and Hydrogeological Investigations for Elevation 4165 m Raise Compañía “Mina de Cobre” Tailings Dam, Informe Número 08-1427-0482C/089-415019P.
- Ref. 4. 139-415-5001/5820\_RB, Estudio de Pre Factibilidad del Recrecimiento de la Presa Compañía “Mina de Cobre” a la Cota 4165 m por el Método Línea Central, Septiembre 2014.
- Ref. 5. 112-1427-0482C/129-415500P, “Up-Stream” Dam Raise Concept, Febrero 2013.
- Ref. 6. 09-1427-0482C/089-415019P, Geotechnical and Hydrogeological Investigations for Elevation 4165 m Raise Compañía “Mina de Cobre” Tailings Dam.
- Ref. 7. Doc 537 REP 0602\_13, “Up-Stream” Dam Raise Concept, Compañía “Mina de Cobre” Tailings Management Facility, February 8, 2013, Golder Associates.
- Ref. 8. VPIP-GSER-CP-EST001, Estándar Control de Proyectos y Requerimientos, Versión 1, Compañía “Mina de Cobre”.
- Ref. 9. 149-415-2067, Informe Técnico Sustentatorio Modificación del Método de Construcción de la Presa de Relaves – Líneas Central, Golder Associates.
- Ref. 10. Doc 759 RPT 0914 Prefactibilidad Recrec Línea Central 4165 m, Septiembre 2014, Golder Associates.
- Ref. 11. Doc 760 RPT 0915 Prefactibilidad Recrec Línea Central 4165 m, Septiembre 2014, Golder Associates.
- Ref. 12. Doc 528 Rev0 REP 1006\_13 Compañía “Mina de Cobre” 4165 Feasibility RPT\_Rev0, Junio 2013, Golder Associates.
- Ref. 13. DS 040-2014-EM – Rgto Ambiental Minero, Noviembre 2014, Ministerio de Energía y Minas, Gobierno Central del Perú.
- Ref. 14. Geotechnical and Hydrogeological Investigations for Elevation 4165 m Raise Compañía “Mina de Cobre” Tailings Dam, Informe Número 08-1427-0482C/089-415019P, Abril 2009, Golder Associates.
- Ref. 15. “Up-Stream” Dam Raise Concept, Proyecto Número 112-1427-0482C/129-415500P, Febrero 2013, Golder Associates.
- Ref. 16. Modificación EIA del Proyecto Minero Compañía “Mina de Cobre” por Incremento de Reservas y Optimización del Plan de Minado, Junio de 2010, Klohn Crippen Berger.
- Ref. 17. Doc 759 RPT 0914 Prefactibilidad Recrec Línea Central 4165 m\_5820\_RB
- Ref. 18. Doc 528 Rev0 REP 1006\_13 Compañía “Mina de Cobre” 4165 Feasibility RPT\_Rev0\_full
- Ref. 19. Doc 537 REP 0602\_13 “Up-Stream” Dam Raise Concept\_full.